

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Kieferorthopädie des
Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Direktorin: Univ.-Prof. Dr. A. Hohoff)

**Zum Einfluss orthodontischer
Maßnahmen
auf die mechanische Plaqueentfernung
im Seitenzahnbereich**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium

der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Tim Noeke

aus Telgte

2016

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. M. Herrmann

1. Berichterstatter: Prof. Dr. T. Stamm

2. Berichterstatter: Prof. Dr. T. Dammaschke

Tag der mündlichen Prüfung: 20.10.2016

Aus dem Universitätsklinikum Münster

Poliklinik für Kieferorthopädie des

Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Direktor: Univ.-Prof. Dr. A. Hohoff

Referent: Prof. Dr. Stamm

Koreferent: Prof. Dr. Dammaschke

ZUSAMMENFASSUNG

**Zum Einfluss orthodontischer Maßnahmen auf die
mechanische Plaqueentfernung im Seitenzahnbereich**

Noeke, Tim

In der internationalen Fachliteratur wird die Frage nach evidenzbasierter Kieferorthopädie und die damit verbundene Frage, inwiefern eine kieferorthopädische Behandlung die Mundgesundheit verbessern kann, in den letzten Jahren verstärkt diskutiert.

In der vorliegenden Arbeit sollte – zum ersten Mal im Rahmen einer in-vitro Studie - untersucht werden, ob die Auflösung einer seitlichen Kontaktpunktabweichung im Seitenzahnbereich durch kieferorthopädische Maßnahmen dazu beitragen kann die mechanische Plaqueentfernung zu erleichtern.

Dazu wurden schwarz gefärbte Anfangs- und Schlussmodelle kieferorthopädisch behandelter Patienten mit weißem Titandioxid-Pulver benetzt, welches als Plaqueäquivalent diente. Anschließend wurden die Modelle von einem Putzroboter (RV-E4NM, Mitsubishi Electric Europe, Ratingen), der sich durch seine 6 Freiheitsgrade in allen drei Raumebenen bewegen kann, gesäubert. Im Anschluss wurden die gereinigten Modelle fotografiert, so dass nach sieben Durchgängen am Ende insgesamt 392 Aufnahmen in die Auswertungssoftware eingelesen werden konnten. Da die Untersuchung zunächst auf den Seitenzahnbereich beschränkt bleiben sollte, musste für jedes Modell eine reproduzierbare, digitale Maske erstellt werden, die den Bereich distal des zweiten Inzisivus bis distal des Sechsjahrmolaren einschloss.

Durch die prozentuale Gegenüberstellung der Restplaquemenge dieses Bereichs auf den behandelten und den unbehandelten Modellen konnte nun festgestellt werden, dass die Herstellung physiologischer Kontaktpunkte durch kieferorthopädische Maßnahmen dazu führte, dass die durchschnittliche Restplaquemenge auf den Anfangsmodellen 21,5 % und auf den Schlussmodellen 17,4% betrug.

Dies deutet darauf hin, dass die Einordnung von dystopisch stehenden Zähnen in den Zahnbogen zu einer signifikanten Verbesserung der Mundhygiene, und damit zu einer Verbesserung der allgemeinen Mundgesundheit führen kann.

Tag der mündlichen Prüfung: 20.10.2016

ERKLÄRUNG

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

Zum Einfluss orthodontischer Maßnahmen auf die mechanische Plaqueentfernung im Seitenzahnbereich

in der/im (Klinik, Institut, Krankenanstalt):

Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Münster

unter der Anleitung von:

Prof. Dr. T. Stamm

1. selbständig angefertigt,
2. nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Meschede, 26.5.2016

Ort, Datum

Tim Noeke

Name/ Unterschrift

**Das Problem der Karies
ist das Problem
der Gesundheit des Kindes.**

(Alfred Kantorowicz, 1951)

Diese Dissertation ist meinen Eltern gewidmet.

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG	- 8 -
1.1 EVIDENZ IN DER KIEFERORTHOPÄDIE	- 8 -
1.1.1 <i>Der Health Technology Assessment (HTA) Bericht</i>	- 8 -
1.2 MUNDGESUNDHEIT	- 9 -
1.2.1 <i>Definition von Mundgesundheit</i>	- 9 -
1.2.2 <i>Mundgesundheit in der Bevölkerung</i>	- 11 -
1.2.2.1 <i>Die Zahnbürste</i>	- 12 -
1.2.2.2 <i>Zahnputztechnik/ Modifizierte Bass-Technik</i>	- 13 -
1.2.3 <i>Mundgesundheit und Plaque</i>	- 13 -
1.2.3.1 <i>Kariesprädispositionsstellen</i>	- 14 -
1.2.3.2 <i>Plaqueersatzstoffe</i>	- 15 -
1.2.4 <i>Mundgesundheit und Karies</i>	- 15 -
1.2.5 <i>Mundgesundheit und Gingivitis/ Parodontitis</i>	- 16 -
1.2.6 <i>Mundgesundheit und Zahnheilkunde</i>	- 17 -
1.2.7 <i>Mundgesundheit und Kieferorthopädie</i>	- 18 -
1.3 FRAGESTELLUNG/ ZIEL DER ARBEIT:	- 19 -
2 MATERIAL UND METHODE	- 20 -
2.1 ETHIK UND DATENSCHUTZ	- 20 -
2.2 PATIENTENFÄLLE	- 20 -
2.2.1 <i>Inklusionskriterien</i>	- 20 -
2.2.2 <i>Exklusionskriterien</i>	- 20 -
2.3 SEGMENTANALYSE NACH LUNDSTRÖM	- 22 -
2.4 DOUBLIERUNG UND LACKIERUNG DER MODELLE	- 23 -
2.5 EINARTIKULIERUNG DER MODELLE	- 24 -
2.6 BESCHICHTUNG DER MODELLE MIT DEM PLAQUEERSATZSTOFF	- 25 -
2.7 DIE ZAHNBÜRSTE	- 26 -

2.8 SIMULATION DER ROBOTERGESTEUERTEN PLAQUEENTFERNUNG	- 27 -
2.9 DIE POSITIONIERUNG DER ZAHNBÜRSTE.....	- 29 -
2.10 DER PUTZVORGANG AM ROBOTER	- 29 -
2.11 DIE FOTOGRAFIE	- 30 -
2.12 AUSWERTUNG DER FOTOGRAFIE MIT PICED CORA ®	- 33 -
2.13 STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	- 35 -
3 ERGEBNISSE	- 36 -
3.1 PATIENTENGRUPPE.....	- 36 -
3.2 RESTPLAQUEMENGE IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KIEFERORTHOPÄDISCHEN BEHANDLUNG.....	- 36 -
3.3 RESTPLAQUEMENGE IN ABHÄNGIGKEIT VOM ENGSTAND	- 40 -
3.4 RESTPLAQUEMENGE IN ABHÄNGIGKEIT VOM GESCHLECHT.....	- 42 -
3.5 RESTPLAQUEMENGE IN ABHÄNGIGKEIT VOM ALTER.....	- 42 -
4 DISKUSSION	- 43 -
4.1 METHODENBEDINGTE GRENZEN	- 43 -
4.1.1 Beurteilung des Engstandes	- 43 -
4.1.2 Genauigkeit der Positionierungshilfe.....	- 44 -
4.1.3 Anatomische Unterschiede im Patientengut.....	- 44 -
4.1.4 Die Putztechnik.....	- 45 -
4.1.5 Der Putzroboter.....	- 46 -
4.1.6 Der Anpressdruck beim Putzvorgang	- 46 -
4.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	- 47 -
4.3 KONKLUSION UND AUSBLICK	- 51 -
5. LITERATURVERZEICHNIS.....	- 52 -
6. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	- 59 -

1 Einleitung

1.1 Evidenz in der Kieferorthopädie

In der internationalen Fachliteratur und in den renommierten Fachzeitschriften wird die Frage nach einer ausreichenden Evidenz in der Medizin und in der Zahnmedizin in der jüngeren Vergangenheit immer häufiger gestellt (Freddi and Romàn-Pumar, 2011; Miles et al., 2012; Sanders et al., 1999).

Grade in der Kieferorthopädie wird dieses Thema schon seit Jahren kontrovers diskutiert, da für viele kieferorthopädischen Maßnahmen nach den heutigen Standards kein ausreichendes Evidenzniveau vorhanden ist (Papadopoulos, 2010).

1.1.1 Der Health Technology Assessment (HTA) Bericht

Das Deutsche Institut für medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) setzt sich im Rahmen des 2008 erschienenen Health Technology Assessment (HTA)- Berichtes „Mundgesundheit nach kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaten“ mit dem Thema Evidenz auseinander.

Der HTA-Bericht stellt in seiner Kernaussage fest: „Die wissenschaftliche Absicherung von kieferorthopädischen Maßnahmen ist außerordentlich gering“.

Des Weiteren wird die dürftige Studienlage zur Auswirkung kieferorthopädischer Maßnahmen auf das Behandlungsergebnis und vor allem auf die Zahn- und Mundgesundheit bemängelt (Frank et al., 2008).

Einleitend wird die grundlegende Frage nach der Definition der „Wirkung [einer kieferorthopädischen] Intervention“ insofern beantwortet, dass diese sich in der Verbesserung der Mundgesundheit widerspiegeln sollte. Die Frage, ob durch kieferorthopädische Maßnahmen die Mundgesundheit langfristig verbessert werden kann, ist nach Meinung der Autoren jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht zu beant-

worten. Weiter mangle es überhaupt an einer konkreten Definition von Mundgesundheit, ohne die die Beantwortung der Frage ohnehin als problematisch einzustufen sei.

Darüber hinaus sei die Frage nach der Indikationsstellung einer kieferorthopädischen Behandlung zum jetzigen Zeitpunkt völlig offen.

Die Autoren weisen darauf hin, dass es auf diesem Gebiet keinerlei Forschung gäbe, da nicht einmal die nötigen Evaluationsparameter erforscht würden. Dies wird beispielhaft in der fehlenden Definition von Mundgesundheit sowie einer Beurteilung des mittel- bis langfristigen Zahnerhalts beschrieben. Natürlich wäre es wünschenswert, diese Parameter genauer zu quantifizieren, allerdings ist doch infrage zu stellen, ob beide genannten Beispiele nicht viel zu multifaktoriell bedingt sind, als dass die alleinige Wirkung einer kieferorthopädischen Intervention in irgendeiner Form messbar wäre.

Am Ende wird im Resümee konstatiert, dass die Kieferorthopädie sich „in Anbetracht der wahrscheinlich zu Recht vermuteten Erfolge“ eine breitgefächerte, evidenzbasierte Absicherung und daraus folgernd ihre Daseinsberechtigung verdiene (Frank et al., 2008).

Um diese Evidenz erreichen zu können, bedarf es jedoch zunächst klarer Evaluationsparameter, zu denen allen voran eine klare und allgemeingültige Definition von Mundgesundheit gehört.

1.2 Mundgesundheit

1.2.1 Definition von Mundgesundheit

„The craniofacial complex allows us to speak, smile, kiss, touch, smell, taste, chew, swallow, and to cry out in pain. It provides protection against microbial infections and environmental threats. Oral diseases restrict activities in school, at work and at home causing millions of school and work hours to be lost each year the world

over. Moreover, the psychosocial impact of these diseases often significantly diminishes quality of life" (Petersen, 2003).

So lautet der zweite Abschnitt des "World Oral Health Report" der World Health Organisation (WHO) von 2003.

Mundgesundheit ist heutzutage nicht mehr auf die beiden häufigsten Leiden Karies und Parodontitis zu reduzieren. Vielmehr muss die Mundhöhle als „Eintrittspforte in den Körper“ betrachtet werden, die einen großen Einfluss auf die allgemeine Gesundheit hat (Petersen, 2003; Gängler et al., 2010).

Das Thema Mundgesundheit ist in den letzten Jahren immer mehr in den Fokus der internationalen Forschung und Literatur geraten. Der allgemeine Tenor ist, dass die Mundgesundheit nicht isoliert von der generellen Gesundheit betrachtet werden sollte. Dennoch gibt es noch keine Einigung auf eine weltweit akzeptierte Definition.

So beschreibt die WHO die Mundgesundheit wie folgt: *„Oral health means more than good teeth; it is integral to general health and essential for well-being. It implies being free of chronic oro-facial pain, oral and pharyngeal (throat) cancer, oral tissue lesions, birth defects such as cleft lip and palate, and other diseases and disorders that affect the oral, dental and craniofacial tissues, collectively known as the craniofacial complex”* (Petersen, 2003).

Risikofaktoren für orale Erkrankungen sind laut WHO u.a. ungesunde Diäten, Tabakkonsum, Alkoholabusus und eine schlechte Mundhygiene (Petersen, 2003, 2009).

Das National Institute of Dental and Craniofacial Research der vereinigten Staaten von Amerika definiert die Mundgesundheit ähnlich wie die WHO: *„Oral health means much more than healthy teeth. It means being free of chronic oral-facial pain conditions, oral and pharyngeal (throat) cancers, oral soft tissue lesions, birth defects such as cleft lip and palate, and scores of other diseases and disorders that affect the oral, dental, and craniofacial tissues, collectively known as the craniofacial complex”* (Evans and Kleinmann, 2000).

Das Department of Health in London, England, beschreibt die Mundgesundheit als „*standard of health of the oral and related tissues which enables an individual to eat, speak and socialise without active disease, discomfort or embarrassment and which contributes to general well-being*“ (Yewe-Dyer et al., 1993).

Auch wenn es weltweit keine offiziell gültige Definition gibt, kann durchaus festgehalten werden, dass die Abwesenheit von Karies und Entzündungen des Parodonts zwar keine hinreichende, jedoch zweifellos eine notwendige Bedingung für den Zustand einer guten Mundgesundheit darstellt.

1.2.2 Mundgesundheit in der Bevölkerung

Laut einer repräsentativen Forsa-Studie im Auftrag der Universität Witten/ Herdecke und AXA aus dem Jahr 2012 ist das Zahnputzverhalten in der deutschen Bevölkerung als sehr heterogen einzustufen. Die Befragung von 1025 Personen im Alter zwischen 14 und 69 Jahren ergab, dass weniger als ein Drittel der Befragten (32%) sich die Zähne mit der richtigen Technik reinigen. Ein Großteil (57%) verwendet kreisende Bewegungen, die u.a. zu Schäden an der Gingiva führen können. Des Weiteren werden Speisereste und pathologische Bakterien unter Umständen unter das Zahnfleisch befördert, was zu Entzündungen und Zahnschmerzen führen kann (AXA Konzern AG, 2012).

Dies wird u.a. darauf zurückgeführt, dass im Kindergarten- und Grundschulalter diese falsche Technik erlernt und später dann nicht mehr abgelegt wird.

Darüber hinaus benutzen nur 11% der Befragten täglich Hilfsmittel wie etwa Zahnseide. Eine ausreichende Säuberung der Zahnzwischenräume ist mit der alleinigen Verwendung von Zahnbürste und Zahnpasta rein technisch gesehen kaum realisierbar (AXA Konzern AG, 2012).

Aber auch das allgemeine Zahnputzverhalten ist – vor allem bei Kindern und Jugendlichen – oft als unzureichend einzustufen. So putzen sich laut einer Studie des Robert-Koch-Institutes (RKI) ca. ein Drittel der Jungen und ein Fünftel der Mäd-

chen zwischen 3 und 17 Jahren weniger als zwei Mal pro Tag die Zähne (Robert Koch-Institut, 2008).

Eine Putzzeit von drei Minuten oder mehr erreichen bei der Gruppe der 14-69 jährigen lediglich 40% (AXA Konzern AG, 2012).

Diese Zahlen belegen, dass die Prophylaxe in diesem Bereich durch entsprechende Programme erweitert werden sollte, um die falschen Ansichten und Gewohnheiten zu beheben und somit eine gesündere und effektivere Mundhygiene zu erreichen.

Dabei gilt es schon beim Kauf der Zahnbürste darauf zu achten, dass diese möglichst auf die individuelle Situation ihres Benutzers abgestimmt ist.

1.2.2.1 Die Zahnbürste

Eine Zahnbürste sollte heutzutage in ihrer Größe, Form und in der Beschaffenheit der Borsten individuell auf den Benutzer abgestimmt sein. Zum Beispiel empfiehlt es sich für Patienten mit gingivalen Rezessionen oder keilförmigen Defekten eher mittelharte bis weiche Borsten zu verwenden. Auf der anderen Seite muss berücksichtigt werden, dass harte Borsten im Allgemeinen mehr Plaque entfernen

(Zimmer et al., 2011; Carvalho et al., 2007).

Ferner konnten Jordan et al. zeigen, dass für den posterioren Bereich abgewinkelte Borsten den graden Borsten im Approximalraum überlegen sind (Jordan et al., 2014).

Im Gegenteil dazu stellten Cificibasi et al. fest, dass sich das Borstendesign nur wenig auf die Putzleistung auswirkt (Cificibasi et al., 2014).

Auch bei der Gegenüberstellung von elektrischen und Handzahnbürsten konnte kein Vorteil für eine der beiden Gruppen herausgestellt werden (Deery C et al., 2004).

Vielmehr scheint – vor allem für Patienten mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen – eine regelmäßige Motivation zur Mundhygiene einen signifikant positiven Effekt zu haben (Marini et al., 2014).

1.2.2.2 Zahnputztechnik/ Modifizierte Bass-Technik

Während für Kindergartenkinder noch die KAI (Kauflächen-Außenflächen-Innenflächen) Methode die praktikabelste Art des Zähneputzens zu sein scheint, hat sich in zahlreichen Studien ab einem fortgeschrittenen Lebensalter die modifizierte Bass-Technik bewährt. Diese kann nicht nur bei Patienten mit gesundem Parodont, sondern auch bei vorliegender Gingivitis oder Parodontitis empfohlen werden (Patil et al., 2014). Auch für Patienten mit festsitzenden orthodontischen Apparaturen gilt die Bass-Technik als effektive Methode (Nassar et al., 2013a).

„Die Borsten der Zahnbürste werden auf Zahn und Gingiva gleichzeitig in einem Winkel von 45° aufgesetzt. Unter gleichmäßigem Druck werden dabei kurze, vibrierende Bewegungen der Borsten durchgeführt. Dabei dringen die Borsten in den Approximalraum und in den Sulkus ein und lösen die Plaque vom Zahn. Mit einer Drehbewegung der Borsten nach koronal wird die gelöste Plaque ausgewischt“ (Lehmann, Hellwig, 2005).

1.2.3 Mundgesundheit und Plaque

„Als Plaque [französisch: Platte, Fleck] bezeichnet man am Ort gewachsene, nicht-wegspülbare mikrobielle Beläge auf den Zähnen“ (Waes et al., 2001).

Auf einer gereinigten Zahnoberfläche bildet sich nach wenigen Minuten ein sogenanntes acquired pellicle (erworbenes Schmelzoberhäutchen), das primär aus Lipiden, Phosphoproteinen und Glykoproteinen des Speichels besteht.

Nach ca. 24 Std. hat dieser azelluläre Film eine Dicke von 0,01-1 mm erreicht. Es folgt eine selektive Anlagerung von Mikromechanismen. Diese beginnen nach kurzer Zeit sich zu teilen und führen so zum weiteren Wachstum der Plaque.

Für die Ernährung spielt in erster Linie der Speichel eine Rolle, der Aminosäuren, Proteine und Glykoproteine liefert (Heidemann, 1999).

Bereits nach neun Tagen herrscht ein überwiegend anaerobes Milieu vor. Nach mehreren Wochen ist eine reife Plaque entstanden, in der die Mikroorganismen dicht gepackt sind (60-70 Vol.-%) und in die kaum noch neue Spezies von außen eindringen können. In diesem Zustand herrscht eine sogenannte Plaque-Homöostase, in der eine Ansiedlung von pathogenen Bakterien weitgehend unterdrückt wird. Sollte aber dieses Gleichgewicht gestört werden, können pathologische Prozesse eintreten, die sich in erster Linie in der Entstehung von Karies widerspiegeln. Grundvoraussetzung dafür ist die Aufnahme niedermolekularer Kohlenhydrate, die das Hauptsubstrat der azidophilen Mikroorganismen, auch Leitkeime genannt, wie *Streptococcus mutans* oder Laktobazillen darstellen. Diese verstoffwechseln die Nährstoffe zu organischen Säuren (z. B. Milchsäure), welche wiederum den Zahnschmelz angreifen und zur Kariesentstehung führen können. Durch die Kaufunktion und die Weichteile wird die Plaque an den Zahnaußenflächen selbstreinigend entfernt, während sie an den sogenannten Kariesprädispositionsstellen nur durch aktive, mechanische Reinigung entfernt werden kann (Heidemann, 1999; Reddy et al., 2008).

1.2.3.1 Kariesprädispositionsstellen

Kariesprädispositionsstellen sind Regionen der Mundhöhle, die nicht durch die Kaufunktionen und die Weichteile oder individuelle Mundhygienemaßnahmen mechanisch gereinigt werden und daher eine erhöhte Anzahl mikrobieller Ansammlungen aufweisen. Zu ihnen gehören die Zahnfissuren, das gingivale Drittel

der Zahnkronen und die Approximalräume (Lehmann, Hellwig, 2005; Weber, 2010).

1.2.3.2 Plaqueersatzstoffe

Da die Untersuchungen zu dieser Arbeit nicht am Patienten durchgeführt wurden, musste ein geeignetes Mittel gefunden werden, mit dem die dentale Plaque auf den Zähnen simuliert werden konnte.

In der Literatur finden sich verschiedene Beschreibungen von Plaqueersatzstoffen. Die ersten Versuche in dieser Richtung unternahm Nygaard-Ostby Ende der 80er Jahre, indem er seine Modelle in Okklusionsfolie hüllte. Nach dem Putzvorgang konnte festgestellt werden, an welchen Stellen die Folie von der Zahnbürste abgenutzt worden war (Nygaard-Ostby et al., 1979).

1994 verfeinerte Rawls die Methode, indem er eine Ethylcelluloselösung herstellte, die die Eigenschaften der natürlichen Plaque jedoch nur unzureichend darstellen konnte (Rawls et al., 1993).

Setzwein entwickelte 2002 eine Methode, in der er die zu untersuchenden Modelle mit Tee bestrich, welchen er mit Methylenblau anfärbte (Setzwein, 2002).

Der große Vorteil des in dieser Studie verwendeten Titandioxids gegenüber anderen Plaqueersatzstoffen liegt darin, dass diese pulverartige Beschichtung nicht flächig abblättert, sondern nur an den Stellen entfernt wird, die auch von den Borsten der Zahnbürste erreicht werden (Imfeld et al., 2009).

1.2.4 Mundgesundheit und Karies

Karies gilt nach Angaben des Robert-Koch-Instituts (RKI) noch vor den Herz-Kreislauf-Erkrankungen als häufigste Volkskrankheit in Deutschland. Jährlich

wurden in den Jahren 1997 bis 2005 ca. 6 Milliarden Euro für die Behandlung von Karies ausgegeben, die Zahl der Restaurationen nahm im selben Zeitraum leicht ab von 67,9 auf 58,4 Millionen (Brauckhoff et al., 2009).

Ursachen der Kariesentstehung sind zunächst in multiplen lokalen Wirtsfaktoren zu suchen: die Struktur und chemische Zusammensetzung des Zahnschmelzes, die Speichelmenge und -qualität, immunologische Faktoren sowie die Zahnmorphologie und die Zahnstellung (Heidemann, 1999).

Ferner sind ein häufiges Angebot an niedermolekularen Kohlenhydraten, große Plaquemengen, sowie ein großer Anteil kariogener Bakterien von Bedeutung.

Das Krankheitsbild der Karies beschreibt einen kontinuierlichen Prozess, der in verschiedenen Phasen abläuft. Er beginnt mit einer sog. Initialkaries (syn: white spot lesion) und kann im Endstadium zur vollständigen Zerstörung des Zahnes führen. Während in einem frühen Stadium der Schmelzkaries, in dem die Oberfläche noch intakt ist, diese durch gute Mundhygiene sowie Fluoridapplikation remineralisiert werden kann, ist bei tieferen Kavitäten eine invasive Maßnahme im Sinne einer Füllungstherapie oft unausweichlich. Bei Defekten, die tief in die Pulpa reichen, ist oft eine zusätzliche Wurzelkanalbehandlung nötig (Heidemann, 1999).

Laut der DMS IV Studie der deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) aus dem Jahr 2005 ist die Kariesprävalenz zwar in allen Altersgruppen zurückgegangen, jedoch ist die Karies immer noch die am häufigsten auftretende Krankheit in der Mundhöhle (Micheelis und Schiffner, 2006).

Daher muss weiter daran gearbeitet werden, effiziente Strategien zur Prävention und damit zur Reduzierung von Karies zu entwickeln.

1.2.5 Mundgesundheit und Gingivitis/ Parodontitis

Die Prävalenz parodontologischer Krankheitsbilder nimmt in Deutschland eine beachtliche Stellung ein. In einer Studie von Deinzer aus dem Jahre 2005 wiesen

Erwachsene (35-44 Jahre) einen durchschnittlichen Attachementverlust von 3,9 mm, Senioren (65-74 Jahre) sogar von 4,7 mm auf. Als Risikofaktoren sind in erster Linie mangelnde Mundhygiene und die damit assoziierten Plaque- und Zahnsteinablagerungen, sowie Nikotinkonsum, Stress und Diabetes zu nennen (Deinzer et al., 2008).

Von allen Gingivaerkrankungen ist die plaquebedingte Gingivitis die am häufigsten Vorkommende (Micheelis und Reich, 1999).

Vereinfacht lässt sich sagen, dass es durch mangelnde Mundhygiene zu einer Plaqueanlagerung im supragingivalen Bereich kommt, was eine Gingivitis zur Folge haben kann. Wenn die Plaque nicht mechanisch entfernt wird, wächst sie weiter Richtung apikal und bildet so eine Zahnfleischtasche. Durch Mineralien des Speichels oder des Gingivaexsudats kann die Plaque mineralisieren und wird so zu subgingivalem Zahnstein. In der parodontalen Tasche können sich nun pathogene Mikroorganismen ansiedeln, die den Knochen und das Parodont schädigen und zu einer akuten Parodontitis führen können (Müller, 2006).

Ziel der Behandlung einer Solchen ist die Wiederherstellung eines gesunden Parodonts. Dies gelingt allerdings nur unter aktiver Mitarbeit des Patienten, da dieser die tägliche Pflege zu Hause durchführen muss und so für eine Plaque- und Keimreduzierung in der Mundhöhle sorgt (Rateitschak KH, 2012).

Dabei konnten Zusammenhänge zwischen Plaque und Gingivitis schon im Kindesalter nachgewiesen werden (Chiapinotto et al., 2013).

1.2.6 Mundgesundheit und Zahnheilkunde

Eine gesunde Ernährung, die Anwendung von Fluoriden in Speisesalz, Zahnpasten, Trinkwasser etc. sowie eine solide Mundhygiene sind die allgemein anerkannten „Pfeiler der Kariesprophylaxe“. Ferner sind die Versiegelung von Zahnfissuren sowie regelmäßige Kontrolluntersuchungen beim Zahnarzt zu nennen (Featherstone, 2000; Attin, 2009).

Darüber hinaus konnte in diversen Studien die Wirksamkeit einer professionellen Zahnreinigung bestätigt werden (Axelsson et al., 2004).

Zu den wichtigsten Hilfsmitteln der täglichen Prophylaxe zählen die Zahnbürste, Zahnpasta, Zahnseide und Mundduschen.

Zur rein kieferorthopädischen Prophylaxe gehören u.a. das frühzeitige Erkennen und Abstellen von schädlichen Angewohnheiten (Habits) wie zum Beispiel Dauermennuckeln, Schnullern oder auch ein pathologisches/ viszerales Schluckmuster (Reichenbach, 1955; Harzer, 1999).

Darüber hinaus sollte bei frühzeitigem Milchzahnverlust ein festsitzender oder herausnehmbarer Lückhalter eingesetzt werden, da es sonst zum Platzverlust (Stützzoneeinbruch) im jeweiligen Kiefer kommen kann (Noeke, 1987).

Dieser wiederum kann Zahnstellungsanomalien wie Engstände und Platzmangel im Front- und Seitenzahnbereich begünstigen (Nötzel und Schultz 2009).

1.2.7 Mundgesundheit und Kieferorthopädie

Schon Anfang der 50er Jahre beschäftigten sich viele Autoren mit den Zusammenhängen zwischen Engständen und Parodontalerkrankungen bzw. Karies, welche von Anfang an kontrovers diskutiert wurden. So konnte zum Beispiel Shaw in einem der ersten Reviews im Jahre 1980 weder eine positive noch eine negative Korrelation bestätigen. Vielmehr erachtete er es prinzipiell als schwierig, die Rolle des Engstands bei der Kariesentstehung herauszustellen (Shaw et al., 1980).

Zwanzig Jahre später stellte Diedrich „drei Hauptaspekte [für] die parodontale Relevanz eines frontalen oder seitlichen Engstandes“ heraus: „1. Hygienefähigkeit/ Plaqueretention, 2. veränderte Topographie von Gingiva, Septum und orofazialen Alveolarknochen und 3. Parodontaltherapie (Scaling, Wurzelglättung, regenerative Verfahren)“ (Diedrich, 2000).

Doch weder er, noch andere Studien der jüngeren Vergangenheit konnten bisher eine eindeutige Aussage zum Zusammenhang zwischen einem Engstand, seiner kieferorthopädischen Behandlung und deren Rolle für die Mundgesundheit treffen.

Am Beispiel der Behandlung einer Kontaktpunktabweichung im Seitenzahnbereich soll in dieser Arbeit untersucht werden, inwieweit diese kieferorthopädische Therapie die Mundhygiene positiv beeinflussen kann. Die konkrete Fragestellung lautet: Können dystopisch stehende Zähne nach der Einordnung in die Zahnreihe besser von Plaque befreit werden? Da Plaque eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Karies, Gingivitis und Parodontitis spielt, müsste sich die Mundgesundheit durch eine konsequentere Entfernung langfristig verbessern lassen.

1.3 Fragestellung/ Ziel der Arbeit:

In der vorliegenden Arbeit sollten folgende vier Fragestellungen untersucht werden:

1. Ist die Menge an Ablagerungen auf Modellen behandelter Kiefer nach einem Putzvorgang geringer als auf Modellen unbehauelter Kiefer?
2. Nimmt die Restplaquemenge mit der Ausprägung des Engstands zu?
3. Gibt es einen Unterschied zwischen Männern und Frauen?
4. Ist der Engstand mit zunehmendem Alter auch zunehmend ausgeprägter und steigt demzufolge auch die Restplaquemenge?

2 Material und Methode

2.1 Ethik und Datenschutz

Die vorliegende Studie wurde unter den Prinzipien der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

Die Patientendaten wurden entsprechend des Handbuchs für Datenschutz des Universitätsklinikums Münster verarbeitet.

2.2 Patientenfälle

Es wurden Anfangs- und Schlussmodelle von Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten in Münster begutachtet, welche zuvor kieferorthopädisch behandelt worden waren.

2.2.1 Inklusionskriterien

- Die Unterlagen mussten vollständig vorliegen.
- Die Zähne 23, 24, 25 und 26 mussten schon auf den Anfangsmodellen vollständig durchgebrochen sein.
- Die Patientenfälle wurden ausschließlich mit einer reinen Multibracket-Apparatur therapiert.
- Die Patientenfälle mussten mit einer Angle Klasse I, fehlenden Engständen sowie einem physiologischen Overjet und Overbite abgeschlossen sein.

2.2.2 Exklusionskriterien

- Patientenfälle, bei denen Teilapparaturen oder herausnehmbare Geräte zum Einsatz gekommen waren, wurden exkludiert.

- Syndrome und andere kraniofaziale Anomalien sowie Zahnanomalien wurden exkludiert.
- Behandlungsabbrüche wurden exkludiert.

Die weitere Inklusion wurde mit einer eigens entwickelten Schablone (vgl. Abb. 1) durchgeführt, die einen Idealbogen in verschiedenen Größen (Abstände jeweils 1 mm) abbildet. Mit dieser konnte nun für jedes Modell der passende Bogendurchmesser ermittelt werden, um dann die Kontaktpunktabweichungen zwischen jeweils benachbarten Zähnen anhand der verschiedenen Bogengrößen abzulesen.

Um einen ausreichenden Effekt beurteilen zu können, wurden nur solche Fälle inkludiert, bei denen eine Abweichung von mindestens 3 mm vorlag.

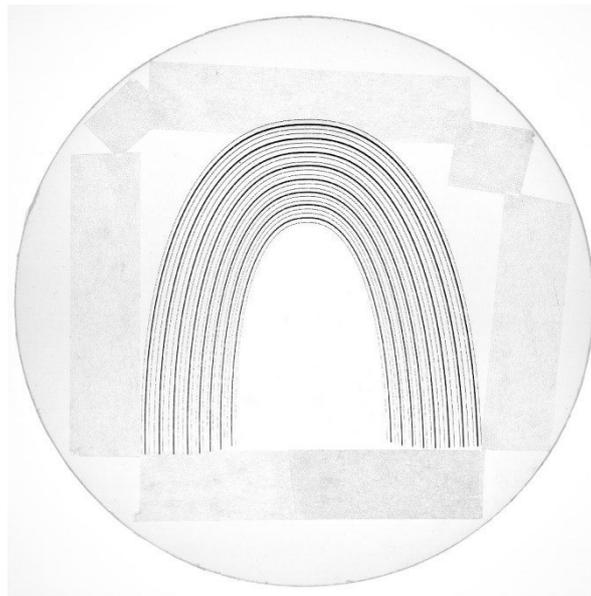


Abbildung 1: Bogenschablone zur Bestimmung der Kontaktpunktabweichung. Die Abstände zwischen den einzelnen Bögen betragen jeweils 1 mm, so dass nach optischer Ermittlung der Idealbogenform die Abweichung des am weitesten von der Idealform abweichenden Zahnes gemessen werden kann.

Nach der Vorauswahl wurde die definitive Kontaktpunktabweichung mit einer modifizierten Segmentanalyse nach Lundström bestimmt (Eckzahn bis 1. Molar

des 2. Quadranten), welche sich nur auf den in dieser Arbeit betrachteten Bereich beschränkte (Lundström, 1955).

2.3 Segmentanalyse nach Lundström

Die Platzanalyse nach Lundström wird nur im permanenten Gebiss angewandt, da sie primär zur Bestimmung des Verhältnisses von Zahn- zu Kiefergröße herangezogen wird (Lundström, 1955).

Dabei wird der Kiefer in sechs Segmente unterteilt (vom 1. Molar bis 1. Molar). Diese werden zwischen den Kontaktpunkten der benachbarten Zähne gemessen und in Relation zu den Einzelzahnbreiten (jeweils größter mesio-distaler Durchmesser) gesetzt. So kann ermittelt werden, ob die einzelnen Zähne genug Platz auf dem Kieferkamm haben oder ob eine Diskrepanz zwischen Zahn- und Kiefergröße vorliegt (Lundström, 1955).

Da im Rahmen dieser Arbeit der Fokus auf den Seitenzähnen und für diese exemplarisch auf dem zweiten Quadranten lag, wurden 2 Segmente (1. Molar-2. Prämolare und 1. Prämolare-Eckzahn) gemessen und in Relation zu den Einzelzahnbreiten gesetzt. Für die Einschlusskriterien war es dabei relevant, dass eine Diskrepanz von mindestens 0,5 mm vorlag.

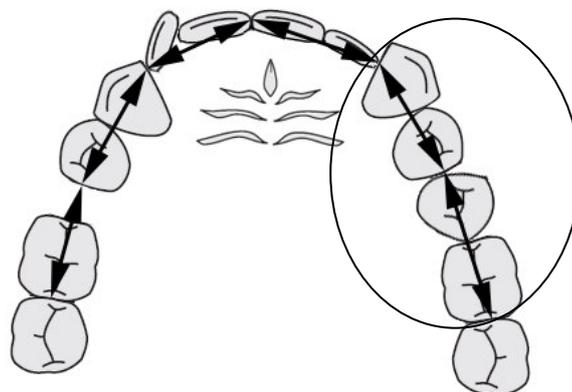


Abbildung 2: Segmentanalyse nach Lundström

2.4 Doublierung und Lackierung der Modelle

Es wurden jeweils die Oberkiefermodelle (sowohl Anfangs- als auch Schlussmodell) mit Alginat (Tetrachrom, Kanidenta GmbH, Herford) doubliert und mit Modellhartgips (Moldano® weiss, Heraeus Kulzer GmbH, Hanau) ausgegossen.

Anforderung an jedes Modell war eine glatte, blasenfreie Oberfläche sowie eine exakte Detailwiedergabe der Dentition.

Danach wurden die Modelle mit schwarzem Lack (DuPont™, IMRON®Industry, Pur Activator EV313; DuPont™, IMRON®Industry, Imronel RAL9005-GL, tiefschwarz (Mischverhältnis 1:2)) lackiert und drei Tage getrocknet.



Abbildung 3: Doubliertes Modell mit Lack beschichtet

2.5 Einartikulierung der Modelle

Um sowohl für den späteren Putzvorgang als auch für die Fotografie eine definierte dreidimensionale Orientierung der Modelle zu gewährleisten, wurden diese mithilfe einer auf den Putzroboter (RV-E4NM, Mitsubishi Electric Europe, Ratingen, Germany) abgestimmten Einartikulationshilfe auf einer Sockelplatte (SAM Präzisionstechnik GmbH, Gauting, Germany) befestigt. In diese Sockelplatte wurde ein Magnet eingearbeitet, mit dessen Hilfe das Modell später mit dem entsprechenden Gegenstück am Putzroboter verbunden werden konnte.

Wie auf Abb. 2 zu erkennen ist, wurden die Modelle mit Hilfe des weißen Kunststoffblocks so eingestellt, dass dieser immer zwischen dem Eckzahn und dem ersten Prämolaren platziert wurde. Ferner wurde der 1. Molar in maximalen Kontakt mit dem gelben Kunststoffstop gebracht.



Abbildung 4: Einartikulationshilfe mit eingesetztem Modell. Der weiße Kunststoffstop zeigt immer zwischen die Zähne 23 und 24. Des Weiteren liegt der gelbe Stop dem Zahn 26 maximal an. So wird gewährleistet, dass alle Modelle in exakt derselben Position einartikuliert sind.

2.6 Beschichtung der Modelle mit dem Plaqueersatzstoff

Um die Beschichtung mit Plaque zu simulieren, wurden die Gipsmodelle mit einem Gemisch aus Titanoxyd Pulver (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) und Ethanol 26 Vol.-% (Mischverhältnis 1:3), beschichtet. Das angerührte Gemisch wurde, um eine homogene Durchmischung zu gewährleisten, für 24 Stunden auf einem Ultraschallrüttler durchmischt. Zum Auftragen des Plaqueäquivalents auf die Modelle wurde eine „Airbrush-Spritzpistole“ (Revell GmbH, Bünde, Germany) benutzt mit der sie aus einer Entfernung von 20 cm besprüht wurden. Diese Methode ist von Imfeld et al. übernommen worden.

Sie ist leicht reproduzierbar und stellt in Verbindung mit dem zuvor applizierten Lack einen höchstmöglichen Kontrast dar, der für die Fotodokumentation und die spätere Auswertung am Computer wichtig ist.

Nach weiteren 24 Stunden war die Titan-Dioxid Beschichtung soweit getrocknet, dass mit dem Putzvorgang begonnen werden konnte.



Abbildung 5: Modell mit Titan-Dioxyd beschichtet

2.7 Die Zahnbürste

Für den Putzvorgang in dieser Studie wurde die Oral-B CrossAction® (Procter & Gamble Service GmbH, Schwalbach am Taunus, Germany) Zahnbürste verwendet, da deren Effektivität bereits in diversen Studien untersucht und bestätigt wurde (Sharma et al., 2000; Beals et al., 2000).

Die Vorteile der Oral-B CrossAction® liegen darin, dass die Borsten in einem Winkel von 16° zur horizontalen Achse des Bürstenkopfes stehen, was beim Putzen einen günstigen Winkel zur Zahnoberfläche gewährleisten soll. Die Borstenbüschel sind dabei so angeordnet, dass der Kontakt zur Zahnoberfläche möglichst groß ist und sich die einzelnen Borsten möglichst wenig gegenseitig berühren. Durch die spezielle Anordnung der Borsten sollen vor allem schwierig zu erreichende Bereiche wie die Approximalräume und der Gingivasaum gut gereinigt werden können.

So kann grade im Bereich der Prämolaren und Molaren eine größere Menge an Plaque entfernt, und damit das Risiko einer Gingivitis minimiert werden (Cugini and Warren, 2006).



Abbildung 6: Bürstenkopf Oral-B CrossAction®

2.8 Simulation der robotergesteuerten Plaqueentfernung

Das Robotersystem der Firma Mitsubishi Electric (RV-E4NM, Mitsubishi Electric Europe, Ratingen, Germany) besteht aus einem Roboterarm, einem Steuergerät und einer sogenannten Teaching Box. Der Roboter hat sechs Freiheitsgrade, welche durch sechs Rotationsachsen charakterisiert sind. Damit kann er sich in allen drei Raumebenen flexibel bewegen. Da es sich bei dem Roboter um einen gewöhnlichen Industrieroboter handelt, musste er zunächst auf die Anforderungen für die zahnmedizinische Forschung zugeschnitten und programmiert werden. Das Verfahren dazu entwickelte Duda 2001 in seiner Dissertation „Entwicklung eines computer- und robotergestützten Arbeitsplatzes zur standardisierten Untersuchung der Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten“. Ziel war es den Roboter so zu programmieren, dass er ein zahnärztliches Modell unter Verwendung verschiedener Putztechniken, allerdings unter besonderem Augenmerk auf die modifizierte Bass-Technik, reinigen konnte (Duda, 2001).

In der vorliegenden Arbeit wurde ebenfalls die modifizierte Bass-Technik ausgewählt, da sich diese in zahlreichen Studien bewährt hat (Nassar et al., 2013b; Patil et al., 2014; Smutkeeree et al., 2011).

Bei der Programmierung wurde der Bürstenmittelpunkt genau auf den Gingivasaum gelegt, um zu gewährleisten, dass die eine Hälfte des Borstenfeldes auf dem Zahnfleisch und die andere auf der Zahnoberfläche zu liegen kommt.

Da für die Umsetzung der Bass-Technik am Roboter eine Kreisbewegung nötig ist, wurden an jedem Zahn der apikalste, der zervikalste sowie der mesialste und der distalste Punkt angefahren.

Aus diesen vier Positionen konnte nun mit Hilfe des Computers die entsprechende Kreisbewegung errechnet werden. Der Zyklus wurde so eingestellt, dass jeder Zahn zehn Mal geputzt wurde. Der gesamte Putzvorgang bestand also aus insgesamt 40 Kreisbewegungen. Frühere Versuche zeigten, dass diese Anzahl von Zyklen nötig ist, um alle Bereiche, die durch den Roboter erreicht werden können, ausreichend von Plaque zu befreien (Duda, 2001).

Nach der Programmierung wurde das Putzprogramm vom Computer auf den Roboter überspielt und unter einem der neun möglichen Speicherplätze abgelegt.

Die allgemeine Positionierungsgenauigkeit des Roboters gibt der Hersteller mit $\pm 0,03$ mm an, was Duda durch verschiedene Tests bestätigen konnte (Duda, 2001).

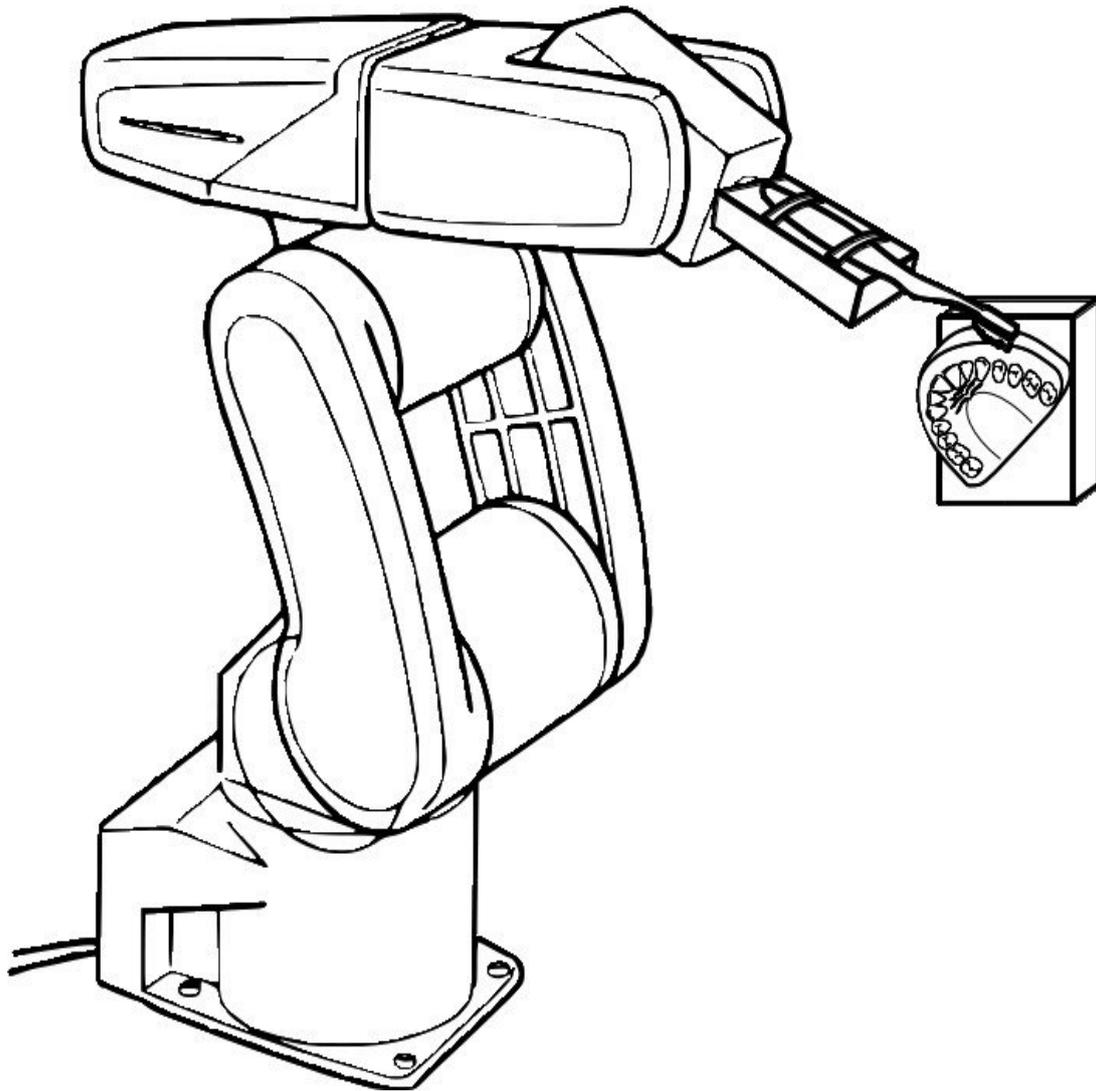


Abbildung 7: Der Putzroboter kann sich durch seine sechs Achsen in allen drei Raumbenen bewegen. An seinem Vorderarm ist über ein Magnetsystem und eine eigens entwickelte Halterung die Zahnbürste angebracht, welche im 45° Winkel auf das Modell trifft, um die Bass-Technik zu simulieren. Während des Putzvorgangs beschreibt der gesamte Arm des Roboters kreisende Bewegungen und befreit so das eingespannte Modell vom Plaqueersatzstoff.

2.9 Die Positionierung der Zahnbürste

Um eine exakt reproduzierbare Position der Zahnbürste zu erreichen, wurde für den Griff eine individuelle Halterung aus Palapress® (Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) angefertigt, die exakt auf die Form und Beschaffenheit der Oral-B CrossAction abgestimmt war.

Die Basisposition dieser Halterung wurde durch Einartikulieren mit dem Splitcast-System Splitex® (Amann Girrbach GmbH, Pforzheim, Deutschland) sichergestellt, wobei das Befestigen am Roboter – wie bei den Modellen auch – über einen eingebauten Magneten durchgeführt werden konnte.

Die Zahnbürste selber wurde über einen Kabelbinder mit der Halterung verbunden, welcher bei jedem Wechsel der Bürste erneuert wurde, um ein Verrutschen zu verhindern.

2.10 Der Putzvorgang am Roboter

Die Modelle wurden nun in sieben Durchgängen nacheinander dem Putzvorgang unterzogen. Dabei war für eine Putzeinheit die Dauer von 48 Sekunden festgelegt.

Um Verfälschungen durch eventuell abgeknickte Borsten oder generelle Materialabnutzung zu vermeiden wurde die Zahnbürste nach jedem Durchgang ausgetauscht.

Um den Anpressdruck überprüfen zu können wurde der Modellsockel auf eine Waage gesetzt auf der permanent der aktuell durch den Roboter ausgelöste Druck auf das Modell abzulesen war.

Bei Bedarf konnte durch Anbringen oder Reduzieren der Gewichte am Roboterarm der Anpressdruck verändert werden.

Es wurde für alle Versuchsreihen ein Anpressdruck von 2,5 N eingestellt (Ichinohe et al., 1987).

Nachdem der Putzvorgang gestartet wurde, begann die Zahnbürste - in der eingestellten modifizierten Basstechnik - distal am ersten Molaren beginnend die Zahnreihe abzufahren bis sie am Eckzahn angelangt war. Nachdem dieser den Putzvorgang durchlaufen hatte, stoppte das Programm automatisch und das Modell konnte von der Sockelplatte gelöst werden.

Direkt nach der Plaqueentfernung wurden die Modelle fotografiert.



Abbildung 8: Modell nach dem Putzvorgang

2.11 Die Fotografie

Um eine exakte Reproduzierbarkeit des Abstands und des Winkels zwischen Kamera und Modell zu erreichen, wurde eine Matrize des Splitex® Systems auf einer Holzplatte festgeschraubt und ihr gegenüber eine Halterung montiert, an der die Kamera eingespannt werden konnte.



Abbildung 9: Das geputzte Modell ist über ein Magnetsystem auf der Holzplatte fixiert, die Kamera rastet über einen Klickmechanismus ein. So wird gewährleistet, dass die Fotos immer im selben Winkel und derselben Perspektive aufgenommen werden.

Um Verfälschungen durch unterschiedliche Lichtverhältnisse zu verschiedenen Tageszeiten auszuschließen, wurde der Raum abgedunkelt und die Modelle von zwei Dulux-Lampen (Osram Dulux, Osram Licht AG, München) mit je 11 Watt beleuchtet. Zur Vermeidung von Reflektionen auf dem schwarzen Lack wurde auf Blitzlicht ganz verzichtet.

Die Belichtungszeit der Nikon D 200 (Nikon Corporation, Tokio, Japan) wurde auf 1.3 sec und die Blende auf 45 eingestellt. Um Verwackelungen zu vermeiden, wurden die Fotos im Selbstauslösemodus aufgenommen.

Die Fotografien wurden digital eingelesen und in die Bildanalyse-software (PicEd Cora®, JOMESA Messsysteme GmbH, Ismaning) eingefügt.

Die Restplaquemenge auf den Modellen, die die Situation zu Behandlungsbeginn darstellen, wurde mit der Restplaquemenge auf den Modellen nach Behandlungsabschluss in prozentuale Relation gesetzt.

Dabei wurde davon ausgegangen, dass ein rein schwarzes Modell zu 100 % sauber und ein rein weißes Modell zu 100 % mit Plaque bedeckt war. Dieser Zyklus wurde für alle Modelle 7 Mal wiederholt. Nach der statistischen Auswertung wurden die Modelle unter Wasserdampf per Hand gereinigt, getrocknet und erneut mit Titan-dioxid beschichtet.

Abbildung 10 und 11 zeigen am Beispiel eines palatinal stehenden 2. Prämolaren, der in der kieferorthopädischen Behandlung nach bukkal bewegt wurde, den deutlichen Unterschied der Restplaquemenge zwischen Anfangs- und Schlussmodell.

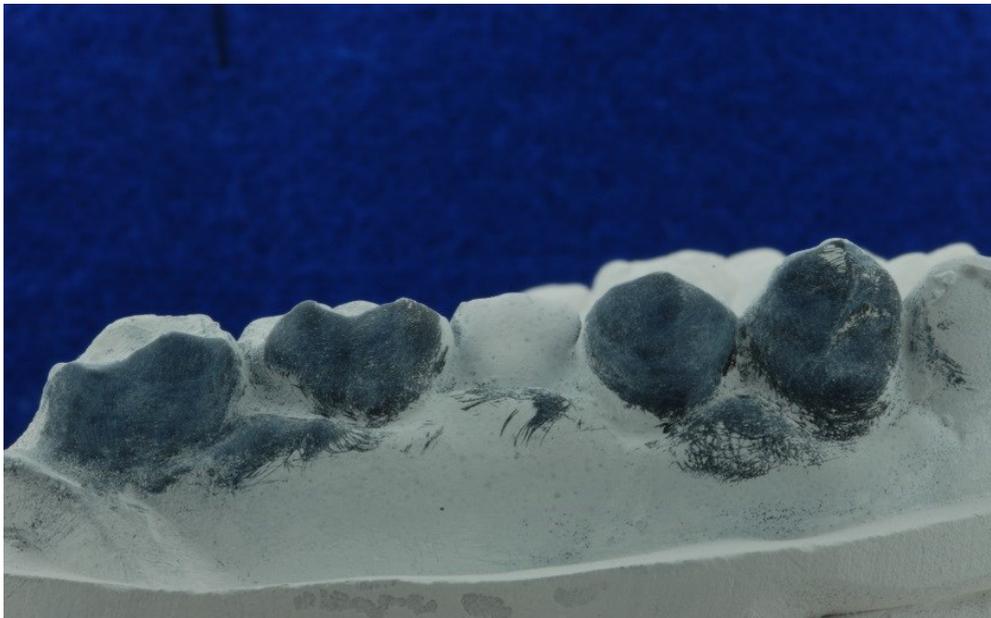


Abbildung 10: Unbehandeltes Modell mit deutlich palatinal stehendem Zahn 25, der noch komplett von weißem Plaqueersatzstoff benetzt ist.

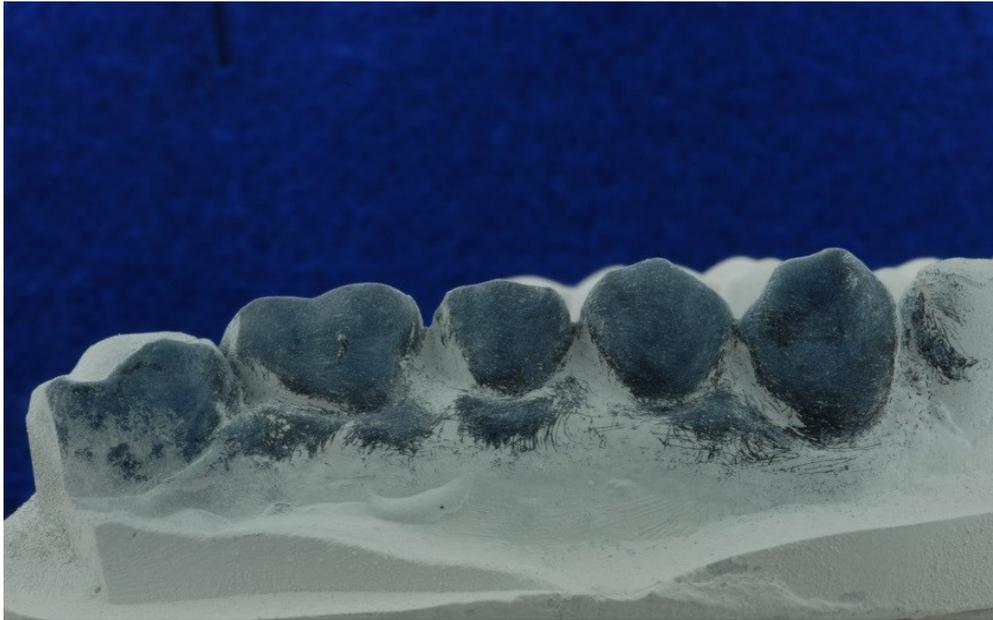


Abbildung 11: Behandeltes Modell, Zahn 25 wurde nach bukkal bewegt und in die Zahnreihe eingefügt. Dies hatte zur Folge, dass die die Zahnbürste deutlich mehr Plaqueersatzstoff entfernen konnte.

2.12 Auswertung der Fotografien mit PicEd Cora ®

Um einen ausreichend großen Bildausschnitt sehen zu können, wurde die „Ansicht“ nach dem Einlesen der Bilder auf 50 % reduziert.

Anschließend wurde eine Fläche definiert, die sich vom Kontaktpunkt zwischen lateralem Inzisivus und dem Eckzahn bis distal des Sechsjahrmolaren erstreckte. Um in jeder Testreihe exakt denselben Bereich auszuwerten, wurden die für jedes Modell individuell erstellten Masken gespeichert.

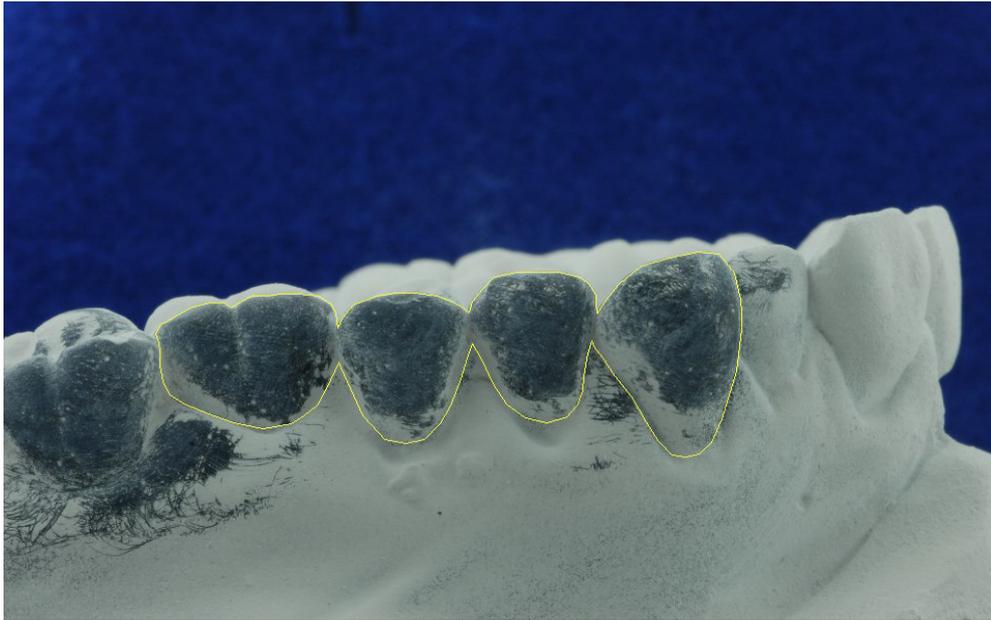


Abbildung 12: Gelb dargestellt: Definierte Maske, die für jedes einzelne Modell erstellt und gespeichert wurde und bei jeder der sieben Versuchsreihen über das Foto gelegt werden konnte, so dass gewährleistet war, dass immer derselbe Bereich ausgewertet wurde.

Im nächsten Schritt wurde der Kontrast zwischen geputzter (schwarzer) und von „Restplaque“ bedeckter (weißer) Fläche um 30 % gesteigert. Diese Werte sind den Versuchen von Baldys entnommen, welcher für diesen Bereich die besten Kontrastwerte ermitteln konnte (Baldys, 2007).

Im letzten Schritt fand die eigentliche Auswertung statt. Dazu wurde die weiße Restplaquemenge in ein direktes Verhältnis zur schwarzen, geputzten Fläche gesetzt. So konnte abschließend der prozentuale Anteil der Plaque an der Gesamtfläche errechnet werden.

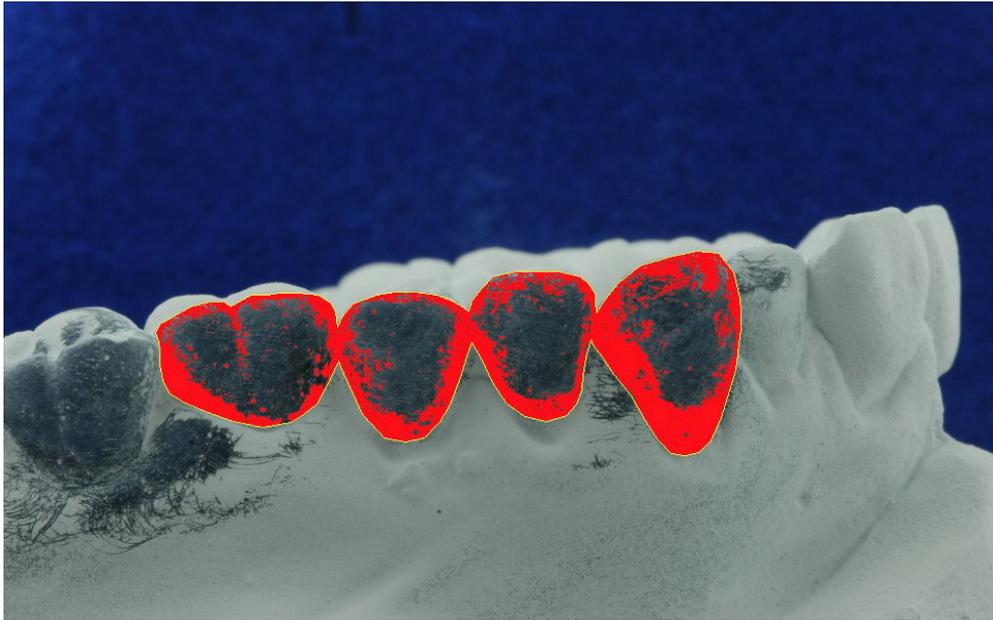


Abbildung 13: Rot dargestellt: Über den Kontrast bestimmte Restplaquemenge aus Titandioxid. Der schwarze Bereich galt als sauber. Die rote und die schwarze Fläche konnten nun Bezug zueinander gesetzt werden, so dass das prozentuale Verhältnis der Restplaquemenge im Verhältnis zur Gesamtfläche (gelbe Umrandung) bestimmt werden konnte.

Die Differenz zwischen den beiden Gruppen (Modelle vor und nach der Behandlung) ergab das Ergebnis der Untersuchung.

2.13 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS Statistics® (IBM Corp. Released 2010. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 19.0. Armonk, NY: IBM Corp.). Die einzelnen Versuchsreihen wurden als gepaarte Stichproben mit dem t-Test für unabhängige Stichproben ausgewertet. Resultate mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,001$ wurden hochsignifikant gewertet, die allgemeine Signifikanz wurde für $p < 0,05$ festgelegt (Sachs, 1997).

3 Ergebnisse

3.1 Patientengruppe

Unter Anwendung der In- und Exklusionskriterien wurden insgesamt 28 Patientenfälle in die Untersuchung aufgenommen.

Für jeden Patienten lag ein Anfangs- und ein Schlussmodell vor, welches jeweils siebenmal den Versuchsablauf durchlief. Daraus resultierte eine Gesamtzahl von 392 zu analysierenden Fotografien.

Bei den Voruntersuchungen mit der eigens entwickelten Schablone (vgl. Abb.1) betrug die Kontaktpunktabweichung im Durchschnitt 4,57 mm, bei einem Höchstwert von 9 mm. Der niedrigste Wert lag den zugrunde liegenden Inklusionskriterien zufolge bei 3 mm.

Die anschließend durchgeführte modifizierte Segmentanalyse nach Lundström ergab einen Höchstwert von -5 mm und einen Minimalwert von -0,5 mm. Im Durchschnitt betrug das Ausmaß des Platzmangels -1,66 mm.

Der jüngste Patient war zum Zeitpunkt der Behandlungsaufnahme 11 Jahre, der älteste 53 Jahre alt. Das Durchschnittsalter betrug 22,75 Jahre. 15 Patienten waren weiblich und 13 waren männlich.

3.2 Restplaquemenge in Abhängigkeit von der kieferorthopädischen Behandlung

Zur Beurteilung der Frage, ob die Auflösung eines Platzmangels durch eine kieferorthopädische Behandlung dazu führt, dass nach dem Putzvorgang auf den Schlussmodellen (SM) weniger Restplaque verbleibt als auf den Anfangsmodellen (AM) wurde zunächst jede der sieben Versuchsreihen für sich untersucht und anschließend nochmal der Mittelwert über alle sieben Versuchsreihen gebildet.

In der ersten Reihe konnte auf den AMs eine durchschnittliche Restplaquemenge von 12.9 % gefunden werden, während auf den SMs noch eine restliche Plaque von 10.1 % zurückblieb. Dies entspricht einer Abnahme der Restplaque um 28.3 % auf den Schlussmodellen ($p < 0,05$).

In der zweiten Versuchsreihe lag auf den AMs eine Restplaque von 21.3 % und auf den SMs von 16.7 % vor. Damit war auf den SMs 28.1 % weniger Plaque vorhanden als auf den AMs ($p < 0,05$).

Für die dritte Versuchsreihe konnte auf den AMs ein Wert von 19.1 % und auf den SMs ein Wert von 16.7 % gemessen werden. Die Restplaquemenge war auf den SMs damit um 14.4 % geringer als auf den AMs ($p > 0,05$).

In der vierten Reihe zeigte sich für die AMs ein Wert von 20.5 % und für die SMs von 15.9 %. In der Gegenüberstellung ergab dies, dass auf den SMs 28.8 % weniger Restplaque vorhanden war ($p < 0,01$).

Die fünfte Reihe ergab für die AMs eine Restplaquemenge von 22.0 % und für die SMs von 17.4 %. Daraus ergab sich eine Diskrepanz von 26.5 % zugunsten der AMs ($p < 0,01$).

In der sechsten Versuchsreihe konnte auf den AMs eine Restplaquemenge von 26.1 % und auf den SMs von 20.1 % gemessen werden. Dies entspricht einer Reduzierung der Plaque auf den SMs von 29.8 % ($p < 0,01$).

In der letzten Reihe konnte für die AMs ein Wert von 28.8 % und für die SMs ein Wert von 24.9 % ermittelt werden. Auf den SMs war demzufolge 15.6 % weniger Restplaque vorhanden ($p < 0,05$).

Tabelle 1 fasst die Differenz der Restplaquemenge von Anfangs- und Schlussmodell der einzelnen Reihen zusammen:

Tabelle 1: Differenz der Restplaquemenge auf den Anfangs- und Schlussmodellen für alle 7 Versuchsreihen in %. In der letzten Reihe sind die p-Werte der einzelnen Reihen angegeben.

Patient	Versuchsreihe						
	1	2	3	4	5	6	7
1	3,05	-4,99	-5,58	2,2	-5,4	-6,5	-4
2	-1,79	-1,8	-0,28	-1,21	-2,89	1,3	0,3
3	-1,26	-8,08	-7,38	-1,53	-6,08	-2,64	-9,3
4	-3,07	-0,3	-3,1	0,08	-12,4	1,6	0,6
5	3,67	8,4	4,4	0,49	-8	5,3	3,6
6	-8,25	-8,35	-4,53	-5,58	-5,73	-0,1	-8,3
7	-1,55	6,8	3,32	2	-5	-10,1	-0,3
8	-10,71	-2,9	-7,6	-2,8	-2,2	-3,5	-9,7
9	9,4	8,4	8,1	5,9	1,5	-2	8,8
10	-16,17	-24,4	-15,9	-23,3	-18,7	-26,8	-1,1
11	3,9	1,9	2,72	6,19	-0,9	-5,7	2,1
12	-14,9	-13,7	-16,7	-12,9	-14,3	-24,66	-14,1
13	0,1	5,3	4,7	-2,5	-4,9	5,9	5,2
14	4,08	-1,9	7,9	0	16,8	-13,2	5,5
15	0,9	-5	-7,1	-8,4	-10,1	-11,2	8,8
16	-5,6	1,5	-1,1	-11,3	-7,6	-6	-5,1
17	3,16	-9,5	4,7	1,3	-1,5	0,7	-15,3
18	-1	-7,7	-3,1	-2,3	-4	-6,4	-0,9
19	6,4	6,9	12,4	5,5	6,1	11,1	-2,9
20	-4,7	-0,2	1,7	-2,3	1,8	6,8	-0,3
21	4,51	-5,3	-4,5	-9,4	16,1	-18,7	-14,2
22	-6,41	-21,9	-13	-10,1	-0,41	-9,7	-12,8
23	-1,14	-8,8	-7,6	-15,8	-2,2	-7,9	-4,8
24	-8,45	-19,5	-7	-15,1	-24,79	-22,9	-14,8
25	-10,23	-4,9	-4,6	-7,1	-10,2	-11,1	-9,7
26	-12,9	-14,6	-4,6	-14,8	-7,4	-8,8	-13,7
27	-7,2	-1,7	-3,5	-3,4	-10,1	-2	-9,9
28	-3,8	-4,8	-0,3	-2,2	-6,7	-0,6	7,5
p	0,045	0,014	0,096	0,004	0,003	0,003	0,018

Es konnte festgestellt werden, dass bei 28,6 % der zu vergleichenden Befunde ein negativer Zusammenhang bestand, die AMs wiesen in diesen Fällen im Vergleich zu den SMs 13,9 % weniger Restplaque auf.

Für die restlichen 71,4 % der Modellpaare ergab sich eine positive Relation, wobei die AMs nach dem Putzvorgang durchschnittlich 41,5 % mehr Restplaque aufwiesen als die SMs.

Der Mittelwert über alle sieben Versuchsreihen ergab, dass auf den AMs durchschnittlich 21,5 % und auf den SMs 17,4 % Restplaque zu finden war. Dies entspricht einer Reduzierung auf den kieferorthopädisch behandelten Modellen um 23,6 % ($p < 0,01$).

Abbildung 14 zeigt die Mittelwerte der Restplaquemenge der einzelnen Versuchsreihen für jeden der sieben Putzvorgänge in %.

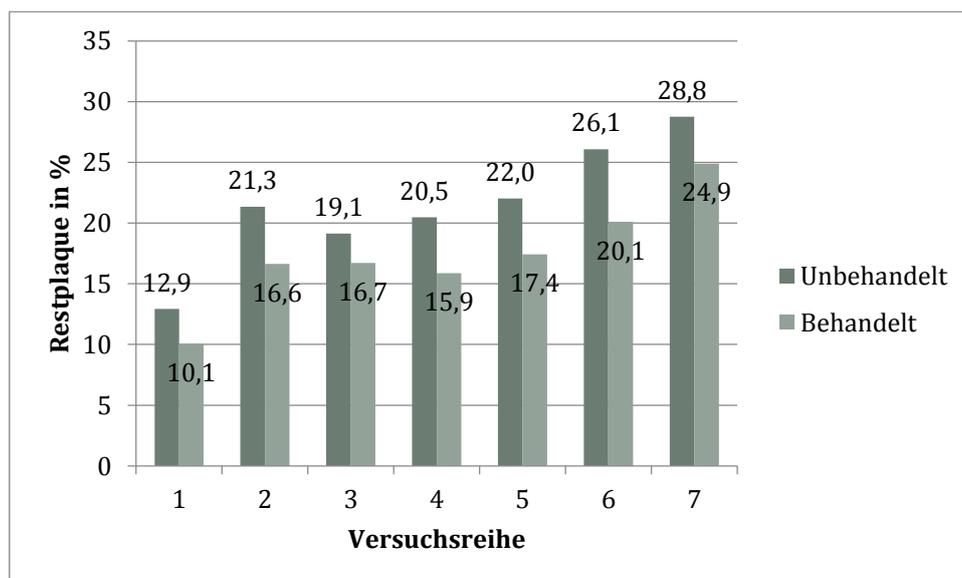


Abbildung 14: Mittelwerte aller Versuchsreihen

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Restplaquemenge mit zunehmenden Putzdurchläufen sowohl auf den Anfangs- als auch auf den Schlussmodellen stetig ansteigt.

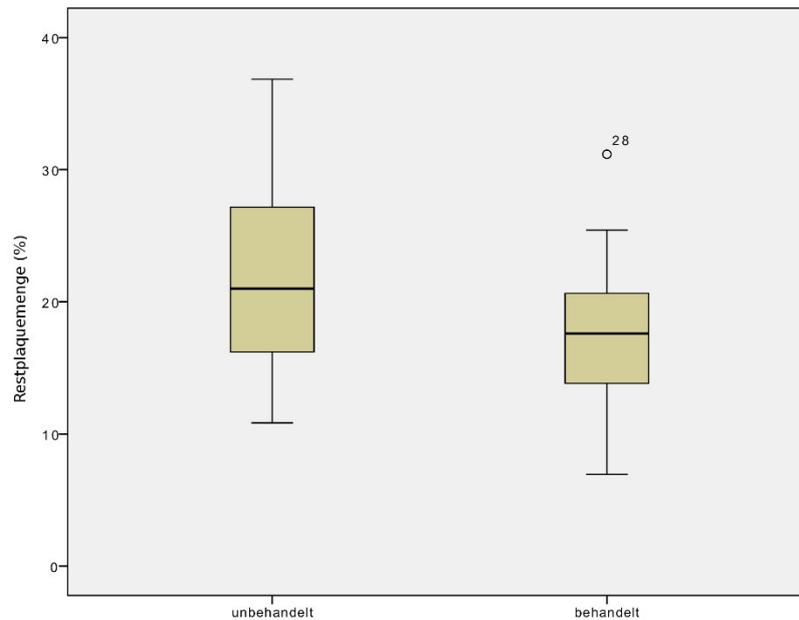


Abbildung 15: Vergleich der Restplaquemenge von Behandelten und Unbehandelten Modellen in %.

Abbildung 15 veranschaulicht, dass die Restplaquemenge von Unbehandelten zu Behandelten Modellen abnimmt. Die Streuung der Werte bei den unbehandelten Fällen ist größer als bei den Behandelten, der Median verschiebt sich.

Es kann also festgehalten werden, dass sowohl jede Versuchsreihe für sich (Ausnahme Versuchsreihe 3) als auch der über alle sieben Reihen gebildete Mittelwert eine signifikante Reduzierung der Restplaque auf den Schlussmodellen bestätigt.

3.3 Restplaquemenge in Abhängigkeit vom Engstand

Die Modelle wurden den Inklusionskriterien zufolge zunächst mit der eigens hergestellten Messschablone (vgl. Abb. 1) auf Kontaktpunktabweichungen voruntersucht und anschließend anhand dieser Werte in zwei Gruppen aufgeteilt. Als gering ausgeprägte Abweichung wurden solche Modelle gewertet, die eine Kontaktpunktabweichung bis zu 4 mm aufwiesen. Alle Fälle mit einer größeren Abweichung wurden als stark ausgeprägt klassifiziert.

Bei dem Vergleich der beiden Gruppen konnte festgestellt werden, dass die Gruppe mit den geringen Kontaktpunktabweichungen mit einer durchschnittlichen Menge

von 2,6 % deutlich weniger Restplaque aufwies als die Gruppe mit Abweichungen ≥ 4 mm (8,0 % Restplaque) ($p < 0,05$).

In einem weiteren Schritt wurde das Patientengut wieder in zwei Gruppen unterteilt, dieses Mal allerdings in Abhängigkeit der Ergebnisse aus der Lundströmanalyse. Als geringe Engstände wurden Fälle mit einem Platzdefizit von 0,5 mm bis 1 mm und als hochgradig Solche mit einem Defizit von größer als 1 mm eingestuft. Bei dem Vergleich der beiden Gruppen konnte festgestellt werden, dass die Gruppe mit dem geringen Engstand eine mittlere Restplaquemenge von 4,4 % aufwies, während die zweite Gruppe mit den stärker ausgeprägten Engständen auf durchschnittlich 3,9 % Restplaquemenge kam ($p > 0,05$).

Die Modelle, bei denen große Kontaktpunktabweichungen vorlagen, wiesen also nach dem Putzvorgang auch deutlich mehr Restplaque auf.

Die Modelle mit den stärkeren Engständen waren jedoch mit weniger Restplaque benetzt als die Modelle mit den geringen Engständen.

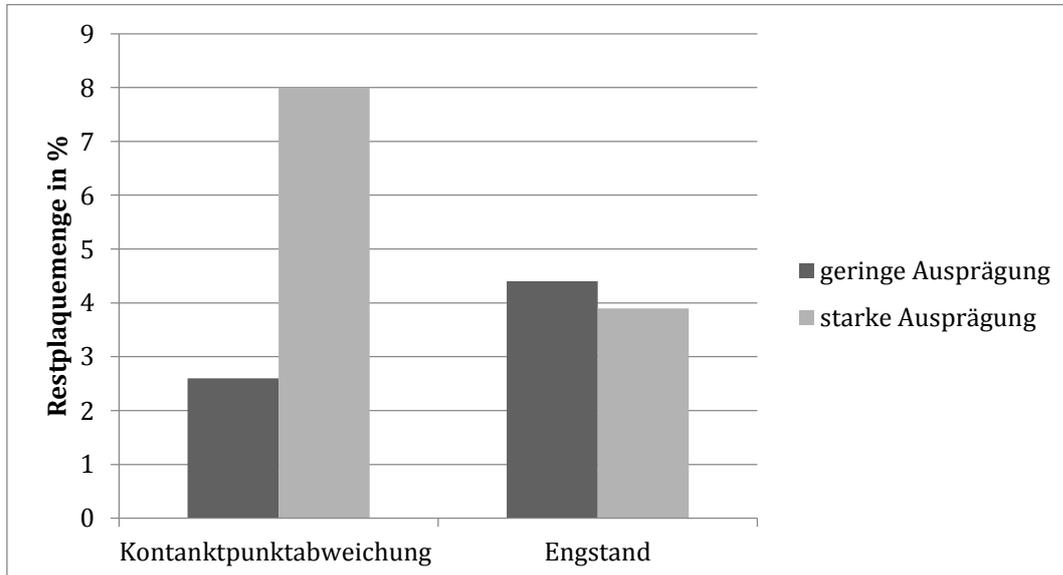


Abbildung 16 zeigt die ausgeprägten Unterschiede zwischen der Relation von Restplaque und Kontaktpunktabweichung und der Relation von Restplaque und Engstand.

3.4 Restplaquemenge in Abhängigkeit vom Geschlecht

Von den insgesamt 28 Modellpaaren waren n=13 von männlichen und n=15 von weiblichen Patienten.

Dabei ergab die Lundströmanalyse für die männlichen Patientenfälle einen durchschnittlichen Platzmangel von 2,12 mm, während für die weiblichen Fälle ein Durchschnittswert von 1,8 mm vorlag. Daraus resultierte, dass die männlichen Fälle im Schnitt 17,8% (bzw. 0,32 mm) mehr Platzmangel aufwiesen.

Ähnliche Ergebnisse konnten auch für die Restplaquemenge herausgestellt werden. Während sie für die weiblichen Fälle 2,5% betrug, lag sie für die männlichen Fälle mit 6,1% deutlich höher. Insgesamt konnte also für die männlichen Patientenfälle sowohl ein größerer Platzmangel als auch ein Mehr an Restplaque von 146,2% dokumentiert werden ($p>0,05$).

3.5 Restplaquemenge in Abhängigkeit vom Alter

Das Patientengut wurde in eine Jugendliche (Gruppe 1) von 11 bis 18 Jahren (n=13) und in eine Erwachsenenengruppe (Gruppe 2) von 20 bis 53 Jahren (n=15) unterteilt.

Dabei ergab die Lundströmanalyse für die Gruppe 1, dass diese mit durchschnittlich 2,42 mm Platzmangel 58,2% (bzw. 0,89 mm) mehr Engstand aufwies als Gruppe 2 (durchschnittlich 1,53 mm Platzmangel) ($p>0,05$).

Im Gegensatz dazu war die durchschnittliche Restplaquemenge in Gruppe 2 mit 4,4 % um 13,4 % höher als in Gruppe 1 (3,9%) ($p>0,05$).

Obwohl also in der jüngeren Gruppe das Ausmaß des Platzmangels größer war, wiesen die Modelle der Erwachsenenengruppe im Durchschnitt mehr Restplaque auf den Anfangsmodellen auf.

4 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit sollte überprüft werden, ob das Beseitigen einer seitlichen Kontaktpunktabweichung durch kieferorthopädische Maßnahmen einen positiven Einfluss auf die Plaqueentfernung in diesem Bereich hat.

Dazu wurden die Anfangs- und Schlussmodelle von 28 Patienten mit seitlichen Engständen, die eine kieferorthopädische Therapie erfahren haben, miteinander verglichen. Die einzelnen Modelle wurden doubliert und in sieben aufeinander folgenden Durchgängen mit einem Plaqueäquivalent aus Titandioxid benetzt, welches anschließend von einem Putzroboter entfernt wurde. Die verbliebene Restplaquemenge auf den Modellen vor der kieferorthopädischen Behandlung wurde mittels Computersoftware in Relation zu der Restplaquemenge auf den kieferorthopädisch behandelten Modellen gesetzt. Überprüft werden sollte, ob auf den Schlussmodellen signifikant weniger Restplaque vorhanden war als auf den Anfangsmodellen. Dies würde bedeuten, dass die Beseitigung der Kontaktpunktabweichung dazu geführt hat, dass die Zähne effektiver von Plaque befreit werden können und somit eine bessere Mundhygiene ermöglichen würde.

4.1 Methodenbedingte Grenzen

4.1.1 Beurteilung des Engstandes

Wie den Einschlusskriterien zu entnehmen ist, wurden nur solche Modelle inkludiert, die in der Vorauswahl eine Kontaktpunktabweichung $\geq 3\text{mm}$ aufwiesen. Da es bisher keine Vergleichsstudien gibt wurde bewusst darauf verzichtet auch Modelle mit geringeren Kontaktpunktabweichungen zu inkludieren, da zunächst überprüft werden sollte, ob überhaupt ein positiver Zusammenhang besteht.

4.1.2 Genauigkeit der Positionierungshilfe

Eine mögliche Fehlerquelle ist darin zu sehen, dass die Positionierungshilfe zum Einartikulieren der Modelle (vgl. Abb. 4) anhand von Studienmodellen der Firma KaVo (KaVo Dental GmbH, Biberach, Deutschland) mit Idealverzahnung entwickelt wurde. In der vorliegenden Arbeit wurden individuelle Patientenmodellen verwendet, so dass eine Abstimmung auf die Positionierungshilfe nicht hundertprozentig gewährleistet werden konnte. Da aber die Anfangs- und Schlussmodelle desselben Patienten in Relation gesetzt wurden, ist davon auszugehen, dass dieser mögliche Fehler sich im Sinne eines systematischen Fehlers gleichermaßen auf die prä- sowie auf die posttherapeutisch erstellten Modelle auswirkt.

4.1.3 Anatomische Unterschiede im Patientengut

Aus der immer gleichen Bewegungsabfolge des Roboterarms erwächst die Problematik einer fehlenden Abstimmung auf die jeweilige dentale Situation. Ein Patient ist in der Lage, Putzbewegungen auf eventuelle Fehlstellungen anzupassen und so beispielsweise auch im Engstand befindliche Zähne suffizient von Plaque zu befreien. Hierauf ist zu entgegnen, dass es gerade das Ziel der vorliegenden Arbeit war, solche Kompensationsmechanismen auszublenden und den reinen Einfluss dentaler Fehlstellungen zu quantifizieren.

Ferner kann aktuellen Untersuchungen von Lang et al. zufolge ein programmierter 6-Achsen-Roboter durchaus mit einem Patienten vergleichbare Putzwerte erreichen (Lang et al., 2014).

Weiterhin wurde ausschließlich der Seitenzahnbereich des 2. Quadranten, und dieser ausschließlich von bukkal, betrachtet. Einzuräumen ist, dass für andere Bereiche durchaus abweichende Ergebnisse vorstellbar sind. Die Wahl auf diese spezielle Region ist dadurch begründet, dass für diese bereits ein erprobter Versuchsaufbau vorlag. Auf den ersten Blick würde zum Beispiel eine Beurteilung der unteren Frontzähne sinnvoll erscheinen, da ein Engstand sich dort oft am ausgepräg-

testen darstellt. Die parabolische Form des Unterkiefers hätte es jedoch erforderlich gemacht für jeden Patienten eine eigene Putzabfolge zu programmieren, da die Zahnbogenform von der intercaninen Distanz abhängt, und diese bei jedem Patienten unterschiedlich ausgeprägt ist. Dies hätte in den Fällen, in denen die Zahnbogenbreite während der Therapie verändert wurde, sogar dazu geführt, dass für das jeweilige Anfangs- und Schlussmodell eine eigene Programmierung hätte stattfinden müssen. Die dadurch zusätzlich hervorgerufenen Variablen und ihre mögliche Auswirkung auf das Gesamtergebnis wären nicht zulässig zu quantifizieren gewesen.

4.1.4 Die Putztechnik

Es wurde als Putztechnik die modifizierte Basstechnik gewählt, da deren Effizienz in zahlreichen Studien belegt werden konnte. Sicherlich ist zu diskutieren, inwiefern diese Technik auch vom Patienten realisiert wird bzw. realisiert werden kann. Andere Zahnputztechniken, wie etwa das horizontale Schrubben oder einfache kreisende Bewegungen scheinen in der Bevölkerung weiter verbreitet zu sein, da die Basstechnik technisch als eher anspruchsvoll einzustufen ist (Ganss et al., 2009).

So konnten Ganss et al. in einer Studie aus dem Jahr 2009 zeigen, dass nur ca. 25% der Probanden die richtige Technik, Dauer und Anpressdruck beim Putzen ihrer Zähne aufbrachten. Fast 75% benutzten kreisende Bewegungen, ca. 9% verwendeten horizontales Schrubben. Die Bass-Technik oder ihre modifizierte Variante wurde hingegen gar nicht dokumentiert (Ganss et al., 2009).

Da es im vorliegenden Versuchsaufbau jedoch ausschließlich darum ging, die Anfangs- und Endmodelle möglichst effizient zu reinigen um sie danach in Relation setzen zu können, sind individuelle Faktoren wie etwa manuelles Geschick für die Beurteilung der Ergebnisse vernachlässigbar.

4.1.5 Der Putzroboter

Die Verwendung eines Putzroboters führt zu standardisierten Messreihen und Bewegungsabläufen.

Roboter wurden bereits mehrfach zur Ermittlung der Effektivität bei der Plaque-entfernung eingesetzt, wobei das Augenmerk vornehmlich auf dem Vergleich verschiedener Zahnbürsten lag (Driesen et al., 1998; Claydon et al., 2000; Renton-Harper et al., 2001).

In der Regel handelt es sich dabei um einfache Industrieroboter, die jeweils auf die zu vergleichenden bzw. zu testenden Medien zugeschnitten und modifiziert werden.

Neben dem Vergleich verschiedener Zahnbürsten wurden u.a. auch schon der Abrasionseffekt verschiedener Zahnpasten auf den Zahnschmelz oder der Langzeiteffekt von Bracketumfeldversiegelungen zur Verhinderung von white spot lesions untersucht (Wiegand et al., 2009).

4.1.6 Der Anpressdruck beim Putzvorgang

Durch die Verwendung eines Industrieroboters konnte auch der Anpressdruck standardisiert werden.

Der notwendige Anpressdruck der Zahnbürsten auf die Zähne wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Für die menschliche Mundhöhle werden Werte zwischen

1 Newton (N) und 4 N angegeben (Matsumo et al., 1985).

Dabei gilt ein Zusammenhang zwischen zu hohem Anpressdruck und einer Schädigung der Zahnhartsubstanz sowie der Gingiva als sehr wahrscheinlich (Wiegand und Schlueter, 2014).

Ichinohe et al. stellte heraus, dass für die Bass-Technik ein Anpressdruck zwischen 2 N und 3 N am sinnvollsten erscheint. Aufgrund dieser Anregungen wurde in die-

ser Arbeit ein durchschnittlicher Anpressdruck von 2,5 N gewählt (Ichinohe et al., 1987).

Wie Abbildung 14 deutlich zeigt, steigt die Restplaquemenge parallel zu den einzelnen Putzdurchläufen stetig an. Dies deutet darauf hin, dass die Putzeffizienz der Modelle möglicherweise mit steigenden Putzwiederholungen nachlässt.

Der Einfluss dieser Materialermüdung wirkte sich jedoch gleichermaßen auf die Anfangs- wie auch für die Schlussmodelle aus, sodass nicht von einem Fehler zu Gunsten einer Gruppe auszugehen ist.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegende Studie ist die erste ihrer Art, es gibt bis dato keine Studie welche die mechanische Plaquentfernung durch einen Roboter in Bezug auf den Zusammenhang zu Engständen vergleicht. Zum besseren allgemeinen Verständnis werden daher zur Einordnung der Ergebnisse diverse in vivo Studien herangezogen, die alle die Problematik aufweisen, dass die Ergebnisse durch individuelle Faktoren wie Zahnputzverhalten, Ernährung, manuelles Geschick oder auch genetische Unterschiede möglicherweise nicht eindeutig auf die Ausprägung des Engstands als entscheidenden Faktor zurückzuführen sind.

So zeigten Helm und Peterson 1989, dass keine statistisch signifikanten Unterschied zwischen dem Auftreten eines Engstands und einer erhöhten Kariesanfälligkeit besteht. Jedoch muss beachtet werden, dass in dieser Studie eine Gruppe mit und eine Gruppe ohne Engstand über einen Zeitraum von 20 Jahren miteinander verglichen wurde. Dabei ist unklar, welchen Einfluss die oben genannten individuellen Faktoren wie Zahnputzverhalten, Ernährung etc. auf das Ergebnis hatten. Eine weitere mögliche Erklärung für die Unterschiede zwischen den untersuchten

Gruppen ist, dass sich Patienten mit Engständen dieser bewusst sind und grade deshalb eine bessere Mundhygiene aufweisen (Helm und Peterson, 1989).

Auch Staufer und Landmesser konnten keine kausalen Zusammenhänge zwischen Engständen und dem Auftreten von Karies nachweisen. Jedoch beschrieben sie einen signifikanten Zusammenhang zwischen Engständen und dem Auftreten von gingivalen Entzündungen und Rezessionen für die Unterkieferfront, welche nach Meinung der Autoren direkt durch die Plaque verursacht werden (Staufer und Landmesser, 2004).

Im Gegensatz dazu berichtet Ashley, dass sich ein Engstand zwar direkt negativ auf das Parodont auswirkt, allerdings stellt er keinen Zusammenhang zu vermehrtem Auftreten von Plaque heraus (Ashley et al., 1998).

Addy schließt sich mit seinen Ergebnissen wiederum Staufer und Landmesser an, indem er nachwies, dass sich bei rotierten Zähnen und einem dadurch entstandenen Engstand zwar mehr Plaque an den Zähnen anlagert, dies jedoch nicht zu einem vermehrten Auftreten von Karies führt. Bei der Betrachtung dieser Studie muss jedoch berücksichtigt werden, dass es sich um eine Querschnittsstudie ohne follow-up Untersuchungen handelte, bei der die Patientenklientel aus 11- bis 12-jährigen Kindern bestand (Addy et al., 1988).

Sowohl Staufer und Landmesser als auch Addy geben an, dass die absolute Kariesinzidenz in dieser Altersgruppe natürlich nicht sehr hoch ist, da meistens erst mit zunehmendem Alter ein vermehrtes Auftreten kariöser Läsionen zu beobachten ist (Addy et al., 1988; Staufer und Landmesser, 2004).

Ein ähnliches Problem tritt auch bei der Beurteilung der Ergebnisse von Stahl und Grabowski auf. Diese geben eine positive Korrelation zwischen dem Auftreten von Karies und Engständen für den posterioren Bereich an, beziehen sich dabei allerdings nur auf das Wechselgebiss (Stahl und Grabowski, 2004).

Katz beschreibt für die Oberkieferfront sogar einen signifikant negativen Zusammenhang. Als mögliche Erklärung gibt er an, dass sich sein Patientenkollektiv nur aus Patienten einer Zahnklinik zusammensetzt, die möglicherweise eine bessere

Sensibilisierung für ihre Mundhygiene erhalten haben, als Probanden aus anderen Studien (Katz, 1978).

Hixon et al. stellte für die posterioren Segmente im Oberkiefer ebenfalls einen negativen Zusammenhang fest, jedoch gab er für eine Subgruppe (Engstand $\geq 5\text{mm}$) eine positive Assoziation an (Hixon et al., 1962).

4.2 Diskussion der eigenen Ergebnisse

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit war die Beantwortung der Frage, ob die Auflösung eines seitlichen Engstands zu einer signifikanten Reduzierung der Restplaquemenge nach dem Putzvorgang führt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Restplaquemenge auf den Schlussmodellen signifikant ($p < 0,01$) geringer war als auf den Anfangsmodellen.

Schon in anderen Studien konnte gezeigt werden, dass das Vorkommen von Plaque in direktem kausalen Zusammenhang mit den Erkrankungen Gingivitis und Parodontitis steht (Addy et al., 1988; Axelsson et al., 2004; Gabris et al., 2006).

Folglich scheint also zuzutreffen, dass die Auflösung eines seitlichen Engstandes zu verringerter Plaqueakkumulation und damit vermutlich auch zu einem geringeren Risiko der Ausbildung kariöser Läsionen und Parodontalerkrankungen führt.

Als sicher festzuhalten ist, dass eine Kontaktpunktabweichung im Seitenbereich eine erschwerte Mundhygiene zur Folge hat.

In einer weiteren Untersuchung dieser Arbeit sollte geprüft werden ob die Restplaquemenge

- a) mit zunehmend dystopisch stehenden Zähnen und
- b) parallel zur Ausprägung des Engstands

ansteigt. Dabei konnte festgestellt werden, dass mit einer Kontaktpunktabweichung > 4 mm auch die Restplaquemenge signifikant anstieg. Im Gegensatz dazu konnte bei der Beurteilung unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Lundströmanalyse, also der Bewertung des reinen Platzmangels, ein inverses Ergebnis beobachtet werden, was allerdings nicht signifikant war.

In der Literatur werden Engstände bis zu 2 mm – zumindest für die Unterkieferfront - zumeist als physiologisch interpretiert (Miethke, 2000).

Aufgrund der bisherigen Werte dieser Arbeit kann man zumindest nicht davon ausgehen, dass nur Patienten mit starken Engständen von einer kieferorthopädischen Behandlung profitieren, sondern dass dies durchaus schon ab einer Ausprägung von 0,5 mm der Fall ist. Ziel weiterer Studien sollte es sein, den Wert von 0,5 mm anhand von größeren Patientenzahlen zu bestätigen.

In einem weiteren Punkt sollte die Frage überprüft werden, ob ein Unterschied in der Ausprägung des Platzmangels für die Geschlechter besteht.

In diesem Fall konnten die Ergebnisse von Staufer und Landmesser bestätigt werden, da kein statistischer signifikanter Unterschied für die männlichen und weiblichen Probanden vorlag (Staufer und Landmesser, 2004). Jedoch muss berücksichtigt werden, dass die Restplaquemenge auf den Modellen der männlichen Patienten zumindest prozentual deutlich höher lag.

Letztlich wurde der Frage nachgegangen, ob das Alter der Probanden einen Einfluss auf den Engstand und damit einhergehend auch auf die Restplaquemenge hat. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der Engstand im Alter zunehmen würde.

Die vorliegenden Modelle wurden in zwei Gruppen aufgeteilt (11-18 Jährige und 19-53 Jährige). Die Ergebnisse konnten jedoch weder für das Ausmaß des Platzmangels noch für die Menge an Restplaque einen statistisch signifikanten Unterschied aufzeigen. Dies steht im Gegensatz zu den Resultaten anderer Studien, die eine deutliche Korrelation zwischen zunehmendem Alter und Zunahme des Engstands ermitteln konnten (Staufer und Landmesser, 2004; Stenvik et al., 2011).

Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass in der Studie von Stauer und Landmesser nur Patienten ab dem 18. Lebensjahr inkludiert wurden und das Kollektiv dadurch deutlich älter war als in der Vorliegenden.

4.3 Konklusion und Ausblick

Dystopisch stehende Zähne weisen nach dem Putzvorgang deutlich mehr Restplaque auf als Zähne, die im Zahnbogen stehen. Eine kieferorthopädische Einordnung dieser Zähne mit einer Multibracket-Apparatur führt zu einer signifikanten Reduzierung der Restplaque. Dies resultiert in einer Verbesserung der Hygienefähigkeit.

In weiteren Studien sollte überprüft werden, ob sich die vorliegenden Ergebnisse auch mit anderen Putztechniken bestätigen lassen. Es ist durchaus denkbar, dass technisch weniger anspruchsvolle Techniken wie etwa das horizontale Schrubben zu anderen Ergebnissen führen würden, da sie die schwieriger zu erreichenden Bereiche wie zum Beispiel die Approximalräume nicht so effizient reinigen wie die modifizierte Basstechnik.

Ferner sollte untersucht werden, ob die Auswirkungen des Engstands schon ab einem Defizit von 0,5 mm bestätigt werden können.

Abschließend ist denkbar, dass über eine Weiterentwicklung in der Robotertechnik zukünftig eine weitere auf den Patienten zugeschnittene Individualisierung möglich ist, die es erlaubt, den Versuchsaufbau noch exakter auf die anatomischen Gegebenheiten abzustimmen.

Literaturverzeichnis

1. Addy M, Griffiths GS, Dummer PM, Kingdon A, Hicks R, Hunter ML, Newcombe RG, Shaw WC (1988) The association between tooth irregularity and plaque accumulation, gingivitis, and caries in 11-12-year-old children. *Eur J Orthod* 10(1): 76–83
2. Ashley FP, Usiskin LA, Wilson RF, Wagaiyu E (1998) The relationship between irregularity of the incisor teeth, plaque, and gingivitis: a study in a group of schoolchildren aged 11-14 years. *Eur J Orthod* 20(1): 65–72
3. Attin T, Hellwig E, Klimek J (2009) Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzteverlag, Köln 6. Auflage S 116
4. AXA Konzern AG (2012) Deutsche putzen die Zähne falsch. <http://www.presseportal.de/pm/53273/2330958>
5. Axelsson P, Nyström B, Lindhe J (2004) The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol* 9: 749–57
6. Baldys LA (2007). Studie zur standardisierten Analyse der Reinigungseffektivität von elektrischen Zahnbürsten. Dissertation, Westfälische Wilhelmsuniversität Münster
7. Beals D, Ngo T, Feng Y, Cook D, Grau DG, Weber DA (2000) Development and laboratory evaluation of a new toothbrush with a novel brush head design. *Am J Dent* 13: 5A–14A
8. Brauckhoff G, Kocher T, Holtreter B, Bernhardt O, Splieth C, Biffar R, Saß AC (2009) Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch-Institut, Oberdruck AG, Berlin, Heft 47, S 83f
9. Carvalho Rde S, Rossi V, Weidlich P, Oppermann RV (2007) Comparative analysis between hard- and soft-filament toothbrushes related to plaque removal and gingival abrasion. *J Clin Dent* 18 (3): 61–4
10. Chiapinotto FA, Vargas-Ferreira F, Demarco FF, Corrêa FO, Masotti AS (2013) Risk factors for gingivitis in a group of Brazilian schoolchildren. *J Public Health Dent* 73(1): 9–17

11. Cifcibasi E, Koyuncuoglu CZ, Baser U, Bozacioglu B, Kasali K, Cintan S (2014) Comparison of manual toothbrushes with different bristle designs in terms of cleaning efficacy and potential role on gingival recession. *Eur J Dent* 8(3): 395–401
12. Claydon N, Leach K, Newcombe RG, Ley F, Scratcher C, Addy M (2000) The use of professional brushing to compare 3 toothbrushes for plaque removal from individuals with gingival recession. *J Clin Periodontol* 27(10): 749–52
13. Cugini, M, Warren, PR (2006) The Oral-B CrossAction manual toothbrush: a 5-year literature review. *J Can Dent Assoc* 72(4): 323
14. Deery C, Heanue M, Deacon S, Robinson PG, Walmsley AD, Worthington H, Shaw W, Glenny AM (2004) The effectiveness of manual versus powered toothbrushes for dental health: a systematic review. *J Dent* 32(3): 197–211
15. Deinzer R, Micheelis W, Granrath N, Hoffmann T (2008) Parodontitisrelevantes Wissen in der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland – Ergebnisse einer Repräsentativerhebung. *IDZ Information* 1, S 7
16. Diedrich P (2000) Periodontal relevance of anterior crowding. *J Orofac Orthop* 61(2): 69–79
17. Driesen GM, Warren PR, Hilfinger P (1998) Cleaning efficacy of a new electric toothbrush. *Am J Dent* 11: 7-11
18. Duda S (2001) Entwicklung eines computer- und robotergestützten Arbeitsplatzes zur standardisierten Untersuchung der Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten. Dissertation, Westfälische Wilhelmsuniversität Münster
19. Evans CA, Kleinman DV (2000) The Surgeon General's report on America's oral health: opportunities for the dental profession. *J Am Dent Assoc* 131(12): 1721–8
20. Featherstone JD (2000) The science and practice of caries prevention. *J Am Dent Assoc* 131(7): 887–99
21. Frank W, Pfaller K, Konta B (2008) Mundgesundheit nach kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaten. Deutsches Institut Für Medizinische Dokumentation und Information, Schriftenreihe Health Techno-

- logy Assessment (HTA) in der Bundesrepublik Deutschland, Bd 66, 1. Auflage
22. Freddi G, Romàn-Pumar JL (2011) Evidence-based medicine: what it can and cannot do. *Ann Ist Super Sanita*, 47 (1): 22–5
23. Gábris K, Márton S, Madléna M (2006) Prevalence of malocclusions in Hungarian adolescents. *Eur J Orthod*, 28 (5): 467–70
24. Gängler et al. (2010) *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 3. Aufl. S 361
25. Ganss C, Schlueter N, Preiss S, Klimek J (2009) Tooth brushing habits in un-instructed adults—frequency, technique, duration and force. *Clin Oral Investig*, 13(2): 203–8
26. Harzer W (1999) *Lehrbuch der Kieferorthopädie*. Carl Hanser Verlag, München Wien, Aufl. S 126f
27. Heidemann D (1999) *Kariologie*. Urban&Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 4. Aufl. S 13
28. Helm S, Petersen PE (1989) Causal relation between malocclusion and periodontal health. *Acta Odontol Scand*, 47 (4): 223–8
29. Hixon EH, Maschka PJ, Fleming PT (1962) Occlusal Status, Caries, and Mastication. *J Dent Res*, 41(3): 514–24
30. Ichinohe S, Tonogi N, Hasegawa K, Machida Y, Kazama M (1987) The most effective toothbrushing force for permanent dentition with Bass method. *Shikwa Gakuho*, 87 (10): 1373–8
31. Imfeld T, Sener B, Simonovic I (2000) In-Vitro Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten. *Acta Med Dent Helv*, 5(4): 37–47
32. Jordan RA, Hong HM, Lucaciu A, Zimmer S (2014) Efficacy of straight versus angled interdental brushes on interproximal tooth cleaning: a randomized controlled trial. *Int J Dent Hyg*, 12 (2): 152–7
33. Katz RV (1978) An epidemiologic study of the relationship between various states of occlusion and the pathological conditions of dental caries and periodontal disease. *J Dent Res*, 57(3): 433–9

34. Lang T, Staufer S, Jennes B, Gaengler P (2014) Clinical validation of robot simulation of toothbrushing-comparative plaque removal efficacy. *BMC Oral Health*, 14: 82
35. Lehmann KM, Hellwig E (2005) Zahnärztliche Propädeutik. Urban&Schwarzenberg, München Wien Baltimore, 10. Aufl. S 86; 106
36. Lundström A (1955) Intermaxillary tooth width ratio and tooth alignment and occlusion. *Acta Odontol Scand* 12 (3-4): 265-92
37. Marini I, Bortolotti F, Parenti SI, Gatto MR, Bonetti GA (2014) Combined effects of repeated oral hygiene motivation and type of toothbrush on orthodontic patients: a blind randomized clinical trial. *Angle Orthod*, 84 (5): 896-901
38. Matsumo S, Tonogi N, Hasegawa K, Machida Y, Isaka T (1985) The Most Effective Toothbrushing Force for Permanent Dentition with Scrub Method. *Shikwa Gakuho*, 85 (8): 1225-9
39. Micheelis W, Reich E (1999) Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III). Institut der deutschen Zahnärzte (IDZ Materialreihe Bd 22), Deutscher Ärzte-Verlag Köln: S 25f
40. Micheelis W, Schiffner U (2006) Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Institut der deutschen Zahnärzte (IDZ Materialreihe Bd 31), Deutscher Ärzte-Verlag Köln: S 17ff
41. Miethke RR (2000) No correlation between primary mandibular anterior crowding and vertical craniofacial configuration or lower incisor inclination. *J Orofac Orthop*, 61 (5): 297-304
42. Miles P, Rinchuse D, Rinchuse D (2012) Evidence-Based Clinical Orthodontics. Quintessence, Berlin, 1. Aufl. S 1-27
43. Müller H (2006). Parodontologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2. Aufl. S 16ff
44. Nassar PO, Bombardelli CG, Walker CS, Neves KV, Tonet K, Nishi RN, Bombonatti R, Nassar CA (2013) Periodontal evaluation of different toothbrushing techniques in patients with fixed orthodontic appliances. *Dental Press J Orthod* 18 (1): 76-80

45. Noeke W (1987) Zur Problematik des Stützzonenverlustes. Dissertation, Westfälische Wilhelmsuniversität Münster
46. Nötzel F, Schultz C (2009) Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, 2. Aufl. S 42f
47. Nygaard-Ostby P, Edvardsen S, Spydevold B (1979) Access to interproximal tooth surfaces by different bristle designs and stiffnesses of toothbrushes. Scand J Dent Res, 87 (6): 424–30
48. Papadopoulos MA (2010) Meta-analyses and orthodontic evidence-based clinical practice in the 21st century. Open Dent J, 4: 92–123
49. Patil SP, Patil PB, Kashetty MV (2014) Effectiveness of different tooth brushing techniques on the removal of dental plaque in 6-8 year old children of Gulbarga. J Int Soc Prev Community Dent, 4(2): 113–6
50. Petersen PE (2003) The World Oral Health Report 2003: continuous improvement of oral health in the 21st century-the approach of the WHO Global Oral Health Programme. Community Dent Oral Epidemiol, Suppl 1: 3-23
51. Petersen PE (2009) Global policy for improvement of oral health in the 21st century-implications to oral health research of World Health Assembly 2007, World Health Organization. Community Dent Oral Epidemiol, 37(1): 1-8
52. Rateitschak KH, Wolf HF, EM Rateitschak-Plüss (2012) In: Rateitschak KH, Wolf HF (Hrsg) Farbatlant der Zahnmedizin 1: Parodontologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, Bd 1, 3. Aufl. S 65f
53. Rawls HR, Lentz DL, CobbGeorge W Jr., Bailey MS, Spencer J, Williams DA, Walley D, (1993) Interproximal Penetration of Commercial Toothbrushes as Determined by Static and Dynamic Tests Using Recommended Brushing Techniques. J Clin Dent, 4 (3), 88–95
54. Reddy S (2008) Essentials of Clinical Perodontology and Periodontics. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) LTD, New Delhi, 2. Aufl. S 57ff
55. Reichenbach E (1955) Ergebnisse von Nachprüfungen der Kantorowicz-schen Untersuchungen zur Prophylaxe in der Kieferorthopädie. Fortschr Kieferorthop, 16 (2): 121-6

56. Renton-Harper P, Addy M, Newcombe RG (2001) Video instruction to establish a panel of experts to compare tooth cleaning by 4 electric toothbrushes. *J Clin Periodontol*, 28 (10): 917–22
57. Robert Koch-Institut (Hrsg), Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (Hrsg) (2008) Erkennen – Bewerten – Handeln: Zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland. RKI Berlin, S 83f.
58. Sachs L (1997). *Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 9. Aufl.
59. Sanders NL (1999) Evidence-based care in orthodontics and periodontics: a review of the literature. *J Am Dent Assoc*, 130 (4): 521–7
60. Schätzle M, Imfeld T, Sener B, Schmidlin PR (2009) In vitro tooth cleaning efficacy of manual toothbrushes around brackets. *Eur J Orthod*, 31(1): 103–7
61. Setzwein M (2002) Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung der approximalen Reinigungswirkung von neuen Zahnbürstendesigns. Dissertation, LMU München
62. Sharma NC, Qaqish JG, Galustians HJ, King DW, Low MA, Jacobs DM, Weber DA (2000) An advanced toothbrush with improved plaque removal efficacy. *Am J Dent*, 13: 15A–19A
63. Shaw WC, Addy M, Ray C (1980) Dental and social effects of malocclusion and effectiveness of orthodontic treatment: a review. *Community Dent Oral Epidemiol*, 8(1): 36–45
64. Smutkeeree A, Rojllakkanawong N, Yimcharoen V (2011) A 6-month comparison of toothbrushing efficacy between the horizontal Scrub and modified Bass methods in visually impaired students. *Int J Paediatr Dent*, 21(4): 278–83
65. Stahl F, Grabowski R (2004) Malocclusion and caries prevalence: is there a connection in the primary and mixed dentitions? *Clin Oral Investig*, 8(2): 86–90
66. Staufer K, Landmesser H (2004) Effects of crowding in the lower anterior segment—a risk evaluation depending upon the degree of crowding. *J Orofac Orthop*, 65 (1): 13–25

67. Stenvik A, Espeland L, Berg RE (2011) A 57-year follow-up of occlusal changes, oral health, and attitudes toward teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 139 (4): 102–8
68. Waes HJM van (2001) Kollektive semikollektive und individuelle Prophylaxe bei Kindern und Jugendlichen. In: Rateitschak KH, Wolf HF (Hrsg) *Farbatlant der Zahnmedizin 17: Kinderzahnmedizin*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, Bd 17, 1. Aufl. S 134
69. Weber T (2010) *Memorix Zahnmedizin*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, Aufl. S 46
70. Wiegand A, Schlueter N (2014) The role of oral hygiene: does toothbrushing harm? *Monogr Oral Sci*, 25: 215–9
71. Wiegand A, Kuhn A, Sener M, Roos B, Attin T (2009) Abrasion of eroded dentin caused by toothpaste slurries of different abrasivity and toothbrushes of different filament diameter. *J Dent*, 37(6): 480–4
72. Yewe-Dyer M (1993) The definition of oral health. *Br Dent J*, 174 (7): 224–5
73. Zimmer S, Öztürk M, Barthel CR, Bizhang M, Jordan RA (2011) Cleaning efficacy and soft tissue trauma after use of manual toothbrushes with different bristle stiffness. *J Periodontol*, 82 (2): 267–71

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: BOGENSCHABLONE ZUR BESTIMMUNG DER KONTAKTPUNKTABWEICHUNG.	20
ABBILDUNG 2: SEGMENTANALYSE NACH LUNDSTRÖM.....	21
ABBILDUNG 3: DOUBLIERTES MODELL MIT LACK BESCHICHTET	22
ABBILDUNG 4: EINARTIKULATIONSHILFE MIT EINGESETZTEM MODELL.....	23
ABBILDUNG 5: MODELL MIT TITAN-DIOXYD BESCHICHTET.....	24
ABBILDUNG 6: BÜRSTENKOPF ORAL-B CROSSACTION®.....	25
ABBILDUNG 7: DER PUTZROBOTER.....	27
ABBILDUNG 8: MODELL NACH DEM PUTZVORGANG.....	29
ABBILDUNG 9: FOTOGRAFIEHILFE.....	30
ABBILDUNG 10: UNBEHANDELTES MODELL.....	31
ABBILDUNG 11: BEHANDELTES MODELL.....	32
ABBILDUNG 12: DEFINIERTE MASKE ZUR COMPUTERAUSWERTUNG.....	33
ABBILDUNG 13: ÜBER DEN KONTRAST BESTIMMTE RESTPLAQUEMENGE.....	34
ABBILDUNG 14: MITTELWERTE ALLER VERSUCHSREIHEN.....	38
ABBILDUNG 15: RESTPLAQUEMENGE BEHANDELT/ UNBEHANDELT.....	39

ABBILDUNG 16: UNTERSCHIEDE ZWISCHEN RESTPLAQUE/

KONTAKTPUNKTABWEICHUNG UND RESTPLAQUE/ ENGSTAND.....40

