Zahnmedizinische Plaque-Simulation zur Prüfung von Mundhygiene-Produkten

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades doctor medicinae dentariae

der Universität Witten/Herdecke

Fakultät für Gesundheit

Department für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

vorgelegt von

Ann-Kathrin Laura Flad

aus Speyer

2019

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

Meiner Familie gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

1.1 Orales Mikrobiom 3

1.2 Orale Biochemie 7

1.3 Eubiose und Dysbiose der Mundhöhle 10

1.4 Verhinderung eines dysbiotischen Zustandes durch Plaque-Reduktion 16

1.4.1 Einfluss biomechanischer Hilfsmittel auf Plaque-Reduktion 16

1.4.2 Einfluss biochemischer Wirkstoffe auf Plaque-Reduktion 17

1.5 Plaque-Simulationsmethoden 18

1.6 Ziel der Arbeit 21

2. Material und Methode 23

2.1 Material 23

2.1.1 Zahnbürsten 23

2.1.2 Zahnmodell von KaVo 25

2.1.3 Gel-Formulierungen 26

2.1.4 Artifizielle Plaque 32

2.2 Versuchsaufbau 32

2.3 Studienprotokoll 33

2.3.1 Pilotversuche 33

2.3.2 Versuchsdurchführung 36

2.4 Auswertung der Reinigungseffizienz 38

2.5 Statistische Methodik 40

3. Ergebnisse 44

3.1 Vortest auf Normalverteilung 45

3.2 Einfluss der Zahnbürsten auf Reinigungseffektivität 46

3.2.1 Deskriptiv- statistische und grafische Auswertung 46
3.2.2 Effekte des Zahnbürsten-Faktors 48
3.3 Einfluss der Gele auf Reinigungseffektivität 49
3.3.1 Deskriptive Analyse: statistische und grafische Auswertung 49
3.3.2 Testung des Haupteffektes des Faktors ‚Gele' 53
3.3.3 Multiple Einzelvergleiche 54
3.4 Interaktionseffekte zwischen Zahnbürsten und Gelen 56
3.4.1 Deskriptiv- statistische Auswertung 56
3.4.2 Parametrische Analytik: Multivariate Varianzanalyse 63
3.4.3 Nicht-parametrische Analytik 66
3.5 Plaque-Reduktion 71
3.5.1 Analyse der Plaque-Reduktion der einzelnen Zähne pro Zahnbürste 71
3.5.2 Analyse der Plaque-Reduktion der einzelnen Zähne pro Gel 73
3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse 76
4. Diskussion 78
4.1 Material und Methode 78
4.1.1 Verwendete Zahnbürsten 78
4.1.2 Verwendete Bürstmedien 81
4.1.3 Artifizielle Plaque 85
4.1.4 Versuchsaufbau 86
4.1.5 Versuchsablauf 87
4.2 Ergebnisse – Plaque-Reduktion 89
4.3 Ausblick 95
5. Zusammenfassung 98
6. Summary 100

7. Literaturverzeichnis 102

8. Anhang 113

Wissenschaftliche Beiträge 122

Danksagung 123

Lebenslauf 124

Eidesstattliche Erklärung 126

1. Einleitung

Erkrankungen der Mundhöhle wie die Karies oder Parodontitis sind in ihrer Pathogenese bekannt und gut erforscht, jedoch nicht in ihrer Ätiologie. Der orale Biofilm trägt eine entscheidende Rolle zur Entstehung der dentalen oder parodontalen Erkrankungen bei. Die Karies ist eine häufige Erkrankung, ihre Entstehung ist komplex und multifaktoriell und die Entstehung der Karies folgt keinem einfachen kausalen Muster (Fejerskov 2004). Aus diesen Gründen kommt vor allem der häuslichen Mundhygiene und im Speziellen der Plaque-Reduktion eine Hauptfunktion zu. Dennoch sind weitere Erkenntnisse über unser orales Mikrobiom notwendig.

Bei der Vermeidung von Karies und parodontalen Erkrankungen und zur Unterstützung von Wundheilung in der Mundhöhle ist die Mundhygiene von besonderer Bedeutung. Die Quantität der Bakterien wird durch eine adäquate Mundhygiene reduziert und folglich kommt es zu weniger Erkrankungen wie Karies oder Parodontitis (Loe 2000). 2015 hat sich das Verständnis insofern verändert, als Karies eine nicht-infektiöse, chronische Erkrankung ist (Kassebaum et al.). Karies hat eine hohe Prävalenz in unserer heutigen Zeit, sie lässt sich nicht auf Mutationen einzelner Gene oder Umweltfaktoren zurückführen, wird auch nicht durch eine spezielle Spezies von Mikroorganismen ausgelöst oder kann durch die Koch-Postulate erfasst werden. Die Parodontitis stellt eine entzündliche Erkrankung dar, die mit einer bakteriellen Infektion assoziiert wird; diese wird durch die Genetik, den Lebensstil und Umweltfaktoren beeinflusst (Bartold und Van Dyke 2013).

In der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (Jordan und Micheelis 2016) fand man heraus, dass 81,3 % der 12-jährigen Kinder kariesfrei sind und in dieser Gruppe 0,5 DMFT-Zähne auftreten, dass es bei den jüngeren Erwachsenen (35- bis 44-jährigen) 11,2 Zähne mit Karieserfahrung gibt und bei der Gruppe von jüngeren Senioren (65- bis 74-jährigen) 17,7 Zähne von Karies betroffen sind. Dabei gibt der DMFT Aufschluss über die Karieserfahrung. Laut Jordan und Micheelis (2016) sind 52 % der jüngeren Erwachsenen und 65 % der jüngeren Senioren von einer moderaten Parodontitis betroffen. Im Untersuchungszeitraum von 2013 - 2014 sind 8,2 % der jüngeren Erwachsenen und 19,8 % der jüngeren Senioren in Deutschland von einer schweren Parodontitis betroffen.

Die ‚World Health Organization' hat globale Ziele gesteckt, um die Bürde der oralen Erkrankungen einzudämmen. Es bestehen Wechselbeziehungen zwischen der oralen Gesundheit und der allgemeinen Gesundheit, und dadurch wird die Lebensqualität maßgeblich beeinflusst (WHO 2003).

Die Intensität und Häufigkeit der durchgeführten häuslichen Reinigung sowie die Art der verwendeten Mundhygiene-Produkte haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Mundhygiene. Die Plaque-Reduktion ist abhängig von vielen individuellen Faktoren. Man unterscheidet zwischen der Reinigung durch biochemische und biomechanische Methoden.

Die vorliegende Arbeit erforschte zum ersten Mal im Sinne einer vorklinischen Studie eine Plaque-Simulation zur Überprüfung der Reinigungseffektivität von Mundhygiene-Produkten, der Biomechanik der Bürstenreinigung und der Abrasivität der Bürstmedien. Dabei unterscheiden sich die Zahnbürsten in der Konfiguration des Borstenfeldes. Die Bürstmedien hingegen unterscheiden sich in ihrer Abrasivität und den enthaltenen Inhaltsstoffen. Es sollte ein standardisiertes Verfahren etabliert werden, bei dem die Reinigungsleistung patientenunabhängig und unter Zuhilfenahme eines Modellgebisses überprüft werden konnte. Das entwickelte Verfahren sollte reliabel, objektiv und valide sein.

1.1 Orales Mikrobiom

Das orale Mikrobiom besteht aus vielen Organismen, die zu unterschiedlichen Klassen gehören. Dazu zählen die gut erforschten Bakterien, Pilze und ‚Candidate Phyla Radiation', kurz CPR, Protozoen und subzelluläre biologische Objekte, wie Viren oder Bakteriophagen (Wade 2013). Die menschliche Mundhöhle ist einer der am stärksten mit Mikroorganismen besiedelten Orte des Körpers. Ausschlaggebend hierfür ist, dass die orale Schleimhaut durch die Luft- und Nahrungsaufnahme am stärksten mit exogenen Faktoren in Berührung kommt. Bis heute gibt es mehr als 700 prokaryotische Spezies, die in der Mundhöhle detektiert wurden (Kilian et al. 2016). Die ‚Human Oral Microbiome Database' (2019) hat es sich zur Aufgabe gemacht, umfassende Informationen über die entdeckten mikrobiellen Arten Wissenschaftlern zugänglich zu machen.

Die bekannteste Gruppe der Mikroorganismen bilden die prokaryotischen Bakterien, nicht zuletzt wegen ihrer Größe. Schon 1683 entdeckte Antonie van Leeuwenhoek die oralen Bakterien im Mikroskop (Zit. n. Gest 2004). Eine recht neue Klassifizierung von Mikroorganismen sind die ‚Candidate Phyla Radiation' (CPR). Es handelt sich dabei um ultrakleine Bakterien mit kleinen Genomen und eingeschränkten Biosynthese- und Stoffwechselwegen (Hug et al. 2016). Das Besondere ist, dass sie keine Abwehrmechanismen gegen Bakteriophagen besitzen (Burstein et al. 2016). Aufgrund dieser Eigenschaften wird angenommen, dass es sich bei den CPRs um obligate Symbionten handelt (Baker et al. 2017). Die CPRs machen circa 15 % der gesamten Bakteriendomäne aus und beinhalten über 35 Phyla-Arten (Brown et al. 2015).

Das orale Virom besteht aus Viren und Bakteriophagen, die in der Überzahl vorhanden sind. Naidu et al. (2014) und Abeles et al. (2014) nehmen an, dass jeder Mensch eine sehr individuelle und dennoch sehr konstante Zusammensetzung der oralen Viren und Phagen besitze. In gesunden Individuen finden sich häufig *Herpesviridae*, *Papillomviridae* und *Anelloviridae* (Wylie et al. 2014). Laut Stein et al. (2013) bestehe zum jetzigen Zeitpunkt kein belegter Zusammenhang zwischen den Herpesviren (v.a. Herpex-simplex-Virus, Epstein-Barr-Virus und Zytomegalievirus) und Parodontalerkrankungen.

Die *Siphoviridae*, *Myoviridae* und *Podoviridae* sind diejenigen Bakteriophagen, die am häufigsten sowohl im menschlichen Speichel, als auch in sub- und supragingivaler Plaque anzufinden sind (Ly et al. 2014). Laut Baker et al. (2017) tragen die Phagen zu einer Eubiose

und dem damit verbundenen Gleichgewicht in der Mundhöhle bei, wobei auf diesem Gebiet noch viele Untersuchungen stattfinden müssen. Eventuell können in naher Zukunft Phagen bereits allein oder in Kombination mit Antibiotika pathogene orale Bakterien ausschalten (Torres-Barcelo und Hochberg 2016; Szafranski et al. 2017).

Die Mundhöhle eines gesunden Menschen beheimatet etwa 75 Pilzarten, die häufigsten sind Candida-Spezies, *Cladosporium*, *Aureobasidium*, *Saccharomycetales*, *Aspergillus*, *Fusarium* und *Cryptococcus* (Ghannoum et al. 2010). Einige Candida-Spezies, *Aspergillus*, *Fusarium* und *Cryptococcus* zählen zu potenziell pathogenen Pilzarten.

In der letzten Dekade wurde die sogenannte ‚inter-kingdom interaction', also die Interaktionen zwischen Bakterien und Pilzen, konkreter *Candida albicans* mit Bakterien, erforscht. Krom et al. (2014) sprechen auch von „forgotten players of healthy oral mircobiota". Hwang et al. (2015) beschreiben die Interaktion von *C. albicans* und *S. mutans*, wobei die enzymatische Adhäsion untersucht wird und davon ausgegangen wird, dass *C. albicans* die Struktur des Biofilms unterstütze. Gemeinsam können sich *C. albicans* und *S. mutans* vermehrt ausbreiten, der Biofilm nimmt in seiner Stärke und Breite zu, und das kariogene Potenzial des *S. mutans*-Biofilms und die Demineralisation des Dentins erhöhen sich (Sampaio et al. 2019). *C. albicans* hat zwar eine 100 % Prävalenz im Speichel von Kindern, jedoch tritt *C. albicans* quantitativ signifikant häufiger im Biofilm von Kindern auf, die von frühkindlicher Karies betroffen sind (Thomas et al. 2016). Interagieren *C. albicans* und *S. oralis*, kommt es zu einer erhöhten Glucan Produktion und möglicherweise wird damit eine orale Läsion in ihrer Schwere unterstützt (Diaz et al. 2014). Ausgeklügelt ist die Interaktion von *C. albicans* mit *Fusobacterium nucleatum*. Sie weichen dem Immunsystem des Wirtes aus, indem *C. albicans* weniger Hypen bildet und ihre Interaktion antiinflammatorisch wirkt. Sie versuchen, als Kommensale anstatt in einem pathologischen Verhältnis mit dem Wirt zu leben (Bor et al. 2016).

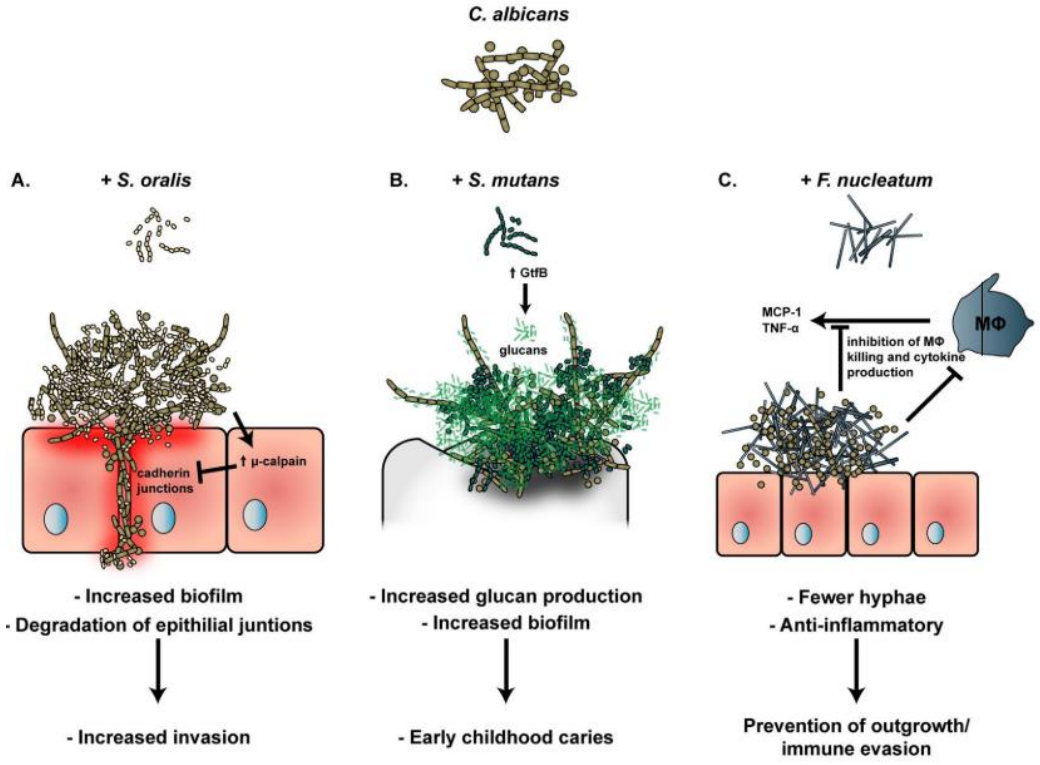

Abbildung 1.1: Beispiele der Interaktion zwischen *Candida albicans* und *S. oralis*, *S. mutans*, *F. nucleatum* und die Folgen für den Mensch. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Elsevier: Trends in Microbiology [Trends Microbiol.], Ecology of the oral microbiome: beyond bacteria, Baker el al., Urheberrechte (2017)

Als Biofilm bezeichnet Costerton et al. (1994) das Vorkommen adhärenter Populationen an Oberflächen und Grenzflächen, die in eine extrazelluläre Matrix eingebettet sind. Die Mundhöhle ist mit ihrem feuchtem Milieu, der konstanten Temperatur von 35 – 36 °C, der nährstoffreichen Umgebung und einem pH-Wert von etwa 6,75 – 7,25 die ideale Umgebung für einen Biofilm (Marsh 2003).

Die dentale Plaque ist ein extrem komplexer, dynamischer Biofilm mit einem eigenen mikrobiellen Ökosystem (Raes und Bork 2008). Der weiche, strukturierte und zähe Zahnbelag ist durch Wasserspray nicht entfernbar (Hellwig et al. 2009) und besteht aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Mikroorganismen.

Für die Gesundheit der Mundhöhle ist ein biologisches Gleichgewicht, in dem die Mikroorganismen des oralen Biofilms und der Wirt in Balance stehen, nötig (Wolff et al. 2014). Aufgrund dessen, dass sich der Biofilm in direkter Umgebung und in Kontakt mit dem Wirtsgewebe befindet und nicht abschilfert, kann er an Pathogenität gewinnen (Marsh und Devine 2011). Grundsätzlich lassen sich Bakterien in einer planktonischen Kultur und in einem

Biofilm finden (Netuschil 2010). Die sich im Speichel befindenden Bakterien (planktonische Kultur) sind freischwebend und nicht adhärent. Im Biofilm angeordnete Bakterien sind ortsständig und adhärent. Die Pyrosequenzierung, eine Analyse zur Schätzung der Artenvielfalt, der kommensalen oralen Mikroflora in gesunden Erwachsenen ergab, dass sich im Speichel um die 5.600 Phylotypen und in der Plaque etwa 10.000 Phylotypen befinden (Keijser et al. 2008). Die Resistenzen gegenüber antibakteriellen Stoffen in Biofilmen sind generell hoch. Biofilme weisen spezifische Adhäsionsmechanismen zu dem umliegenden Substrat auf und können durch Kommunikation spezifische Koaggregationen einzelner Bakteriengruppen fördern (Gaengler et al. 2010). Je nach Zustand des Biofilms können Gene angeschaltet, abgeschaltet oder umgeschaltet werden. Es existieren zudem komplexe gegenseitige Stoffwechselbeziehungen (Marsh et al. 2015b). Grundsätzlich sind Biofilme sehr resistent gegenüber äußeren Einflüssen wie dem menschlichen Immunsystem oder Antibiotika. Das liegt an der Produktion von Extrazellulären Polymeren Substanzen (EPS) durch Mikroorganismen (Bjarnsholt 2013). Die Extrazellulären Polymeren Substanzen bestehen aus Mehrfachzuckern, Proteinen, Nukleinsäuren und Fetten.

Fazit für die Zielstellung der Arbeit:

Die komplizierten Interaktionen des oralen Mikrobioms werden in einem simulierten Biofilm nicht reproduzierbar sein. Diese Tatsache wird aufgrund des Schwerpunktes der biomechanischen Plaque-Entfernung in der vorliegenden Arbeit vernachlässigt.

1.2 Orale Biochemie

Direkt nach der mechanischen Reinigung der Zahnoberfläche kommt es zur erneuten Akkumulation von Plaque. Es bildet sich zunächst die Pellikel, ein azellulärer Niederschlag, mit einer Dicke von 0,1 – 1 µm auf der Zahnoberfläche. Sie besteht hauptsächlich aus Proteinen des Speichels: Glycoproteinen, Serumproteinen, Enzymen und Immunglobulinen (Hellwig et al. 2009). Die äußerste Schmelzschicht, auf der sich eine Vielzahl an Calciumionen (Ca^{2+}) und Phosphationen (PO_3^{4-}) befinden, dient der elektrostatischen Bindung. Van-der-Waals-Kräfte und elektrostatische Kräfte ermöglichen die Anhaftung und Adhäsion von Bakterien auf der Pellikel (Marsh et al. 2015b). Bakterielle Adhäsine, wie Lipoteichonsäuren oder Lektine, haften sich durch die Interaktion mit Amylase oder Glucanen an die Pellikel-Strukturen der Zahnoberflächen an (Wolff et al. 2014). Es entsteht die Plaquematrix. Als Glycokalix bezeichnet man den Kohlenhydratanteil der extrazellulären Seite der Zellmembran der Bakterien, welche an Proteine und Lipide gebunden ist (Reiche 2003). Die Glycokalix der Bakterien erfüllt folgende Funktionen: Sie dient der Adhäsion an Oberflächen, stellt einen Schutz vor Phagozytose und der Austrocknung dar und bildet eine Diffusionsbarriere. Morphologisch ist die Plaque eine weiche, inhomogene, unterschiedlich dicke, dicht ineinandergeschlungene, weißlich-gelbe, anhaftende, globuläre Masse (Sanderink et al. 2004).

Initial gebildete Plaque entspricht einem weichen Belag, wobei die Gruppe der Streptokokken zu etwa 56 % die initiale Mikroflora bildet (Li et al. 2004). Durch Akkumulation weiterer Bakterien und Teilungsvorgängen reift die Plaque; sie maturiert (Hellwig et al. 2009). Es entwickelt sich eine interbakterielle Dynamik, und die maturierte Plaque ist von *Actinomyceten* dominiert. Durch die bakterielle Produktion von Polysacchariden aus Saccharose, wie Glucan oder Mutan, gewinnt der Biofilm an Stabilität. In den oberflächlichen Strukturen des Biofilmes formieren sich die Bakterien maiskolbenartig, während das Milieu in den Tiefen des Biofilms zunehmend sauerstoffärmer wird und nach neun Tagen die obligaten Anaerobier in der Zahl überlegen sind (Marsh et al. 2015b). Die Bakterien strukturieren sich mit zunehmender Reife des Biofilms und die Vielfalt der Bakterien nimmt ab (Wolff et al. 2013; Belstrom et al. 2014). „Ausgereifte Plaque besteht aus dicht gepackten Bakterien (60 - 70 Vol%), die in ein amorphes Material, die Plaquematrix, eingebettet sind.” schreibt Hellwig et al. (2009). Durch Mineralisation verwandelt sich die maturierte Plaque supragingival und subgingival zu Zahnstein.

Die Zahnsteinbildung ist eine Wirtsreaktion, die von der Speichelzusammensetzung und Sekretionsrate abhängig ist. Ferner spielen Diät, speziell basische Nahrungsmittel und Zuckerzufuhr eine Rolle (Akcali und Lang 2018).

Zum einen dient der Zahnstein der Neutralisierung des Biofilmes, denn er stellt die Abwehrreaktion potenzieller Pathogenität dar, und zum anderen wird die Biofilm-Besiedlungsfläche supra- und subgingival vergrößert, wodurch ein höheres Pathogenitäts-Risiko entsteht.

Tabelle 1.1(b): Die Calciumphosphatkristalle des mineralisierten Zahnsteins

Summenformel	**Namen der Calciumphosphatkristalle**
$CaH\ (PO_4) \times 2\ H_2O$	Dicalciumphosphat-dihydrat ≈ Brushit
$Ca_8\ (PO_4)_3 \times (HPO_4)_2 \times 2\ H_2O$	Oktacalciumphosphat
$Ca_{10}\ (PO_4)_6\ (OH)_2$	Hydroxylapatit
$[Ca_3\ (PO_4)_2]_3 \times H_2O$	Tricalciumphosphat ≈ Whitlockit

Die Plaque kommt ubiquitär auf der Mukosa der Wangen, des Gaumens, der Tonsillen, der Zunge, der befestigten Gingiva, im gingivalen Sulkus sowie auf den Zähnen vor (Zaura et al. 2009; Dewhirst et al. 2010; Marsh und Devine 2011). Man kann das Vorkommen in open-places und hidden-places unterschieden. Supragingivale Glattflächen zählen zu den open-places, und zu den hidden-places gehören die Zahnzwischenräume, okklusalen Fissuren, der Gingivasaum und die subgingivalen Zahnanteile. In den okklusalen Fissuren finden sich hauptsächlich grampositive Streptokokken und fakultative Anaerobier. Im Gegensatz dazu befinden sich im Gingivasaum häufig gramnegative und obligate Anaerobier (Marsh et al. 2015a), die auch durch das Sulkusfluid beeinflusst werden. Das proteinreiche Exsudat dient den Bakterien als ideale Energiequelle (Gaengler et al. 2010).

Die wichtigsten Stoffwechselwege der Zahnplaque sind folgendermaßen zusammengefasst: Die oralen Streptokokken stellen eine Gruppe der grampositiven Bakterien dar und zählen zu den Erstbesiedlern der Zähne: *Streptococcus mitis*, *Streptococcus sanguinis* und *Streptococcus gordonii* (Baker und Edlund 2018) gefolgt von gramnegativen Bakterien: *Prevotella melaninogenica*, *Fusobacterium nucleatum* und *Veillonella spp.* (Marsh et al. 2015b). Die in dem Speichel enthaltenen Glycoproteine, wie Glycosidasen, Amylasen oder Maltasen, spalten die mit der Nahrung aufgenommenen Zucker in Saccharose, Glucose und weitere Kohlenhydrate. Die Glucose liegt meist nicht frei, sondern in Form seiner Polymere, wie beispielsweise Lactose, Stärke oder Cellulose, vor. Das von den *S. mutans* stammende Enzym

Glucosyltransferase oder die Fructosyltransferase wandeln die Zucker in extrazelluläre Polysaccharide Glucan, Mutan oder Fructan um. Durch zuckerbindende Proteine werden die Polysaccharide in die Bakterien wie *Actinomyces* oder *Streptococcus lactobacillus* eingeschleust. Endprodukte dieser Bakterien sind Succinat, Formiat, Acetat und Lactat. Um sich vor den gebildeten organischen Säuren zu schützen, wird ATP zu ADP hydrolisiert. Das dabei entstehende Proton H^+ wird aus dem Bakterium geschleust und der extrazelluläre pH-Wert sinkt. Bei uneingeschränktem Zuckerangebot und Sauerstoff Limitationen neigen Streptokokken bei der Fermentation dazu, Pyruvat zu Lactat zu reduzieren. Ist andererseits eine erhöhte Sauerstoffspannung und nicht ausreichend Energie in Form von Kohlenhydraten verfügbar, produzieren Streptokokken alternative Fermentationsprodukte, wie Acetat, Formiat und Ethanole (Abranches et al. 2018). Es kommt zwischen den Keimen, die in Symbiose zusammenleben, zu komplexen, nutritiven Weiterverwertungen der Abfallprodukte. Die anaerobe, gramnegative *Veillonella*-Gruppe verstoffwechselt die entstandene Milchsäure in Acetat, Propionat oder Formiat. Dadurch wirken die *Veillonella spp.* der Demineralisation entgegen. Auf der anderen Seite sind Speichelenzyme wie die Arginin-Deiminase für die Decarboxylierung von Arginin in Citrullin und Ammoniak (NH_3) verantwortlich, Ureasen spalten Urea in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid (CO_2). Diese Hydrolasen wirken der sauren Umgebung durch die alkalische Ammoniakproduktion entgegen. Die aeroben, gramnegativen *Neisseria* fördern die extrazelluläre Polysaccharid-Bildung und damit die Besiedelung der Zahnoberflächen. Die *Neisseria spp.* haben kein eigenes Adhärenzvermögen und agieren daher symbiotisch mit dem *Corynebacertium*. Dadurch gelangen sie in den Biofilm.

Fazit für die Zielstellung der Arbeit:

In einem simulierten Biofilm können die komplexen biochemische Abläufe nicht vollständig reproduziert werden, da aber der Fokus auf der biomechanische Plaque-Entfernung liegt, kann der biochemische Aspekt vernachlässigt werden.

1.3 Eubiose und Dysbiose der Mundhöhle

Laut Marsh und Zaura (2017) ist der dentale Biofilm ein Netzwerk aus Mikroorganismen, die in Symbiose oder auch dysbiotisch zusammenleben. Das in Symbiose lebende orale Mikrobiom stellt den gesunden Zustand der Mundhöhle dar (Dongari-Bagtzoglou 2008). Das Netzwerk kennzeichnet sich durch gegenseitige Abhängigkeiten aus, die die Mikroorganismen widerstandfähiger gegen äußere Einflüsse machen. Diese komplexen Interaktionen führen zu einem stabilen Ökosystem der Mikroben und charakterisieren orale Gesundheit. Da das Mikrobiom eine gewisse Flexibilität oder Elastizität besitzt, kann eine mögliche Dysbiose hinausgezögert werden, wenn ein eubiotisches Verhältnis unterbrochen wird. Diese ist von der Belastbarkeit des menschlichen Immunsystems, der Ernährung, der genetischen Prädispositionen und Vorerkrankungen abhängig.

Im Idealfall haben die Mikroorganismen, die in einem oralen Biofilm organisiert sind, die Funktion, den Wirtsorganismus zu schützen und den Biofilm so aufrecht zu erhalten, dass ein ausgewogenes und balanciertes Verhältnis entsteht, die Eubiose. Zu den Schutzfunktionen zählen die Auslösung von Immunreaktionen und die Stimulation der Wundheilung, sodass der Biofilm eine Barriere gegenüber Transitkeimen bildet. Diese Barriere wird gebildet, indem die residierenden Mikroorganismen Retentionsräume und Nischen besiedeln, dabei kompetitiv Nährstoffe verbrauchen, wodurch fremde Mikroorganismen am Wachstum gehindert werden und damit die Produktion von toxischen Substanzen wie beispielsweise Bakteriozine, Wasserstoffperoxid und Säuren reduziert werden.

In Studien stellte man fest, dass Fluorid in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von freien Fluoriden in der Plaque kariostatisch wirkt (Rosin-Grget et al. 2013). Es konnte gezeigt werden, dass die in Zahnpasta enthaltenen Fluoridsalze wie Natriumfluorid, Aminfluorid oder Monofluorphosphat eine Remineralisation des Zahnschmelzes herbeiführen (ten Cate 2013; Tenuta und Cury 2013; Walsh et al. 2019).

Es entsteht ein Fluorid-Reservoir in der Plaque. Diese ist von der Expositions-Zeit der Fluoride und die Art des Fluorid-Salzes (AmF, NaF) abhängig. Die Bioverfügbarkeit des Fluorids in der Mundhöhle ist von dem individuellen Speichelfluss und dessen Zusammensetzung abhängig (Naumova et al. 2010). Nach dem Zähneputzen steigt für mindestens 30 Minuten die Konzentration von Fluorid im Speichel an (Naumova et al. 2012). In dieser Zeit können die Fluoridionen in die Plaque diffundieren (Watson et al. 2005).

Die Eubiose stellt sich im Fehlen oder der Stagnation der Demineralisations-Prozesse, dafür mit Remineralisations-Prozessen dar und manifestiert sich im Fehlen von klinischen Entzündungszeichen.

Erkrankungen in der Mundhöhle beginnen, wenn das eubiotische Gleichgewicht gestört wird. Unter Umständen kann diese Veränderung mit einer Verschiebung der mikrobiellen Zusammensetzung einhergehen. Rosier et al. (2018) sprechen von einem Zustand der Dysbiose, deren Folgen sich auf unterschiedliche Weise darstellen können. Orale Erkrankungen, wie kariöse Läsionen, Gingivitis oder marginale Parodontitis, Pulpitis, Erkrankungen der Mukosa, Halitosis, andere dermatologische Befunde (bspw. Aphten) oder maligne Schleimhautveränderungen (bspw. Plattenepithelkarzinome) sind auf die Dysbiose, eine Verschiebung der Homöostase zuungunsten der immunologischen Abwehr, zurückzuführen. Bestimmte genetische Prädispositionen, bereits durchlaufene Erkrankungen und Stimulierungen des Immunsystems, im Sinne von durchgeführten Impfungen, aktuelle Krankheiten, die die körpereigene Abwehr beanspruchen, nehmen Einfluss auf die Dysbiose und zeigen den komplizierten und individuellen Zusammenhang zwischen eubiotischen und dysbiotischen Zuständen auf.

Hauptursachen der Dysbiose sind die Verschiebung des bakteriellen Gleichgewichts in Richtung der pathogenen Bakterien, häufiger Verzehr von kariogenen Nahrungsmitteln bzw. fermentierbaren Kohlenhydraten, eine geschwächte Immunabwehr des Wirtes, unzureichende Mundhygiene und eine geringe Speichelflussrate. Um das Entgleisen des Biofilmes in Richtung einer Dysbiose zu verhindern, werden Speichelagglutinine und Immunglobulin A mobilisiert, die mit der bakteriellen Glycokalix interagieren und damit die Adhärenz weiterer Bakterien verhindern sollen (Gaengler et al. 2010). Die Bakterienflora in einer gesunden Mundhöhle unterscheidet sich von der bakteriellen Zusammensetzung einer erkrankten Mundhöhle (Aas et al. 2005). Wird eine dysbiotische Schwelle überschritten, verändert sich der Wettbewerb zwischen den Arten. Dadurch kommt es zu pathogenen Prozessen (Lamont et al. 2018). Entzündungen und Dysbiose verstärken und bedingen sich gegenseitig; die sich verschärfenden Umweltbedingungen führen zu einer pathobiotische Gemeinschaft des Biofilms (Lamont und Hajishengallis 2015; Bartold und Van Dyke 2019). Die Abbildung 1.3(a) zeigt eine anschauliche Gegenüberstellung des eubiotischen und dysbiotischen Biofilms und Zustandes des Zahnes und Parodonts.

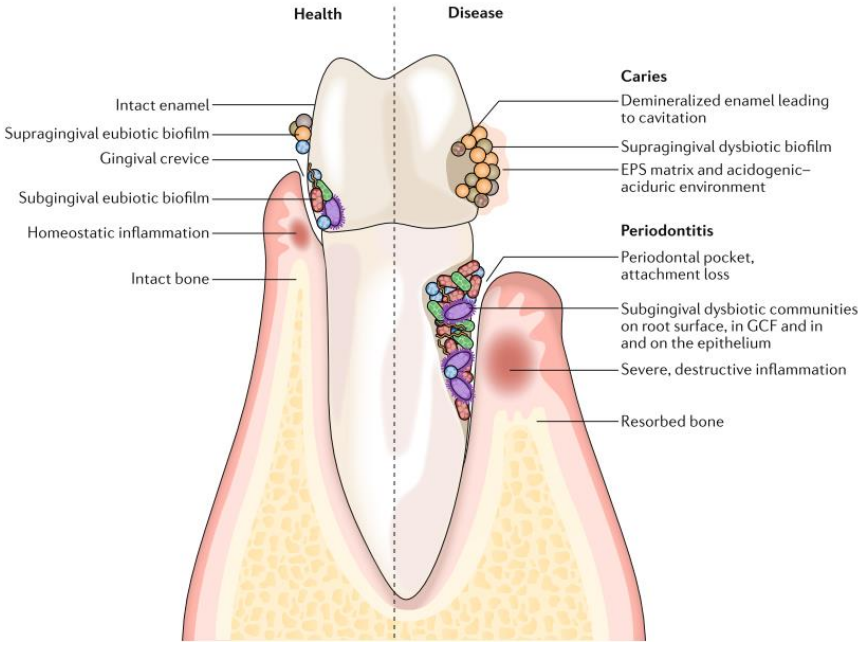

Abbildung 1.3(a): Vergleich von einem eubiotischen mit einem dysbiotischen Biofilm und deren Auswirkungen auf den Zahn und das Parodont. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature Terms and Conditions for RightsLink Permissions Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Nature [Nat Rev Microbiol], The oral microbiota: dynamic communities and host interactions, Lamont el al., Urheberrechte (2018)

Die erste verbreitete Plaque Hypothese war die „spezifische Plaque Hypothese“ (Loesche 1976), die besagte, dass ausschließlich wenig bestimmte Bakterienarten aktiv an der Entstehung der Karies oder Parodontitis beteiligt seien. Die Hypothese ist mittlerweile verworfen worden. Die „unspezifische Plaque Hypothese“ (Theilade 1986) schlug vor, dass nicht die Bakterienart, sondern die Aktivität der gesamten Mikroflora zu einer Erkrankung führt. Marsh (1994) prägte den Begriff der „ökologischen Plaque Hypothese“. Dabei wurde erstmals vorgeschlagen, dass eine Erkrankung auf das Ungleichgewicht in der Mikroflora und auf die Wirtsreaktion zurückzuführen ist. Die „Keystone Pathogene Hypothesis“ oder auch „Polymicrobial Synergy and Dysbiosis Model“ (Hajishengallis et al. 2012; Hajishengallis und Lamont 2012; Hajishengallis 2015; Lamont und Hajishengallis 2015) implizierte, dass spezifische mikrobielle Krankheitserreger die Wirtreaktion modulieren, um das Immunsystem zu schwächen bzw. das Gleichgewicht zwischen Eubiose und Dysbiose zu stören. Beispielsweise ist *Porphyromonas gingivalis* bewiesenermaßen in der Lage, das Immunsystem zu manipulieren (Darveau 2010).

Aufgrund des aktuellen Verständnisses der Inflammation in Bezug auf die Pathogenese der Parodontitis, muss nicht nur die Infektion bekämpft werden, um die Entzündung zu kontrollieren, sondern die Entzündung muss kontrolliert werden, um die Infektion zu

aufzuhalten (Bartold und Van Dyke 2017). Es ist ein Plädoyer, der Wirtsreaktion, den Umweltfaktoren und den genetischen Faktoren mehr Beachtung zu schenken.

Bakteriell ausgelöste Dysbiose: Karies

Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen der Zunahme der Kariesläsion und der quantitativen Zunahme vieler Spezies, bei gleichzeitiger Abnahme der bakteriellen Artenvielfalt (Gross et al. 2012). Fällt der pH-Wert in der Plaque für eine entsprechend lange Zeit unter einen kritischen Wert von pH 5,5 - 5,0, beginnen die Demineralisations-Prozesse am Zahnschmelz (Gaengler et al. 2010), es besteht experimentell eine scheinbare Kausalität (Takahashi und Nyvad 2011). Eine schnelle Neutralisation wird durch die Pufferkapazität des Speichels erwirkt, vor allem durch den Carbonat- und Phosphatpuffer. Auch der Proteinanteil der Plaque-Flüssigkeit trägt entscheidend zur Neutralisation bei. Durch diese Ionenwippe entsteht in eubiotischen Verhältnissen ein Gleichgewicht zwischen den Re- und Demineralisationsvorgängen (Marsh et al. 2015b), die eine Kariesauslösung verhindern. Die folgende Abbildung zeigt schematisch die komplexen Abläufe und Faktoren in einem Biofilm.

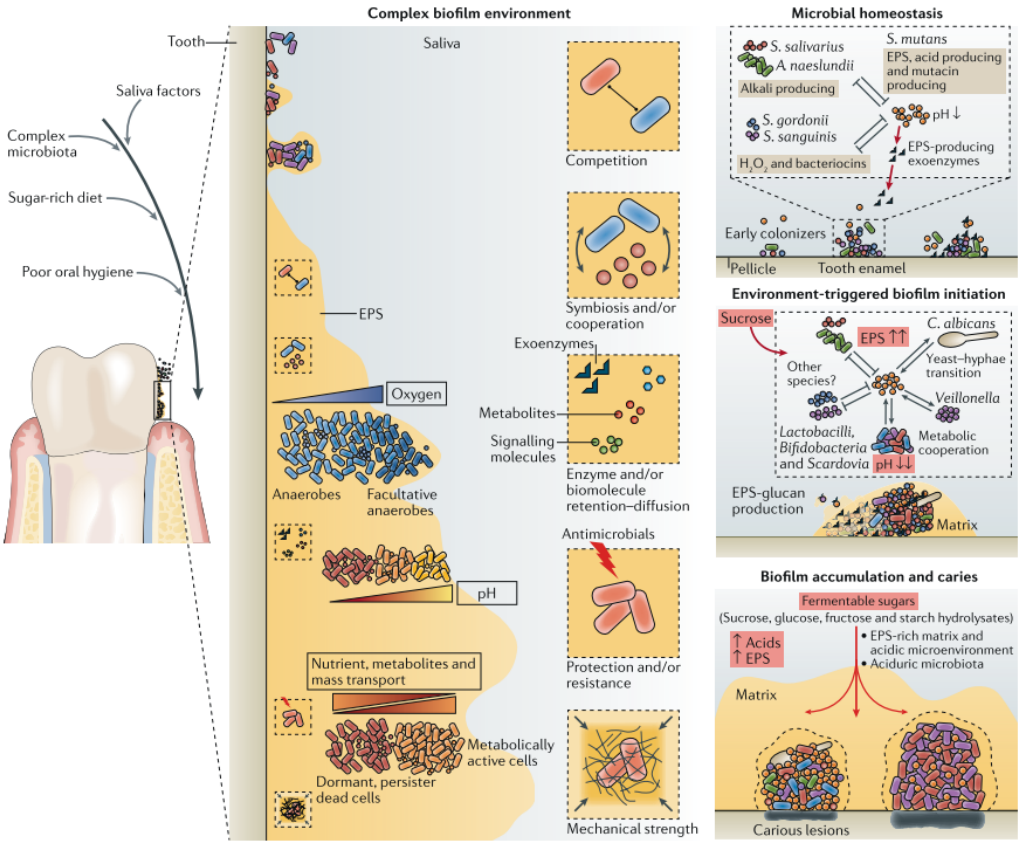

Abbildung 1.3(b): Zusammensetzung des kariogenen Biofilms in Anbetracht der Diät, Speicheldysfunktion, Fluoridexposition und der Mundhygiene. Nachdruck mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature Terms and Conditions for RightsLink Permissions Springer Nature Customer Service Centre GmbH: Nature [Nat Rev Microbiol], The oral microbiota: dynamic communities and host interactions, Lamont el al., Urheberrechte (2018)

Bakteriell ausgelöste Dysbiose: Parodontitis

Orale Biofilme stellen die Grundvoraussetzung für die Entstehung der Gingivitis dar, die früher als Hauptrisikofaktor der Parodontitis galt (Loe et al. 1965; Chapple et al. 2015). Tatsächlich jedoch ist die Gingivitis eine auch klinisch sehr gut abgrenzbare Erkrankung. Die Entzündungszeichen der Gingiva, wie die erhöhte Blutungsneigung, klinische Rötung und Schwellung, zeigen die Dysbiose an.

Eine Parodontitis entwickelt sich aus dem Zusammenspiel von Gewebsdestruktionen, Inflammation und der mikrobiellen Dysbiose, welche durch Faktoren wie dem Rauchen, systematischen Erkrankungen, der Ernährung, Stress und der Genetik beeinflusst wird (Bartold und Van Dyke 2019). Das erkrankte Parodontium unterscheidet sich in der bakteriellen Zusammensetzung von einem gesunden Zahnhalteapperat (Socransky et al. 2002). 50 % der Bakterienarten in parodontal erkrankten Personen decken sich größtenteils mit den sogenannten Core-Spezies der parodontal Gesunden (Abusleme et al. 2013). Tritt also eine Gingivits oder Parodontits auf, existieren gesundheits-assoziierte *Streptokokken spp.* in geringerer Zahl und es kommt zu einer Zunahme von anaeroben proteolytischen Bakterien wie beispielsweise *Porphyromonas gingivalis* (Abusleme et al. 2013). Die Erforschung der Mikroorganismen in subgingivaler Plaque zeigt, dass *S. parasanguinis*, *S. sanguinis*, *S. mitis*, *S. intermedius* und *S. infantis* häufig anzutreffen sind (Zhang et al. 2011; Griffen et al. 2012; Shaddox et al. 2012). Die gesundheits-assoziierten Bakterienarten werden in Phasen der Dysbiose unterdrückt, gehen jedoch nicht vollständig verloren (Griffen et al. 2012).

Viral ausgelöste Dysbiosen

Bei malignen Neoplasien des Nasopharynx und Oropharynx stellen sich zwei Hauptsubtypen mit einzigartiger und starker ätiologischer Assoziation mit zwei verschiedenen onkogenen Viren dar, nämlich dem Epstein-Barr-Virus und dem Humanen Papillomavirus (Ngan et al. 2018).

In einer beachtlichen Anzahl von Plattenepithelkarzinomen des Oropharynx findet man in den Zellen die DNA von Humanen Papillom Viren. Die Plattenepithelkarzinome machen circa 90 % der malignen Entitäten der Mundhöhle aus (Hubbers und Akgul 2015). Plattenepithelkarzinome des Kopfes und Halses zeigen in 50 % der Fälle eine Inzidenz von Humanen Papillom Viren. Das HPV 16 ist dabei mit 90 % der prävalente Typus (Majchrzak et al. 2014). Die HPV (+) assoziierten Kopf- und Halstumore scheinen einen aggressiveren Verlauf

zu nehmen und früher zu metastasieren. Dennoch scheint die Überlebensrate bei dieser Patientengruppe, die durch das Virus infiziert sind, höher zu sein. Grundsätzlich sind immunsupprimierte Patienten anfälliger für maligne Entartungen und sind durch das heruntergefahrene Immunsystem dem dysbiotischen Zustand ausgesetzt.

Es häufen sich ebenfalls die Assoziationen zwischen bestimmten Subversionen der Immunmechanismen von Bakterien in Bezug auf die Krebsentstehung. *Porphyromonas gingivalis* steht aktuell im Zusammenhang mit Plattenepithelkarzinomen der Mundhöhle, weiteren orodigestiven Krebsarten und Pankreaskrebsarten. Für *Fusobacterium nucleatum* zeigen sich erste Anzeichen dafür, bei der Entstehung von Kolonkarzinomen eine Rolle zu spielen (Hajishengallis 2015; Olsen und Yilmaz 2019).

Fazit für die Zielstellung der Arbeit:

Die komplexen pathobiologische Reaktion der Plaque-Maturation werden in einem simulierten Biofilm nicht vollständig reproduzierbar sein, für die Plaque-Kontrolle mit Zahnbürsten können sie aber vernachlässigt werden, weil es allein um die biomechanische Plaque-Entfernung geht.

1.4 Verhinderung eines dysbiotischen Zustandes durch Plaque-Reduktion

Plaque ist zwar nicht ursächlich, aber eine notwendige Bedingung, um eine Karies oder marginale Gingivitis auszulösen. Dementsprechend ist die tägliche Mundhygiene von großer Wichtigkeit. Mechanische Plaque-Kontrolle ist effektiv in der Plaque-Reduktion und Vermeidung von Gingivitis. In der Kariesprävention spielt ein Fluoridzusatz eine signifikante Rolle (Figuero et al. 2017). Die Plaque-Bildungsrate wird maßgeblich durch die Ernährungsgewohnheiten (Zuckerfrequenz), Fluoridanwendungen, Speichelsekretion, Speichel-Pufferkapazität, Allgemeinerkrankungen und Retentionsstellen beeinflusst (Gaengler et al. 2010).

1.4.1 Einfluss biomechanischer Hilfsmittel auf Plaque-Reduktion

Nach aktueller S3-Leitlinie zum mechanischen Biofilmmanagement der DGZMK (Graetz et al. 2018) soll man für zwei Minuten systematisch mit einer Zahnbürste die Zähne reinigen. Ein spezieller Zahnbürstentyp konnte nicht empfohlen werden. Zähneputzen reduziert effektiv den oralen Biofilm (Van der Weijden und Slot 2015), dabei korreliert die Putzdauer mit der Plaque-Reduktion (Van der Weijden et al. 1993; van der Weijden et al. 1996; Slot et al. 2012).

Elektrische Zahnbürsten arbeiten mit rotierend-oszillierenden Zahnbürstenköpfen, mit Schall oder Ultraschall, wobei die „schallaktiven“ Bürsten nicht mit Schall, sondern durch Schwingungen von 250 - 350 Hz funktionieren. Handzahnbürsten oder elektrische Bürsten wirken durch die mechanische Reibung der Borste an den Zähnen und entfernen dadurch Plaque. Hier wird sich die Physik des Kehrens bzw. Wegwischens durch Reibung zunutze gemacht. Neben der Reibung kommt es auch zu Scherkräften an der Zahnoberfläche, die durch Mikroströmungen verursacht werden. Die Qualität der mechanischen Reinigung ist stark patientenabhängig. Dabei kommt es maßgeblich auf folgende Faktoren an: die Putzkraft, die Putzdauer, die Putztechnik und die Frequenz der Zahnreinigung und in besonderem Maße auf die Systematik der Reinigung.

Interdentalbürsten, Zahnseide oder Zahnhölzer sind adäquate Hilfsmittel zur Reinigung der Interdentalräume (Salzer et al. 2015). Auch ein starker Wasserstrahl kann durch den Wasserdruck bei gleichzeitiger Pulsation, also der Reibung der Wassermoleküle bei hohem Druck, Plaque von der Zahnoberfläche entfernen. Die alltäglichen, mastikatorischen Bewegungen der Kau-, Wangen- und der Zungenmuskulatur tragen zur Plaque-Reduktion bei.

Die meisten Zahnpasten enthalten Putzkörper, sogenannte Abrasiva. Diese tragen zu einer mechanischen Plaque-Reduktion bei. Abrasiva bestehen meist auf Basis von Silica (Polykieselsäuren ≈ Hydrated Silica), hierbei handelt es sich um Siliciumdioxid, Wasser (SiO_2 * n H_2O) und Calciumcarbonat ($CaOH_3$) (Meyer und Enax 2018).

1.4.2 Einfluss biochemischer Wirkstoffe auf Plaque-Reduktion

Neben Putzkörpern werden Zahnpasten Wirkstoffe zugesetzt, die durch biochemische Prozesse die Anzahl von Mikroorganismen reduzieren. Antiplaque-Mittel sollen neue Plaque-Akkumulation verhindern, die Mikroorganismen im Wachstum hemmen und die Plaque-Matrix reduzieren. Häufig werden antimikrobielle Wirkstoffe in der Zahnpflege eingesetzt. In Meta-Analysen konnte ein signifikanter Effekt von antimikrobiellen Mundspüllösungen (Aminfluorid/Zinnfluorid, Ätherischen Ölen, Cetylpyridiniumchlorid, Chlorhexidin, Triclosan/Copolymere) im Vergleich zur alleinigen mechanischen Reinigung auf die Reduktion der Gingivitis gezeigt werden. Sie werden in der Leitlinie zum biochemischen Biofilmmanagement empfohlen (Auschill et al. 2018). Die unspezifische antimikrobielle Wirkung ist jedoch in der Literatur umstritten, da dabei sowohl physiologische als auch pathophysiologische Bakterien eliminiert werden.

Tabelle 1.4: Übersicht der Antiplaque-Reagenzien und ihre Wirkweise, entnommen aus Marsh (2012); Van der Weijden et al. (2015); Meyer und Enax (2018) mit Ergänzungen

Stoffklasse	Beispiel	Antimikrobielle Wirkung/Wirkweise
Bisbiguanid	Chlorhexidin	-Inhibierung des Zuckertransports und der Säureproduktion -Inhibierung der Aminosäureaufnahme, Polysaccharidsynthese und Funktionen der bakteriellen Membran -Inhibierung der Proteaseaktivität
Enzyme	Mutanase, Dextranase, Amyloglucosidase-glucoseoxidase	-Abbau von bakteriellen Polysacchariden, die den Biofilm aufbauen -Anregung des Peroxidase-Systems des Speichels, welches zu einer Akkumulation von antibakteriellem Hypothiocyanit führen kann
Ätherische Öle	Menthol, Thymol, Eucalyptol, Methylsalicylat	-Inhibierung des bakteriellen Wachstums -Inhibierung der Säureproduktion -Reduktion von Lipopolysacchariden
Metallsalze	Zink-, Kupfer- und Zinn(II)ionen	-Inhibierung des Zuckertransports und der Säureproduktion -Inhibierung der Proteaseaktivität
Naturstoffe	Pflanzenextrakte (z. B. Apigenin) Chitosan	-Inhibierung der Säureproduktion -Inhibierung der bakteriellen Polysaccharidsynthese -bakterioziden Effekt
Phenolderivate	Triclosan	-Inhibierung des Zuckertransports und der Säureproduktion -Inhibierung der Proteaseaktivität
Quartäre Ammoniumverbindung	Cetylpyridiniumchlorid	-Minimierung des bakteriellen Wachstums
Tenside	Natriumlaurylsulfat	-Angriff der Zellmembran -Inhibierung bakterieller Enzyme
Aminoalkohole	Delmopinol	Adhäsionsverminderung, stört die Biofilmbildung

1.5 Plaque-Simulationsmethoden

Um die Reinigungseffektivität und -effizienz von verschiedenen Mundhygieneprodukten in in-vitro Studien zu untersuchen, ist es notwendig, die natürliche Zahnplaque nachzuahmen. Daneben gilt es, die Zahnmorphologie und die Mundhöhle mit allen Parametern nachzubilden. Neben der mikrobiellen Besiedelung der Zahnoberflächen und Zahnzwischenräume sind die organischen Bestandteile des oralen Biofilms von wesentlicher Bedeutung. Viele der bisher verwendeten Plaque-Simulationsmethoden haben sich bei der Simulation an speziellen Bakterienkulturen orientiert oder allein durch einen Farbbezug die Plaque imitiert. Wenige Plaque-Simulationsmethoden haben bisher die physikalischen Eigenschaften der dentalen Plaque, wie Klebrigkeit, Wasserunlöslichkeit und hohe Abriebsbeständigkeit, nachgeahmt.

Arnold und Trost (1972) verwendeten bei Ihren Versuchen zur Testung des Putzeffekts in Abhängigkeit verschiedener Formen des Bürstenkopfes erstmals wasserlösliche Plakatfarben, um Plaque nachzubilden.

Um die Plaque-Bildung zu untersuchen, züchtete Bössmann (1979) auf extrahierten Zähnen in-vitro Plaque, indem er paraffinstimulierten, menschlichen Speichel mit Plaque-Feuchtmasse und eine Saccharose Lösung aufbrachte.

Nygaard-Ostby et al. (1979) verwendeten in Ihrer Studie über die Erreichbarkeit der approximalen Räumen durch Handzahnbürsten Okklusionsfolie, um die Eindringtiefe auf zahnförmigen Platten bei verschiedenen Zahnbürsten-Designs zu überprüfen.

Um die Plaque-Beseitigung mit Zahnseide und Zwischenraumbürsten zu untersuchen, wurde Petroleumgel auf extrahierte Zähne aufgebracht und zur Anfärbung mit Kaffeepulver bestreut (Smukler et al. 1989).

Dean (1991) mischte magentafarbene Pulver (tempera paint powder) mit pinkfarbener Flüssighandseife, tauchte Typodonten in die künstliche Plaque, die für 20 Minuten mäßiger Hitze ausgesetzt wurden.

Yankell et al. (1993) führten einen ähnlichen Versuch wie Nygaard-Ostby et al. durch. Hierbei wurden die Zahnzwischenräume der anterioren Zähne mit Okklusionsfolie ausgekleidet.

Die Forschungsgruppen um Rawls et al. (1993) verwendeten blau gefärbten Ethylzellulosefilm als Plaque-Ersatz. Um Aussagen über die interproximale Penetration der Borsten zu treffen, nutzten sie Typodonten.

Der artifizielle Plaque von Volpenhein et al. (1994) sollte einer 12 Stunden gereiften Plaque entsprechen. Sie bestand aus rot gefärbtem Ethylester des Copolymers Polymethylvinylether und dem Anhydrid der Maleinsäure (PVM/MA Copolymeren) und wurde auf Typodonten aus Kunststoff aufgetragen.

Etliche Studiengruppen der Universität in Mainz (Driesen et al. 1996; Ernst et al. 1997; Driesen et al. 1998) verwendeten zur Plaque-Simulation blaue Acrylfarbe, welche auf die sandgestrahlte Oberfläche von Frasaco-Modelle gepinselt wurde.

Dörfer (1999) verwendete ein grünes Okklusionsspray, das zu einer gleichmäßigen Pulverbeschichtung auf dem Zahn führte und als Farbindikator diente.

Imfeld et al. (2000) verwendete als Plaque eine weiße Suspension, die aus Titanoxid in Ethanol besteht, mit der schwarze Modellzähne beschichtet wurden.

Verschiedenen Studiengruppen aus Zürich züchteten Biofilme aus Polyspezies, um supragingivale Plaque für ein in-vitro System zu simulieren. Es wurden dazu fünf Bakterienspezies auf Hydroxylapatit-Platten verwendet (Guggenheim et al. 2001). Der Biofilm wird mit Glucose oder einer Glucose-Sucrose Mixtur bereichert.

Arbeitsgruppen der Universität Münster verwendeten als Plaque-Simulationsmittel Okklusionsspray mit einer grünen Grundfarbe, um einen Arbeitsplatz zur Analyse von Handzahnbürsten zu entwickeln (Bolstorff 2001; Duda 2001).

In späteren Versuchen der Gruppen aus Zürich wurde der Polyspezies-Biofilm aus fünf Bakterienspezies durch *Candida albicans* ergänzt (Shapiro et al. 2002).

Um den Zahnbelag auf den extrahierten Zähnen sichtbar zu machen, entwickelte Setzwein (2002) einen Belag aus Schwarztee, der mit Methylenblau angefärbt wurde.

Völker (2005) verwendete zur Plaque-Simulation eine dunkelbraune Suspension aus Lakritze und Wasser, in die Modelle eingetaucht wurden und anschließend trockneten.

In Versuchen der Studiengruppen an der Universität Witten/Herdecke (Staufer 2011; Lang et al. 2014) wurde bislang rote Spezialfarbe zur Plaque-Simulation angewendet. Die künstliche anorganische Plaque wurde klinisch validiert.

Von Monokulturen bis hin zu Polykulturen ist mit vielen Bakterienarten experimentiert worden, und es wurde versucht, diese Kulturen in-vitro zu züchten. Die Verfahren sind komplex und langwierig.

1.6 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorklinischen Untersuchung bestand darin, mit einer neu entwickelten organischen Plaque als Simulation der oralen Biofilme die Reinigungseffektivität von zwei differenten Zahnbürsten in Zusammenhang mit Bürstmedien zu untersuchen. Die Plaque-Reduktion wurde hierbei prozentual anhand einer Pixel-Zählfunktion gemessen. Die Zahnbürsten unterschieden sich in ihrer Form, Länge, Anzahl und Anordnung an Borsten. Die verwendeten Bürstmedien wichen hierbei vor allem in ihrer Abrasivität, dem pH-Wert und ihren Inhaltsstoffen voneinander ab.

Die Aufgabenstellung befasst sich insbesondere mit dem Vergleich der Reinigungseffektivität der folgenden Zahnputzmittel: Crest® – Pro Health Whitening (Procter & Gamble, Cincinnati, USA), Elmex® Geleé (GABA, Lörrach, Deutschland), Experimentelles Gel A (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Deutschland und Wachendorff Chemie, Troisdorf, Deutschland), Experimentelles Gel B (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Deutschland und Wachendorff Chemie, Troisdorf, Deutschland) und der Negativ-Probe, hierbei wurde der Zahnbürstenkopf mit Wasser befeuchtet.

Demzufolge waren die Ziele:

1. Organische Simulation einer maturierten Plaque, um den üblichen Standard der klinischen Prüfung von Mundhygiene-Produktion mit ‚3-day-plaque-regrowth' im Labor darzustellen.
2. Deshalb sollten mit zwei unterschiedlichen Zahnbürsten und mit vier unterschiedlichen Gelen die Differenzen der planimetrischen Plaque-Entfernung mit adäquaten statistischen Methoden erhoben werden.
3. Wenn sich alle, auch geringe, Differenzen der Plaque-Entfernung verifizieren lassen, sollte die Plaque-Simulation nach den biophysikalischen Parametern die klinische Situation widerspiegeln können.

Daraus leiteten sich folgende Hypothesen ab:

- Die Experimentelle Zahnbürste reinigt besonders effektiv in den Zahnzwischenräumen und in der Schaltlücke Regio 45 aufgrund des speziellen Tele-Tips und durch den speziell konfigurierten Bürstenkopf
- Die Zahnpasta Crest® – Pro Health Whitening reinigt aufgrund des hohen RDA Wertes von 162 am besten und ist den anderen Gelen weit überlegen
- Egal welche Kombination von Gel und Zahnbürste gewählt wird, ist die Reinigungseffektivität höher als die Kombination von Zahnbürste und Wasser (Negativ-Probe)

Weitere Hauptfragstellungen sollten diskutiert werden:

- Wie hoch ist der erreichte Reinigungserfolg der unterschiedlichen Gele?
- Beeinflussen die Gele den Reinigungserfolg oder beruht die Plaque-Reduktion ausschließlich auf dem mechanischen Abrieb?
- In wie weit ist der Reinigungserfolg dem Gel oder der gewählten Zahnbürste zuzuschreiben?
- Putzt die Experimentelle Zahnbürste effektiver als die klassische Flachschnittzahnbürste?
- Werden die eubiotischen Verhältnisse der Mundhöhle unterstützt?

2. Material und Methode

2.1 Material

Das Material bestand aus Instrumenten, Geräten und Mundhygiene-Produkten, die zur Versuchsdurchführung und der Messung der Plaque-Reduktion eingesetzt wurden. Es wurden 70 Einzelputzversuche an einem Versuchsmodell mit zehn Zähnen durchgeführt. Anschließend wurden die Ergebnisse der Plaque-Reduktion fotografisch erfasst und mit Hilfe eines Computers ausgewertet.

2.1.1 Zahnbürsten

Für die Versuche wurden zwei Zahnbürsten verwendet. Hierbei handelt es sich um die Dr. Best® Original der Firma GlaxoSmithKline Healthcare GmbH (Bühl, Deutschland) und eine neu entwickelte experimentelle Zahnbürste des Institute for Oral Medicine ORMED (Witten, Deutschland) mit M. + C. Schiffer (Neustadt (Wied), Deutschland).

Dr. Best® Original

Die Dr. Best® Original (Dr. Best® ZB) gehört zu der Classic Serie des Zahnbürstenherstellers, die Zahnbürste hat eine Länge von 19,2 cm und eine Breite von 1,1 cm. Der Bürstenkopf ist 3,2 cm lang, 1,1 cm breit und trapezförmig. Es befinden sich 43 Borstenbüschel am Bürstenkopf. Jedes Borstenbüschel besteht aus 35 Borsten, in Summe befinden sich etwa 1500 Borsten auf der Bürste. Die Borsten haben eine gleiche Höhe von 11 mm und sind abgerundet, es handelt sich um eine Flachschnittzahnbürste. Die Zahnbürste weißt eine mittlere Borstenstärke auf. Der Zahnbürstenhals der Dr. Best® Zahnbürste ist als Spezial-Federung, in Form einer Schlange, konstruiert.

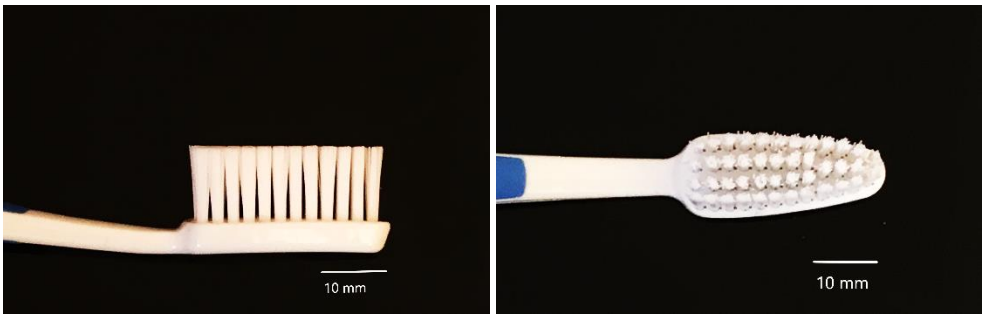

Abbildung 2.1.1(a): Dr. Best® Classic - Seitenansicht und Frontalansicht

Experimentelle Zahnbürste

Die Experimentelle Zahnbürste (Exp. ZB) weist eine Länge von 19,1 cm und eine Breite von 1,1 cm auf. Der Bürstenkopf hat eine Länge von 3 cm, eine Breite von 1,4 cm und eine ovale Form. Die Experimentelle Zahnbürste ist zweigeteilt und besteht aus 32 Borstenbüscheln. Es befinden sich pro Borstenbüschel 72 Borsten auf der Bürste, d. h. die Zahnbürste besteht aus ungefähr 2300 abgerundeten Borsten. Die Borsten des Borstenfeldes in Griffnähe sind plan und 1,5 cm lang. Die 24 weißen Borstenbüschel haben eine Höhe von 10 mm. Der zweite Flächenanteil, der sogenannte ‚Tele-Tip' befindet sich am Kopfende der Zahnbürste und besteht aus acht Borstenbüscheln mit jeweils einer Höhe von 13 mm, er ist zur Reinigung von Geschieben, Konuskronen und Implantaten geeignet. Die Experimentelle Zahnbürste weist eine weiche Borstenstärke auf. Zwischen den zwei Borstenfeldern ist ein Abstand von 7 mm, dieser Abschnitt ist frei von Borsten. Der borstenfreie Abschnitt soll die Reinigung von Zahnlücken im Gebiss unterstützen. Zusätzlich zeichnet sich die Experimentelle Zahnbürste durch einen Prothesenheber aus, der sich am Griffende der Zahnbürste befindet.

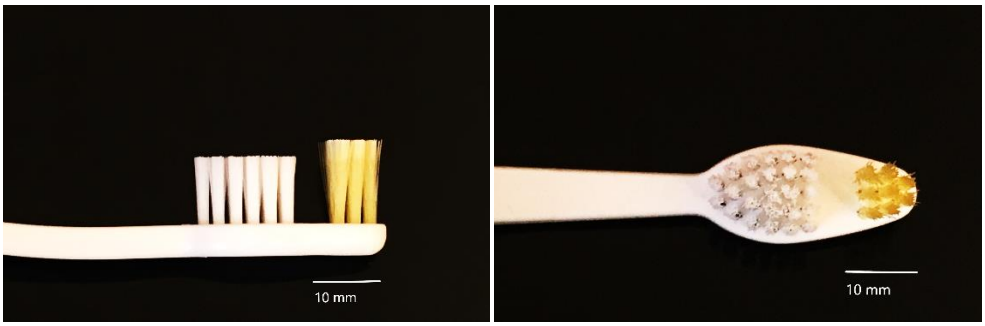

Abbildung 2.1.1(b): Experimentelle Zahnbürste - Seitenansicht und Frontalansicht

2.1.2 Zahnmodell von KaVo

Das Versuchsmodell der Firma KaVo (Biberach, Deutschland) besteht aus Zähnen aus Melaminharz, einer aus Kunststoff gefertigten Unterkiefer-Modellbasis, Schrauben, einem Rastermechanismus und einer Edelstahlplatte, die der Zahnfixierung dient.

Die Modellbasis hat 16 Aussparungen, in die die passenden Zähne 38 - 48 eingesetzt werden können. Ein patentiertes Schnappsystem erleichtert das Einbringen der Zähne. Beim Einrasten der Zähne in die Aussparung zeigt ein Klickgeräusch die endgültige Position an. Das Zahnmodell entspricht der natürlichen Anatomie und Okklusion, die Zähne befinden sich nach Einbringen in exakter, reproduzierbarer Position im Modell. In der vorliegenden Studie wurden die Zähne 33 - 48 verwendet, der Zahn 45 fehlt, um eine Zahnlücke zu simulieren. Das Gebiss soll die Situation in einem eugnathen Gebiss wiederspiegeln.

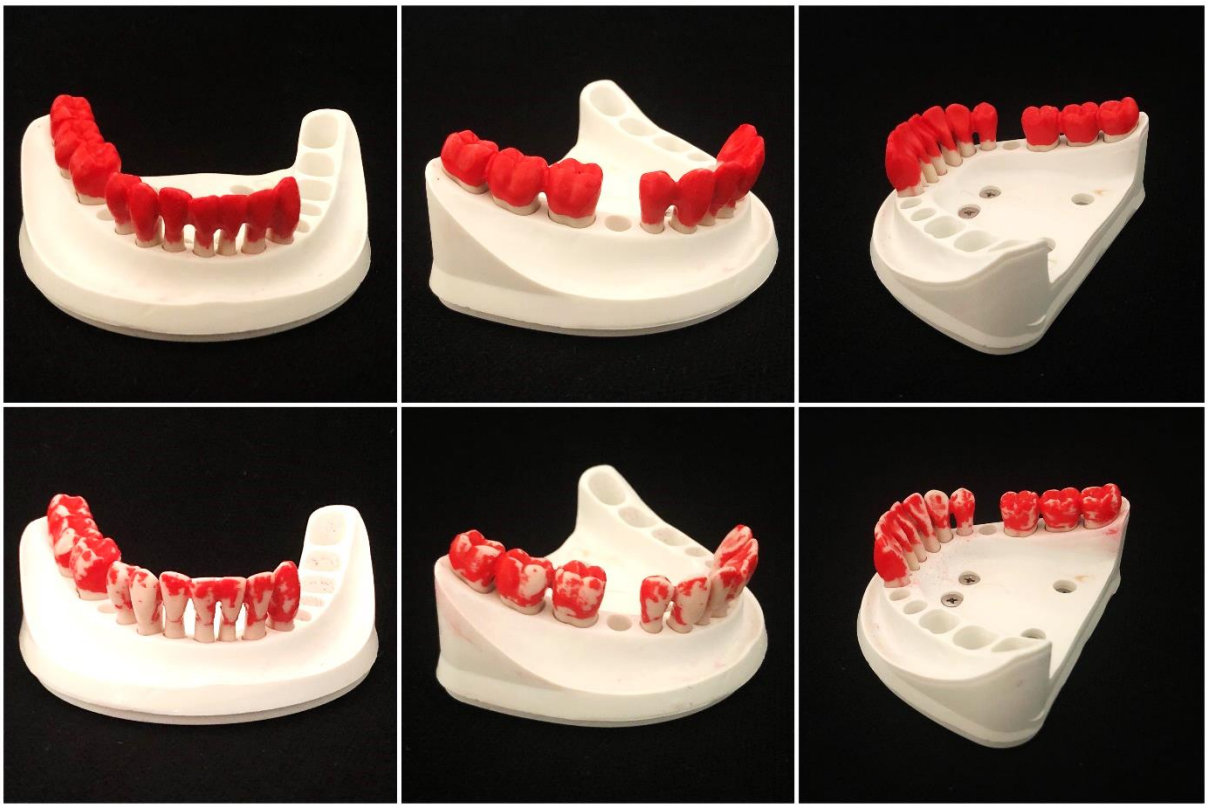

Abbildung 2.1.2: KaVo Modell mit artifizieller Plaque

2.1.3 Gel-Formulierungen

Die Versuche wurden mit insgesamt fünf verschiedenen Gelen durchgeführt:

- Crest® Pro Health Whitening Gel Toothpaste
- Elmex® Gelée
- Experimentelles Gel A
- Experimentelles Gel B
- Wasser (entspricht der Negativprobe)

Abbildung 2.1.3: Die verwendeten Gel-Formulierungen: Crest® Pro-Health Whitening Gel, Elmex® Gelée, Experimentelles Gel A und Experimentelles Gel B

Bei der Auswahl der Gelformulierungen wurde besonderes Augenmerk auf die jeweiligen Wirkeigenschaften der Bürstmedien gelegt. Wichtig waren Eigenschaften, die das eubiotische Milieu der Mundhöhle unterstützen, gering schäumen und der Xerostomie entgegenwirken. Die in-vitro Untersuchung sollte zeigen, welches der Bürstmedien in Abhängigkeit von der Abrasivität am effektivsten die Plaque reduzierte.

a) *Crest® Pro-Health Whitening Gel Toothpaste – Fresh Clean Mint*

Dieses Gel ist ein medizinisches Produkt aus den USA und als OTC[1]-Arzneimittel erhältlich. Aufgrund seiner abrasiven Inhaltstoffe ist dieses Gel in Deutschland nicht registriert. Die relative Dentin-Abrasion (RDA) beträgt 162, welches einer hohen Abrasivität entspricht (Giles et al. 2009). Crest® ist ein blau-opakes Gel, welches glitzernde Partikel enthält und nach Minze riecht. Laut Herstellerangaben ist eine Menge von einem Inch (entspricht 2.45 cm) zu verwenden. Die Anwendung zum täglichen Gebrauch ab dem 12. Lebensjahr wird beworben.

Hersteller:	Procter & Gamble, Cincinnati, USA
Fluoridgehalt:	1.600 ppm
pH-Wert:	pH 5,2 - 6,2
RDA-Wert:	162
Standardpackungsgröße:	Net wg 7.8 oz/221 g

Tabelle 2.1.3 (a): Inhaltsstoffe Crest® Pro-Health Whitening Gel Toothpaste

International Nomenclature of Cosmetic Ingredients (INCI)
Stannous fluoride
Glycerin, Hydrated Silica, Sodium Hexametaphosphate, Propylene Glycol, PEG-6, Aqua, Zinc Lactate, Trisodium Phosphate, Flavor, Sodium Lauryl Sulfate, Sodium Gluconate, Carrageenan, Sodium Saccharin, Polyethylene, Xanthan Gum, Mica, Titanium Dioxide, Blue 1

[1] Over the counter

b) Elmex® Gelée

Elmex® Gelée ist in Deutschland ein apothekenpflichtiges Arzneimittel. Das Gelée ist ein im deutschen Markt bekanntes Arzneimittel, welches ohne Verschreibung erhältlich ist. Laut Herstellerangaben ist Elmex® Gelée einmal pro Woche bei Erwachsenen und Kindern ab dem vollendeten 6. Lebensjahr anzuwenden. Bei der Anwendung soll eine Menge von 1 cm Stranglänge verwendet werden, das entspricht ca. 0,5 g Gel, entsprechend 6,25 mg Fluorid. Elmex® Gelée ist ein klares, hellgelbes Gel. Die Wirkweise beruht auf der Remineralisierung des Zahnschmelzes durch den relativ hohen Anteil an Fluorid-Ionen (12.500 ppm F^-).

Hersteller:	GABA GmbH, Lörrach, Deutschland
Fluoridgehalt:	12.500 ppm
pH-Wert:	pH 4,5 - 5,0
RDA-Wert:	keine Angabe
Standardpackungsgröße:	25 g (N1)

Tabelle 2.1.3 (b): Inhaltsstoffe Elmex® Gelée

International Nomenclature of Cosmetic Ingredients (INCI)
Dectaflur, Olaflur, Sodium Fluoride
Aqua, Propylene Glycol, Hydroxyethylcellulose, Sodium Saccharin, Aroma, Mentha Arvensis Leaf Oil, Mentha Viridis Leaf Oil

c) Experimentelles Gel A

Experimentelles Gel A ist eine neue Gelformulierung des Institute for Oral Medicine ORMED (Witten, Deutschland), hergestellt von Wachendorff Chemie (Troisdorf, Deutschland). Zum Untersuchungszeitpunkt war es nicht am Markt eingeführt. Pro Anwendung wurde eine erbsengroße Menge von circa 1 cm auf die angefeuchtete Zahnbürste gegeben. Das Gel hat eine wässrige Konsistenz, es ist klar und leicht gelblich eingefärbt. Das Gel liegt in den Geschmacksrichtungen Minze oder Zitrone vor.

Das Gel zeichnet sich durch Chitosan aus. Chitosan ist in seiner antimikrobiellen Wirkung mit Chlorhexidin vergleichbar (Verkaik et al. 2011), unterstützt die eubiotischen Verhältnisse der Mundhöhle und fördert somit das physiologische Mikrobiom.

Hersteller:	Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Deutschland
	Wachendorff Chemie, Troisdorf, Deutschland
Fluoridgehalt:	250 ppm
pH-Wert:	pH 6,54
RDA-Wert:	0
Standardpackungsgröße:	100 g im Spender

Tabelle 2.1.3 (c): Inhaltsstoffe Experimentelles Gel A

International Nomenclature of Cosmetic Ingredients (INCI)
Aqua, Chitosan, Sodium Fluoride, Sodium Benzoate, Ascorbic Acid, Glycerin, Aloe Barbadensis Leaf Juice, Salix Alba Bark Extract, Nigella Sativa Seed Oil, Calendula Officinalis Extract, Commiphora Myrrha Oil
Citrus Limon Peel Oil/Mentha Arvensis Leaf Oil

Myrrhe wird aufgrund seiner adstringierenden und desinfizierenden Wirkung häufig bei Entzündungen der Mund- und Rachenschleimhaut eingesetzt. Es wirkt antimikrobiell und besitzt antimykotische Eigenschaften (Bäumler 2012). Die ätherischen Öle der Ringelblume wirken antimikrobiell, fungizid und viruzid gegenüber Grippe-, Herpes simplex- und weiteren Viren. Sie sind nachweislich antiphlogistisch und fördern die Wundheilung (Bäumler 2012). Schwarzkümmelöl wirkt antiphlogistisch und analgetisch. Der Silberweidenextrakt wirkt analgetisch, antiphlogistisch und antipyretisch. Die Aloe Vera besitzt eine starke antiphlogistische Wirkung und zeigt antiulzerogene Effekte.

d) Experimentelles Gel B

Experimentelles Gel B ist eine neue Gelformulierung des Institute for Oral Medicine ORMED (Witten, Deutschland), hergestellt von Wachendorff Chemie (Troisdorf, Deutschland). Die Gel-Formulierung war zum Untersuchungszeitpunkt nicht auf dem Markt erhältlich. Pro Anwendung wurde eine Menge von ca. 1 cm auf die angefeuchtete Zahnbürste gegeben. Das Gel hat eine wässrige Konsistenz, ist klar und leicht bräunlich gefärbt. Das Gel liegt in den Geschmacksrichtungen Orange, Limette oder Zitrone vor.

Im Unterschied zu dem Experimentellen Gel A, ist in dem Experimentellen Gel B kein Chitosan enthalten. Die Wirkweise des Gels beruht auf die Wiederherstellung eubiotischer Verhältnisse in der Mundhöhle.

Hersteller:	Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Deutschland
	Wachendorff Chemie, Troisdorf, Deutschland
Fluoridgehalt:	250 ppm
pH-Wert:	pH 6,54
RDA-Wert:	0
Standardpackungsgröße:	100 g im Spender

Tabelle 2.1.3 (d): Inhaltsstoffe Experimentelles Gel B

International Nomenclature of Cosmetic Ingredients (INCI)
Aqua, Sodium Fluoride, Sodium Benzoate, Ascorbic Acid, Aloe Barbadensis Leaf Juice, Salix Alba Bark Extract, Nigella Sativa Seed Oil, Calendula Officinalis Extract, Commiphora Myrrha Oil
Citrus Limon Peel Oil/Citrus Aurantium Dulcis Peel Oil/Citrus Aurantifolia Oil

e) Negativ-Probe: Wasser

Bei der Negativ-Probe wurde der gesamte Putzversuch ohne wirksame Gele oder Zahnpasta, sondern nur mit Wasser durchgeführt. Hierbei wurde die Zahnbürste kurz in Wasser getaucht und anschließend geschwenkt, um die Borsten leicht zu befeuchten. Dieser Versuch diente der Kontrolle. Es soll Aufschluss darüber gewonnen werden, in wie weit sich der Reinigungseffekt auf die mechanische Putzbewegung der Zahnbürsten zurückführen lässt.

pH-Wert: pH 7,88[2]

Wasserhärte: 7,37 °dH[3]

Die folgende Tabelle fasst die verschiedenen Gel-Formulierungen, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, übersichtlich und prägnant zusammen.

Tabelle 2.1.3(e): Zusammenfassung der untersuchten Bürstmedien mit ihren wichtigsten Eigenschaften

	Fluoridgehalt	**Fluoridsalze**	**RDA-Wert**	**pH-Wert**	**Besonderheit**
Crest®	1.600 ppm	Zinnfluorid	162	pH 5,2 - 6,2	Natriumhexa-metaphosphat
Elmex® Gelée	12.500 ppm	Aminfluorid Natriumfluorid	Keine Angabe	pH 4,5 - 5	
Experimentelles Gel A	250 ppm	Natriumfluorid	0	pH 6,54	5%iges Chitosan
Experimentelles Gel B	250 ppm	Natriumfluorid	0	pH 6,54	

[2, 3] Trinkwasseranalyse der Stadt Witten im Jahr 2014

2.1.4 Artifizielle Plaque

Um die natürliche Plaque so realistisch wie möglich nachzubilden, wurde für die vorliegende Arbeit eine Rezeptur für eine artifizielle Plaque entwickelt. In ihr sind organische, den Speiseresten nachempfundene Inhaltsstoffe, Kohlenhydrate, Polyglycane und zur Sichtbarmachung ein Farbstoff enthalten. Ziel ist es, eine artifizielle Plaque zu formulieren, die der humanen, maturierten Plaque nach 3-tägiger Mundhygienekarenz entspricht.

Anwendung der artifiziellen Plaque

Nach dem Abschluss der Reinigung und Bestückung der KaVo Platte mit den Zähnen 33-48 wurde mit einem Pinsel eine gleichmäßige, dünne Schicht von etwa 0,5 mm der artifiziellen Plaque auf die Glattflächen der Zähne aufgetragen. Die approximalen Räume wurden vollständig mit der artifiziellen Plaque beschickt und somit war das interdentale Dreieck mit Plaque ausgefüllt. Nach einer Trocknungszeit von exakt 15 Minuten bei einer Raumtemperatur von 22 °C wurde der standardisierte Putzvorgang durchgeführt.

2.2 Versuchsaufbau

Zur Vorbereitung des standardisierten Putzvorgangs wurden die Trägerplatten der Firma KaVo (Biberach, Deutschland), nach gründlicher Reinigung mit 70 % Isopropanol mit Unterkiefer-Zähnen bestückt. In die Unterkieferträgerplatten wurden folgende Zähne eingesetzt: 33, 32, 31, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, das entspricht zwei Sextanten. Der Zahn 45 fehlte, um eine Schaltlücke in einem Gebiss eines geriatrischen Patienten darzustellen. In den standardisierten Putzvorgang wurden neun Zähne einbezogen. Der Zahn 33 wurde nicht in die Auswertung miteinbezogen, da seine Funktion darin bestand, mit Zahn 32 in Kontakt zu stehen.

Pro Putzversuch wurde mit einer Zahnbürste und einem Gel oder allein mit angefeuchteter Zahnbürste geputzt. Die Putzdauer betrug hierbei insgesamt 40 Sekunden. Anschließend wurde die KaVo Platte zehn Sekunden in einem Wasserbecken abgeschwenkt, um gelöste Plaque-Anteile zu entfernen. Nach einer Trocknungszeit von weiteren 60 Minuten, wurde der Putzversuch unter Zuhilfenahme der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) ausgewertet.

2.3 Studienprotokoll

Das Studienprotokoll beschreibt die Pilotversuche mit der Viskositätsprüfung und die konkreten Durchführungen der Versuche, der Reihenfolge und der Kalibrierungen, die festgelegt wurden.

2.3.1 Pilotversuche

Vor dem Beginn der präklinischen Versuche wurden einige Pilotuntersuchungen zur Bestimmung der idealen Eigenschaften der artifiziellen Plaque durchgeführt: Es musste die ideale Zusammensetzung, die nötige Trockenzeit und die durchschnittliche Schichtdicke gefunden und festgelegt werden. Verschiedene Zusammensetzungen wurden erprobt, um die ideale „artifizielle Plaque“ für diese Untersuchungsreihe herzustellen.

Die ideale Trocknungszeit der künstlichen Plaque wurde an den Kunststoffzähnen getestet. Einerseits sollte die Plaque gut haften, andererseits durfte sie auch nicht zu trocken sein, denn dann lassen sich nur noch wenige Beläge an den Zähnen entfernen. Es wurden Trocknungszeiten von 2, 5, 10, 15, 20 und 25 Minuten untersucht. Die Findung der Schichtdicke wurde durch Versuche mit verschiedenen Pinselstärken und durch Auftragen von mehreren Schichten ermittelt. Schließlich wurden die geeigneten Parameter (Kapitel 2.1.4) festgelegt.

Viskositätsprüfung

Um eine Standardisierung zu ermöglichen und die Reproduzierbarkeit der künstlichen Plaque zu gewährleisten, wurde am Institut für Pharmazeutischen Technologie und Biopharmazie an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster eine Viskositätsprüfung durchgeführt. Hierbei wurde die Viskosität der künstlichen Plaque mit Hilfe eines Rheometers gemessen. Dazu wurde ein Kegel-Platten System verwendet, das durch Zentrifugalkräfte die Viskosität der künstlichen Plaque maß.

Unter Viskosität oder Zähigkeit wird in der Rheologie der Widerstand bezeichnet, den eine Flüssigkeit einer Verformung entgegenbringt. Je höher die Viskosität ist, desto dickflüssiger und somit weniger fließfähig ist eine Flüssigkeit. Die Viskosität ist temperaturabhängig, daher fordert das europäische Arzneibuch (Ph. Eur. 2.2.8) die Messung der Viskosität bei 20 °C. Bei Flüssigkeiten gilt, dass bei steigender Temperatur und somit steigender kinetischer Energie, die Kollisionskräfte leichter überwunden werden und in Folge die Viskosität sinkt.

Das Rheometer Physika MCR 101 (Anton Paar, Graz, Österreich) mit Luftlager und dem eingesetzten Kegel Typ CP50-1/TG misst bei 20 °C die Viskosität der künstlichen Plaque durch einen Sprungversuch. Mit Hilfe der Software Rheoplus wurden die Rotationsmessungen durchgeführt. Somit ist gewährleistet, dass zukünftig hergestellte artifizielle Plaque in der Viskosität genau mit der hier gemessenen Viskosität verglichen werden kann.

Abbildung 2.3.1.1: Viskositätsmessung mit dem Rheometer Physica MCR101 im Institut für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Allgemeine Berechnungen der dynamischen Viskosität η $[mPa * s]$, Schubspannung τ und Schergeschwindigkeit D (Langer 2013):

$$\eta = \frac{\tau}{\mathrm{D}}$$

$$\tau = \frac{3 \cdot \mathrm{M}}{2 \cdot \pi \cdot \mathrm{r}^3}$$

$$D = \frac{\omega}{\alpha}$$

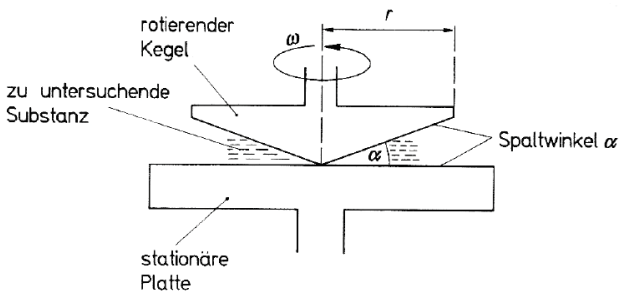

Abbildung 2.3.1.2: Schematische Darstellung des Kegel-Platte-Systems

Erläuterungen: M = Drehmoment. r = Kegelradius. ω = Winkelgeschwindigkeit. α = Öffnungswinkel des Kegels.

Der Sprungversuch (Kapitel 8, Tabelle 8.1 – Abbildung 8.3) zeigte, dass es sich bei der artifiziellen Plaque um einen strukturviskösen Körper handelt, deshalb ist die Viskosität von der Scherbelastung abhängig und kann nicht durch einen konstanten Viskositätswert beschrieben werden. Die Plaqueprobe nahm bei geringer Scherbelastung (0,02 1/min) eine Viskosität von 34,6 – 40,2 Pa*s an und nahm bei hoher Scherbelastung (200 1/min), dem Sprung, eine Viskosität von 1,99 – 2,83 Pa*s an. Nach dem Sprung lag die Viskosität bei geringer Scherbelastung zwischen 16 – 67 Pa*s. Es besteht also eine zeit- und schwereabhängige Komponente.

Die geschätzte mittlere dynamische Viskosität η der Simulation von maturierter humaner Plaque liegt zwischen 1 – 100 Pa*s.

2.3.2 Versuchsdurchführung

Nach Abschluss der Voruntersuchungen begannen die Putzversuche: Sie beinhalteten das Kalibrieren der Putzkraft und die Putzvorgänge mit insgesamt 70 Einzelversuchen.

Kalibrierung des Prüfarztes

Die vollständig mit artifizieller Plaque bedeckten KaVo-Zähne wurden mit den verschiedenen Bürstmedien gereinigt. Vor jedem Versuch wurden die Putzbewegungen und die Putzkraft kalibriert, sodass ca. eine Putzkraft von 1,96 N pro Bürste entstand. Das entspricht einem Gewicht von ca. 200 g auf einem Bürstenkopf. Die Kalibrierung erfolgte immer 30 Sekunden vor einem Versuch mit Hilfe einer Waage.

Es wurde mit der sogenannten ‚Schrubbtechnik' – einer horizontalen Zahnputzbewegung gearbeitet. Dabei wurden die Bürsten im 90° Winkel zur Zahnachse gehalten, es wurde auf eine okklusale Reinigung der Zahnmodelle verzichtet. Die Putzbewegungen wurden vor Versuchsbeginn an einem KaVo-Modell kalibriert. Der Bürstenkopf befand sich mittig am Zahnäquator eines jeden Zahnes, um auch die freiliegenden Wurzelfelder zu erreichen.

Putzvorgang

Pro Putzvorgang wurde eine Menge von 0,5 ml Gel mittels einer Einwegspritze auf den Zahnbürstenkopf aufgetragen. Die Dauer eines Putzvorgangs der zwei Sextanten betrug 40 Sekunden. Die Zähne wurden je 20 Sekunden zuerst von bukkal und anschließend 20 Sekunden von lingual gereinigt. Dies entspricht einer Reinigungszeit von 120 Sekunden für ein vollständiges Gebiss. Jeder Versuch wurde siebenmal wiederholt, um statistisch gesicherte Ergebnisse zu erzielen.

Die Versuche wurden mit allen fünf Prüfgelen jeweils mit der Flachschnittzahnbürste Dr. Best® und mit der Experimentellen Zahnbürste durchgeführt.

Abbildung 2.3.2(a): Putzversuch mit Dr. Best® ZB

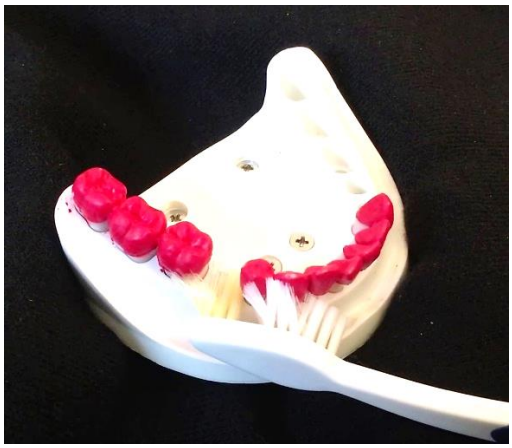

Abbildung 2.3.2(b): Putzversuch mit der Exp. ZB

Die Tabelle zeigt die Reihenfolge der Putzversuche an.

Tabelle 2.3.2(d): Reihenfolge der Versuchsreihen

Versuchsreihe 1 – 5: **Dr. Best® ZB**	- **Crest® Pro Health Whitening**
Versuchsreihe 6 – 10: **Experimentelle ZB**	- **Elmex® Gelée**
	- **H_2O**
	- **Experimentelles Gel A**
	- **Experimentelles Gel B**

Anschließend wurden die KaVo-Kieferplatten zehn Sekunden in einem Wasserbecken bei Zimmertemperatur abgeschwenkt, um gelöste Plaque-Anteile zu entfernen. In den darauffolgenden fünf Stunden wurde der Putzversuch mit der Automatisierten Plaque-Planimetrie ausgewertet.

2.4 Auswertung der Reinigungseffizienz

Zur Auswertung wurde der modifizierte Navy-Plaque Index nach Rustogi et al. (1992) zur Aufteilung der Zahnfelder herangezogen. Die Zahnoberfläche wird je nach Zahn und dessen Funktion, in unterschiedlich große Felder eingeteilt. Die Wurzelfelder sind im Vergleich zu den koronalen Feldern wesentlich kleiner.

Die Auswertung erfolgte durch einen Computer mit der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) Hardware und Software des Institute for Oral Medicine ORMED (Witten, Deutschland) gemeinsam mit M. + C. Schiffer (Neustadt (Wied), Deutschland) (Gaengler et al. 2013). Das Gerät fotografierte und wertet eigenständig die prozentuale Rest-Plaque auf den Zahn- und Wurzelflächen aus. Durch eine Pixel-genaue Zählfunktion wird die Plaque-Reduktion in Prozent ausgegeben. Dementsprechend liegt bei einer Reinigungseffektivität von 0,00 % keine Reinigung vor, 100,00 % entsprechen einer vollständigen Reinigung des Zahnfeldes. Zu Beginn der Untersuchung waren alle Zahnflächen vollständig mit der artifiziellen Zahnplaque bedeckt, dadurch konnte anschaulich festgestellt werden, welche Stelle des Zahnes gereinigt wurden. Es wurde nicht wie bisher durch ein Ja (1)/Nein (0) Entscheid ein Index erhoben.

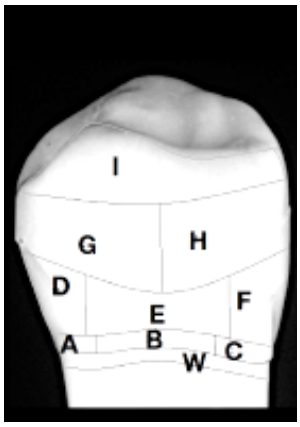

Abbildung 2.4.1: Planimetrische Felder A-I, W[4]

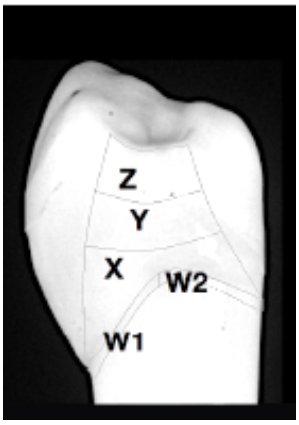

Abbildung 2.4.2: Planimetrische Felder X - Z, W1, W2[5]

Der Plaque-Prozentsatz misst den prozentualen Anteil der gereinigten Zahnflächen pro planimetrischem Feld, d. h. wie viel Prozent der artifiziellen Plaque durch den Putzvorgang entfernt wurde. Es wurden alle planimetrischen Felder ausgewertet, um herauszufinden, wie effektiv die Zahnbürste in Kombination mit den Gelen die koronalen bzw. radikulären sowie die approximalen Zahnanteile reinigen. Den vestibulären und oralen Flächen wurden die

[4, 5] Institute for Oral Medicine ORMED

Felderbezeichnungen A-I zugeordnet, den mesialen und distalen Flächen, die Bezeichnung XYZ und den Wurzelflächen wurden die Bezeichnung W zugeordnet (W1/W2 den proximalen Zahnflächen).

Abbildung 2.4.3: KaVo Zähne nach dem Putzvorgang in der APP Maschine, zu beachten ist der zu 100 % gereinigte Zahn 45, dieser wurde im späteren Verlauf aus dem Datensatz entfernt, da er nicht in dem Putzvorgang gereinigt wurde, sondern die Regio 45 eine Lücke simulierte

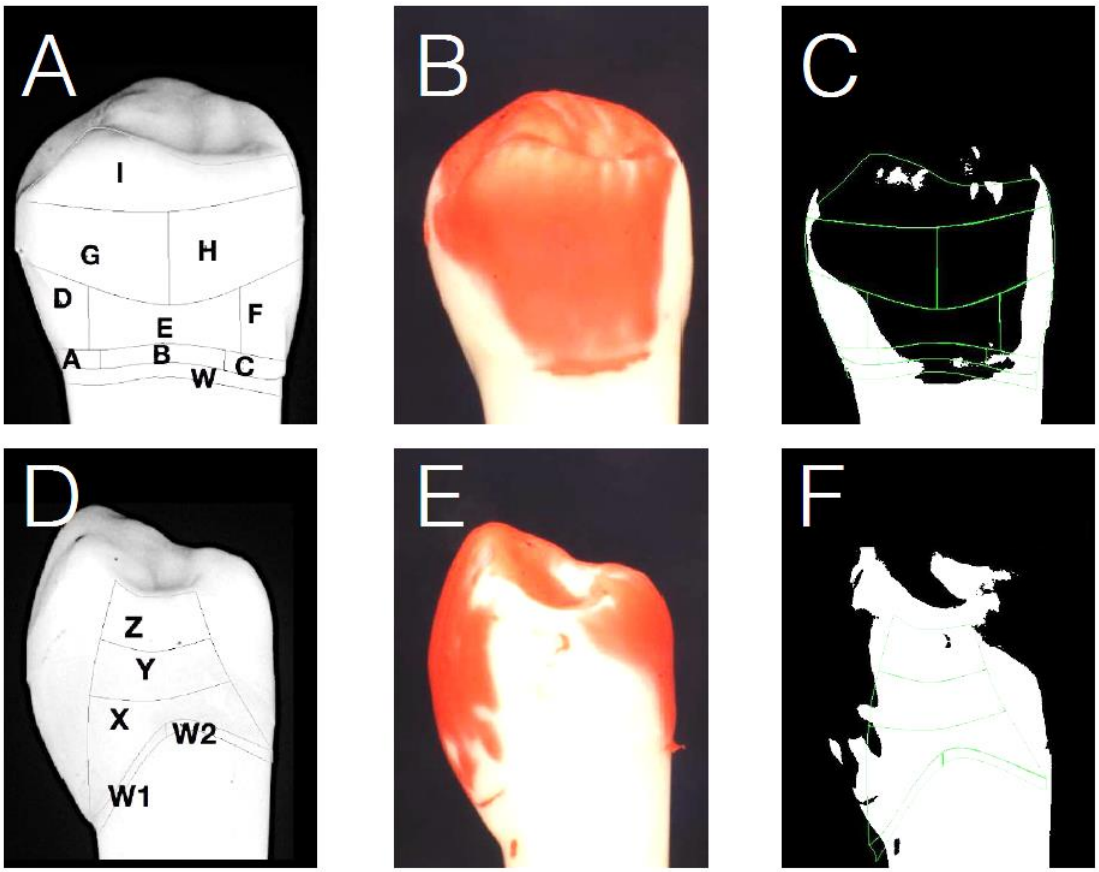

Abbildung 2.4.4: Beispiel einer APP Auswertung der organischen Plaque-Simulation: [A] koronale, linguale Felder (A - I) und Wurzelfeld (W) des Zahnes 44, [D] koronale, mesiale Felder (X - Z) und Wurzelfelder (W1 - W2), [B, E] Originalansicht des Prämolaren, [C, F] Computer-generiertes Bild zur pixel-genauen Auszählung pro planimetrischem Feld

Abbildung 2.4.5: Beispiel eines Fotos am Zahn 31[6]

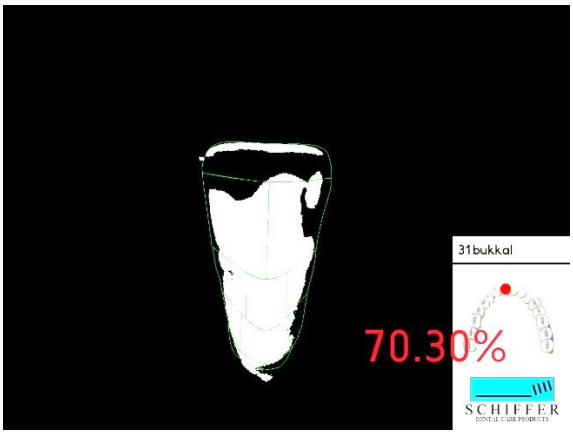

Abbildung 2.4.6: Beispiel einer APP Auswertung am Zahn 31[7]

Abbildung 2.4.7: Beispiel eines Fotos am Zahn 47[8]

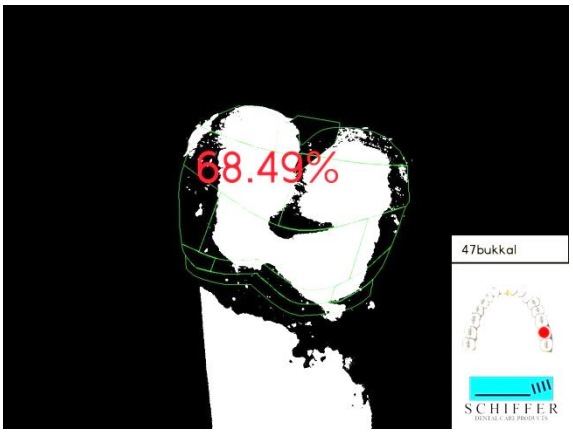

Abbildung 2.4.8: Beispiel einer APP Auswertung am Zahn 47[9]

2.5 Statistische Methodik

Untersuchungen

Die Versuche bestanden jeweils aus sieben Durchläufen, wobei folgende Parameter unverändert blieben: Putztechnik, Putzdauer und Putzkraft der Zahnbürste. Jedes Bürstmedium wurde siebenmal mit der Dr. Best® Zahnbürste und anschließend mit der Experimentellen Zahnbürste geprüft. Anhand des Plaque-Prozentsatzes der Automatisierten Plaque-Planimetrie wurden die Putzergebnisse direkt im Anschluss an den jeweiligen Putzzyklus ausgewertet.

[6, 7] Versuch mit Exp. ZB und H_2O

[8, 9] Versuch mit Dr. Best® ZB und Crest®

Auswahl der planimetrischen Felder

Jeder Zahn wurde in insgesamt 30 Felder eingeteilt. Darunter 24 koronale Felder (9 bukkal, 9 lingual, 3 mesial, 3 distal) und 6 radikuläre Felder (1 bukkal, 1 lingual, 2 mesial, 2 distal). Insgesamt wurden neun Zähne ausgewertet. Das bedeutet, dass pro Versuchsgebiss 270 Felder durch die APP erstellt und ausgewertet wurden.

Ausgewertet wurde die totale Summe der Kronenfläche und Wurzelfläche, welche von Plaque gereinigt wurde. Weiter wurden die Krone bukkal (A - I) und die Krone lingual (A - I) ausgewertet. Die Felder ABCDF wurden jeweils bukkal und lingual ausgewertet. Aufgrund ihrer unmittelbaren Nähe zu der marginalen Gingiva und den approximalen Zahnflächen, stellen die Felder die sogenannten Risikofelder dar, hier akkumuliert sich die Zahnplaque besonders und die Flächen sind am Zahn schwieriger zu erreichen und zu reinigen als beispielsweise die Zahnglattflächen. Die W Felder wurden bukkal und lingual separat untersucht. Mesial und distal wurde sowohl die Summe der Kronenfläche (X, Y, Z) als auch die der Wurzelfläche (W1, W2) statistisch ausgewertet. Schließlich wurde noch die Summe der radikulären Felder W lingual und W bukkal, W1 + W2 mesial und W1 + W2 distal ausgewertet.

Abbildung 2.5.1: Planimetrische Felder A[10]

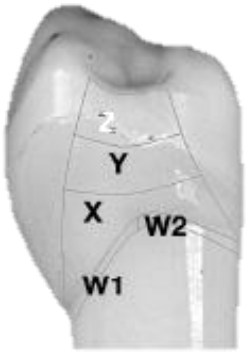

Abbildung 2.5.2: Planimetrische Felder B[11]

[10, 11] Institute for Oral Medicine ORMED

Statistische Auswertungsverfahren

Betrachtet man den Datensatz, den man aus jedem alleinstehenden Zahn erhält, handelt es sich bei den Messwerten um mindestens eine Ordinalskala. Charakteristisch für ordinalskalierte Variablen ist die Möglichkeit, die Messwerte in eine Rangordnung zu bringen. Zu Beginn der Untersuchung konnte eine Intervall- oder Verhältnisskala nicht ausgeschlossen werden.

Um den Einfluss der Gele auf die Reinigungseffektivität, den Einfluss der Zahnbürsten auf die Reinigungseffekte und die Interaktionseffekte zwischen den Gelen und den Zahnbürsten herauszuarbeiten, erfolgte zunächst ein Vortest. Dies bedeutet, es wird mit einem Einstichprobenfall, dem Kolmogorov-Smirnov Test, die Normalverteilung des Datensatzes geprüft. Liegt eine Gauß'sche Normalverteilung vor, kann im weiteren Verlauf mit parametrischen statistischen Methoden gearbeitet werden. Liegt keine Normalverteilung der Daten vor, werden nicht parametrische statistische Methoden zur Auswertung verwendet.

Im Anschluss an die Prätestung erfolgte für jede der zu betrachtenden Hauptfragestellungen eine Datenanalyse, die jeweils aus einer deskriptiven Statistik mit grafischer Darstellung und einer schließenden Statistik bestand.

Bei der deskriptiven statistischen Auswertung werden verschiedene Lageparameter erfasst, wobei ein großer Datensatz in einer Zahl zusammengefasst wird und somit eine Tendenz der Verteilung anzeigt. Als Beschreibung metrischer Merkmale einer Stichprobe für eine zentrale Tendenz eignen sich Mittelwert und Median. Zur Beschreibung metrischer Merkmale einer Stichprobe in Bezug auf die Streuung des Datensatzes sind die Standardabweichung, der Interquartilabstand sowie die Minimal- und Maximalwerte von Bedeutung. Diese deskriptive Statistik kann grafisch in einem Whisker-Box Plot dargestellt werden.

In der schließenden Statistik werden statistische Tests berechnet, die die im deskriptiven Teil beschriebenen Zusammenhänge oder Unterschiede, auf Signifikanzen prüfen. Nur bei einer belegten Signifikanz mit einer geringen Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau, festgelegt auf $\alpha = 5\ \%$) kann darauf vertraut werden, dass die beobachten Effekte nicht zufällig zu Stande gekommen sind, sondern dass ein tatsächlicher Zusammenhang bzw. Unterschied im Bezug zur Gesamtpopulation widergespiegelt wird.

Die Analysen des Einflusses der Gele und der einzelnen Zahnbürsten auf die Reinigungseffekte folgten. Anschließend wurde der Interaktionseffekt zwischen Gel und Zahnbürste untersucht. Abschließend wurden die Analysen der einzelnen Zähne und deren Plaque-Entfernung tabellarisch dargestellt.

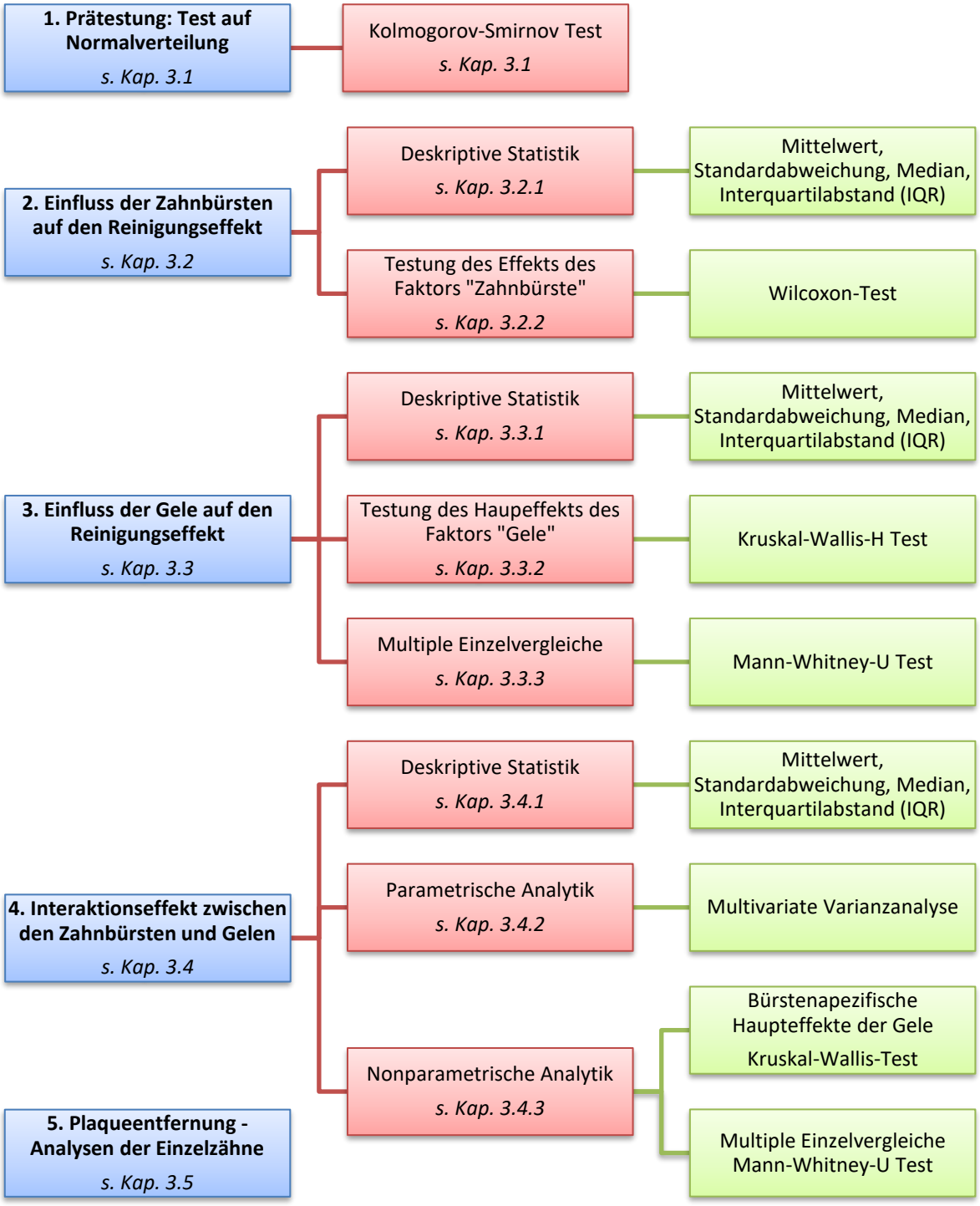

Abbildung 2.5.3: Grafische Darstellung des Aufbaus und der Struktur der statistischen Auswertung

3. Ergebnisse

Der auszuwertende Datensatz von 18.900 statistisch bewerteten Zahnfeldern, ergibt sich aus 70 Putzversuchen mit je neun Zähnen und den 30 planimetrischen Feldern pro Zahn.

$$Datensatz = 70\ Putzversuche\ x\ 9\ \frac{Zähne}{Versuch}\ x\ 30\ \text{planimetrische}\ \frac{\text{Felder}}{\text{Zahn}}$$

$$Datensatz = 18.900$$

Die 70 Putzversuche setzen sich zusammen aus den zwei untersuchten Zahnbürsten, fünf zu untersuchenden Gelen bzw. Wasser und jeweils sieben Versuchsdurchläufen. Jeder einzelne Versuch inkludierte neun auszuwertende Zähne im Unterkiefer, d.h. spezifisch der vierte Quadrant, ohne den Zahn 45, plus die Zähne 31 und 32.

Die Daten wurden von der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) fotografisch erfasst und Pixel-genau ausgegeben und sind somit computergeneriert. Die statistischen Rechenoperationen wurden mit der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics, Version 19 (SPSS GmbH, München) durchgeführt.

Bei der Auswertung der Ergebnisse musste eine Extremwertselektion durchgeführt werden. Konkret werden hier Extremwerte aus dem Datensatz entfernt, die außerhalb des 3-fachen Quartilabstandes liegen. Die Werte der Felder ‚W bukkal' und ‚ABCDF+W bukkal' des jeweils 6. Durchlaufs bei dem Mundhygiene-Gel ‚Crest®' repräsentieren Extremwerte. Sie sind außerhalb des 3-fachen Quartilabstandes bzw. beim Boxplot außerhalb der 3-fachen Kastenlänge nach oben lokalisiert (Wert jeweils > 40) und wurden demzufolge von den Analysen ausgeschlossen. Die Stichprobengröße der Werte reduziert sich bei diesen Feldern für Crest® somit von n = 14 auf n = 13.

3.1 Vortest auf Normalverteilung

Ziel des Vortests besteht in der Vorentscheidung, ob im weiteren Verlauf der statistischen Analyse parametrische- oder nichtparametrische Testverfahren eingesetzt werden.

Tabelle 3.1: Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung auf Normalverteilung für die Parameter der Reinigungseffektivität

Situs	Test-Statistik	p
bukkal	0,110*	0,034
lingual	0,119*	0,015
mesial	0,110*	0,036
distal	0,090	0,200
ABCDF+W bukkal	0,107*	0,049
ABCDF+W lingual	0,127*	0,007
W bukkal	0,076	0,200
W lingual	0,101*	0,072
W1+W2 mesial	0,108*	0,043
W1+W2 distal	0,082	0,200
total	0,100*	0,081

Erläuterungen: Beobachtungen n = 70 Putzversuche (‚ABCDF+W bukkal' und ‚W bukkal' je N = 69).
*signifikant (p ≤ 0.10)

Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test wird die empirische Verteilungsfunktion, diese entspricht den beobachteten Werten, mit den Werten der theoretischen Normalfunktion verglichen, wodurch eine Aussage über die Normalverteilung der Parameter getroffen werden kann (Siegel 1976). Acht der elf Variablen (bukkal, lingual, mesial, ABCDF+W bukkal, ABCDF+W lingual, W lingual, W1+W2 mesial und total) weichen signifikant von der Normalverteilung ab. Aus diesem Grund werden in folgenden Analysen hauptsächlich nichtparametrische Testverfahren eingesetzt.

Werden nichtparametrische Verfahren im Falle einer Normalverteilung (hier bei den Variablen distal, W bukkal und W1+W2 distal) angewandt, haben sie im Allgemeinen eine 95 % Effizienz der entsprechenden parametrischen Tests (Bühl 2016).

3.2 Einfluss der Zahnbürsten auf Reinigungseffektivität

Dargestellt wird, welche Zahnbürste den besseren Reinigungserfolg garantierte und welche Flächen von welcher Zahnbürste durch die unterschiedlichen Konfigurationen besser erreicht wurden.

3.2.1 Deskriptiv- statistische und grafische Auswertung

Die folgende Abbildung 3.2.1(a) zeigt die Ergebnisse der Reinigungseffektivität der beiden Zahnbürsten an den Situs bukkal, lingual, mesial, distal, ABCDF+W bukkal und ABCDF+W lingual (im Anhang, Kapitel 8, Tabelle 8.4).

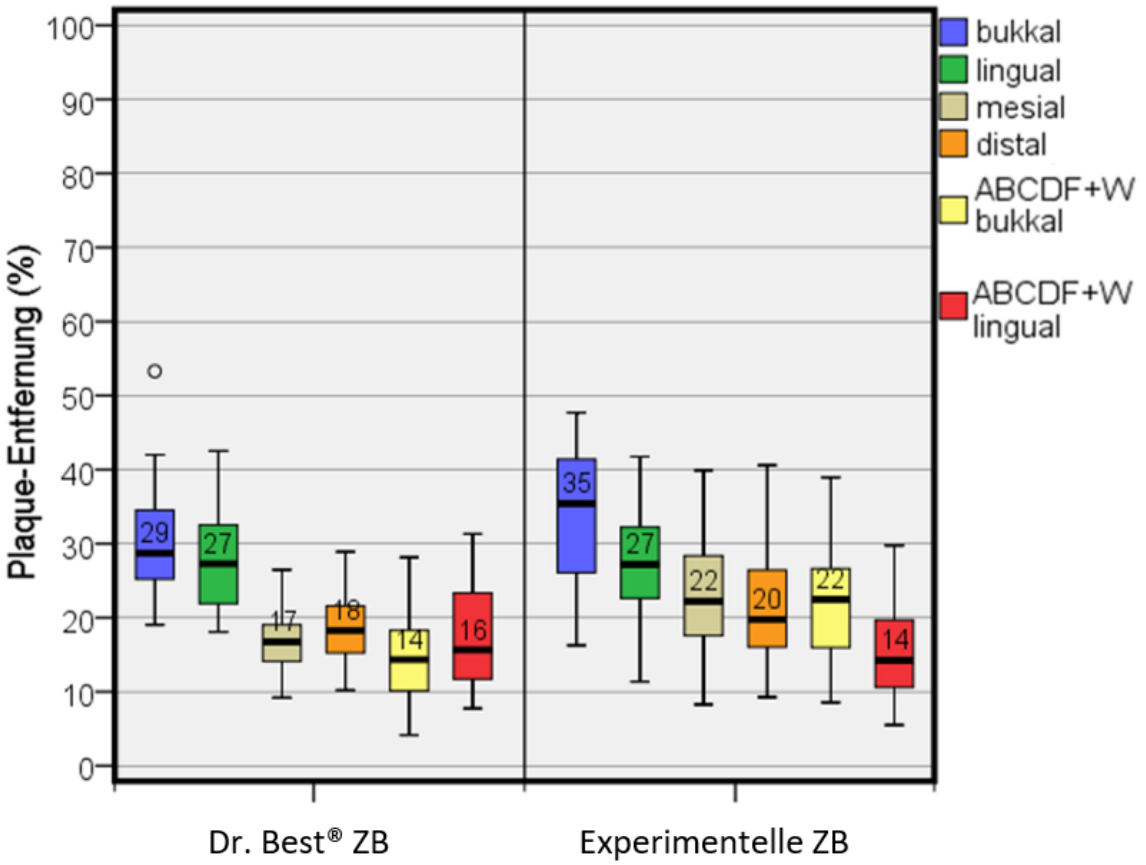

Abbildung 3.2.1(a): Plaque- Entfernung bukkal, lingual, mesial, distal, ABCDF+W bukkal und ABCEF+W lingual bei der Dr. Best® Zahnbürste und der Experimentellen Zahnbürste

Erläuterungen: Anzahl der Beobachtungen pro Zahnbürste: n = 35 (Dr. Best® ZB: die Risikofeldern ‚ABCEF+W bukkal' n=34). Mediane und Quartilabstände s. Tabelle 8.4 im Anhang.

Die Abbildung 3.2.1(a) zeigt, dass die Experimentelle Zahnbürste der Dr. Best® Zahnbürste überlegen ist. Erwartungsgemäß ist die höchste Reinigungsleistung an den bukkalen und lingualen Flächen erreicht worden. Die durchschnittliche Plaque-Reduktion betrug bukkal und lingual 27,22 - 33,60 %, mesial und distal 16,93 - 23,02 %.

Die Risikofelder wurden im Durchschnitt zu 15,18 – 23,02 % gereinigt. Es zeigt sich bei der genauen Betrachtung keine eindeutige Überlegenheit einer Bürste. Je nach Situs reinigten die unterschiedlichen Bürsten unterschiedlich gut. Auffällig ist die größere Streuung der Daten bei der experimentellen Zahnbürste.

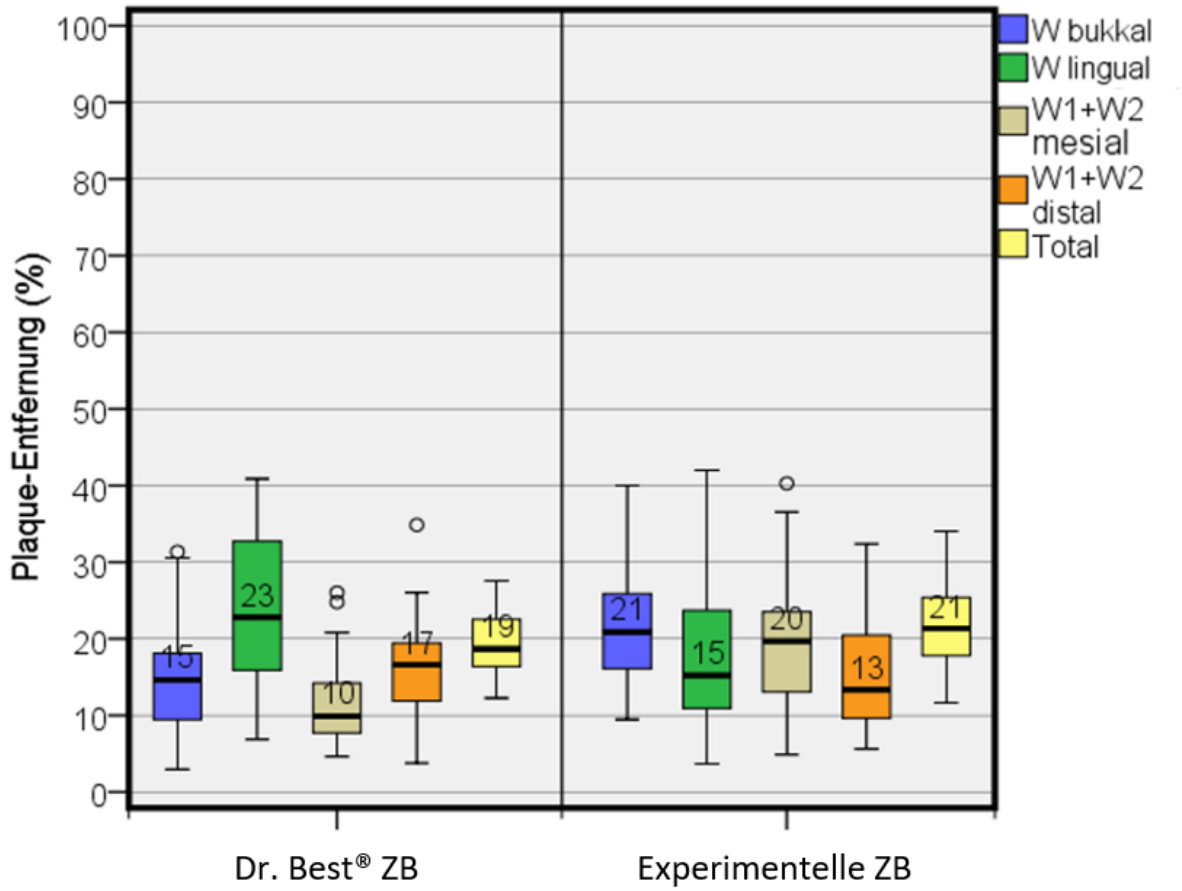

Abbildung 3.2.1(b): Plaque- Entfernung W bukkal, W lingual, W1+W2 mesial, W1+W2 distal und Total bei der Dr. Best® Zahnbürste und der experimentellen Zahnbürste

Erläuterungen: Anzahl der Beobachtungen pro Zahnbürste: n = 35 (Dr. Best® ZB: ‚W bukkal' n=34). Mediane und Quartilabstände s. Tabelle 8.4 im Anhang.

Bei Betrachtung der Wurzelfelder wurde der größte Reinigungseffekt an der W lingual Fläche erreicht. Insgesamt ist die Reinigungsleistung an den W-Feldern sehr gering, die durchschnittliche Plaque-Reduktion reicht von 11,96 - 23,07 %.

Im Durchschnitt hat die Dr. Best® Zahnbürste eine Plaque-Reduktion von 19,41 % erreicht und die Experimentelle Zahnbürste eine Plaque-Reduktion von 21,82 %. Ob der Unterschied signifikant ist, wird im Folgenden untersucht.

3.2.2 Effekte des Zahnbürsten-Faktors

Der Wilcoxon-Test verglich zwei abhängige Stichproben. Sie wurden als abhängige Stichproben deklariert, da jedem Wert der Stichprobe A auf eindeutige Weise genau ein Wert der Stichprobe B zugeordnet werden konnte. Anhand der Ränge der Daten fand der Vergleich statt.

Tabelle 3.2.2: Wilcoxon-Test: Effekt des Zahnbürsten-Faktors

Situs	Z	p
bukkal	-1,556	0,120
lingual	-0,217	0,828
mesial	-3,647***	0,000
distal	-1,486	0,137
ABCDF+W bukkal	-3,769***	0,000
ABCDF+W lingual	-1,110	0,267
W bukkal	-3,637***	0,000
W lingual	-2,390*	0,017
W1+W2 mesial	-4,023***	0,000
W1+W2 distal	-0,734	0,463
total	-1,791	0,073

Erläuterungen: Beobachtungen pro Zahnbürste: n = 35 (Dr. Best® ZB: ‚ABCDF+W bukkal' und ‚W bukkal' je n=34).
Z: Teststatistik des WMW-Tests
*signifikant (p ≤ 0.05)
*** hoch signifikant (p ≤ 0.001)

Das Ergebnis der Tabelle 3.2.2 zeigte, dass sich die beiden Zahnbürsten in fünf von elf Parametern größtenteils hoch signifikant in ihrer Reinigungswirkung unterscheiden. Bei den Parametern mesial, ABCDF+W bukkal, W bukkal sowie W1+W2 mesial weist stets die Experimentelle Zahnbürste einen hoch signifikanten Unterschied in der Plaque-Reduktion auf (s. Mittelwerte bzw. Mediane in Kapitel 8, Tabelle 8.4). Lediglich die Fläche W lingual wird durch Dr. Best® Zahnbürste in signifikant höherem Ausmaß gereinigt.

Da die Signifikanzen nur einige Situs betreffen, bleibt trotz hoher Signifikanzen die klinische Relevanz uneindeutig.

3.3 Einfluss der Gele auf Reinigungseffektivität

Folgend wird aufgezeigt, welches der Gele bzw. Wasser eine höhere Plaque-Reduktion gewährleistet. Es gilt zu analysieren, ob die Inhaltsstoffe und Wirkstoffe der Gele einen Einfluss auf den Reinigungserfolg haben.

3.3.1 Deskriptive Analyse: statistische und grafische Auswertung

Die folgenden Abbildungen 3.3.1(a) und 3.3.1(b) zeigen die Ergebnisse der Analysen des Einflusses der Bürstmedien auf die Reinigungseffektivität (Tabellen 8.5(a) und 8.5(b), im Anhang Kapitel 8) und stellen diese übersichtlich und anschaulich dar. Sie sind in einem Whisker-Box Plot grafisch dargestellt.

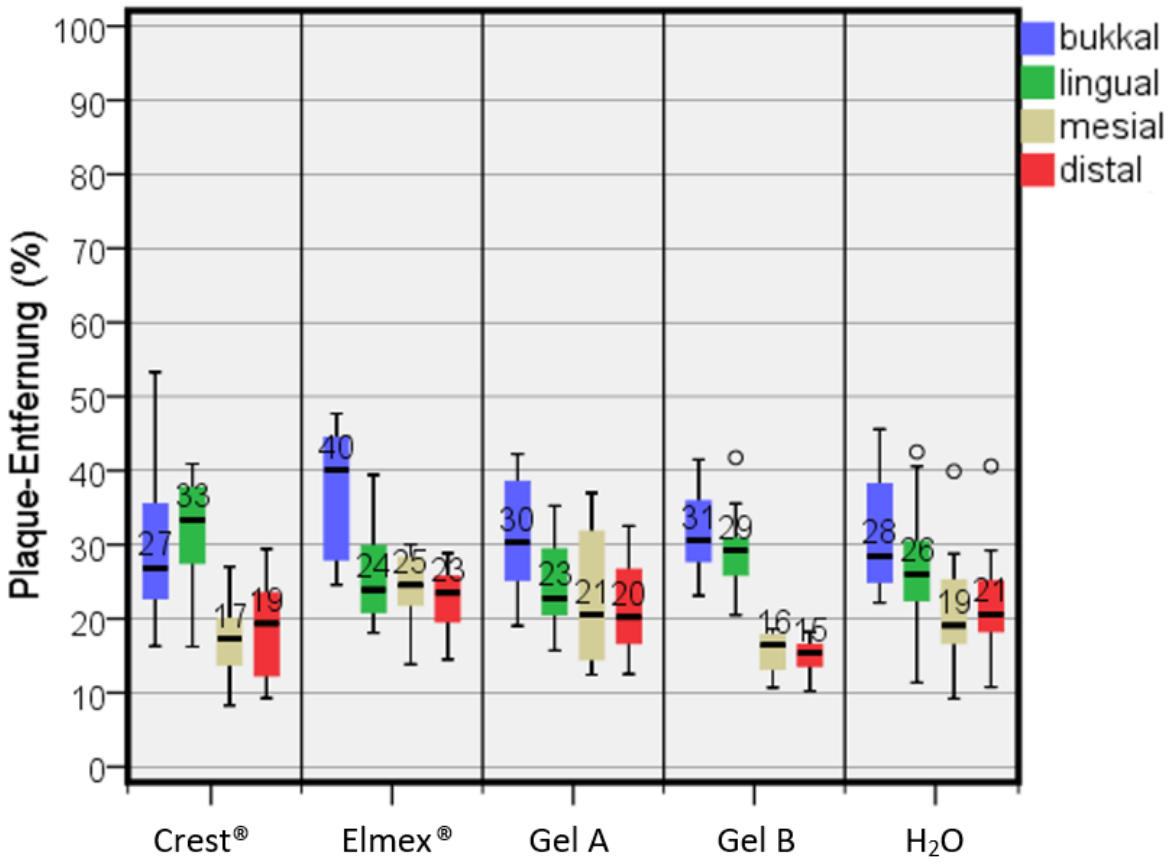

Abbildung 3.3.1(a): Plaque-Entfernung bukkal (in Richtung der Wange), lingual (in Richtung der Zunge), mesial (anterior, im Zahnzwischenraum), distal (posterior, im Zahnzwischenraum) bei den vier Gelen und Wasser

Erläuterungen: Anzahl der Beobachtungen pro Gel/H_2O: n = 14. Die exakten Mediane und Quartilabstände sind der Tabelle 8.5(a) zu entnehmen.

Die Abbildung 3.3.1(a) zeigt, dass die Reinigungsleistung bei den fünf unterschiedlichen Bürstmedien sehr ähnlich ist. Erwartungsgemäß sind die bukkalen Flächen prozentual

großflächiger gereinigt worden als die mesialen und distalen Flächen. Die durchschnittliche Plaque-Reduktion bukkal und lingual betrug 24,48 - 37,55 %, wohingegen der Wert mesial und distal bei 14,83 - 24,08 % lag. Die Reinigungseffektivität betrug im Median zwischen 15 – 40 %.

Die absolut höchste Plaque-Reduktion an der bukkalen Fläche wurde durch das Gel Crest® erreicht (s. Abb. 3.3.1(a)); die absolut geringste Reinigung lag an den mesialen Flächen der Zähne vor, die mit Crest® gereinigt wurden. Die höchste Streuung war bei den bukkalen Flächen zu beobachten. Die geringsten Abweichungen in der Streuung bestehen bei dem Experimentellen Gel B, hier wurden die mesialen und distalen Flächen im Median am geringsten gereinigt.

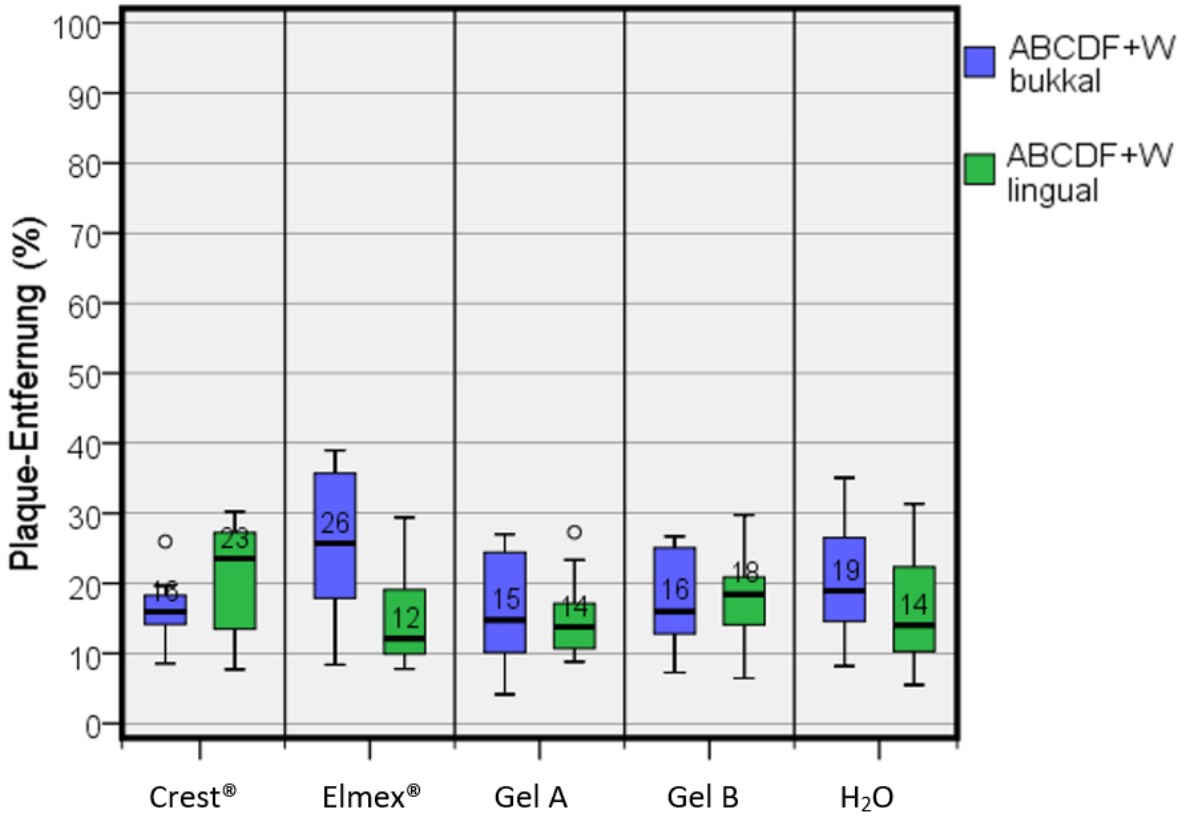

Abbildung 3.3.1(b): Plaque-Entfernung an den Risikofeldern, entlang der marginalen Gingiva, ABCDF+W bukkal und ABCDF+W lingual bei den vier Gelen und Wasser

Erläuterungen: Anzahl der Beobachtungen pro Gel/H_2O: n = 14 (Crest®: bei den bukkalen Risikofeldern ‚ABCDF+W' n=13). Die exakten Mediane und Quartilabstände sind der Tabelle 8.5(a) zu entnehmen.

Die Risikofelder in Abbildung 3.3.1(b) zeigten eine geringere Plaque-Reduktion als die vier koronalen Zahnflächen aus der Abbildung 3.3.1(a). Vergleicht man die Risikofelder (ABCDF bukkal und lingual) mit den Glattflächen der Zähne (bukkal und lingual), nahm die Plaque-Reduktion um ein Drittel bis zur Hälfte ab. Die durchschnittliche Plaque-Reduktion an den Risikofeldern (ABCDF bukkal und lingual) betrug 14,78 - 25,03 %. Da unmittelbar nach der Zahnreinigung in Nähe des marginalen Saums die Plaque initial akkumuliert, ist eine genaue Betrachtung der Risikofelder wichtig.

Die Wurzelfelder (W bukkal, W lingual, W1+W2 mesial, W1+W2 distal) wurden durchschnittlich zu 9,97 - 26,31 % von Plaque gereinigt.

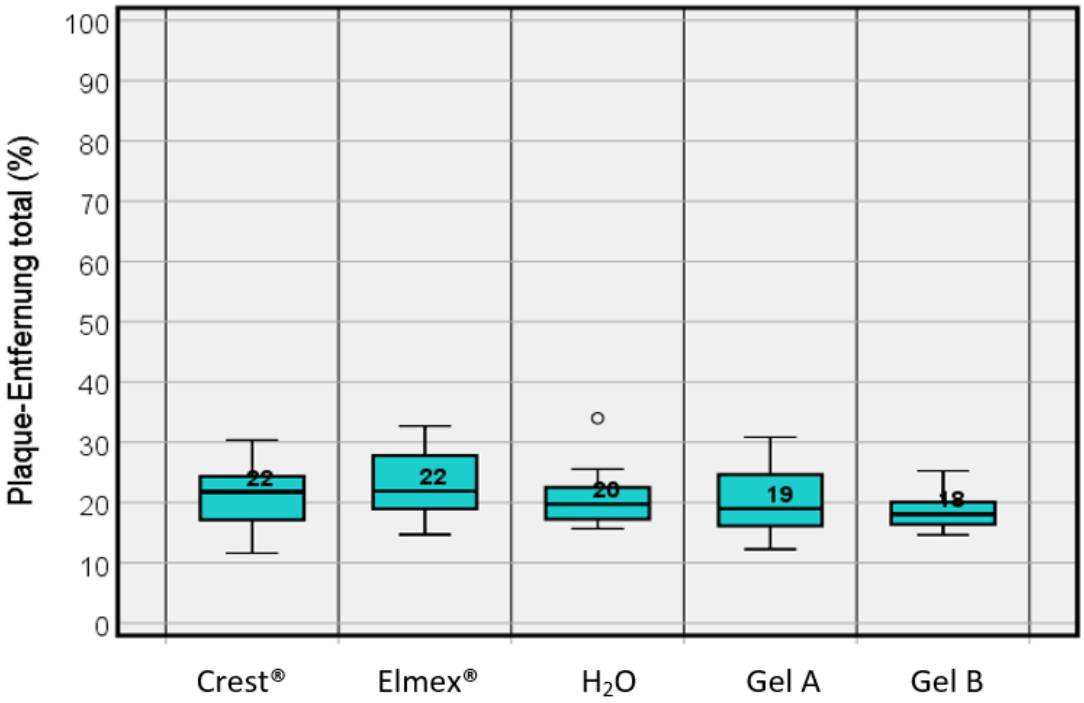

Abbildung 3.3.1(c): Plaque-Entfernung in Summe bei den vier Gelen und Wasser

Erläuterungen: Beobachtungen pro Gel: n = 14. Die exakten Mediane und Quartilabstände sind der Tabelle 8.5(b) zu entnehmen.

Die durchschnittliche Plaque-Reduktion betrug bei Crest® 20,95 %, Elmex® Gelée 22,88 %, Gel A 20,08 %, Gel B 18,55 % und bei den angefeuchteten Zahnbürsten 20,62 %. Der Median reicht von 18 – 22 %. Bemerkenswert ist, dass Wasser mit einem Median von 20 % zwischen den anderen Bürstmedien situiert ist. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse eine ähnliche Plaque-Reduktion sowohl in der Gruppe der koronalen Zahnfelder als auch an den zervikalen Zahnfelder. Zusammenfassend ist die Plaque-Reduktion nicht von einem bestimmten Bürstmedium abhängig.

3.3.2 Testung des Haupteffektes des Faktors ‚Gele'

Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-H-Test sind in Tabelle 3.3.2 aufgeführt. Der nichtparametrische Test vergleicht mehr als zwei unabhängige Stichproben und untersucht, ob in einem der elf Situs der Zähne Signifikanzen bei der Reinigung mit den fünf verschiedenen Gelen auftraten. Weil dies der Fall war, mussten multiple Einzelvergleiche angestellt werden, um herauszufinden, welche Gruppen sich im Einzelnen voneinander unterschieden.

Tabelle 3.3.2: Kruskal-Wallis-H-Test: Haupteffekt des Gele-Faktors auf die Reinigungseffektivität

Situs	Chi-Quadrat	p
bukkal	9,244	0,055
lingual	9,490*	0,050
mesial	18,213***	0,001
distal	18,683***	0,001
ABCDF+W bukkal	8,836	0,065
ABCDF+W lingual	6,087	0,193
W bukkal	8,310	0,081
W lingual	7,853	0,097
W1+W2 mesial	10,929*	0,027
W1+W2 distal	16,346**	0,003
total	5,508	0,239

Erläuterungen: Beobachtungen pro Gel/H_2O: n = 14 (Crest®: ‚ABCDF+W bukkal' und ‚W bukkal' je n=13)
Chi-Quadrat (χ^2): Teststatistik.
*signifikant ($p \leq 0.05$)
** sehr signifikant ($p \leq 0.01$)
*** hoch signifikant ($p \leq 0.001$)

Das Resultat des Kruskal-Wallis-H-Test war, dass sich bei fünf von elf Parametern (Plaque-Entfernung lingual, mesial, distal sowie bei den Planimetrie Feldern W1+W2 mesial und W1+W2 distal) die Gele in ihrer Reinigungswirksamkeit signifikant bis hochsignifikant voneinander unterschieden (für die Rangordnung und Differenzen der Mittelwerte und Mediane s. Anhang Tabelle 8.5(a) und 8.5(b)). Deshalb müssen die Gele untereinander paarweise verglichen werden. Neun von den elf Parametern sind sogar mindestens tendenziell signifikant. Tendenziell signifikant bedeutet, dass der p-Wert zwischen 5 - 10 % liegt.

3.3.3 Multiple Einzelvergleiche

Der U-Test nach Mann und Whitney verglich je zwei unabhängige Stichproben (Bürstmedien) direkt miteinander, um zu prüfen, ob in dem direkten Gelkontrast eine Signifikanz vorlag. Es wurde zunächst eine gemeinsame Rangfolge der beiden Stichproben gebildet. Bei den multiplen Einzelvergleichen wurden jeweils Direktvergleiche gezogen, sodass jedes Gel einem anderen Gel direkt gegenübergestellt wurde. Analysiert wurden dabei elf verschiedene Parameter, woraus sich 110 Direktvergleiche ergaben.

Die Null-Hypothese besagte, dass keine Unterschiede vorlägen und die abhängigen Variablen gleich seien. Die Alternativhypothese besagte, dass Unterschiede zwischen zwei Bürstmedien vorlägen.

Bei multiplen Tests muss ein unkontrolliertes Ansteigen des α-Fehlers vermieden werden, was durch die Korrektur des kritischen Wertes der Testgröße, die Bonferroni-Korrektur, geschieht (Harms 2012).

Die folgende Tabelle des Mann-Whitney-Tests zeigt deshalb paarweise die einzelnen Gele im Vergleich (Tabelle 3.3.3). Es wurde für jeden signifikanten Situs das überlegene Gel angegeben.

Tabelle 3.3.3: Mann-Whitney-Test (Z-Wert, p-Wert, Größenordnung der Mediane): Alle möglichen paarweisen Gelvergleiche

Situs → / Gel-Kontrast ↓	bukkal (sOT)	lingual (sOT)	mesial (sOT)	distal (sOT)	ABCDF +W bukkal (sOT)	ABCDF +W lingual	W bukkal	W lingual (sOT)	W1+W2 mesial (sOT)	W1+W2 distal (sOT)	Total
1 vs. 2	-2.62** (0.009) #2 > #1	-2.07* (0.039) #1 > #2	-3.31*** (0.001) #2 > #1 Bf	-1.52 (0.129)	-1.84 (0.066)	-1.79 (0.073)	-1.93 (0.054)	-1.84 (0.066)	-2.48* (0.013) #2 > #1	-0.09 (0.927)	-0.64 (0.520)
1 vs. 3	-0.87 (0.383)	-1.61 (0.108)	-1.38 (0.168)	-0.78 (0.435)	-0.87 (0.383)	-1.47 (0.141)	-1.98* (0.048) #3 > #1	-1.75 (0.081)	-0.69 (0.491)	-0.14 (0.890)	-0.51 (0.613)
1 vs. 4	-0.97 (0.335)	-2.76** (0.006) #1 > #4	-1.65 (0.098)	-1.01 (0.312)	-0.78 (0.435)	-1.93 (0.054)	-0.32 (0.748)	-1.84 (0.066)	-1.93 (0.054)	-0.18 (0.854)	-0.37 (0.713)
1 vs. 5	-1.06 (0.291)	-1.65 (0.098)	-1.01 (0.312)	-2.11* (0.035) #1 > #5	-0.18 (0.854)	-1.24 (0.215)	-0.05 (0.963)	-1.10 (0.270)	-0.23 (0.818)	-2.67** (0.008) #1 > #5	-1.33 (0.183)
2 vs. 3	-2.07* (0.039) #2 > #3	-0.46 (0.646)	-1.56 (0.118)	-0.74 (0.462)	-1.33 (0.183)	-0.51 (0.613)	-0.97 (0.335)	-0.41 (0.679)	-1.70 (0.089)	-0.51 (0.613)	-1.29 (0.198)
2 vs. 4	-2.07* (0.039) #2 > #4	-0.51 (0.613)	-0.78 (0.435)	-0.64 (0.520)	-2.44* (0.015) #2 > #4	-0.23 (0.818)	-1.52 (0.129)	-0.14 (0.890)	-0.74 (0.462)	0.00 -1.000	-1.33 (0.183)
2 vs. 5	-2.11* (0.035) #2 > #5	-1.33 (0.183)	-3.95*** (0.000) #2 > #5 Bf	-4.04*** (0.000) #2 > #5 Bf	-1.98* (0.048) #2 > #5	-1.24 (0.215)	-1.93 (0.054)	-1.75 (0.081)	-2.48* (0.013) #2 > #5	-3.58*** (0.000) #2 > #5 Bf	-2.25* (0.024) #2 > #5
3 vs. 4	0.00 -1.000	-0.78 (0.435)	-0.37 (0.713)	-0.05 (0.963)	-1.47 (0.141)	-0.28 (0.783)	-0.83 (0.408)	-0.14 (0.890)	-1.15 (0.251)	-0.46 (0.646)	-0.41 (0.679)
3 vs. 5	-0.28 (0.783)	-0.97 (0.335)	-2.25* (0.024) #3 > #5	-3.12** (0.002) #3 > #5 Bf	-0.87 (0.383)	-0.83 (0.408)	-1.15 (0.251)	-1.79 (0.073)	-0.92 (0.358)	-2.76** (0.006) #3 > #5	-1.33 (0.183)
4 vs. 5	-0.14 (0.890)	-1.66 (0.098)	-2.16* (0.031) #4 > #5	-3.22*** (0.001) #4 > #5 Bf	-0.37 (0.713)	-1.43 (0.154)	0.00 -1.000	-1.56 (0.118)	-2.16* (0.031) #4 > #5	-3.54*** (0.000) #4 > #5 Bf	-0.74 (0.462)

Erläuterungen: # = Gel
Gel 1 = Crest®
Gel 2 = Elmex®
Gel 3 = H_2O
Gel 4 = Rheodol Gel plus
Gel 5 = Rheomed Oral clean O

Beobachtungen pro Gel: n = 14
sOT = Bei diesem Situs existiert eine Signifikanz im Kruskal-Wallis-(Overall-) Test (s. Tab. 3.3.2)
* = signifikant ($p \leq 0.05$)
** = sehr signifikant ($p \leq 0.01$)
*** = hoch signifikant ($p \leq 0.001$)
Bf = auch nach Bonferroni Korrektur noch signifikant (Das α- Niveau der Studie wurde auf 10 Tests/ Einzelvergleiche verteilt, so dass α‘ = 0.005.)

Im Mann-Whitney U-Test waren 25 der 110 Werte als signifikant dargestellt. Darin inbegriffen waren 7 Werte, die auch nach einer Bonferroni Korrektur immer noch signifikant blieben.

Elmex® Gelée ist am häufigsten, nämlich in 13 von 25 signifikanten Werten, den anderen Gelen überlegen. Deutlich wird der Effekt bei Betrachtung der koronalen Felder, hier gibt es insgesamt 16 signifikante Werte, von denen Elmex® Gelée in 9 Fällen das überlegene Gel darstellt. Dabei fällt auf, dass Elmex® Gelée vor allem im bukkalen Bereich signifikant bis sehr signifikant den anderen vier Gelen überlegen ist. Gefolgt wird der Trend von Crest®, Wasser und dem Experimentellen Gel A, welche in Summe jeweils vier anderen Gelen überlegen sind. Interessanterweise ist Gel B kein einziges Mal einem anderen Gel im direkten Vergleich signifikant überlegen. Die Überlegenheit von Elmex® Gelée stellt sich nach den paarweisen Gelvergleichen als sehr deutlich heraus.

Ob und in wie weit aus den Ergebnissen tatsächlich auch eine klinische Relevanz entsteht, bleibt zu diskutieren.

3.4 Interaktionseffekte zwischen Zahnbürsten und Gelen

Die statistischen und grafischen Auswertungen und Ergebnisse aus den Kapitel 3.2 und 3.3 haben gezeigt, dass einerseits die Dr. Best® Zahnbürste und andererseits die Experimentelle Zahnbürste signifikant unterschiedliche Ergebnisse der biomechanischen Bürstaktionen im Verbund mit den Gelen oder Wasser als Bürstmedien erzielt haben. Im folgenden Abschnitt soll der Interaktionseffekt der Bürstreinigung mit den Bürstmedien analysiert werden, um herauszufinden, ob ein Zusammenhang zwischen der gewählten Zahnbürste und einem Bürstmedium besteht. Konkret lautete die Fragestellung: Gibt es eine Kombination, welche besonders effektiv die dentale Plaque reduziert?

3.4.1 Deskriptiv- statistische Auswertung

In den nachfolgenden Tabellen ist die deskriptive Statistik während der Interaktion zwischen Zahnbürste und Bürstmedium an den koronalen Situs (Tabelle 3.4.1(a)) und an den Wurzelfeldern (Tabelle 3.4.1(b)) aufgeführt.

Tabelle 3.4.1(a): Deskriptive Statistiken der Reinigungseffektivität (% Plaque-Reduktion) für die fünf Gele in Kombination mit den beiden Zahnbürsten an den koronalen Situs

Situs	Sta-tistik	Zahnbürste									
		Dr. Best® ZB					Experimentelle Zahnbürste				
		Gel									
		Crest	Elmex	H_2O	Gel A	Gel B	Crest	Elmex	H_2O	Gel A	Gel B
bukkal	M	35,56	35,53	26,60	26,69	28,20	22,81	39,57	36,06	35,35	34,23
	SD	9,11	6,18	3,52	6,22	3,71	4,10	9,33	8,26	6,30	5,19
	Med	35,45	38,29	26,83	25,24	28,28	22,75	44,44	38,16	35,37	35,89
	QA	8,34	13,21	5,64	7,10	7,82	7,74	18,24	15,17	11,83	7,44
lingual	M	37,96	22,13	30,25	23,24	27,80	26,47	30,41	23,78	25,73	29,73
	SD	2,84	3,82	8,44	4,42	2,96	6,54	6,48	8,19	6,45	7,53
	Med	37,67	20,89	28,83	21,40	28,55	27,50	28,53	23,14	23,68	29,28
	QA	5,36	3,71	17,33	7,31	4,03	11,31	11,47	7,26	7,78	14,50
mesial	M	18,10	21,99	15,05	15,55	13,95	15,68	26,18	26,72	29,45	17,08
	SD	2,07	4,54	3,67	2,87	2,77	6,48	3,83	6,48	5,78	1,08
	Med	18,30	24,06	16,69	14,51	13,21	13,80	28,27	25,21	31,80	17,35
	QA	3,65	7,51	7,14	7,37	4,77	10,43	7,53	6,55	10,35	1,19
distal	M	22,40	22,30	17,20	17,04	14,60	16,01	22,70	26,46	26,91	15,07
	SD	4,00	4,48	4,22	2,96	3,01	6,98	3,94	7,50	5,66	1,41
	Med	21,32	23,47	18,30	16,69	14,83	12,32	23,56	25,06	26,63	15,57
	QA	7,01	5,14	8,44	4,72	5,77	8,34	7,86	9,76	11,64	2,40
ABCDF+W bukkal	M	22,06	18,99	14,37	11,93	12,42	14,31	31,08	27,10	20,17	22,46
	SD	9,73	7,85	4,34	7,46	4,48	3,66	8,91	7,21	5,13	5,35
	Med	18,29	18,08	14,55	10,12	12,79	14,95	35,71	26,54	22,43	25,06
	QA	10,01	16,34	6,78	7,57	5,72	5,25	18,10	14,50	9,76	8,64
ABCDF+W lingual	M	26,80	11,42	19,19	13,50	18,25	14,91	18,75	12,93	16,06	16,78
	SD	2,98	3,74	8,31	4,80	3,44	6,34	7,69	5,70	6,24	8,37
	Med	27,24	9,92	17,48	11,98	17,96	13,47	15,08	12,05	14,24	19,00
	QA	4,18	3,34	3,67	4,59	5,61	9,85	15,91	5,44	9,69	15,27

Erläuterungen: M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Med = Median, QA = Quartilabstand.
Beobachtungen pro Gel: n = 7. Der Quartilabstand ist die Differenz zwischen dem Wert des ersten und dritten Quartils der Verteilung, hier befinden sich 50 % der Stichprobenwerte.

Unter den koronalen Feldern (bukkal, lingual, mesial und distal) ist die Kombination von Dr. Best® Zahnbürste und Crest®-Gel mit 37,96 % Plaque-Reduktion am effektivsten. Die Kombination der Dr. Best® Zahnbürste und dem Experimentellen Gel B ist mit 13,95 % am uneffektivsten.

Betrachtet man die Experimentelle Zahnbürste, ist die Kombination der Experimentellen Zahnbürste und Elmex® Gelée mit 39,57 % am effektivsten. Am ineffektivsten ist die Kombination der Experimentellen Zahnbürste und dem Experimentellen Gel B mit 15,07 % Plaque-Reduktion.

Tabelle 3.4.1(b): Deskriptive Statistiken der Reinigungseffektivität (% Plaque-Entfernung) für die fünf Gele in Kombination mit den beiden Zahnbürsten an den Wurzelflächen und total

Situs	Sta-tistik	Zahnbürste									
		Dr. Best® ZB					Experimentelle Zahnbürste				
		Gel									
		Crest	Elmex	H_2O	Gel A	Gel B	Crest	Elmex	H_2O	Gel A	Gel B
W bukkal	M	18,74	16,54	14,17	13,72	11,78	14,41	28,76	24,66	19,55	19,50
	SD	11,06	7,98	5,81	9,35	7,46	3,46	7,80	6,66	7,82	4,61
	Med	14,24	18,05	16,77	12,25	12,25	15,25	27,22	22,56	19,33	20,92
	QA	13,38	10,59	8,65	13,51	10,25	7,05	7,66	7,65	18,58	8,06
W lingual	M	35,86	12,96	22,27	18,77	25,52	16,77	21,80	13,43	16,15	20,40
	SD	3,65	4,72	8,10	7,79	5,52	9,05	12,62	3,67	6,92	10,35
	Med	35,88	11,00	21,30	18,00	23,41	13,29	16,84	12,54	13,76	21,76
	QA	4,17	7,08	10,70	9,87	8,92	15,54	16,19	5,20	15,06	22,40
W1+W2 mesial	M	12,21	15,04	11,59	11,55	8,04	12,08	27,16	17,14	25,66	15,31
	SD	4,84	8,03	5,12	4,61	2,21	5,78	7,58	7,35	7,37	4,68
	Med	12,56	9,94	12,53	9,85	7,78	13,39	29,39	18,08	24,74	14,89
	QA	9,34	16,28	9,58	4,83	4,12	10,05	13,73	9,23	9,52	7,44
W1+W2 distal	M	22,96	15,81	16,97	15,27	9,66	12,93	18,44	16,50	19,33	10,27
	SD	5,84	3,72	5,80	3,96	4,16	7,06	6,28	8,26	5,99	2,92
	Med	20,18	14,79	16,85	16,38	9,64	9,70	20,06	14,82	16,80	9,42
	QA	6,76	5,01	12,91	6,92	11,92	7,79	11,32	11,38	8,63	3,32
total	M	25,27	19,27	18,77	16,73	17,02	16,64	26,48	22,48	23,44	20,08
	SD	2,64	3,58	2,66	2,85	1,67	3,57	5,19	5,86	4,95	3,39
	Med	24,35	18,95	18,58	16,40	17,69	17,11	27,77	21,37	24,63	20,08
	QA	3,36	7,93	4,64	3,58	3,16	7,08	9,82	7,79	6,99	5,00

Erläuterungen: M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Med = Median, QA = Quartilabstand.
Beobachtungen pro Gel: n = 7.

Sehr ähnlich zu den koronalen Feldern verhält es sich bei den Wurzelfeldern: die Kombination der Dr. Best® Zahnbürste und Crest®-Gel ist mit 35,86 % Plaque-Reduktion am effektivsten. Die Kombination der Dr. Best® Zahnbürste und dem Experimentellen Gel B ist mit 8,04 % am ineffektivsten.

Die Plaque-Reduktion bei der Kombination der Experimentellen Zahnbürste und Elmex® Gelée ist mit 28,76 % am größten. Bei der Experimentellen Zahnbürste und dem Experimentellen Gel B ist die Plaque-Reduktion mit 10,27 % am geringsten.

Insgesamt und annähernd gleich effektiv in der Plaque-Reduktion sind die Kombinationen der Dr. Best® Zahnbürste und dem Crest®-Gel mit 25,27 % und die Kombination der Experimentellen Zahnbürste und Elmex® Gelée mit 26,48 %.

Die nachfolgenden Liniendiagramme zeigen den Interaktionseffekt zwischen den Gelen und den Zahnbürsten bei der Plaque-Reduktion von einigen verschiedenen Situs. Hierbei wurde immer der Median betrachtet. Grund hierfür ist die Unempfindlichkeit des Medians gegenüber Ausreißern. Somit spiegelt die grafische Auswertung die klinische Situation eindeutiger wider.

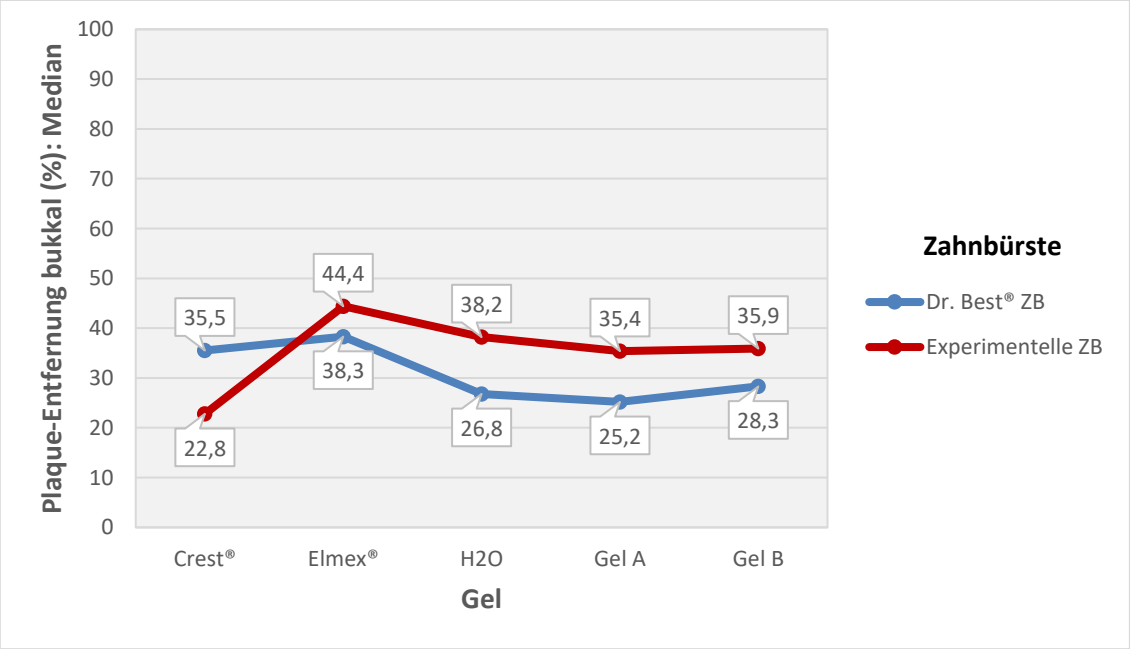

Abbildung 3.4.1 (a): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung bukkal

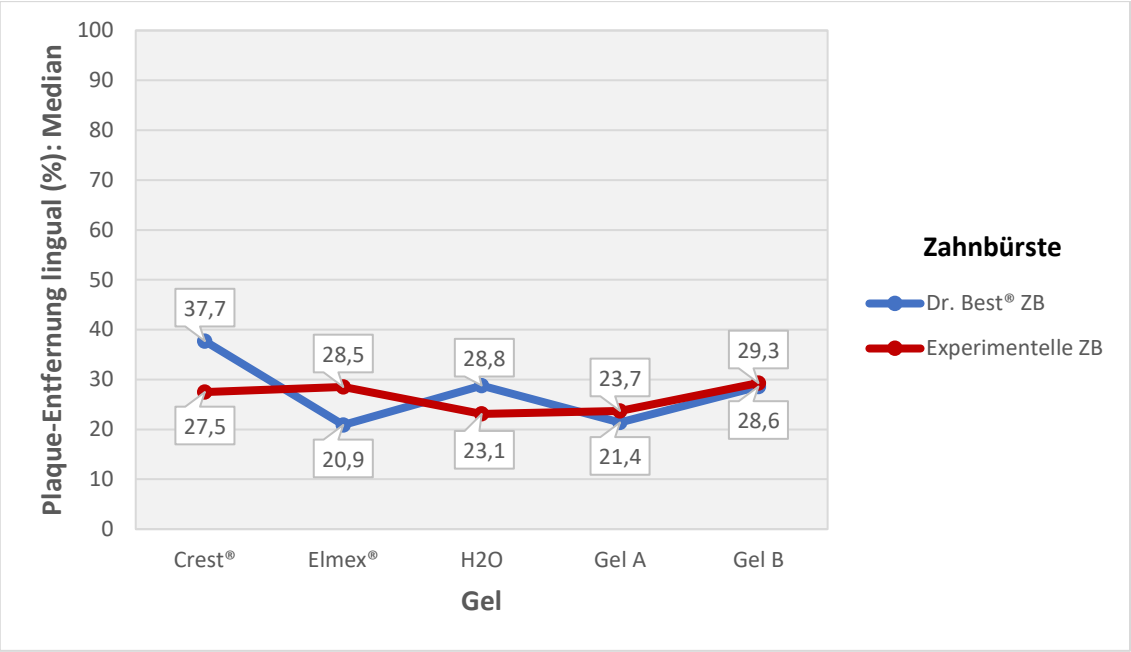

Abbildung 3.4.1 (b): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung lingual

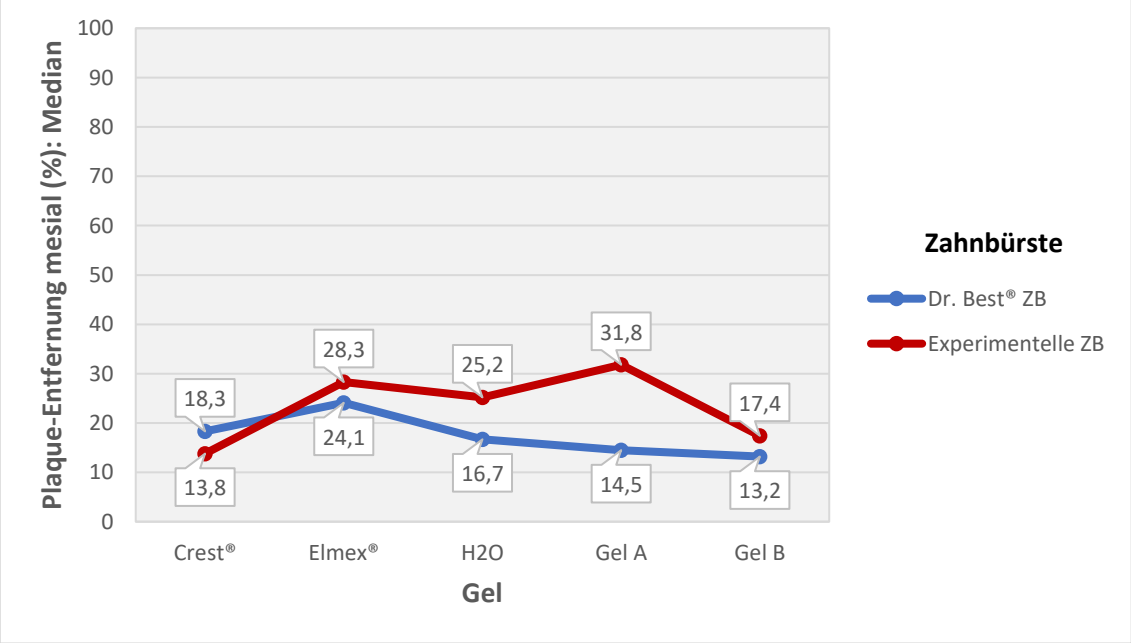

Abbildung 3.4.1 (c): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung mesial

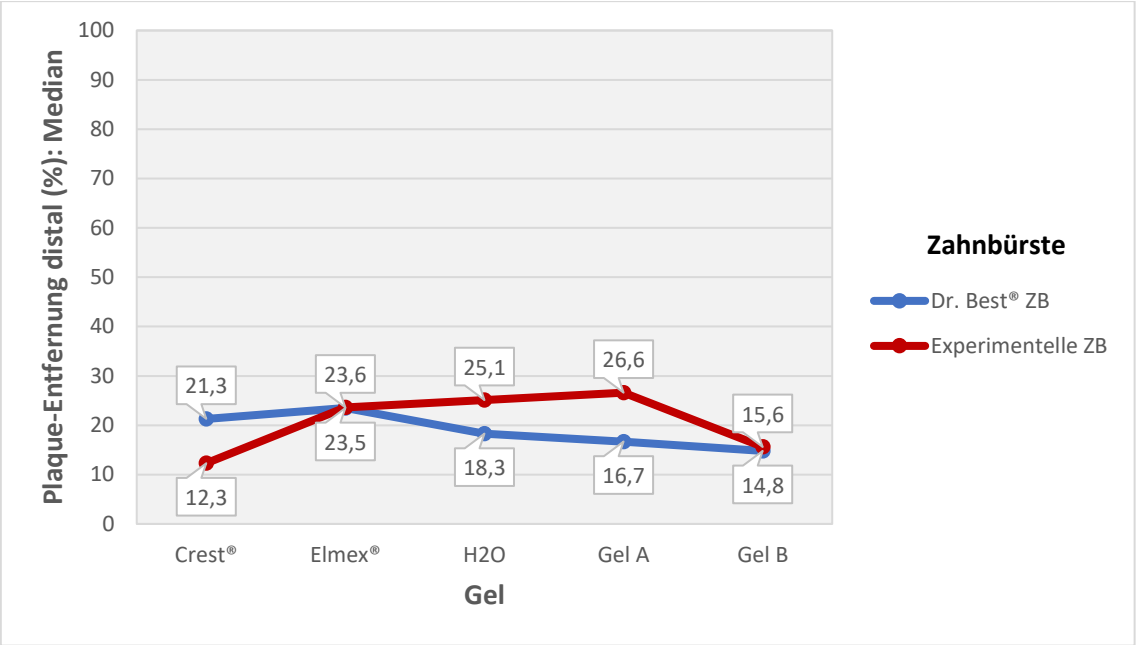

Abbildung 3.4.1 (d): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung distal

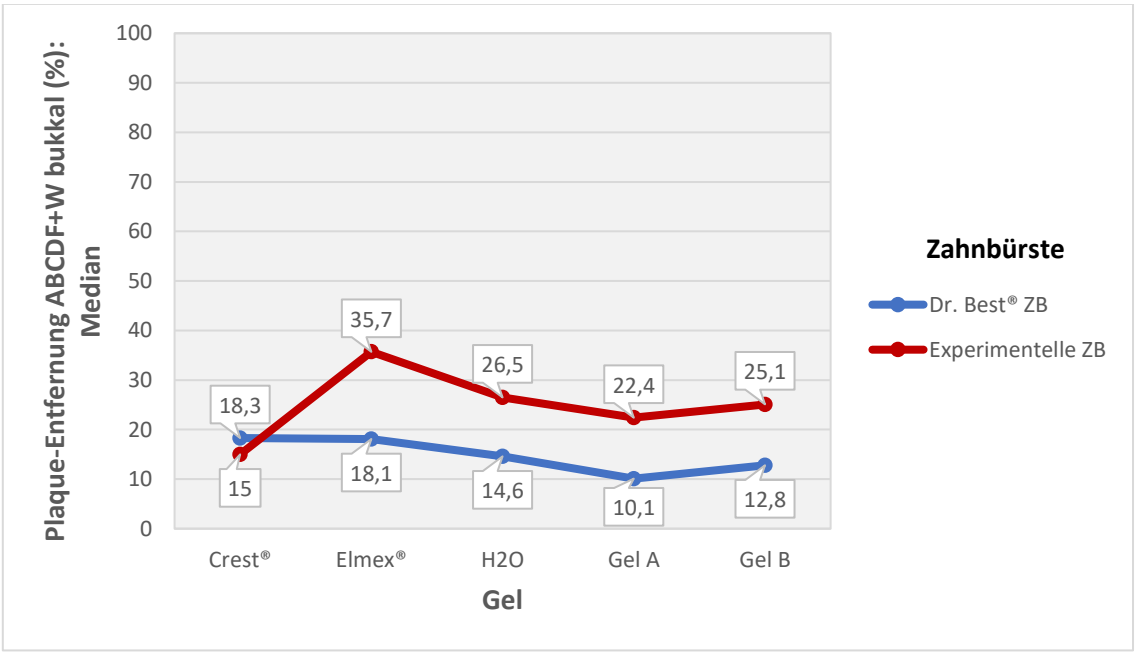

Abbildung 3.4.1 (e): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung ABCDF+W bukkal

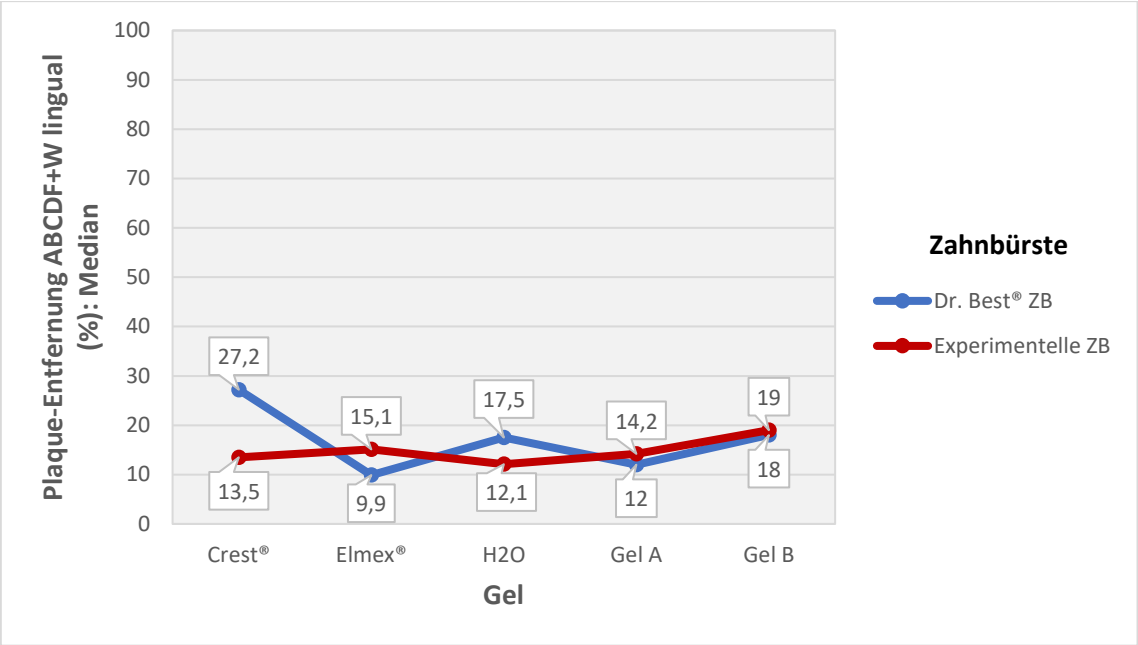

Abbildung 3.4.1 (f): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung ABCDF+W lingual

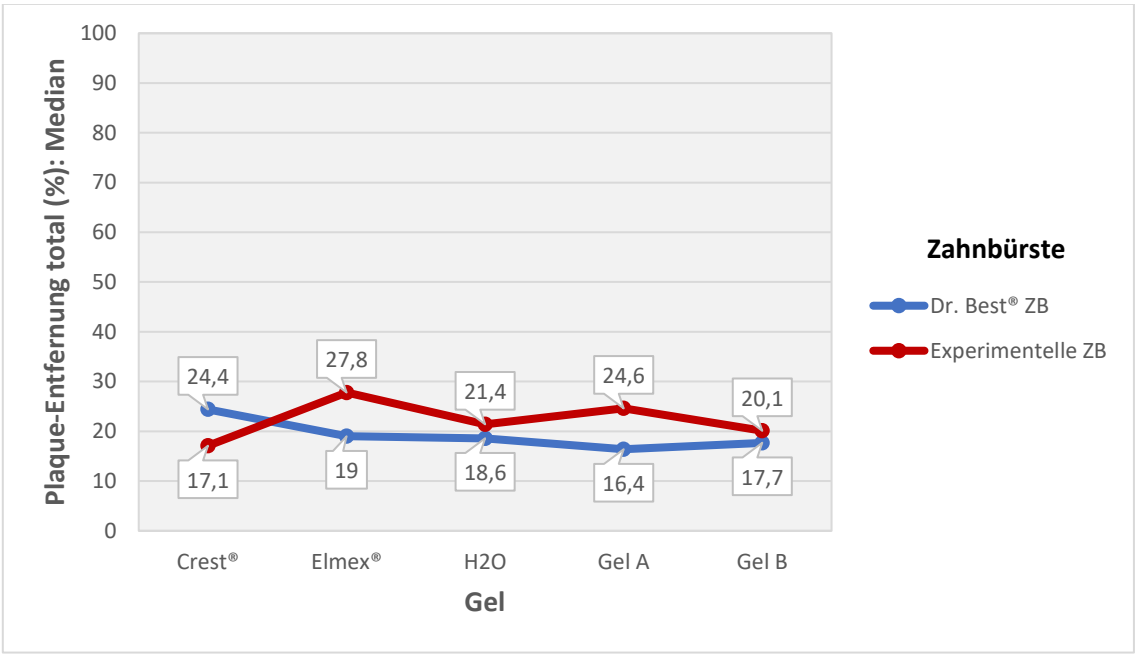

Abbildung 3.4.1 (g): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung in Summe

Die Liniendiagramme 3.4.1 (a - g) zeigen anschaulich, dass häufig die Kombination von Elmex® Gelée und der Experimentellen Zahnbürste zu einer leicht überlegenen Plaque-Reduktion beiträgt.

3.4.2 Parametrische Analytik: Multivariate Varianzanalyse

Zur direkten Testung der Interaktionseffekte zwischen zwei oder mehr Faktoren wurde ein parametrisches Verfahren verwendet.

Zunächst wurde eine zweifaktorielle (Zahnbürste, Bürstmedien) multivariate Varianzanalyse nach dem Allgemeinen Linearen Modell gerechnet und in Tabelle 3.4.2(a) dargestellt. Bei dem Allgemeinen Linearen Modell stellt die Korrelationsrechnung die Grundlage dar.

Die multivariate Varianzanalyse entspricht einem Overall-Test des Einflusses der Faktoren über sämtliche 11 Kriteriumsparameter (Plaque-Reduktion bukkal…total) hinweg.

Tabelle 3.4.2(a): Multivariate Varianzanalyse mit den Designfaktoren Zahnbürste und Gele sowie dem Interaktionseffekt Gel*Zahnbürste (Multivariate Ergebnisse)

Effekt/ Faktor	Wilks Lambda	F	df	p	Partielles Eta-Quadrat
Zahnbürste	0,275	15,231***	9 / 52,0	0,000	0,725
Gel	0,117	4,220***	36 / 196,6	0,000	0,415
Gel * Zahnbürste	0,151	3,595***	36 / 196,6	0,000	0,377

Erläuterungen: Beobachtungen: n = 70. Wilks Lambda: Gütemaß. F: Prüfgröße der Varianzanalyse. df: degrees of freedom/Freiheitsgrade. p = Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich die Gruppen nicht signifikant unterscheiden. Partielles Eta-Quadrat: Standardisierte Größe für die Stärke eines Effektes.
*** hoch signifikant (p ≤ 0.001)

Es besteht also ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den beobachteten Gruppen: Zahnbürste (F = 15,23; p = 0,000), Gel (F = 4,22; p = 0,000) und dem Interaktionseffekt von Gel * Zahnbürste (F = 3,56; p = 0,000). Die signifikanten Effekte unterstreichen die Annahme, dass grundsätzliche Unterschiede in der Wirksamkeit der Zahnbürsten und der Wirksamkeit der Bürstmedien bestehen.

Das Ergebnis validierte die statischen Ergebnisse der multiplen signifikanten univariaten Effekte der nichtparametrischen Analysen (Tabelle 3.2.2 und 3.3.2).

Das höchste Ausmaß der Plaque-Reduktion, also die größte Effektstärke von 72,5 %, ist der Zahnbürste zuzuschreiben, gefolgt von dem Faktor der Gele mit 42,5 %. Das Zusammenspiel der beiden Faktoren hat eine Effektstärke von 37,7 %, laut partiellem Eta-Quadrat.

Tabelle 3.4.2(b): Multivariate Varianzanalyse mit den Designfaktoren Zahnbürste und Gel sowie dem Interaktionseffekt Zahnbürste*Gel (Univariate Ergebnisse)

Quelle/ Faktor	Abhängige Variable	F	df	p	Partielles Eta-Quadrat
Zahnbürste	bukkal	3,932	1	0,052	0,061
	lingual	0,522	1	0,473	0,009
	mesial	34,655***	1	0,000	0,366
	distal	5,735*	1	0,020	0,087
	ABCDF+W bukkal	19,411***	1	0,000	0,244
	ABCDF+W lingual	1,809	1	0,184	0,029
	W bukkal	12,687***	1	0,001	0,175
	W lingual	8,367**	1	0,005	0,122
	W1+W2 mesial	29,349***	1	0,000	0,328
	W1+W2 distal	0,228	1	0,635	0,004
	Total	6,894*	1	0,011	0,103
Gel	bukkal	3,358*	4	0,015	0,183
	lingual	3,230*	4	0,018	0,177
	mesial	9,979***	4	0,000	0,400
	distal	6,308***	4	0,000	0,296
	ABCDF+W bukkal	3,886**	4	0,007	0,206
	ABCDF+W lingual	2,331	4	0,066	0,135
	W bukkal	2,048	4	0,099	0,120
	W lingual	3,824**	4	0,008	0,203
	W1+W2 mesial	6,591***	4	0,000	0,305
	W1+W2 distal	4,808**	4	0,002	0,243
	Total	2,312	4	0,068	0,134
Zahnbürste*Gel	bukkal	6,838***	4	0,000	0,313
	lingual	5,804***	4	0,001	0,279
	mesial	8,257***	4	0,000	0,355
	distal	7,249***	4	0,000	0,326
	ABCDF+W bukkal	5,578***	4	0,001	0,271
	ABCDF+W lingual	5,334***	4	0,001	0,262
	W bukkal	2,612*	4	0,044	0,148
	W lingual	5,957***	4	0,000	0,284
	W1+W2 mesial	3,065*	4	0,023	0,170
	W1+W2 distal	3,387*	4	0,015	0,184
	Total	9,794***	4	0,000	0,395

Erläuterungen: Beobachtungen: n = 70. df Fehler = 60. F: Prüfgröße der Varianzanalyse. df: degrees of freedom/Freiheitsgrade. p = Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich die Gruppen nicht signifikant unterscheiden. Partielles Eta-Quadrat: Standardisierte Größe für die Stärke eines Effektes.

* = signifikant ($p \leq 0.05$)

** = sehr signifikant ($p \leq 0.01$)

*** = hoch signifikant ($p \leq 0.001$)

Die Ergebnisse der univariaten nichtparametrischen Analysen (Tabelle 3.2.2 und 3.3.2) wurden durch die univariaten Ergebnisse der Multivariaten Varianzanalyse (Tabelle 3.4.2(b)) bestätigt. Es traten weitere Signifikanzen auf. Dies ist plausibel, da die Varianz-Analytik (als parametrische Methode) die teststärkere Prüfmethodik darstellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch die hohe Replikationsrate beweisende experimentelle Daten vorliegen.

Die Effektstärke der Zahnbürste, der Bürstmedien und der Interaktion werden durch das Eta-Quadrat beschrieben und können für jeden Situs und jedes einzelne Kriterium der univariaten Ergebnisse (Tabelle 3.4.2(b)) entnommen werden.

Das hochsignifikante Ergebnis der Interaktion von Zahnbürste und Gel ($F = 3,595$; $p = 0,000$) aus der multivariaten Varianzanalyse (Tab. 3.4.2(a)), wird durch die bemerkenswerte Signifikanz aller, nämlich 11 von 11 Kriterien der univariaten Ergebnisse (Tab. 3.4.2(b)) deutlich hervorgehoben. Speziell der Interaktion kommt damit eine breite Relevanz zu. Der Interaktionseffekt wird im Nachfolgenden mit nichtparametrischen Methoden aufbereitet.

3.4.3 Nicht-parametrische Analytik

Der Interaktionseffekt der Zahnbürsten mit den Gelen wurde im Folgenden mit nicht-parametrischen Methoden aufbereitet.

a) Bürstenspezifische Haupteffekte der Gele

Nachfolgend wurde der Haupteffekt der Gele bürstenspezifisch analysiert (Tabelle 3.4(a)). Hierzu wurden die fünf verschiedenen Bürstmedien dem Gesamttest unterzogen.

Tabelle 3.4.3(a): Kruskal-Wallis-Test: Haupteffekt des Gele-Faktors bei den einzelnen Zahnbürsten (Overall-Test über 5 Gele)

Situs Felder/ Situs	Dr. Best® ZB		Experimentelle Zahnbürste	
	Chi-Quadrat	p	Chi-Quadrat	p
bukkal	11,753	0,019*	14,084	0,007**
lingual	19,110	0,001***	3,560	0,469
mesial	13,525	0,009**	21,415	0,000***
distal	15,125	0,004**	18,672	0,001***
ABCDF+W bukkal	9,731	0,045*	16,364	0,003**
ABCDF+W lingual	18,909	0,001***	2,893	0,576
W bukkal	2,526	0,640	14,824	0,005**
W lingual	22,066	0,000***	3,375	0,497
W1+W2 mesial	4,869	0,301	16,827	0,002**
W1+W2 distal	16,666	0,002**	10,883	0,028*
Total	18,122	0,001***	12,728	0,013*

Erläuterungen: Beobachtungen pro Gel: n=7. Chi-Quadrat (χ^2): Teststatistik.
*signifikant ($p \leq 0.10$)
** sehr signifikant ($p \leq 0.01$)
*** hoch signifikant ($p \leq 0.001$)

Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei der Dr. Best® Zahnbürste neun und bei der experimentellen Zahnbürste acht der elf Parameter für die fünf Bürstmedien signifikant bis hochsignifikant in Bezug auf die Plaque-Reduktion in Abhängigkeit der Zahnbürsten unterscheiden. Bezugnehmend auf den Interaktionseffekt der Zahnbürsten mit den Bürstmedien ist zu beachten, dass lediglich bei einem der beiden Bürsten die Gele bei den Situs: lingual, ABDCF+W lingual, W bukkal, W lingual und W1+W2 mesial eine signifikante Differenz zeigen. Bei den Situs: bukkal, mesial, distal, ABCDF+W bukkal, W1+W2 distal und total liegt für beide Zahnbürsten ein signifikanter Unterschied vor.

b) Multiple Einzelvergleiche

In der folgenden Tabelle 3.4.3(b) werden die Ergebnisse des Mann-Whitney Tests für die Gelvergleiche unter Verwendung der Dr. Best® Zahnbürste dargestellt. Die Tabelle umfasst 110 Werte, von denen 41 signifikant sind, einschließlich 17 Werte, die selbst nach der Bonferroni-Korrektur noch signifikant sind.

Deutlich überlegen ist das Crest®-Gel in Zusammenspiel mit der Dr. Best® Zahnbürste in jedem direkten Vergleich; mit den anderen Gelen in insgesamt 24 Fällen. Es ist anzunehmen, dass die Plaque-Reduktion respektive der Reinigungserfolg in direktem Zusammenhang steht. Dies bedeutet, dass der Erfolg der Plaque-Entfernung direkt abhängig von der gewählten Zahnbürste und dem Bürstmedium ist.

Elmex® Gelée ist in neun Fällen den anderen Direktvergleichen überlegen. Das Experimentelle Gel B ist viermal überlegen, Wasser zweimal überlegen und letztlich gibt es eine Fläche, an der die Kombination der Dr. Best® Zahnbürste mit dem Experimentellen Gel A überlegen ist.

Tabelle 3.4.3(b): Mann-Whitney-Test (Z-Wert, p-Wert, Größenordnung der Mediane): Alle möglichen paarweisen Gelvergleiche für die Dr. Best® Zahnbürste

Situs → / Gel-Kontrast ↓	bukkal (sOT)	lingual (sOT)	mesial (sOT)	distal (sOT)	ABCDF +W bukkal (sOT)	ABCDF +W lingual (sOT)	W bukkal	W lingual (sOT)	W1+W2 mesial	W1+W2 distal (sOT)	total (sOT)
1 vs. 2	-0.58 (0.565)	-3.13** (0.002) #1 > #2 Bf	-1.73 (0.085)	-0.32 (0.749)	-0.32 (0.749)	-3.13** (0.002) #1 > #2 Bf	-0.19 (0.848)	-3.13** (0.002) #1 > #2 Bf	-0.58 (0.565)	-2.49* (0.013) #1 > #2	-2.88** (0.004) #1 > #2 Bf
1 vs. 3	-2.36* (0.018) #1 > #3	-1.60 (0.110)	-1.60 (0.110)	-1.85 (0.064)	-1.85 (0.064)	-1.60 (0.110)	-0.19 (0.848)	-2.88** (0.004) #1 > #3 Bf	-0.45 (0.655)	-1.34 (0.180)	-3.13** (0.002) #1 > #3 Bf
1 vs. 4	-1.73 (0.085)	-3.13** (0.002) #1 > #4 Bf	-1.73 (0.085)	-2.24* (0.025) #1 > #4	-2.24* (0.025) #1 > #4	-3.00** (0.003) #1 > #4 Bf	-0.96 (0.338)	-3.00** (0.003) #1 > #4 Bf	-0.32 (0.749)	-2.75** (0.006) #1 > #4	-3.13** (0.002) #1 > #4 Bf
1 vs. 5	-1.98* (0.048) #1 > #5	-3.13** (0.002) #1 > #5 Bf	-2.49* (0.013) #1 > #5	-3.00** (0.003) #1 > #5 Bf	-2.49* (0.013) #1 > #5	-3.00** (0.003) #1 > #5 Bf	-1.34 (0.180)	-2.88** (0.004) #1 > #5 Bf	-1.60 (0.110)	-3.13** (0.002) #1 > #5 Bf	-3.13** (0.002) #1 > #5 Bf
2 vs. 3	-2.36* (0.018) #2 > #3	-2.108* (0.035) #3 > #2	-2.36* (0.018) #2 > #3	-1.98* (0.048) #2 > #3	-1.21 (0.225)	-1.85 (0.064)	-0.83 (0.406)	-2.24* (0.025) #3 > #2	-0.58 (0.565)	-0.45 (0.655)	-0.45 (0.655)
2 vs. 4	-2.36* (0.018) #2 > #4	-0.32 (0.749)	-2.24* (0.025) #2 > #4	-2.24* (0.025) #2 > #4	-1.60 (0.110)	-1.09 (0.277)	-0.70 (0.482)	-1.60 (0.110)	-0.58 (0.565)	-0.19 (0.848)	-1.21 (0.225)
2 vs. 5	-1.85 (0.064)	-2.24* (0.025) #5 > #2	-2.62** (0.009) #2 > #5	-2.62** (0.009) #2 > #5	-1.60 (0.110)	-2.62** (0.009) #5 > #2	-1.21 (0.225)	-3.00** (0.003) #5 > #2 Bf	-1.73 (0.085)	-2.36* (0.018) #2 > #5	-1.34 (0.180)
3 vs. 4	-0.32 (0.749)	-1.73 (0.085)	-0.06 (0.949)	-0.32 (0.749)	-1.21 (0.225)	-1.47 (0.142)	-0.32 (0.749)	-0.96 (0.338)	-0.32 (0.749)	-0.70 (0.482)	-1.34 (0.180)
3 vs. 5	-0.83 (0.406)	-0.32 (0.749)	-0.70 (0.482)	-1.34 (0.180)	-0.96 (0.338)	-0.06 (0.949)	-1.09 (0.277)	-0.83 (0.406)	-1.47 (0.142)	-2.24* (0.025) #3 > #5	-1.34 (0.180)
4 vs. 5	-0.83 (0.405)	-1.86 (0.063)	-0.96 (0.337)	-1.22 (0.224)	-0.58 (0.564)	2.11** (0.035) #5 > #4	-0.19 (0.848)	-1.73 (0.084)	-1.73 (0.084)	-2.24* (0.025) #4 > #5	-0.06 (0.949)

Erläuterungen: Beobachtungen pro Gel: n=14
= Gel
Gel 1 = Crest®
Gel 2 = Elmex®
Gel 3 = H_2O
Gel 4 = Experimentelles Gel A
Gel 5 = Experimentelles Gel B
sOT = Bei dieser Situs existiert eine Signifikanz oder tendenzielle Signifikanz im Kruskal-Wallis-(Overall-)Test (s. Tab. 3.4.3(a)).
* = signifikant ($p \leq 0.05$)
** = sehr signifikant ($p \leq 0.01$)
*** = hoch signifikant ($p \leq 0.001$)
Bf = auch nach Bonferroni Korrektur noch signifikant (Das α- Niveau der Studie wurde auf 10 Tests/ Einzelvergleiche verteilt, so dass α‘ = 0.005.)

In der folgenden Tabelle 3.4.3(c) werden die Ergebnisse des Mann-Whitney Tests für die direkten Gelvergleiche unter der Verwendung der Experimentellen Zahnbürste mit den verschiedenen Bürstmedien aufgezeigt. 36 der 110 Werte stellen sich als signifikant dar, darin eingeschlossen auch 12 Werte, die nach Bonferroni Korrektur noch signifikant sind.

Die erfolgreichste Kombination mit der Experimentellen Zahnbürste ist Elmex® Gelée, welches in insgesamt 14 der 36 signifikanten Fälle überlegen ist. Die Kombination von der Experimentellen Zahnbürste und dem Gel A ist in elf Fällen den anderen Bürstmedien überlegen. Wasser ist in sechs Fällen überlegen und Gel B in zwei Fällen.

Besonders auffällig ist, dass das Crest®-Gel in Kombinationsanwendung mit der Experimentellen Zahnbürste kein einziges Mal einer anderen Zahnbürsten-Gel Kombination überlegen war. Interessanterweise war die Crest®-Gel- und Dr. Best® Zahnbürsten-Kombination (Vergleich Tabelle 3.4.3(b)) in 24 von 41 signifikanten Werten allen anderen Kombinationen überlegen, d.h. hier zeichnet sich, im Gegensatz zu der vorherigen Untersuchung, ein umgekehrt proportionales Ergebnis ab.

Tabelle 3.4.3(c): Mann-Whitney-Test (Z-Wert, p-Wert, Größenordnung der Mediane): Alle möglichen paarweise Gelvergleiche für die Experimentelle Zahnbürste

Situs → / Gel-Kontrast ↓	bukkal (sOT)	Lingual	mesial (sOT)	distal (sOT)	ABCDF +W bukkal (sOT)	ABCDF +W lingual	W bukkal (sOT)	W lingual	W1+W2 mesial (sOT)	W1+W2 distal (sOT)	total (sOT)
1 vs. 2	-2.75** (0.006) #2 > #1	-1.09* (0.277)	-2.62** (0.009) #2 > #1	-1.85 (0.064)	-2.88** (0.004) #2 > #1 Bf	-0.96 (0.338)	-2.75** (0.006) #2 > #1	-0.83 (0.406)	-2.75* (0.006) #2 > #1	-1.47 (0.142)	-2.88 (0.004) #2 > #1 Bf
1 vs. 3	-2.49* (0.013) #3 > #1	-0.83 (0.406)	-2.36* (0.018) #3 > #1	-2.11* (0.035) #3 > #1	-2.88** (0.004) #3 > #1 Bf	-0.58 (0.565)	-3.00** (0.003) #3 > #1 Bf	-0.19 (0.848)	-1.21 (0.225)	-1.21 (0.225)	-2.11* (0.035) #3 > #1
1 vs. 4	-2.75** (0.006) #4 > #1	-0.32 (0.749)	-2.88** (0.004) #4 > #1 Bf	-2.49* (0.013) #4 > #1	-1.73 (0.084)	-0.58 (0.565)	-1.73 (0.084)	-0.45 (0.654)	-2.88** (0.004) #4 > #1 Bf	-1.98* (0.047) #4 > #1	-2.37* (0.018) #4 > #1
1 vs. 5	-2.75** (0.006) #5 > #1	-0.58 (0.565)	-0.96 (0.338)	-0.45 (0.655)	-2.36* (0.018) #5 > #1	-0.58 (0.565)	-1.85 (0.064)	-0.83 (0.406)	-0.96 (0.338)	-0.32 (0.749)	-1.73 (0.085)
2 vs. 3	-1.34 (0.180)	-1.60 (0.110)	-0.19 (0.848)	-0.96 (0.338)	-1.21 (0.225)	-1.47 (0.142)	-1.21 (0.225)	-1.73 (0.085)	-2.24* (0.025) #2 > #3	-0.83 (0.406)	-1.34 (0.180)
2 vs. 4	-1.22 (0.224)	-1.09 (0.277)	-1.22 (0.224)	-1.47 (0.141)	-2.11* (0.035) #2 > #4	-0.83 (0.406)	-1.73 (0.084)	-1.34 (0.179)	-0.45 (0.654)	-0.32 (0.749)	-1.22 (0.224)
2 vs. 5	-1.47 (0.142)	-0.06 (0.949)	-3.13** (0.002) #2 > #5 Bf	-3.13** (0.002) #2 > #5 Bf	-1.73 (0.085)	-0.45 (0.655)	-2.49* (0.013) #2 > #5	-0.32 (0.749)	-2.49* (0.013) #2 > #5	-2.49* (0.013) #2 > #5	-1.98* (0.048) #2 > #5
3 vs. 4	-0.19 (0.848)	-0.58 (0.565)	-0.96 (0.337)	-0.45 (0.654)	-2.11* (0.035) #3 > #4	-1.09 (0.277)	-1.22 (0.224)	-0.58 (0.565)	-2.11* (0.035) #4 > #3	-1.09 (0.277)	-0.58 (0.565)
3 vs. 5	-0.83 (0.406)	-1.34 (0.180)	-3.13** (0.002) #3 > #5 Bf	-3.13** (0.002) #3 > #5 Bf	-1.09 (0.277)	-0.96 (0.338)	-1.34 (0.180)	-1.21 (0.225)	-0.06 (0.949)	-1.73 (0.085)	-0.70 (0.482)
4 vs. 5	-0.45 (0.654)	-0.70 (0.482)	-3.13** (0.002) #4 > #5 Bf	-3.13** (0.002) #4 > #5 Bf	-1.09 (0.277)	-0.06 (0.949)	-0.32 (0.749)	-0.45 (0.654)	-2.62** (0.009) #4 > #5	-2.75** (0.006) #4 > #5	-1.34 (0.179)

Erläuterungen: Beobachtungen pro Gel: n=14
= Gel
Gel 1 = Crest®
Gel 2 = Elmex®
Gel 3 = H_2O
Gel 4 = Rheodol Gel plus
Gel 5 = Rheomed Oral clean O
sOT = Bei dieser Situs existiert eine Signifikanz oder tendenzielle Signifikanz im Kruskal-Wallis-(Overall-)Test (s. Tab. 3.4.3(a)).
* = signifikant ($p \leq 0.05$)
** = sehr signifikant ($p \leq 0.01$)
*** = hoch signifikant ($p \leq 0.001$)
Bf = auch nach Bonferroni Korrektur noch signifikant (Das α- Niveau der Studie wurde auf 10 Tests/ Einzelvergleiche verteilt, so dass α‘ = 0.005.)

3.5 Plaque-Reduktion

Dieser Abschnitt widmet sich nicht wie bisher in dem Ergebnisteil den verschieden eingeteilten Zahnflächen, sondern analysiert jeden Zahn im Einzelnen. Dies ist wichtig, um zu prüfen, ob gewisse Zähne aufgrund ihrer Morphologie oder auch Platzierung und Position im Gebiss durch eine spezielle Anordnung und Konfiguration der Borsten auf der Bürste ein Vorteil, im Sinne einer gründlicheren Reinigung, hervorbringt. Somit kann anschließend eine Aussage getroffen werden, für welche Gebissmodalitäten welche Brüste empfohlen werden kann. Eine solche Abhängigkeit von gewissen Bürstmedien ist nicht zu erwarten.

3.5.1 Analyse der Plaque-Reduktion der einzelnen Zähne pro Zahnbürste

Es folgt die Analyse der Plaque-Reduktion pro Zahnbürste, pro Zahn und Situs (Tabelle 3.5.1).

Tabelle 3.5.1: Plaque-Reduktion - Analyse der einzelnen Zähne pro Zahnbürste

Gel	Zahn	bukkal	lingual	mesial	distal	ABCDF +W bukkal	ABCDF +W lingual	W bukkal	W lingual	W1+W2 mesial	W1+W2 distal	total
Dr. Best® ZB	31	28,59	31,97	16,00	16,67	18,15	19,81	6,66	21,80	15,12	16,79	19,35
	32	23,73	16,91	17,29	18,83	11,69	4,48	4,89	4,70	15,54	19,37	14,03
	41	24,82	17,82	11,07	4,77	11,79	7,86	9,61	8,73	16,37	0,63	11,56
	42	20,61	16,24	15,73	16,16	11,42	4,09	6,41	3,39	10,88	11,97	11,92
	43	19,01	18,26	8,15	7,11	6,04	4,23	7,04	3,88	5,40	2,81	8,32
	44	35,64	36,29	28,33	31,15	17,92	24,37	14,16	33,56	16,83	23,89	26,17
	46	30,83	54,43	20,68	28,58	12,62	45,21	14,90	60,82	5,37	25,11	30,00
	47	46,37	30,78	17,56	25,94	25,69	23,34	20,36	26,72	7,98	28,95	25,61
	48	45,03	31,79	17,55	19,16	21,27	27,11	44,29	44,09	11,67	15,71	27,72
	Mittel	30,52	28,28	16,93	18,71	15,18	17,83	14,26	23,07	11,69	16,14	**19,41**
Experimentelle Zahnbürste	31	44,78	41,17	26,72	30,43	38,24	25,61	24,51	23,64	24,60	33,87	31,36
	32	33,12	28,17	32,95	23,22	25,65	9,79	18,88	9,74	37,13	12,81	23,15
	41	29,42	22,77	22,54	18,29	19,55	14,60	14,72	18,21	29,19	18,56	20,79
	42	38,66	18,83	22,80	19,15	29,18	5,92	25,41	5,69	29,21	20,09	21,50
	43	22,19	22,25	12,69	11,83	12,15	5,98	15,06	5,64	7,80	5,66	12,13
	44	47,11	34,67	36,90	27,89	37,84	22,29	33,26	31,64	33,86	11,32	31,68
	46	23,41	36,98	22,77	29,86	10,30	29,18	12,44	38,45	5,50	23,24	23,21
	47	33,27	21,40	16,83	20,38	20,68	15,42	25,68	12,14	4,14	13,02	18,30
	48	30,48	18,76	13,00	11,83	13,63	14,16	22,42	14,24	3,81	0,88	14,32
	Mittel	33,61	27,22	23,02	21,43	23,02	15,88	21,38	17,71	19,47	15,50	**21,82**

Erläuterungen: Die Tabelle zeigt die Mittelwerte der prozentualen Plaque-Entfernungen an allen Zähnen pro Fläche an, aufgeschlüsselt nach Zahnbürsten. Die Schattierung zeigt die Zahnflächen von Zahn 44 (distal) und

Zahn 46 (mesial), die an die Zahnlücke angrenzen, an. Am Ende der Tabelle befinden sich die durchschnittliche Reinigungsstärke aller Zahnflächen je Zahnbürste.

a) Analyse der einzelnen Zähne

Aufgrund der hohen Effektstärke von 72,5 % für die beiden untersuchten Bürsten, die eine größere Wirkung auf das Ausmaß der Plaque-Reduktion haben, kommt der obigen Tabelle eine hohe Bedeutung zu. Um herauszufinden, welche der beiden Zahnbürsten geeigneter für Patienten mit Lücke ist, folgt die Analyse der Schaltlücke.

b) Analyse der Schaltlücke Regio 45

Durch das Fehlen des Zahnes 45 wurde eine Schaltlücke simuliert. Die Ergebnisse der Plaque-Reduktion, bezogen auf die jeweilige Bürste, sind im Folgenden erläutert. Auffällig ist, dass der Zahn 44 überdurchschnittlich gut gereinigt wurde im Vergleich zu den Mittelwerten der Reinigungseffektivität. Der Zahn 43 wurde im Durchschnitt, aufgrund der anatomischen Position, am schlechtesten gereinigt.

In drei von vier Fällen reinigen die Dr. Best® Zahnbürsten an den Zahnflächen 44 distal und 46 mesial überdurchschnittlich gut (- 6,32 % bis + 12,44 % Abweichung vom Durchschnitt des Mittelwertes pro Parameter mesial, distal, W1+W2 mesial und W1+W2 distal). Die Experimentelle Zahnbürste reinigt in drei von vier Fällen schlechter als durchschnittlich (- 13,97 % bis + 6,46 %).

Die Analyse der Reinigungseffektivität der Zahnbüsten an einzelnes Zähnen ergibt für die Dr. Best® Zahnbürste an den koronalen Feldern folgendes Ergebnis: An der mesialen Fläche des Zahnes 46 fand eine überdurchschnittliche Plaque-Reduktion von 20,70 % statt. Im Vergleich dazu lag der durchschnittliche Mittelwert der Dr. Best® Zahnbürste an den mesialen Flächen bei 16,93 %. Distal am Zahn 44 wurde eine überlegene Reinigung von 31,15 % erreicht. Verglichen damit lag der durchschnittliche Mittelwert der distalen Flächen aller Zähne bei 18,70 %.

An den Wurzelfeldern besteht kein eindeutiger Effekt. Bei der Dr. Best® Zahnbürste liegt der Wert der mesialen Wurzelfelder am Zahn 46 bei 5,37 %, im Vergleich zu der durchschnittlichen Plaque-Reduktion von 11,69 %. Der Zahn 44 zeigt im Durchschnitt einen höheren Reinigungseffekt von 23,89 %, im Gegensatz zum durchschnittlichen Mittelwert der distalen Flächen von 16,14 %.

Die Analyse der Reinigungseffektivität der Zahnbüsten an einzelnen Zähnen ergibt für die Experimentelle Zahnbürste an den koronalen Feldern folgendes Ergebnis: Betrachtet man die an die Zahnlücke (Zahn 45 fehlt) angrenzenden Zahnflächen der Zähne 44 und 46, so ergibt sich am Zahn 46 an der mesialen Fläche eine relativ durchschnittliche Reinigung von 22,77 %. Diese liegt leicht unter dem durchschnittlichen Mittelwert der Plaque-Reduktion für die mesialen Flächen von 23,02 %. Der Zahn 44 zeigt im Durchschnitt einen höheren Reinigungseffekt von 27,86 %, im Vergleich zum durchschnittlichen Mittelwert der distalen Flächen von 21,43 %.

An der mesialen Wurzelfläche des Zahnes 46 fand eine unterdurchschnittliche Reinigung von 5,50 % statt, verglichen damit lag der durchschnittliche Mittelwert der Experimentellen Zahnbürste an den mesialen Wurzelflächen bei 19,47 %. Am Zahn 44 distal ergab sich eine unterlegene Reinigung von 11,32 %, im Gegensatz dazu lag der durchschnittliche Mittelwert der distalen Wurzelflächen bei 15,50 %.

3.5.2 Analyse der Plaque-Reduktion der einzelnen Zähne pro Gel

Die Ergebnisse der Tabelle 3.5.2(a) und 3.5.2(b) zeigen, dass Elmex® Gelée im Durchschnitt die größte Plaque-Reduktion bewirkt hat. H_2O steht den anderen Gelen bezüglich der Reinigungseffektivität keineswegs nach.

In der vorliegenden Studie wurde eine durchschnittliche Plaque-Reduktion von 20,62 % erreicht. Elmex® Gelée hat im Durchschnitt die höchste Reinigungseffektivität (22,88 %), gefolgt von Crest® (20,95 %), Wasser (20,63 %), Experimentellem Gel A (20,08 %) und schließlich Experimentellem Gel B (18,55 %).

Tabelle 3.5.2(a): Plaque-Reduktion - Analyse der einzelnen Zähne pro Gel

Gel	Zahn	bukkal	lingual	mesial	distal	ABCDF +W bukkal	ABCDF +W lingual	W bukkal	W lingual	W1+W2 mesial	W1+W2 distal	total
Crest®	31	37,56	38,20	17,58	18,05	24,78	22,44	10,84	20,59	13,32	14,50	22,19
	32	28,79	22,16	17,83	22,97	16,35	7,77	6,38	9,14	16,52	29,38	18,40
	41	31,55	18,61	11,94	8,81	15,20	11,25	5,45	12,90	13,85	6,02	14,19
	42	23,59	21,53	15,36	17,68	12,52	6,54	9,24	6,10	9,96	15,75	14,37
	43	22,38	24,33	9,43	5,85	9,53	8,47	15,11	10,68	12,71	3,76	12,46
	44	30,12	40,17	23,55	24,90	21,11	25,91	19,62	37,44	15,75	19,12	25,60
	46	22,01	51,97	21,52	25,89	11,42	43,18	16,88	55,86	9,64	20,58	28,26
	47	32,07	42,33	17,95	26,17	17,94	35,61	17,97	46,60	7,92	28,48	27,99
	48	34,61	30,62	16,83	22,55	18,01	26,50	30,86	37,51	9,64	23,95	25,12
	Mittel	29,19	32,21	16,89	19,21	16,32	20,85	14,70	26,31	12,15	17,95	**20,95**
Elmex®	31	46,13	38,62	28,89	34,38	42,86	25,45	29,58	26,08	23,79	37,52	33,33
	32	34,09	24,89	34,64	24,47	23,34	7,22	12,62	6,63	40,55	15,11	22,36
	41	32,95	24,03	18,99	11,81	20,96	17,29	12,86	19,55	31,31	13,35	20,31
	42	40,45	16,68	25,71	17,46	34,92	3,20	29,39	4,47	40,69	20,07	23,30
	43	19,50	19,85	12,71	10,74	11,03	4,02	10,70	4,50	9,13	4,20	10,64
	44	50,73	29,42	40,17	35,71	36,15	17,43	32,89	24,12	25,87	14,71	30,72
	46	32,89	40,14	21,61	30,57	14,91	29,68	18,64	38,00	3,99	26,37	25,68
	47	43,12	22,25	17,41	24,20	25,46	15,01	28,14	10,85	4,04	21,01	21,15
	48	38,11	20,56	16,62	13,14	15,69	16,48	29,03	22,20	10,51	1,81	18,42
	Mittel	37,55	26,27	24,08	22,50	25,03	15,09	22,65	17,38	21,10	17,13	**22,88**
H_2O	31	36,99	31,06	18,98	19,52	32,84	16,06	23,17	16,63	20,43	21,80	23,75
	32	31,16	21,70	25,01	22,40	25,89	5,67	19,52	3,05	26,79	20,28	20,15
	41	26,74	14,82	17,35	12,66	18,49	5,16	18,29	6,36	18,69	6,96	14,55
	42	26,91	17,71	18,20	19,78	20,08	3,82	14,66	2,07	11,73	15,70	15,07
	43	21,97	20,92	14,70	15,85	11,01	6,79	11,48	2,09	4,43	7,29	11,65
	44	43,49	39,73	34,66	32,21	33,24	27,09	21,29	38,33	31,86	25,75	32,77
	46	23,87	46,37	24,46	33,32	9,54	39,14	10,15	49,67	2,08	24,24	26,28
	47	35,72	23,96	19,71	25,67	19,61	17,06	18,02	14,35	6,13	21,03	20,13
	48	35,14	26,90	14,89	15,05	15,94	23,76	38,15	28,11	7,15	7,56	21,26
	Mittel	31,33	27,02	20,88	21,83	20,74	16,06	19,42	17,85	14,37	16,73	**20,62**

Erläuterungen: Die Tabelle zeigt die Mittelwerte der prozentualen Plaque-Entfernungen an allen Zähnen pro Fläche an, aufgeschlüsselt nach Bürstmedien.

Tabelle 3.5.2(b): Plaque-Reduktion - Analyse der einzelnen Zähne pro Gel

Gel	Zahn	bukkal	lingual	mesial	distal	ABCDF +W bukkal	ABCDF +W lingual	W bukkal	W lingual	W1+W2 mesial	W1+W2 distal	total
Gel A	31	30,09	41,63	24,41	25,86	18,65	30,02	10,19	28,08	27,17	30,79	26,69
	32	25,05	23,70	36,07	23,79	15,72	10,24	10,68	10,19	40,41	9,71	20,56
	41	16,43	21,59	23,36	18,59	8,29	9,83	8,23	11,21	30,02	18,11	16,53
	42	30,21	11,59	20,33	20,44	18,60	3,11	14,21	1,63	21,81	22,09	16,40
	43	20,39	14,16	9,38	10,12	4,35	1,49	8,50	1,78	2,72	4,57	7,75
	44	40,93	29,35	30,62	26,71	22,54	20,24	19,11	23,93	25,09	15,30	25,38
	46	29,61	43,42	25,32	35,55	11,10	35,70	11,06	51,25	5,38	30,95	27,93
	47	45,57	14,69	19,13	23,80	26,71	8,68	25,60	8,07	7,92	19,60	19,98
	48	40,89	20,24	13,88	12,94	18,50	13,70	42,36	21,02	6,93	4,58	19,50
	Mittel	31,02	24,49	22,50	21,98	16,05	14,78	16,66	17,46	18,61	17,30	**20,08**
Gel B	31	32,66	33,36	16,94	19,93	22,33	19,58	4,46	22,24	14,58	22,05	20,81
	32	23,06	20,25	12,06	11,48	12,40	4,79	10,35	7,09	7,42	5,98	11,49
	41	27,95	22,45	12,38	5,79	15,66	12,63	16,06	17,31	20,04	3,55	15,29
	42	27,03	20,18	16,75	12,94	15,45	8,37	12,25	8,44	16,06	6,53	14,40
	43	18,78	22,04	5,86	4,80	9,79	4,74	10,04	4,73	4,02	1,36	8,62
	44	41,61	38,75	34,06	28,07	26,58	25,96	26,03	39,18	28,14	13,15	30,15
	46	27,21	46,61	15,71	20,77	10,24	38,26	11,77	53,39	6,09	18,74	24,88
	47	42,62	27,22	11,76	15,96	25,65	20,53	25,20	17,28	4,29	14,78	20,53
	48	40,03	28,05	14,15	13,79	18,88	22,73	25,41	36,97	4,49	3,59	20,81
	Mittel	31,22	28,77	15,52	14,83	17,44	17,51	15,73	22,96	11,68	9,97	**18,55**

Erläuterungen: Die Tabelle zeigt die Mittelwerte der prozentualen Plaque-Entfernungen an allen Zähnen pro Fläche an, aufgeschlüsselt nach Bürstmedien.

Die Plaque-Reduktion reicht bukkal und lingual von 46,13 % (Frontzähne) über 50,73 % (Prämolaren) bis hin zu 51,97 % (Molaren), mesial und distal von 4,80 - 40,17 %. In den Risikofeldern wird im Durchschnitt eine Plaque-Reduktion von 14,78 - 25,03 % erreicht. An den Wurzelfeldern fand eine durchschnittliche Plaque-Reduktion von 9,97 - 22,96 % statt.

3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

i) Der Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnow-Test) ergab, dass in acht von elf Parametern signifikante Unterschiede zur Gauß'schen Normalverteilung vorlagen, daher wurden im weiteren Verlauf nichtparametrische statistische Methoden eingesetzt.

ii) Analyse der Bürstmedien: bukkal und lingual wurden erwartungsgemäß höhere Plaque-Reduktionen erreicht als an anderen Feldern; der Reinigungseffekt betrug im Durchschnitt 24,48 - 37,55 %. Die mit Wasser angefeuchtete Bürste war nicht bedeutend schlechter als die verglichenen Bürstmedien in ihrem Beitrag zur Plaque-Reduktion. Der Kruskal-Wallis-H Test ergab in fünf von elf Parameter (lingual, mesial, distal, W1+W2 mesial, W1+W2 distal) signifikante Unterschiede, weshalb ein Einzelvergleich durchgeführt wurde. Der Mann-Whitney-U Test ergab folgende Rangfolge: 13 von 25 (52 %) signifikante Ergebnisse durch Elmex® Gelée, jeweils 4 von 25 (16 %) signifikante Ergebnisse für Crest®, Experimentellem Gel A und Wasser. Es gab keine signifikante Überlegenheit (0 %) für das Experimentelle Gel B.

iii) Analyse der Zahnbürste: Die Experimentelle Zahnbürste ist mit einer durchschnittlichen Plaque-Reduktion von 21,82 % der Dr. Best® Zahnbürste mit 19,41 % überlegen. Je nach betrachtetem Situs, variiert jedoch die Überlegenheit. Die Plaque-Reduktion in den Zahnzwischenräumen (16,93 - 23,02 %) ist vergleichbar mit der Plaque-Reduktion der Risikofelder (15,18 - 23,07 %). Die Wurzelfelder (11,69 - 23,07 %) wurden von beiden Bürsten ähnlich schlecht gereinigt. Einzelvergleiche durch den Wilcoxon-Test ergaben, dass bei fünf der elf Parameter signifikante Unterschiede bestehen. Mesial, ABCDF+W bukkal, W bukkal, W1+W2 mesial wird signifikant besser durch die Experimentelle Zahnbürste (80 %) gereinigt, bei der Fläche W lingual ist die Plaque-Reduktion durch die Dr. Best® Zahnbürste (20 %) höher.

iv) Analyse der Interaktion: Zu folgenden Ergebnissen kam die parametrische, multivariate Varianzanalyse: Die **Effektstärke der Zahnbürste betrug 72,5 %**, die **Effektstärke der Bürstmedien betrug 41,5 %**, die **Interaktion hat eine Effektstärkte von 37,7 %**. Alle drei Faktoren zeigten hoch signifikante Ergebnisse, d.h. es gab Unterschiede in der Wirksamkeit.

Die Ergebnisse der nicht-parametrischen multiplen Einzelvergleiche (Tabelle 3.4.3(b) und 3.4.3(c)) am Beispiel der statistischen Überlegenheit aller getesteten Parameter, dargestellt als Rangfolge für beide Zahnbürsten in der Interaktion mit den vier Gelen und der Kontrolle mit Wasser:

	Dr. Best® ZB	*Parameter-Verhältnis*	*Rangfolge in %*	*Experimentelle Zahnbürste*	*Parameter-Verhältnis*	*Rangfolge in %*
1.	Crest®	24/41	59	Elmex®	14/36	39
2.	Elmex®	9/41	22	Gel A	11/36	31
3.	Gel B	4/41	10	H_2O	6/36	17
4.	H_2O	2/41	5	Gel B	2/36	6
5.	Gel A	1/41	2	Crest®	0/36	0

v) Plaque-Reduktion der Schaltlücke Regio 45: In drei von vier Fällen reinigten die Dr. Best® Zahnbürsten an den Zahnflächen 44 distal und 46 mesial überdurchschnittlich gut. Die Experimentelle Zahnbürste reinigt in drei von vier Fällen schlechter als durchschnittlich. Schlussfolgernd ist die Dr. Best® Zahnbürste für die Reinigung von Zahnlücken besser geeignet.

Plaque-Reduktion einzelner Zähne: Unabhängig der Zahnbürste, fiel die gesamte Plaque-Reduktion des Zahnes 43 am schlechtesten aus. Die Reinigung der Dr. Best® Zahnbürste fiel an den Prämolaren und Molaren deutlich besser aus als an den Frontzähnen. Vor allem der Zahn 48 wurde durch die Experimentelle Zahnbürste nicht gut gereinigt.

In der vorliegenden Studie wurde eine durchschnittliche Plaque-Reduktion von 18,55 - 22,88 % erreicht.

4. Diskussion

4.1 Material und Methode

Es soll diskutiert werden, ob die aus natürlichen Bestandteilen bestehenden Experimentellen Gele A und B Plaque effektiv reduzieren und in wie weit die erwartete positive Wirkung der Gele auf deren Inhaltsstoffen beruhen oder nur von der mechanischen Putzbewegung oder der unterschiedlichen Bürstenformen abhängt.

4.1.1 Verwendete Zahnbürsten

Yaacob et al. (2014) führten im Rahmen der Cochrane Database einen systematischen Review durch und untersuchten die Plaque-Reduktion durch elektrische Zahnbürsten im Vergleich zu manuellen Zahnbürsten. Die elektrischen Zahnbürsten sind, über kürzere (1 - 3 Monate) und längere Zeiträume (> 3 Monate), in ihrer Plaque- und Gingivitis-Reduktion der Handzahnbürste überlegen. Die Metaanalyse ist ein statistisches Hilfsmittel, um eine Vielzahl an klinisch-kontrollierten Studien umzurechnen und Daten auf eine Fragestellung zu selektieren. Jedoch ist die Methode fehleranfällig und es kann zu Verzerrungen der Ergebnisse kommen; die klinische Relevanz bleibt nach wie vor unklar. Die Autoren des systematischen Reviews resümieren, dass im Grundsatz mit beiden Zahnbürstentypen eine effektive Plaque- und Gingivitis-Reduktion herbeigeführt wird.

Grundsätzlich muss die Frage gestellt werden, ob aus Metaanalysen eine Evidenz gezogen werden kann. Oft fehlen eindeutige Aussagen zu klinischen Problemen, um eine ‚Evidenz basierte Zahnmedizin' umzusetzen (Türp und Antes 2013). Zudem ist die Qualität der zahnmedizinischen Fachliteratur schlechter als allgemein angenommen. Die Cochrane Database erfüllt dennoch eine wichtige Aufgabe. Sie bündelt unzählige klinische Studien und zeigt Tendenzen auf. Bei den Ergebnissen und Empfehlungen handelt es sich um die aktuell ‚bestverfügbare Evidenz'.

Goldstandard zur Evidenz-Findung sind randomisierte, kontrollierte Studien. Die Studien sind in der Regel hochstandardisiert und belegen eindeutige Kausalitäten. Doch was nützt eine Evidenz der Cochrane Kollaboration, die nicht wirklich standardisiert erhoben wurde? In Metaanalysen wird die Effektivität der Plaque-Reduktion mit Zahnbürsten oder Bürstmedien nicht standardisiert erhoben. Die biochemische und physiologische Wirkung von Zahnpasten und Mundspüllösungen spielt primär keine Rolle. Hochstandardisierte Experimente aus der

Forschung bestätigen keine eindeutige Überlegenheit der elektrischen Zahnbürsten gegenüber der Handzahnbürsten. Hierzu einige Beispiele:

> Goh und Lim (2017) fanden in Ihrem Review heraus, dass Plaque-Reduktion mit einer Handzahnbürste genauso effektiv ist wie mit einer elektrischen Zahnbürste.
>
> Hoogteijling et al. (2018) konnten in ihrem systematischen Review keine eindeutige Überlegenheit von ‚tapered' Borstenkonfigurationen gegenüber den abgerundeten Borsten bei der Plaque-Reduktion, der gingivalen Abrasion und des Gingivalen Index feststellen. Laut Ni et al. (2017) liefern Zahnbürsten mit ‚tapered' Filamenten jedoch klinische Vorteile bei der Verringerung der Gingivitis und weisen weniger Blutungsstellen auf als abgerundete Borsten.
>
> In einer randomisierten klinischen Studie von Swierkot et al. (2013) wurde die Plaque-Reduktion durch Handzahnbürste und Schallzahnbürste bei 87 Teilnehmern an Implantatoberflächen untersucht. Es konnte kein signifikanter Unterschied in der Plaque-Reduktion festgestellt werden.
>
> Auch in dem Vergleich einer Schallzahnbürste mit einer Handzahnbürste bei 64 intellektuell eingeschränkten Teilnehmern einer klinischen Studie konnten keine Unterschiede in der Reinigungseffektivität beobachtet werden (Garcia-Carrillo et al. 2016).
>
> Es kann weder mit einer Handzahnbürste noch mit einer elektrischen Zahnbürste die Plaque um mehr als die Hälfte reduziert werden (Slot et al. 2012; Rosema et al. 2016). Im Durchschnitt werden 42 % Plaque nach der Reinigung der Zähne mit einer Handzahnbürste reduziert. Je nach verwendetem Index werden 30 – 50 % Plaque-Reduktion gemessen (Slot et al. 2012).

Die durchschnittliche Plaque-Reduktion in der vorliegenden Studie ist jedoch wesentlich geringer. An den bukkalen und lingualen Flächen, jene Flächen, die auch in klinischen Studien ausgewertet werden, reicht die Plaque-Reduktion durchschnittlich von 24,49 – 37,55 % (Tabelle 3.5.2(a) und 3.5.2(b)).

Bei Plaque-Indices werden, je nach Lokalisation der Plaque auf dem Zahn, nummerische Werte von beispielsweise 0 bis 5 vergeben. Es kommt anschließend bei der Umrechnung zu Fehlinterpretationen, die nicht der tatsächlichen Plaque-Reduktion entsprechen. Wird

beispielsweise ein Index verwendet, der die Einteilung 0 (keine Plaque), 1 (< 50 % Plaque) und 2 (> 50% Plaque) vorgibt, ergibt sich für einen Zahn mit etwa 60 % Plaque (Index = 2), der nach der Reinigung eine Restplaque von 45 % aufweist (Index = 1), eine irreführende 50%ige Plaque-Reduktion. Dabei beträgt in diesem Beispiel die tatsächliche Reinigung nur 15 %.

Betrachtet man die totale durchschnittliche Plaque-Reduktion dieser Arbeit, die zwischen 16,64 % und 26,48 % (Tab. 3.4.1(b)) liegt, überrascht der geringe Wert der Plaque-Reduktion. Diese entsteht, im Gegensatz zu anderen klinischen Studien, unter anderem durch die Untersuchung der Reinigungsleistung in den Zahnzwischenräumen, den Risikofeldern und an den Wurzelfeldern. Es ist also nicht verwunderlich, dass klinische Studien bessere Plaque-Reduktionen verzeichnen. Das liegt daran, dass nur bukkale und orale Felder bewertet und ausgewertet werden können.

In den meisten Studien wurde die Auswertung mit dem Quigley und Hein Index, Navy-Plaque Index, dem Plaque Index nach Silness und Löe oder deren Modifikationen vorgenommen. Die Auswertung des modifizierten Navy-Plaque Index (Rustogi et al. 1992) wurde durch Claydon und Addy (1995) modifiziert. Durch eine transparente Deckschablone konnte eine Fotodokumentation erfolgen. Dadurch eignet sich der modifizierte Navy-Plaque Index besonders für klinische Studien. Wesentlich genauer ist jedoch die pixel-genaue Auszählung der Plaque-Reduktion und die Ausgabe als prozentualen Wert, wie es in dieser Studie zur Anwendung kam. Die automatisierte Plaque-Planimetrie ist aufgrund des Verfahrens bislang in-vitro Versuchen vorbehalten.

Fest steht, dass die Plaque-Reduktion klinischer Studien somit nicht der objektiven und gesamten Plaque-Reduktion entspricht, nichtsdestotrotz ist die Aussagekraft von klinischen Studien von hoher Relevanz.

4.1.2 Verwendete Bürstmedien

Die in der Arbeit verwendeten Bürstmedien unterscheiden sich in ihren Inhaltsstoffen, in ihrer Abrasivität, im Fluoridgehalt und im pH-Wert. Die Abrasivität wird als RDA-Wert (Relative Dentin Abrasion) angegeben. Es sollte herausgefunden werden, ob die Faktoren maßgeblich zur Plaque-Reduktion beitragen konnten und wie hoch ihr Einfluss war.

Zunächst soll eine Beurteilung stattfinden, ob eines der verwendeten Bürstmedien aufgrund der Abrasivstoffe den anderen Bürstmedien überlegen ist. Hochabrasive Zahnpasten haben einen RDA-Wert von 151 - 250, moderat abrasive Pasten einen RDA-Wert von 70 - 150 und niedrig abrasive Pasten einen RDA-Wert von < 70 (Hellwig et al. 2009). Ziel der Abrasivstoffe ist die Erleichterung der Plaque-Entfernung und die Politur der Zahnoberfläche. Am häufigsten kommen folgende Abrasivstoffe zum Einsatz: Hydrated Silica/Silica (Kieselsäure/Siliciumdioxid) oder Calciumcarbonat (Kreide). Die Putzkörper haben eine Größe von 0,1 – 1,5 µm und können sich in der Kornform, Korngröße und Kornhärte stark unterscheiden (Zantner und Kielbassa 2002). Allgemein gilt, dass nur so viel Abrasiva beigesetzt werden, dass bei minimaler Abrasion ein maximaler Reinigungseffekt eintritt.

In der randomisierten, klinischen kontrollierten Studie von Birke (2016) zeigte sich, dass ein hoher RDA-Wert wie in der Whitening-Zahnpasta Crest® Pro-Health (RDA 162) keine signifikant höhere Plaque-Reduktion als die niedrig abrasiven Zahnputztabletten Denttabs® (RDA 35) oder das abrasionsfreie Experimentelle Gel (RDA 0) erzielt. Der Abrasivitätsgrad eines Bürstmediums spielt bei der Plaque-Reduktion nur eine geringe Rolle (Paraskevas et al. 2006).

Es existiert eine moderate Evidenz dafür, dass Zahnputzmittel oder Zahnpasten einen leicht hemmenden Effekt auf die Neubildung von Plaque haben (Valkenburg et al. 2019). In der Metaanalyse von Valkenburg et al. (2019) zeigte sich für Triclosan die höchste Hemmung der Plaque-Neubildung im Vergleich zu Natriumfluorid, Natriummonofluorphosphat, Zinnfluorid und Back-Soda.

Nichtsdestotrotz erfüllen Bürstmedien neben den kosmetischen Funktionen, wie einem angenehmen Geschmack und der Unterstützung der Reinigung der Zähne, auch die Funktion als Träger für Wirkzusätze (Paraskevas et al. 2007). Darunter fallen das kariesprotektive Fluorid, anti-plaque Mittel, anti-inflammatorischen Agentien, desensibilisierenden Zusätze und weitere Ergänzungen, um extrinsische Verfärbungen zu entfernen.

Es konnte in vergangenen in-vitro Studien der antimikrobielle Effekt von Elmex® Gelée nachgewiesen werden (Schiller et al. 2012). Die Autoren führen den Effekt auf die Galenik und die Wirkstoffzusammensetzungen des Elmex® Gelée zurück, dabei spielt die Einwirkdauer eine entscheidende Rolle.

Laut Fernandez et al. (2016) reduzieren zinnhaltige Zahnpasten, wie Crest®-Pro Health Whitening (0,454 % Sn_2F) erwiesenermaßen in in-vitro Untersuchungen die Biofilmstruktur von *S. mutans* und reduzieren den Biofilm in seiner Masse und Dicke. Die Arbeit von Fernandez et al. (2017) zeigt bereits eine überlegene antimikrobielle Wirksamkeit einer Slurry mit Zinnflourid und Natriumfluorid in einem Multispezies-Biofilm (*A. actinomycetencomitans*, *P. gingivalis* und *F. nucleatum*) gegenüber einer Slurry mit Triclosan.

In einer doppel-verblindeten Studie in Brasilien konnte gezeigt werden, dass es durch Trinkwasserfluoridierung und gleichzeitige Verwendung einer fluoridierten Zahnpasta (Crest® 1030 mg F/kg) zu einem sofortigen Anstieg der Fluoridkonzentration in der Plaque um 6,5 mmol/kg kommt (Pessan et al. 2008). Zeitgleich steigt auch die Fluoridkonzentration im Speichel an. Nach 12 Stunden nahm die Fluoridkonzentration im Vergleich zu der Konzentration nach einer Stunde um etwa 50 % ab.

In der vorliegenden Studie wurden die abrasionsfreien Bürstmedien Experimentelles Gel A und Experimentelles Gel B untersucht. Die Bürstmedien wurden speziell für geriatrische Patienten in Pflegeeinrichtungen oder Altenheimen und Patienten auf Intensivstationen entwickelt. Häufig werden Patienten auf Intensivstationen künstliche beatmet. 9 – 40 % der erworbenen Infektionen auf Intensivstationen sind beatmungsassoziierte Pneumonien (VAP = Ventilatorassoziierte Pneumonie). Diese stehen in direktem Zusammenhang mit einer erhöhten Mortalität, längeren Krankenhausaufenthalten und erhöhten Kosten der Krankenkassensysteme (Byers und Sole 2000). Bei künstlich beatmeten Patienten besteht eine Korrelation zwischen der dentalen Plaque, dem Biofilm, der den Oropharynx besiedelt und den nosokomialen Pneumonien (Vilela et al. 2015), deshalb ist für diese Patientengruppe eine geeignete Biofilmkontrolle extrem wichtig.

Der pH-Wert der Experimentellen Gele A und B liegt bei 6,54 und ist somit weniger sauer als bei den verglichenen Bürstmedien. Die Plaque-Reduktion des Experimentellen Gel B schneidet am schlechtesten ab. Da sich die Gele nur in ihren Inhaltsstoffe unterscheiden, lässt sich

schließen, dass das Aleo-Vera-Gel und das 5%ige Chitosan einen positiven Effekt auf die Plaque-Reduktion bewirkt haben.

Chitosan, der Inhaltsstoffe, der dem Experimentellen Gel A zugesetzt wurde, soll die Eubiose der Mundhöhle fördern und der Xerostomie vorbeugen. Chitosan-haltige Zahnpasten besitzen antimikrobielle Eigenschaften und hemmen die Adhäsion von Plaque an der Zahnoberfläche (Mohire und Yadav 2010). Vermutlich sind positive Amingruppen, die an der Zahnoberfläche binden, dafür verantwortlich.

Chitosan ist ein natürlich vorkommendes Bipolymer, welches durch die Deacetylierung von Chitin entsteht und heute schon oft in der Wundheilung eingesetzt wird (Patrulea et al. 2015). Der Wirkstoff kann auch zur Wundheilung der Mundschleimhaut beitragen, beispielsweise an Druckstellen oder aphtösen Läsionen. Chitin ist Bestandteil des Exoskeletts vieler Arthropoda, vor allem der Klassen der Insekta und Crustacea (Shrimps, Krabben, Krill, Tintenfischen) oder Bestandteil der Zellwand bei Pilzen. Die antibakteriellen Eigenschaften lassen sich mit denen von Chlorhexidin vergleichen (Verkaik et al. 2011). Durch die Substantivität antimikrobieller Mittel in dem oralen Biofilm kommt es nicht nur zu einem sofortigen, sondern auch zu einem zeitlich anhaltenden Abtöten von Bakterien.

Die Experimentellen Gele A und B enthalten als ätherische Öle entweder Zitronen-, Organgen- oder Minzöl. Eine Studiengruppe der TU München (Bader et al. 2018) untersuchte den Einfluss von Geschmacksstoffen auf die Speichelzusammensetzung, dabei stellte sich heraus, dass durch die Geschmacksstoffe Zitronensäure und 6-Gingerol das Immunsystem im Speichel aktiviert wird. Zitronensäure lässt den Lysozym-Spiegel im Speichel um das zehnfache ansteigen, das Lysozym wirkt antibakteriell auf gram-positive Bakterien und die Zitronensäure führt zu einem Anstieg der antibakteriell wirkenden Hypochlorid-Menge im Speichel. Der aus dem Ingwer stammende Geschmacksstoff 6-Gingerol katalysiert eine enzymatische Reaktion im Speichel. Dabei nimmt das antimikrobielle und fungizide wirkende Hypothiocyanat im Speichel um die dreifache Menge zu.

Die Eubiose in der Mundhöhle wird durch natürliche Geschmacksstoffe oder ätherische Öle unterstützt und gefördert. Den unterschiedlichen Geschmacksstoffen in Zahnpasten und Zahncremes kommt also eine wesentlich größere Bedeutung zu als bisher angenommen.

Valkenburg et al. (2016) kamen in ihrem systematischen Review zu dem Schluss, der auch dem allgemeinen Konsens entspricht, dass zusätzlich zu dem Zähneputzen ein Bürstmedium keinen Benefit für die Plaque-Reduktion mit sich bringt. Im Schnitt wurde mit Zahnputzmittel die Plaque um 49,2 % reduziert. Ohne zusätzliches Zahnputzmittel betrug die Plaque-Reduktion 50,3 % (Valkenburg et al. 2016).

Damit decken sich die vorgenannten Ergebnisse mit einer erst kürzlich durchgeführten klinischen Studie mit 48 Probanden. Hierbei wurde der Unterschied zwischen trockenen und mit Wasser angefeuchteten Zahnbürsten eruiert (van der Sluijs et al. 2018). Nach einer Mundhygienekarenz von 48 Stunden und bei der Verwendung der Bass-Technik zeigte sich eine durchschnittliche Reinigung von 58 % bei der trockenen Zahnbürste und 57 % bei der angefeuchteten Bürste. Das Ergebnis war also insignifikant, jedoch wurde das Zähneputzen ohne Bürstmedium von den Probanden als sehr unangenehm empfunden.

In einer Doppel-blind-Studie konnten nach einem Zeitraum von vier Wochen keine signifikanten Differenzen zwischen Zahnpasten mit und ohne Zusätzen des anionischen Tensids Natriumlaurylsulfat (SLS) bei der Plaque-Reduktion und Gingivitis-Reduktion gezeigt werden (Salzer et al. 2017). Jedoch gefiel den Patienten der schäumende Effekt der SLS-haltigen Zahnpasta besser. Unterschiede der Plaque-Reduktion in der vorliegenden Studie sind dementsprechend nicht auf den Inhaltstoff Natirumlaurylsulfat oder auf die Abrasivstoffe zurückzuführen.

Zu untersuchen bleibt, ob die Bürstmedien erst nach einem gewissen Zeitraum nach der Zahnreinigung oder in ihrer langfristigen Anwendung ihre Anti-Plaque-Eigenschaften entfalten und ob die Gele nachhaltig die Plaque-Akkumulation verringern können.

4.1.3 Artifizielle Plaque

Die artifizielle Plaque aus organischen Bestandteilen bringt erhebliche Vorteile mit sich: die Haftung an den Typodonten und die Viskosität ist mit der von natürlicher Plaque vergleichbar, weshalb durch die Methode eine zeitsparende und kostengünstige Alternative für reliable, objektive und valide in-vitro Studien entwickelt worden ist.

Ziel war es, eine maturierte Plaque zu entwickeln, die nach einer Mundhygienekarenz von 72 Stunden zu finden ist und dem ‚3-day-plaque-regrowth' entspricht (Claydon und Addy 1995). Bei der freien Akkumulation der Plaque ohne Mundhygiene, nimmt die Plaque in den ersten vier Tagen am stärksten zu (Furuichi et al. 1992). Nach 24 Stunden sind 43 % der Zähne mit Plaque bedeckt, nach 4 Tagen sind es schon 86 %, nach einer Woche sind 93 % der Zähne mit Plaque bedeckt und nach 2 Wochen 94 %. Es wurde sich für eine Plaque entschieden, die einer ‚3-day-plaque-regrowth' entspricht. Im Gegensatz zu in-vivo Studien sind bei in-vitro Studien zu Versuchsbeginn die Zähne zu 100 % mit Plaque bedeckt.

Das Ziel, eine maturierte, organische Plaque zu entwickeln, die sich für eine in-vitro Plaque-Simulation eignet, ist gelungen. Durch die Viskositätsmessung ist eine standardisierte Konsistenz gewährleistet. Es musste ein neues Verfahren entwickelt werden, um über die alleinige Mechanik der Bürste hinausgehende Aussagen zu treffen, nämlich in wie weit welche Kombinationen an Zahnbürsten mit Bürstmedien einen eubiotischen Zustand fördern und wie die unterschiedlichen Interaktionen aussehen. Andernfalls wäre eine chemische Acrylfarbe für die Darstellung der Plaque-Reduktion ausreichend gewesen.

Während und nach der Durchführung der vorliegenden Studien zeigen gewonnene Erkenntnisse einige Verbesserungsvorschläge für künftige Studien auf: Die Rezeptur soll mit Saccharose in Form von raffiniertem Zucker verfeinert werden, da der ‚Haushaltszucker' häufig in alltäglich zugeführten Lebensmitteln steckt. Ferne sollen Saccharomyces cerevisiae, also Hefepilze, die Rezeptur erweitern, um Bioaktivität in die artifizielle Plaque zu bringen. Es ist denkbar, die künstliche Plaque in einem Inkubator reifen zu lassen und somit biochemische Prozesse zu katalysieren. Des Weiteren sollen neue bakterienhemmende und eubiotische Mundhygienegele in Bezug auf Wundverhütung und Wundheilung untersucht werden.

Zu genaueren Untersuchung können bestimmte Bakterienarten der artifiziellen Plaque hinzugefügt werden. Im Anschluss sind mikrobiologische Untersuchungen zu antimikrobiellen

Effekten möglich. Weitere Anti-Plaque-Effekte, enzymatische Zusätze oder die Eubiose fördernden Zusätzen können analysiert werden.

4.1.4 Versuchsaufbau

Es gibt aktuell kein standardisiertes Testverfahren, um Mundhygieneprodukte in-vitro zu untersuchen. Das liegt daran, dass immer ähnliche Schwierigkeiten in der Versuchsplanung und Durchführung auftreten. Folgende Anforderungen werden an den in-vitro Versuch gestellt:

Erstens muss mit einem standardisierten Verfahren die Putzbewegung nachgeahmt werden. Dabei sollen 2-, 4- oder 6-Achsen Roboter angewendet werden, die eine vollautomatische Putzbewegung durchführen. Eine Alternative besteht darin, dass ein kalibrierter Prüfarzt manuell die Putzbewegung durchgeführt.

Zweitens ist die naturgetreue und immergleiche Nachbildung der Zähne und Gingiva wichtig. Hierzu finden vor allem Frasaco- oder Kavo-Modelle Anwendung. Früher wurden Blöcke mit Furchen verwand (Nygaard-Ostby et al. 1979). Auch extrahierte Zähne kommen zur Verwendung, wobei diese sich auch wieder individuell unterscheiden und eine reproduzierbare Auswertung erschweren.

Drittens stellt ein geeignetes Plaque-Ersatzmittel die größte Herausforderung dar. Physikalisch soll das Plaque-Ersatzmittel an dem Zahn anhaften und dieselben Eigenschaften, wie die Klebrigkeit und Viskosität, aufweisen wie echte Plaque. Chemisch sollen ähnliche Strukturen und Moleküle der Glycokalix und der Matrix wiedergespiegelt werden. Um den Erfolg von Zahnbürsten oder Bürstmedien evident und sichtbar nachzuweisen, muss die Plaque sich farblich von den Typodonten abheben.

Die Anforderungen an die künstliche Plaque sind eine ausreichende Haftfestigkeit am Zahn, eine Sichtbarkeit der Reinigungseffektivität, eine kostengünstige und zeitsparende Herstellung. Für eine objektive Auswertung wird mit einem optisch-digitalen Auswertverfahren gearbeitet.

4.1.5 Versuchsablauf

Zahnärzte empfehlen täglich eine zweimalige Reinigung der Zähne mit der modifizierten Bass-Technik über eine 2 - 3-minütige Dauer. Ganss et al. (2009) fanden heraus, dass die Putzdauer bei nicht instruierten Erwachsenen 96, 6 ± 36,0 s beträgt und die durchschnittliche Putzkraft 2,3 ± 0,7 N beträgt. Es konnte gezeigt werden, dass nur 25,2 % der Probanden (n = 103) sich zweimal täglich die Zähne über einen Zeitraum von 120 s bei einer Anpresskraft von in etwa 3 N mit zirkulierenden oder vertikalen Bewegungen putzen. Die modifizierte Bass-Technik fand kein einziges Mal Anwendung. In der vorliegenden Arbeit entspricht die Putzdauer von 40 s für zwei Sextanten, welches in einem vollbezahnten Gebiss einer Dauer von 120 s entspricht und liegt damit leicht über dem Durchschnitt. Die festgelegte Putzkraft von 2 N entspricht in etwa der von Ganss et al. (2009) aufgezeigten durchschnittlicher Anpresskraft.

Van der Weijden et al. (1993) konnten in der Studie beweisen, dass die Putzdauer direkt mit der Plaque-Reduktion korreliert. In der klinischen Studie von Van der Weijden et al. putzten sich die Probanden (n= 20) für 7.5, 15, 30, 45 oder 90 s mit einer elektrischen oder Handzahnbürste jeweils einen Quadranten, die prozentuale Plaque-Reduktion reichte dabei von 40,02 - 92,18 %. Hierbei ist zu beachten, dass die prozentualen Werte sich aus dem Quotienten, der am Baseline und Endpunkt aufgenommenen Plaque-Indices handelt und sich somit nicht direkt mit den prozentualen Werten dieser Studie vergleichen lässt. Es konnte gezeigt werden, dass die Hauptreinigung nach 30 s pro Quadrant erreicht wurde, danach ist die Steigung der Plaque-Reduktion nicht mehr so steil, das deckt sich mit der heute allgemein gültigen Empfehlung eine Gesamtputzzeit von 120 s. Beachtet man die Handzahnbürste bei einer Putzdauer von 30 s, welches einer Gesamtputzzeit von 120 s im Gebiss entspricht, zeigt sich eine Plaque-Reduktion um 66,60 %. Das relativ gute Reinigungsergebnis lässt sich durch eine nur 24-stündige Mundhygienekarenz erklären, wohingegen die Ergebnisse dieser Studie bei einer Plaque-Reduktion von 19,41 % durch die Dr. Best® Zahnbürste und 21,82 % durch die Experimentelle Zahnbürste von einer schon maturierten Plaque bei Mundhygienekarenz von 3 Tagen ausgeht.

Die Putzversuche wurden in der vorliegenden Arbeit manuell von einem kalibrierten Prüfarzt an den Modellgebissen durchgeführt, wobei es hierbei natürlicherweise zu geringen Schwankungen in der Durchführung kommt. Es wurde eine akribische Einhaltung der Parameter und der Putzsystematik beibehalten, dennoch ist die Versuchsdurchführung mit

dem Roboter denkbar. Durch die Unterstützung eines Roboters ist eine fast exakte Reproduktion der genauen Bewegungsabläufe garantiert.

Durch die hochauflösende computerassistierte optische Plaque-Planimetrie ist eine exakte und einheitliche Beurteilung und Bewertung der Plaque-Reduktion an den verschiedenen Zahnfeldern möglich (Gaengler et al. 2013). Einen großen Vorteil stellt die Reproduzierbarkeit der Auswertung dar. Ein solches Verfahren ist jedoch auch fehleranfällig, da es zu Softwarefehlern, zu Verschmutzungen auf der Linse, Positionierungsfehler der Zähne im Schlitten oder zu Reflexionen auf den glatten Oberflächen der Kunststoffzähne kommen kann.

Etwa 60 – 70 % der klinischen Auswertung stimmen mit dem Ergebnis des 6-Achs Roboters überein (Arnoldi 2015; Egermann 2016), die Auswertung planimetrischer Verfahren über einen Index ist daher nur in der Tendenz vergleichbar. Exakter ist die Ausgabe der Plaque-Reduktion in Prozent.

4.2 Ergebnisse – Plaque-Reduktion

Das Reduzieren von Plaque geschieht durch mechanische Entfernung und durch biochemische Entfernung.

Imfeld et al. (2000) untersuchten 22 Handzahnbürsten mit unterschiedlichen Bürstenkopfkonfigurationen. In dem hochstandardisiertem Versuchsaufbau wurde die Plaque-Reduktion an schwarzen Kunststoffzähnen, die mit weißem Titandioxid-Pulver beschichtet waren, untersucht. Das Ergebnis wurde wie in der vorliegenden Arbeit in einem Prozentwert ausgegeben. Es wurde eine Maschine verwendet, die eine Minute lang bukkal einen Oberkiefersextant (bestückt mit den Zähne 18 - 13) in horizontaler Bewegung bei 250 g Anpresskraft putzte.

Mit einer Plaque-Reduktion von 51,3 % ging die Trisa flex-Active soft-medium(6) (siehe Abbildung 4.1) als effektivste Bürste aus dem Test hervor, gefolgt von der Oral B Advantage 40 mittel/weich(21) die eine durchschnittliche Plaque-Reduktion von 50,5 % erreichte und der Candida Parodin soft mit 49,5 %(2) (Abbildung 4.1). Am schlechtesten schnitt die Zahnbürste Candida M-Budget(5) mit 32 % Plaque-Reduktion ab. Das Ergebnis der Zahnbürste mit der geringsten Reinigungseffektivität ist mit den bukkalen Mittelwerten der Dr. Best® Zahnbürste von 30,52 % und der Experimentellen Zahnbürste von 33,6 %, vergleichbar.

Im Unterschied zu der Arbeit von Imfeld et al. wurde in der vorliegenden Arbeit eine kürzere Putzdauer, entsprechend der Empfehlung, eingehalten. Zudem ist mit der organischen Plaque ein Anhaften gewährleistet, weshalb die Plaque nicht allein durch Berührung zu entfernen ist.

Nach der Studie von Imfeld et al. geht nicht eindeutig hervor, welche Konfiguration des Bürstenkopfes am effektivsten ist, demnach muss die Effektivität auch von anderen Parametern, wie der Borstensteifigkeit, Borstenlänge und Büschelmenge abhängen. Deutlich geht aus der Studie hervor, dass Bürstenkonfigurationen mit einem Flachschnitt (Abbildung 4.1, Zahnbürstennr.: 3, 4, 5, 13, 14, 22), die hinteren Ränge in Bezug auf das gesamte Zahnflächenkontaktvermögen belegen. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Ergebnissen aus dieser Arbeit, in der die Borstenkonfiguration der Experimentellen Zahnbürste der Flachschnittzahnbürste von Dr. Best® überlegen ist.

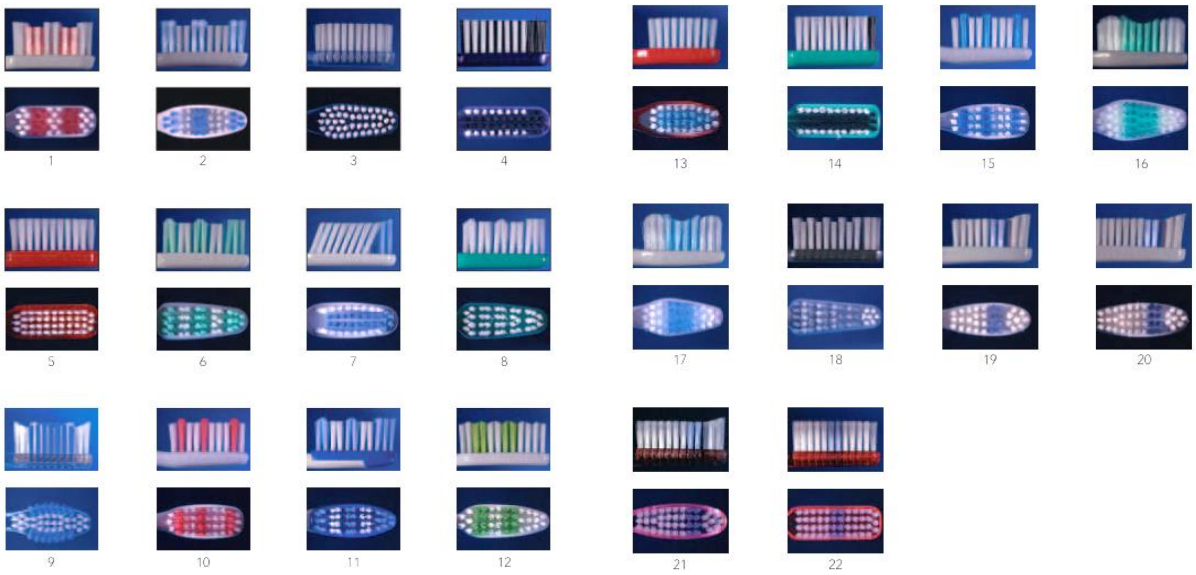

Abbildung 4.1: Die 22 untersuchten Zahnbürstenköpfe von Imfeld et al. (2000). Imfeld et al., In-Vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten. Acta Med Dent Helv., 2000, 5(4):37-47, Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Swiss Dental Journal SSO.

Die Arbeit von Schätzle et al. (2010) verwendet eine ähnliche Methodik wie Imfeld et al. (2000). Hierbei wurde die Plaque-Reduktion von 12 rotierend-oszillierenden- oder Schallzahnbürsten an den Zähne 13 - 23 mit kieferorthopädischen Brackets untersucht. Es wurde die Schrubbtechnik verwendet und der Versuch bei 0,94 N Anpresskraft durchgeführt. Die planimetrische Auswertung erfolgte prozentual, es wurden deutlich höhere Plaque-Reduktion als in der hier vorliegenden Arbeit erzielt.

Die Plaque-Reduktion reicht von 45,5 - 81,7 %. Am besten und hochsignifikant schnitten die Brüstenköpfe Compact ProResults (g) (siehe Abbildung 4.2) mit 81,7 %, Standard ProResults (h) mit 80,8 % von Philips Sonicare® und der Standardkopf der Waterpik® SR 800E (k) mit 78,2 % ab.

Der Oral-B Ortho (c) Bürstenkopf schnitt mit > 50 % Plaque-Reduktion am schlechtesten ab. Im Unterschied zu dieser Arbeit wurden die sechs Zähne eine Minute lang gereinigt. Das würde bei einem vollbezahnten Gebiss einer Gesamtputzdauer von 9,3 Minuten entsprechen und erklärt die, relativ gesehen, sehr gute Reinigungsleistung. Die generelle Empfehlung der Zahnreinigung eines vollbezahnten Gebisses beträgt zwei Minuten. Um vergleichbare Daten zu der vorliegenden Arbeit zu generieren, hätte der Versuch mit einer 13 Sekunden langen Reinigungszeit durchgeführt werden müssen.

Auch hier wurde eine andere Plaque-Simulation verwendet, die in der physikalischen Haftung nicht der natürlichen Plaque entspricht. Es ist vollstellbar, dass die elektrischen Bürsten

grundsätzlich eine höhere Reinigungsleistung durch die Schwingung der Borsten erzeugen, auch wenn es nicht zu einem direkten Kontakt zwischen Zahn und Borste kommt. Nach wie vor wird das Thema der idealen Zahnbürstenkonfiguration in der Literatur kontrovers diskutiert.

Abbildung 4.2: Die 12 verglichenen Zahnbürstenköpfe in der Arbeit von Schätzle et al. (2010). Schätzle et al., In vitro tooth cleaning efficacy of electric toothbrushes around brackets, Eur J Orthod, 2010, 32(5):481-9, Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Oxford University Press.

Die klinische Validierung der Plaque-Reduktion durch einen 6-Achs Roboter (Lang et al. 2014) führt ebenso zu dem Ergebnis, dass die Flachschnittkonfiguration zu einer signifikant schlechteren Plaque-Reduktion führt. Das bestätigt sich sowohl in den klinischen als auch durch die robotergenerierten Daten. Grundsätzlich wurden in dem Versuch von Lang et al. (2014) die oralen Zahnflächen besser gereinigt. Auf den Molaren findet sich nach der Putzreinigung eine größere Menge an Plaque als auf den restlichen Zähnen. In Anbetracht der klinischen Ergebnisse reinigt die Dr. Best® interdent plus zu 6,74 % besser als die Dr. Best® plus medium. Bei der Reinigung durch den Roboter kam es zu einem um 5,87 % besseren Abschneiden für die Dr. Best® interdent plus.

Da die Studie die Plaque-Reduktion nicht in Prozent, sondern durch einen Index mit einem ja(1)/nein(0) Entscheid (Claydon und Addy 1995) bewertet hat, sind weitere Aussage im Vergleich mit der Dr. Best® Classic Zahnbürste nicht möglich. Für Studien ist es von Vorteil, wenn eine computergenerierte prozentuale Plaque-Reduktion gemessen wird. Allein durch den ja/nein Entscheid wird zwar die klinische Auswertung chairside vereinfacht, aber die Daten in-vitro nicht präzise genug evaluiert.

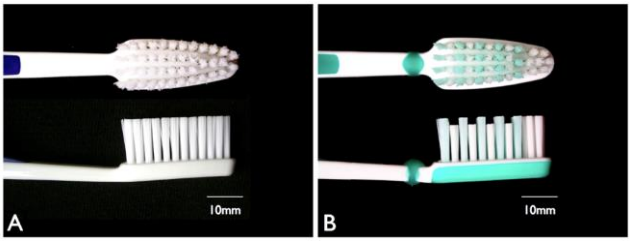

Abbildung 4.3: Die verwendeten Zahnbürsten bei der klinischen Validierung von Lang et al. (2014), A: Dr. Best® plus medium, B: Dr. Best® interdent medium [ORMED Institut]

Bei der genauen Betrachtung der Ergebnisse der vorliegenden Studie durch die Dr. Best® Zahnbürste und der Experimentellen Zahnbürste gibt es eine eindeutige Überlegenheit in der Plaque-Reduktion. Fünf von elf Parameter unterscheiden sich signifikant. Dabei ist die Experimentelle Zahnbürste in vier von fünf signifikanten Feldern überlegen. Es bestätigt sich die in Kapitel 1.5. aufgestellt Hypothese, dass die Experimentelle Zahnbürste effektvier als die klassische Flachschnittzahnbürste reinigt.

Anders als erwartet muss die Hypothese, dass die Experimentelle Zahnbürste besonders effektiv im Zahnzwischenräumen und in der Schaltlücke Regio 45 reinigt, revidiert werden. In der Schaltlücke stellt sich die Flachschnittbürste Dr. Best® als besser geeignet dar als der speziell konfigurierte Bürstenkopf der Experimentellen Zahnbürste.

Die Ergebnisse der Bürstmedien ähneln sich, trotz signifikanter Unterschiede. Das mag daran liegen, dass im Versuch die Bürstmedien jeweils fünfmal entweder mit der Dr. Best® Zahnbürste oder mit der Experimentellen Zahnbürste gereinigt wurden. Weiter ist zu beachten, dass die Signifikanz sich immer nur auf eine bestimmte Zahnfläche von A - I bezieht. Die bestehenden Signifikanzen der Bürstmedien lassen, aufgrund der geringen Unterschiede, somit nicht auf eine klinische Relevanz schließen.

Bei der Analyse des Haupteffektes des Faktors ‚Gele', siehe Kapitel 3.3.2, beziehen sich vier der fünf Signifikanzen auf die approximalen Situs mesial, distal, W1+W2 mesial, W1+W2 distal und den schwierig zu reinigenden Bereich lingual. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass die Gele sich an sechs der sieben Felder nicht signifikant unterscheiden. Dieses Ergebnis deckt sich mit der in der Literatur herrschenden Einigkeit darüber, dass die Abrasivstoffe in Bürstmedien keinen zusätzlichen Nutzen in Bezug auf die Plaque-Reduktion per se haben (Paraskevas et al. 2006; Birke 2016).

Im direkten Vergleich der Gele (Tabelle 3.3.3) schneidet Elmex® Gelée besonders gut ab. Eine Erklärung für diese Phänomen kann der tiefe pH-Wert des Gelées von 4,5 – 5,0 sein. Durch die Säure wird möglicherweise die artifizielle Plaque chemisch besser angelöst.

Die im Kapitel 1.5 aufgestellte Hypothese, dass die Zahnpasta Crest® durch den hohen RDA-Wert von 162 die höchste Reinigungswirkung erbringt, muss verworfen werden. Es besteht allgemeiner Konsensus, dass ein hoher RDA-Wert nicht die Plaque-Reduktion verbessert. Die Abrasiva in sogenannten Whitening-Zahnpasten entfernen extrinsische Verfärbungen und fördern Rauigkeiten auf der Zahnoberfläche (Bizhang et al. 2016).

Keines der untersuchten Bürstmedien ist deutlich in der Reinigungseffektivität überlegen. Die Reinigungseffektivität der Risikofelder (ABCDF) betrug 14,78 – 25,03 %. Die Wurzelfelder erreichten eine Plaque-Reduktion von 9,97 – 26,31 %. Damit sind die erreichten Reinigungserfolge der verschiedenen Bürstmedien in allen Risikofeldern vergleichbar.

Es lagen keine bemerkenswerten Unterschiede in der Reinigung mit Bürstmedium oder eine mit Wasser angefeuchteten Zahnbürste vor. Diese Erkenntnis deckt sich im Grundsatz mit bisherigen Studien (Valkenburg et al. 2016; van der Sluijs et al. 2018).

Die eubiotischen Verhältnisse werden durch die Inhaltsstoffe der Bürstmedien und eine mechanische Reinigung per se unterstützt. Der Reinigungserfolg beruht hauptsächlich auf dem mechanischen Abrieb.

Bizhang et al. (2017) untersuchten die Abrasivität eines Bürstmediums mit einem RDA von 150 (in einem Slurry Verhältnis 3:1) auf Dentin. Hierbei wurde das Bürstmedium in Kombination mit einer von vier Zahnbürsten untersucht. Ein Roboter führte eine Putzsimulation von 8,5 Jahren bei einer Anpresskraft von 2 N auf menschlichem Dentin durch. Es zeigte sich zwischen allen Zahnbürsten signifikante Unterschiede. Die Schallbürste verursacht einen Dentinverlust im Median von 21,03 µm, die rotierend-oszillierende 15,71 µm, die Flachschnittbürste 6,13 µm und der geriffelte Bürstenkopf 2,50 µm. Mit der Studie lassen sich Rückschlüsse auf die Dentinabrasion der Dr. Best® Zahnbürste in Kombination mit Crest®-Gel (RDA von 162) ziehen. Das Ergebnis der Studie von Bizhang et al. (2017) deckt sich mit dem Ergebnis der vorliegenden Studie, weil bei der Interaktion der Dr. Best® Zahnbürste mit dem Crest®-Gel die höchste Plaque-Reduktion stattfand. Die Interaktion war den Gelen mit einer geringeren Abrasion zu 59 % signifikant überlegen. Die Interaktion der Experimentellen Zahnbürste mit dem Crest®-Gel zeigte hingegen ein umgekehrt proportionales Ergebnis, in dieser Kombination war das hochabrasive Gel keinem anderen Bürstmedium überlegen. Es kann angenommen werden, dass hochabrasive Gele oder Slurries zu höheren Abrasionen, vor allem in Kombination mit elektrischen Zahnbürsten, führen.

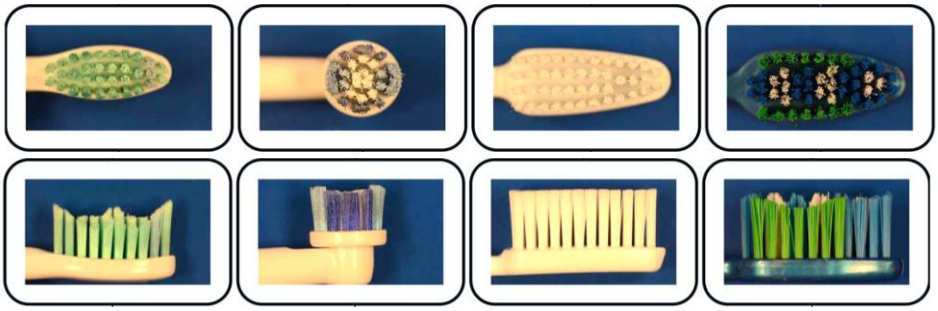

Abbildung 4.4: Untersuchten Bürsten von Bizhang et al. (2017) v.r.n.l: Sonicare PowerUp, Oral-B Vitality, Dr. Best Original, Blend-a-dent complete V-Interdental. Open Access article: Bizhang M, Schmidt I, Chun YP, Arnold WH, Zimmer S. 2017. Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement. PLoS ONE. 12(2):e0172060.

4.3 Ausblick

Zur Prävention oraler Erkrankungen wie Karies und parodontalen Erkrankungen, aber auch malignen Neoplasien, ist das Forschungsfeld rund um Erhaltung eines eubiotischen Zustandes und die damit verbundene Plaque-Reduktion nach wie vor von großer Bedeutung.

In Zukunft sollte sich ein in-vitro Versuchssaubau mit der Verwendung einer modifizierten artifiziellen Plaque durchsetzen. Modifikationen beinhalten den Aufbau einer künstlichen Mundhöhle (artificial mouth model bzw. einem wet-mouth model), die möglicherweise mit einem 3D-Druckverfahren erstellt werden kann. Die Einspeisung von künstlichem Speichel oder Slurries (Aufschlämmungen mit verschiedenen Abrasivstoffen), sodass die natürliche Mundhöhle noch besser imitiert wird, folgt in logischer Konsequenz.

Zur Steigerung der Objektivität der Untersuchung, muss in Zukunft ein Verfahren entwickelt werden, bei dem die artifizielle Plaque exakt gleichmäßig auf die Gebissmodelle appliziert werden kann. Denkbar ist ein Tauchbecken, das bislang aufgrund der relativ hohen Viskosität der artifiziellen Plaque schwer anwendbar ist. Um eine homogene und gleichmäßige Beschichtung zu erhalten, ist auch eine Dispersion über ein Aufsprühen der Plaque auf die Typodonten vorstellbar.

Die artifizielle Plaque soll in ihrer Konsistenz, Viskosität und Klebrigkeit unverändert bleiben, jedoch durch weitere Inhaltsstoffe ergänzt werden: Saccharose in Form von raffiniertem Zucker, Hefepilz Saccharomyces cerevisiae, Xantan und Guarmehl. Optional kann durch die Verwendung eines Inkubators die Bioaktivität der Plaque katalysiert werden.

Wünschenswert ist die klinische Validierung der artifiziellen Plaque in Anlehnung an die Arbeit von Staufer (2011), um mit einem 6-achs Roboter die Versuche vollautomatisch durchzuführen. Es kann dadurch eine perfekte Einhaltung der Zeit, der Anpresskraft und der Bewegung gewährleistet werden. Durch die sechs Achsen des Roboters ist eine ideale Nachahmung der menschlichen Bewegung zur Simulation des Zähneputzens gegeben und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse steigt.

Für die genaue Untersuchung der Verträglichkeit und Wirkung der Inhaltsstoffe von Bürstmedien werden nach wie vor klinische Studien zum Einsatz kommen. Antimikrobielle, antivirale und antifungale Wirksamkeiten der Zahnputzmittel können in mikrobiologischen Laborversuchen erforscht werden. Zur Analyse von Abrasivität und Erosionen, bespielweise

durch einen hohen RDA-Wert oder niedrigen pH-Wert eines Zahnputzmittels, sollen Untersuchungen an echten extrahierten Zähnen durchgeführt werden. Die Abrasionen an Schmelzoberflächen können anschließend im Rasterelektronenmikroskop exakt geprüft werden.

Ein vielversprechender Ansatz, um den oralen Dysbiosen entgegenzuwirken, stellt die mikrobielle Therapie in Form von Probiotika, Ecotherapeutika (Transplantationen des oralen Mikrobioms) oder die Therapie mit räuberischen Bakterien beziehungsweise mit Bakteriophagen dar (Hoare et al. 2017). Meyer und Enax (2018) fordern statt einer unspezifischen bakteriellen Elimination, eine Unterstützung der Eubiose durch neue Zusatzstoffe in Zahnpflegeprodukten, wie Probiotika, Speichelenzyme oder Calciumphosphatverbindungen wie Hydroxylapatit. Ziel ist, die Homöostase der Mikroorganismen in der Mundhöhle zu erreichen und eine Dysbiose zu verhindern.

In Anlehnung an den Erfolg der fäkalen Transplantation der Darmflora, um eine Infektion mit *Clostridium difficile* zu kontrollieren, entstand die Idee der Transplantation der oralen gesunden Mikroflora in ein Parodontitis-assoziiertes Mikrobiom (Pozhitkov et al. 2015). Die Forschungsgruppe untersuchte in einer explorativen Studie die Zusammensetzung des Mikrobioms bei Personen mit Mundgesundheit, Karieserkrankung, Zahnlosigkeit und Parodontitis und kam zu dem Schluss, dass es signifikante mikrobielle Signaturen gibt. Es folgte die Prüfung der Eradikation des Mikrobiom der Mundhöhle in Vorbereitung auf eine Transplantation durch die umstrittene Verwendung von Natriumhypochlorid.

Eine Impfung gegen Karies stellt laut Takahashi und Nyvad (2011) keine vielversprechende Idee dar, nicht zuletzt wegen des multifaktoriellen Geschehens der Karies. Für die Kariesprävention erachten die Autoren eine antimikrobielle Therapie oder Gentherapie nicht als sinnvolle Option. Lösungsansatz ist die Vermeidung einer Azidifikation des Biofilms. Um Eubiose zu erhalten, empfehlen Takahashi und Nyvad (2011) die mechanische Plaque-Reduktion, gezielte Speichelfluss Stimulation, pH-Wert neutralisierende Mechanismen und die Reduktion oder den Austausch von zuckerhaltigen Nahrungsmitteln.

Eine Ernährungsumstellung muss erfolgen. Die Häufigkeit der Nahrungsaufnahme, die Zusammensetzung der Nahrung, sowie die Art der Nahrungsaufnahme muss sich ändern.

Seit der Entdeckung und der Möglichkeit des CRISPR/Cas9-Verfahrens kann das Erbgut von Mikroorganismen durch gentechnische Methoden heute schon manipuliert werden. Dabei

können gezielt Gensequenzen eingebaut, gelöscht oder ausgeschaltet werden. Vorstellbar ist ein weniger saures Milieu in der Mundhöhle, indem orale Streptokokken, wie bspw. *S. mutans* gentechnisch umprogrammiert werden und es somit nicht zu Demineralisation kommt. Nichtsdestotrotz ist die Dysbiose im Sinne einer marginalen Gingivitis oder Parodontitis mit so einer einzigen Regulation noch nicht gebannt.

Wir sind also noch weit davon entfernt, die Zusammenhänge zu verstehen.

5. Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es, eine artifizielle Plaque zu formulieren, die der natürlichen dentalen Plaque entspricht und in standardisierten in-vitro Versuchen die Plaque-Reduktion durch Mundhygiene-Produkte zu untersuchen. Die Plaque-Reduktion wurde auf die Biomechanik der Bürstreinigung und die Abrasivität von Bürstmedien bezogen.

Es wurde die Flachschnittzahnbürste Dr. Best® Original (GlaxoSmithKlein, Bühl, Deutschland) und eine Experimentelle Zahnbürste (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Deutschland und M. + C. Schiffer, Neustadt (Wied), Deutschland) untersucht. Folgende Bürstmedien wurden geprüft: Crest® Pro Health Whitening (Procter+Gamble, Cincinnati, USA), Elmex® Gelée (GABA, Lörrach, Deutschland), Experimentelles Gel A (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Deutschland und Wachendorff Chemie, Troisdorf, Deutschland), Experimentelles Gel B (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Deutschland und Wachendorff Chemie, Troisdorf, Deutschland) und als Negativprobe eine mit Wasser angefeuchtete Zahnbürste. Für valide Ergebnisse wurde der Versuch 7-mal wiederholt (n = 7).

Ein KaVo-Unterkiefermodell (Biberach, Deutschland), bestückt mit neun morphologisch nachgebildeten Kunststoffzähnen, wurde vollständig mit neuentwickelter artifizieller Plaque beschichtet. Die artifizielle Plaque aus organischen Inhaltsstoffen entspricht nahezu der natürlichen Plaque zum Zeitpunkt des ‚3-day plaque regrowth'. Die neun Zähne wurden in Kombination mit einer Zahnbürste und einem Bürstmedium gereinigt. Dabei betrug die Anpresskraft 2,0 N und es wurde für 40 Sekunden eine horizontale Schrubbbewegung im Winkel von 90° ausgeführt; bukkal und lingual jeweils 20 Sekunden. Die prozentuale Plaque-Reduktion wurde durch eine Computer-assistierte optische Planimetrie (APP) an 30 Planimetrie-Feldern pro Zahn ausgegeben. Die Reinigungseffektivität an den Zähnen und einzelnen planimetrischen Feldern wurde statistisch verglichen (Mann-Whitney Test, Multivariate Varianzanalyse).

Die Experimentelle Zahnbürste ist in der Reinigungseffektivität der Dr. Best® Zahnbürste überlegen, vor allem an den Risikofeldern approximal, am Gingivasaum und an den Wurzelfeldern. Bürstmedien per se haben nicht zu einer signifikant größeren Plaque-Reduktion beigetragen. Die Effektstärke der Zahnbüste lag bei 72,5 % und war somit der Effektstärke der Bürstmedien mit 41,5 % überlegen. Es konnte gezeigt werden, dass die Plaque-Reduktion von der Kombination von Zahnbürste und Bürstmedien abhängt. Die

maximale Plaque-Reduktion bukkal und lingual beträgt 46,1 % (Frontzähnen), 50,7 % (Prämolaren) und 52,0 % (Molaren), mesial und distal wurden 4,8 - 40,2 % Plaque-Reduktion erreicht. Die durchschnittliche Plaque-Reduktion in Abhängigkeit des Mundhygienegels oder der Zahnpasta betrug 18,5 - 22,9 %.

Multiple Einzelvergleiche der Interaktionen mit der Dr. Best® Zahnbürste zeigten, dass die Kombination mit Crest®-Gel allen anderen Bürstmedien überlegen war. Bei den multiplen Einzelvergleichen der Experimentellen Zahnbürste war die effektivste Plaque-Reduktion mit Elmex® Gelée erreicht worden.

Plaque-Reduktion ist also genauso effektiv durch Zahnpflege mit Wasser, jedoch kommt Mundhygienegelen oder Zahnpasten eine wichtige Rolle bei der Substitution von Speichel, Fluorid und anderen Wirkstoffen bei. Durch die mechanische Plaque-Reduktion und die in den Bürstmedien enthaltenen Wirkstoffe kann das Gleichgewicht und damit der eubiotische Zustand der Mundhöhle gefördert werden, um orale Erkrankungen vorzubeugen. Das spezielle Design der Experimentellen Zahnbürste mit unterschiedlich langen Borsten stellte sicher, dass Interdentalräume gezielt gereinigt werden konnten.

6. Summary

The aim of the work was to formulate an artificial plaque that corresponds to the natural dental plaque and to investigate plaque reduction by oral hygiene articles in standardized in-vitro tests. The plaque reduction was related to the biomechanics of brushing and the abrasiveness of different brushing media. Therefore, it was the aim (i) to test the cleaning efficacy of experimental gels in-vitro using a new formulation of organic plaque simulation and (ii) to compare with a dentifrice and with toothbrushes alone.

The experimental series consisted of five oral hygiene agents being tested with a commercial toothbrush Dr. Best® (GlaxoSmithKline, Bühl, Germany) and an experimental toothbrush (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Germany and M. + C. Schiffer, Neustadt (Wied), Germany). Crest® Pro Health Whitening (Procter+Gamble, Cincinnati, USA), Elmex® Gelée (GABA, Lörrach, Germany), experimental Gel A (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Germany and Wachendorff Chemie, Troisdorf, Germany), experimental Gel B (Institute for Oral Medicine ORMED, Witten, Germany and Wachendorff Chemie, Troisdorf, Germany) and the control water-wet toothbrush were compared to each other. In order to obtain statistically significant results, the experiment was repeated seven times (n = 7).

The study dentition of plastic KaVo teeth (Biberach, Germany) in anatomic position was covered with newly developed artificial plaque, consisting of organic material similar to the natural plaque and simulating 3-day-plaque-regrowth. The dentition imitates a lower jaw which is not completely toothed with an integrated tooth-gap, as close as possible to a realistic elderly or senile dentition. All 9 teeth were cleaned using a brush, dentifrice or brush alone with a calibrated force of 2.0 N and horizontal movement in a 90° angle to the tooth axis for 40 s; each 20 s buccally and lingually. The percentage of plaque removal at 30 planimetrical fields per tooth was documented by computer-assisted optical planimetry (APP). Cleaning efficacy at single teeth and selected planimetrical fields was statistically compared (Mann-Whitney test, multivariate variance analysis).

The cleaning efficacy of experimental toothbrush was superior to conventional toothbrush, especially in risk fields interproximally, next to gum line and at root surfaces. Dentifrice did not contribute to increased plaque removal, brushing alone was as effective as gel application. The effect power relating to the plaque removal of the toothbrush is 72.5 % vs. 41.5 % for gels. The plaque removal buccally and lingually ranged from 46.1 % (incisors) to 50.7 % (premolars)

and 52.0 % (molars); mesially and distally from 4.8 % to 40.2 %. In dependence of the gel or dentifrice the mean plaque reduction reaches from 18.5 % to 22.9 %.

Multiple comparisons of interactions with Dr. Best® toothbrush showed that the combination with Crest® Pro Health Whitening is superior to all others. In the multiple comparisons of the experimental toothbrush, Elmex® Gelée reached most effective plaque reduction.

Oral hygiene gels in home and institutionalized nursing are as effective as tooth brushing with water, respectively, they do not directly contribute to plaque control. Nevertheless they play a crucial role in substituting saliva, fluoride and other medicaments, especially in maintaining oral health. Through the mechanical plaque reduction and the active ingredients contained in the brushing media, the balance and thus the eubiotic state of the oral cavity can be promoted to prevent oral diseases. Due to the special, anatomic design of the experimental toothbrush with bristles of different lengths, for special care patients, it is ensured that interproximal spaces can be cleaned specifically.

7. Literaturverzeichnis

Aas JA, Paster BJ, Stokes LN, Olsen I, Dewhirst FE. 2005. Defining the normal bacterial flora of the oral cavity. J Clin Microbiol. 43(11):5721-5732.

Abeles SR, Robles-Sikisaka R, Ly M, Lum AG, Salzman J, Boehm TK, Pride DT. 2014. Human oral viruses are personal, persistent and gender-consistent. ISME. 8(9):1753-1767.

Abranches J, Zeng L, Kajfasz JK, Palmer SR, Chakraborty B, Wen ZT, Richards VP, Brady LJ, Lemos JA. 2018. Biology of oral streptococci. Microbiol Spectr. 6(5):1-18.

Abusleme L, Dupuy AK, Dutzan N, Silva N, Burleson JA, Strausbaugh LD, Gamonal J, Diaz PI. 2013. The subgingival microbiome in health and periodontitis and its relationship with community biomass and inflammation. ISME. 7(5):1016-1025.

Akcali A, Lang NP. 2018. Dental calculus: the calcified biofilm and its role in disease development. Periodontol 2000. 76(1):109-115.

Arnold M, Trost G. 1972. Über die Abhängigkeit des Putzeffektes von verschiedenen Formen des Zahnbürstenkopfes. Dtsch Stomatol. 22(1):46-53.

Arnoldi F. 2015. Automatisierte Plaque-Planimetrie zur Effektivitätsbewertung der robotergenerierten Plaquereduktion [Zahnmed. Diss.]. Universität Witten/Herdecke.

Auschill T, Saelzer S, Arweiler N. Häusliches chemisches Biofilmmanagement in der Prävention und Therapie der Gingivitis. 2018. S3-Leitlinie der DG-Paro, DGZMK; [Zugriff am 30.04.2019]. https://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/LL_2__083-016__Final_Langversion_11_2018.pdf.

Bader M, Dunkel A, Wenning M, Kohler B, Medard G, Del Castillo E, Gholami A, Kuster B, Scherer S, Hofmann T. 2018. Dynamic Proteome Alteration and Functional Modulation of Human Saliva Induced by Dietary Chemosensory Stimuli. J Agric Food Chem. 66(22):5621-5634.

Baker JL, Bor B, Agnello M, Shi W, He X. 2017. Ecology of the oral microbiome: beyond bacteria. Trends Microbiol. 25(5):362-374.

Baker JL, Edlund A. 2018. Exploiting the oral microbiome to prevent tooth decay: has evolution already provided the best tools? Front Microbiol. 9:3323.

Bartold PM, Van Dyke TE. 2013. Periodontitis: a host-mediated disruption of microbial homeostasis. Unlearning learned concepts. Periodontol 2000. 62(1):203-217.

Bartold PM, Van Dyke TE. 2017. Host modulation: controlling the inflammation to control the infection. Periodontol 2000. 75(1):317-329.

Bartold PM, Van Dyke TE. 2019. An appraisal of the role of specific bacteria in the initial pathogenesis of periodontitis. J Clin Periodontol. 46(1):6-11.

Bäumler S. 2012. Heilpflanzen-Praxis heute: Arzneipflanzenporträts. Elsevier, Urban & Fischer, München. 437-439, 498-500, 669-671.

Belstrom D, Fiehn NE, Nielsen CH, Holmstrup P, Kirkby N, Klepac-Ceraj V, Paster BJ, Twetman S. 2014. Altered bacterial profiles in saliva from adults with caries lesions: a case-cohort study. Caries Res. 48(5):368-375.

Birke C. 2016. Plaque-Kontrolle durch drei unterschiedlich abrasive Zahnputzmittel mit einer Handzahnbürste, eine randomisierte klinische kontrollierte Studie. [Zahnmed. Diss.]. Universität Witten/Herdecke.

Bizhang M, Riemer K, Arnold WH, Domin J, Zimmer S. 2016. Influence of bristle stiffness of manual toothbrushes on eroded and sound human dentin - an in vitro study. PLoS ONE. 11(4):e0153250.

Bizhang M, Schmidt I, Chun YP, Arnold WH, Zimmer S. 2017. Toothbrush abrasivity in a long-term simulation on human dentin depends on brushing mode and bristle arrangement. PLoS ONE. 12(2):e0172060.

Bjarnsholt T. 2013. The role of bacterial biofilms in chronic infections. APMIS Suppl. (136):1-51.

Bolstorff C. 2001. Entwicklung eines Arbeitsplatzes zur quantitativen Analyse der Putzleistung von Handzahnbürsten [Zahnmed. Diss.]. Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

Bor B, Cen L, Agnello M, Shi W, He X. 2016. Morphological and physiological changes induced by contact-dependent interaction between Candida albicans and Fusobacterium nucleatum. Sci Rep. 6:27956.

Bössmann K. 1979. In-vitro Experimente zur Plaquebildung. Dtsch Zahnarztl Z. 34(5):437-439.

Brown CT, Hug LA, Thomas BC, Sharon I, Castelle CJ, Singh A, Wilkins MJ, Wrighton KC, Williams KH, Banfield JF. 2015. Unusual biology across a group comprising more than 15% of domain bacteria. Nature. 523(7559):208-211.

Bühl A. 2016. SPSS 23: Einführung in die moderne Datenanalyse. Halbergmoos: Pearson, Netherlands. 359.

Burstein D, Sun CL, Brown CT, Sharon I, Anantharaman K, Probst AJ, Thomas BC, Banfield JF. 2016. Major bacterial lineages are essentially devoid of CRISPR-Cas viral defence systems. Nat Commun. 7:10613.

Byers JF, Sole ML. 2000. Analysis of factors related to the development of ventilator-associated pneumonia: use of existing databases. Am J Crit Care. 9(5):344-349.

Chapple IL, Van der Weijden F, Doerfer C, Herrera D, Shapira L, Polak D, Madianos P, Louropoulou A, Machtei E, Donos N et al. 2015. Primary prevention of periodontitis: managing gingivitis. J Clin Periodontol. 42 Suppl 16:71-76.

Claydon N, Addy M. 1995. The use of planimetry to record and score the modified Navy index and other area-based plaque indices. A comparative toothbrush study. J Clin Periodontol. 22(9):670-673.

Costerton JW, Lewandowski Z, DeBeer D, Caldwell D, Korber D, James G. 1994. Biofilms, the customized microniche. J Bacteriol. 176(8):2137-2142.

Darveau RP. 2010. Periodontitis: a polymicrobial disruption of host homeostasis. Nat Rev Microbiol. 8(7):481-490.

Dean DH. 1991. Toothbrushes with graduated wear: correlation with in vitro cleansing performance. Clin Prev Dent. 13(4):25-30.

Dewhirst FE, Chen T, Izard J, Paster BJ, Tanner AC, Yu WH, Lakshmanan A, Wade WG. 2010. The human oral microbiome. J Bacteriol. 192(19):5002-5017.

Diaz PI, Strausbaugh LD, Dongari-Bagtzoglou A. 2014. Fungal-bacterial interactions and their relevance to oral health: linking the clinic and the bench. Front Cell Infect Microbiol. 4:101.

Dongari-Bagtzoglou A. 2008. Pathogenesis of mucosal biofilm infections: challenges and progress. Expert Rev Anti Infect Ther. 6(2):201-208.

Dörfer C. 1999. Reinigungswirkung eines maschinellen Hilfsmittel zur Interdentalraumreinigung im Vergleich zu Zahnseiden. Dtsch Zahnaerztl Z. 54(8):494-498.

Driesen GM, Warren PR, Hilfinger P. 1998. Cleaning efficacy of a new electric toothbrush. Am J Dent. 11:7-11.

Driesen GM, Warren PR, Hilfinger P, Ernst CP, Willershausen B. 1996. The development of the Braun Oral-B ultra plaque remover: an in vitro robot study. Am J Dent. 9:13-17.

Duda S. 2001. Entwicklung eines computer- und robotergestützten Arbeitsplatzes zur standardisierten Untersuchung der Reinigungseffektivität von Handzahnbürsten [Zahnmed. Diss.]. Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

Egermann S. 2016. Zahnbürstenentwicklungen im vergleichenden Robotertest mit quasi-klinischer Auswertung [Zahnmed. Diss.]. Universität Witten/Herdecke.

Ernst CP, Willershausen B, Driesen G, Warren PR, Hilfinger P. 1997. A robot system for evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro. Quintessence Int. 28(7):441-445.

Fejerskov O. 2004. Changing paradigms in concepts on dental caries: consequences for oral health care. Caries Res. 38(3):182-191.

Fernandez CE, Fontana M, Samarian D, Cury JA, Rickard AH, Gonzalez-Cabezas C. 2016. Effect of fluoride-containing toothpastes on enamel demineralization and Streptococcus mutans biofilm architecture. Caries Res. 50(2):151-158.

Fernandez E, Sanchez MDC, Llama-Palacios A, Sanz M, Herrera D. 2017. Antibacterial effects of toothpastes evaluated in an in vitro biofilm model. Oral Health Prev Dent. 15(3):251-257.

Figuero E, Nobrega DF, Garcia-Gargallo M, Tenuta LM, Herrera D, Carvalho JC. 2017. Mechanical and chemical plaque control in the simultaneous management of gingivitis and caries: a systematic review. J Clin Periodontol. 44(18):116-134.

Furuichi Y, Lindhe J, Ramberg P, Volpe AR. 1992. Patterns of de novo plaque formation in the human dentition. J Clin Periodontol. 19(6):423-433.

Gaengler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M. 2010. Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie. Georg Thieme, Stuttgart. 15-17, 115-118, 279.

Gaengler P, Lang T, Jennes B. 2013. Computer-assisted planimetrical plaque assessment of robot tested toothbrushing. J Dent Res. 92 Spec. Issue:Abstract No. 3326.

Ganss C, Schlueter N, Preiss S, Klimek J. 2009. Tooth brushing habits in uninstructed adults-frequency, technique, duration and force. Clin Oral Investig. 13(2):203-208.

Garcia-Carrillo A, Jover A, Pla R, Martorell A, Sota C, Gomez-Moreno G, Figuero E, Sanz M, Herrera D. 2016. Manual versus sonic powered toothbrushing in patients with intellectual disability: a cluster-randomized clinical trial. J Clin Periodontol. 43(8):684-693.

Gest H. 2004. The discovery of microorganisms by Robert Hooke and Antoni Van Leeuwenhoek, fellows of the Royal Society. Notes Rec R Soc Lond. 58(2):187-201.

Ghannoum MA, Jurevic RJ, Mukherjee PK, Cui F, Sikaroodi M, Naqvi A, Gillevet PM. 2010. Characterization of the oral fungal microbiome (mycobiome) in healthy individuals. PLoS Pathog. 6(1):e1000713.

Giles A, Claydon NC, Addy M, Hughes N, Sufi F, West NX. 2009. Clinical in situ study investigating abrasive effects of two commercially available toothpastes. J Oral Rehabil. 36(7):498-507.

Goh EX, Lim LP. 2017. Fact or fiction? Powered toothbrushing is more effective than manual toothbrushing. Oral Health Prev Dent. 15(1):23-32.

Graetz C, El-Sayed KF, Saelzer S, Dörfer C. Häusliches mechanisches Biofilmmanagment in der Prävention und Therapie der Gingivits. 2018. S3-Leitlinie der DG-Paro, DGZMK; [Zugriff am 30.04.2019]. https://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/LL_1__083-022__Final_Langversion_11_2018.pdf.

Griffen AL, Beall CJ, Campbell JH, Firestone ND, Kumar PS, Yang ZK, Podar M, Leys EJ. 2012. Distinct and complex bacterial profiles in human periodontitis and health revealed by 16S pyrosequencing. ISME. 6(6):1176-1185.

Gross EL, Beall CJ, Kutsch SR, Firestone ND, Leys EJ, Griffen AL. 2012. Beyond Streptococcus mutans: dental caries onset linked to multiple species by 16S rRNA community analysis. PLoS ONE. 7(10):e47722.

Guggenheim B, Giertsen E, Schupbach P, Shapiro S. 2001. Validation of an in vitro biofilm model of supragingival plaque. J Dent Res. 80(1):363-370.

Hajishengallis G. 2015. Periodontitis: from microbial immune subversion to systemic inflammation. Nat Rev Immunol. 15(1):30-44.

Hajishengallis G, Darveau RP, Curtis MA. 2012. The keystone-pathogen hypothesis. Nat Rev Microbiol. 10(10):717-725.

Hajishengallis G, Lamont RJ. 2012. Beyond the red complex and into more complexity: the polymicrobial synergy and dysbiosis (PSD) model of periodontal disease etiology. Mol Oral Microbiol. 27(6):409-419.

Harms V. 2012. Medizinische Statistik. Harms, Kempten. 323.

Hellwig E, Klimek J, Attin T. 2009. Einführung in die Zahnerhaltung. Dt. Zahnärzte-Verlag, Köln. 16-17, 447, 535.

Hoare A, Marsh PD, Diaz PI. 2017. Ecological therapeutic opportunities for oral diseases. Microbiol Spectr. 5(4):1-36.

HOMD. Human oral microbiome database. 2019. [Zugriff am 21.05.2019]. http://homd.org/.

Hoogteijling F, Hennequin-Hoenderdos NL, Van der Weijden GA, Slot DE. 2018. The effect of tapered toothbrush filaments compared to end-rounded filaments on dental plaque, gingivitis and gingival abrasion: a systematic review and meta-analysis. Int J Dent Hyg. 16(1):3-12.

Hubbers CU, Akgul B. 2015. HPV and cancer of the oral cavity. Virulence. 6(3):244-248.

Hug LA, Baker BJ, Anantharaman K, Brown CT, Probst AJ, Castelle CJ, Butterfield CN, Hernsdorf AW, Amano Y, Ise K et al. 2016. A new view of the tree of life. Nature Microbiology. 1:16048.

Hwang G, Marsh G, Gao L, Waugh R, Koo H. 2015. Binding force dynamics of Streptococcus mutans-glucosyltransferase B to Candida albicans. J Dent Res. 94(9):1310-1317.

Imfeld T, Sener B, Simonovic I. 2000. In-Vitro-Untersuchung der mechanischen Wirkung von handelsüblichen Handzahnbürsten. Acta Med Dent Helv. 5(4):37-47.

Jordan AR, Micheelis W. 2016. Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln. 617.

Kassebaum NJ, Bernabe E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJ, Marcenes W. 2015. Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression. J Dent Res. 94(5):650-658.

Keijser BJ, Zaura E, Huse SM, van der Vossen JM, Schuren FH, Montijn RC, ten Cate JM, Crielaard W. 2008. Pyrosequencing analysis of the oral microflora of healthy adults. J Dent Res. 87(11):1016-1020.

Kilian M, Chapple IL, Hannig M, Marsh PD, Meuric V, Pedersen AM, Tonetti MS, Wade WG, Zaura E. 2016. The oral microbiome - an update for oral healthcare professionals. Br Dent J. 221(10):657-666.

Krom BP, Kidwai S, Ten Cate JM. 2014. Candida and other fungal species: forgotten players of healthy oral microbiota. J Dent Res. 93(5):445-451.

Lamont RJ, Hajishengallis G. 2015. Polymicrobial synergy and dysbiosis in inflammatory disease. Trends Mol Med. 21(3):172-183.

Lamont RJ, Koo H, Hajishengallis G. 2018. The oral microbiota: dynamic communities and host interactions. Nat Rev Microbiol. 16(12):745-759.

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.

Langer K. 2013. Einphasen-Systeme Flüssigkeiten [Vorlesung]. Institut für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie. Westfälische Wilhlems-Universität Münster.

Li J, Helmerhorst EJ, Leone CW, Troxler RF, Yaskell T, Haffajee AD, Socransky SS, Oppenheim FG. 2004. Identification of early microbial colonizers in human dental biofilm. J Appl Microbiol. 97(6):1311-1318.

Loe H. 2000. Oral hygiene in the prevention of caries and periodontal disease. Int Dent J. 50(3):129-139.

Loe H, Theilade E, Jensen SB. 1965. Experimental gingivitis in man. J Periodontol. 36:177-187.

Loesche WJ. 1976. Chemotherapy of dental plaque infections. Oral Sci Rev. 9:65-107.

Ly M, Abeles SR, Boehm TK, Robles-Sikisaka R, Naidu M, Santiago-Rodriguez T, Pride DT. 2014. Altered oral viral ecology in association with periodontal disease. MBio. 5(3):e01133-01114.

Majchrzak E, Szybiak B, Wegner A, Pienkowski P, Pazdrowski J, Luczewski L, Sowka M, Golusinski P, Malicki J, Golusinski W. 2014. Oral cavity and oropharyngeal squamous cell carcinoma in young adults: a review of the literature. Radiol Oncol. 48(1):1-10.

Marsh PD. 1994. Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. Adv Dent Res. 8(2):263-271.

Marsh PD. 2003. Are dental diseases examples of ecological catastrophes? Microbiology. 149(2):279-294.

Marsh PD. 2012. Contemporary perspective on plaque control. Br Dent J. 212(12):601-606.

Marsh PD, Devine DA. 2011. How is the development of dental biofilms influenced by the host? J Clin Periodontol. 38:28-35.

Marsh PD, Head DA, Devine DA. 2015a. Ecological approaches to oral biofilms: control without killing. Caries Res. 49 Suppl 1:46-54.

Marsh PD, Takahashi N, Nyvad B. 2015b. Dental Caries: The Disease and Its Clinical Management. Fejerskov O, Nyvad B, Kidd E, editors. Wiley Blackwell, Oxford. 107-131.

Marsh PD, Zaura E. 2017. Dental biofilm: ecological interactions in health and disease. J Clin Periodontol. 44(18):12-22.

Meyer F, Enax J. 2018. Die Mundhöhle als Ökosystem: Der sanfte Weg gegen Karies und Parodontitis? Biologie in unserer Zeit. 48:62-68.

Mohire NC, Yadav AV. 2010. Chitosan-based polyherbal toothpaste: as novel oral hygiene product. Indian J Dent Res. 21(3):380-384.

Naidu M, Robles-Sikisaka R, Abeles SR, Boehm TK, Pride DT. 2014. Characterization of bacteriophage communities and CRISPR profiles from dental plaque. BMC Microbiol. 14:175.

Naumova EA, Gaengler P, Zimmer S, Arnold WH. 2010. Influence of individual saliva secretion on fluoride bioavailability. Open Dent J. 4:185-190.

Naumova EA, Kuehnl P, Hertenstein P, Markovic L, Jordan RA, Gaengler P, Arnold WH. 2012. Fluoride bioavailability in saliva and plaque. BMC Oral Health. 12:3.

Netuschil L. 2010. Konsvierende Zahnheilkunde und Parodontologie. Gaengler P, Hoffman MP, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M, editors. Georg Theime, Stuttgart. 260-263.

Ngan HL, Wang L, Lo KW, Lui VWY. 2018. Genomic landscapes of EBV-associated nasopharyngeal carcinoma vs. HPV-associated head and neck cancer. Cancers (Basel). 10(7):210.

Ni L, Tang R, He T, Chang J, Li J, Li S, Ccahuana-Vasquez RA, Cheng R, Grender J. 2017. Clinical effect of a manual toothbrush with tapered filaments on dental plaque and gingivitis reduction. Am J Dent. 30(5):272-278.

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):424-430.

Olsen I, Yilmaz O. 2019. Possible role of Porphyromonas gingivalis in orodigestive cancers. J Oral Microbiol. 11(1):1563410.

Paraskevas S, Rosema NA, Versteeg P, Timmerman MF, van der Velden U, van der Weijden GA. 2007. The additional effect of a dentifrice on the instant efficacy of toothbrushing: a crossover study. J Periodontol. 78(6):1011-1016.

Paraskevas S, Timmerman MF, van der Velden U, van der Weijden GA. 2006. Additional effect of dentifrices on the instant efficacy of toothbrushing. J Periodontol. 77(9):1522-1527.

Patrulea V, Ostafe V, Borchard G, Jordan O. 2015. Chitosan as a starting material for wound healing applications. Eur J Pharm Biopharm. 97(Suppl B):417-426.

Pessan JP, Silva SM, Lauris JR, Sampaio FC, Whitford GM, Buzalaf MA. 2008. Fluoride uptake by plaque from water and from dentifrice. J Dent Res. 87(5):461-465.

Pozhitkov AE, Leroux BG, Randolph TW, Beikler T, Flemmig TF, Noble PA. 2015. Towards microbiome transplant as a therapy for periodontitis: an exploratory study of periodontitis microbial signature contrasted by oral health, caries and edentulism. BMC Oral Health. 15:125.

Raes J, Bork P. 2008. Molecular eco-systems biology: towards an understanding of community function. Nat Rev Microbiol. 6(9):693-699.

Rawls HR, Casella R, Mkwayi-Tulloch NJ. 1993. An in vitro and in vivo study of toothbrush bristle splaying. J Dent Res. 72(5):947-952.

Reiche D. 2003. Roche-Lexikon Medizin: das große deutschsprachige Lexikon der Medizin. Elsevier, Urban & Fischer, München.

Rosema N, Slot DE, van Palenstein Helderman WH, Wiggelinkhuizen L, Van der Weijden GA. 2016. The efficacy of powered toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. Int J Dent Hyg. 14(1):29-41.

Rosier BT, Marsh PD, Mira A. 2018. Resilience of the oral microbiota in health: mechanisms that prevent dysbiosis. J Dent Res. 97(4):371-380.

Rosin-Grget K, Peros K, Sutej I, Basic K. 2013. The cariostatic mechanisms of fluoride. Acta Med Acad. 42(2):179-188.

Rustogi KN, Curtis JP, Volpe AR, Kemp JH, McCool JJ, Korn LR. 1992. Refinement of the Modified Navy Plaque Index to increase plaque scoring efficiency in gumline and interproximal tooth areas. J Clin Dent. 3(Suppl C):9-12.

Salzer S, Rosema N, Hennequin-Hoenderdos NL, Slot DE, Timmer C, Dorfer CE, Van der Weijden GA. 2017. The effectiveness of a dentifrice without sodium lauryl sulphate on dental plaque and gingivitis - a randomized controlled clinical trial. Int J Dent Hyg. 15(3):203-210.

Salzer S, Slot DE, Van der Weijden FA, Dorfer CE. 2015. Efficacy of inter-dental mechanical plaque control in managing gingivitis-a meta-review. J Clin Periodontol. 42(Suppl 16):92-105.

Sampaio AA, Souza SE, Ricomini-Filho AP, Del Bel Cury AA, Cavalcanti YW, Cury JA. 2019. Candida albicans increases dentine demineralization provoked by Streptococcus mutans biofilm. Caries Res. 53(3):322-331.

Sanderink RBA, Bernhardt H, Knoke M, Weber C, Weiger R. 2004. Curriculum orale Mikrobiologie und Immunologie. Quintessenz, Berlin.

Schätzle M, Sener B, Schmidlin PR, Imfeld T, Attin T. 2010. In vitro tooth cleaning efficacy of electric toothbrushes around brackets. Eur J Orthod. 32(5):481-489.

Schiller A, Grossjohann B, Welk A, Hubner NO, Braun D, Assadian O, Kramer A. 2012. Antimicrobial efficacy of amine fluoride based tooth gels compared to a toothpaste in a phase 2/step 2 in-vitro test model. GMS Krankenhhyg Interdiszip. 7(1):1-7.

Setzwein M. 2002. Entwicklung einer Methode zur Quantifizierung der approximalen Reinigungswirkung von neuen Zahnbürstendesigns [Zahnmed. Diss.]. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Shaddox LM, Huang H, Lin T, Hou W, Harrison PL, Aukhil I, Walker CB, Klepac-Ceraj V, Paster BJ. 2012. Microbiological characterization in children with aggressive periodontitis. J Dent Res. 91(10):927-933.

Shapiro S, Giertsen E, Guggenheim B. 2002. An in vitro oral biofilm model for comparing the efficacy of antimicrobial mouthrinses. Caries Res. 36(2):93-100.

Siegel S. 1976. Nicht-parametrische statistische Methoden. Fachbuchhandlung für Psychologie, Frankfurt am Main. 46-47.

Slot DE, Wiggelinkhuizen L, Rosema NA, Van der Weijden GA. 2012. The efficacy of manual toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. Int J Dent Hyg. 10(3):187-197.

Smukler H, Nager MC, Tolmie PC. 1989. Die Morphologie der interdentalen Zahnflächen und ihre Auswirkung bei der Plaquebeseitigung. Die Quintessenz. 40(8):1453-1463.

Socransky SS, Smith C, Haffajee AD. 2002. Subgingival microbial profiles in refractory periodontal disease. J Clin Periodontol. 29(3):260-268.

Staufer S. 2011. Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der klinischen Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten [Zahnmed. Diss.]. Universität Witten/Herdecke.

Stein JM, Said Yekta S, Kleines M, Ok D, Kasaj A, Reichert S, Schulz S, Scheithauer S. 2013. Failure to detect an association between aggressive periodontitis and the prevalence of herpesviruses. J Clin Periodontol. 40(1):1-7.

Swierkot K, Brusius M, Leismann D, Nonnenmacher C, Nusing R, Lubbe D, Schade-Brittinger C, Mengel R. 2013. Manual versus sonic-powered toothbrushing for plaque reduction in patients with dental implants: an explanatory randomised controlled trial. Eur J Oral Implantol. 6(2):133-144.

Szafranski SP, Winkel A, Stiesch M. 2017. The use of bacteriophages to biocontrol oral biofilms. J Biotechnol. 250:29-44.

Takahashi N, Nyvad B. 2011. The role of bacteria in the caries process: ecological perspectives. J Dent Res. 90(3):294-303.

ten Cate JM. 2013. Contemporary perspective on the use of fluoride products in caries prevention. Br Dent J. 214(4):161-167.

Tenuta LM, Cury JA. 2013. Laboratory and human studies to estimate anticaries efficacy of fluoride toothpastes. Monogr Oral Sci. 23:108-124.

Theilade E. 1986. The non-specific theory in microbial etiology of inflammatory periodontal diseases. J Clin Periodontol. 13(10):905-911.

Thomas A, Mhambrey S, Chokshi K, Chokshi A, Jana S, Thakur S, Jose D, Bajpai G. 2016. Association of oral Candida albicans with severe early childhood caries - a pilot study. J Clin Diagn Res. 10(8):109-112.

Torres-Barcelo C, Hochberg ME. 2016. Evolutionary rationale for phages as complements of antibiotics. Trends Microbiol. 24(4):249-256.

Türp JC, Antes G. 2013. Evidenzbasierte Zahnmedizin - aktueller Stand. Evidence-based dentistry - status quo. Dtsch Zahnarztl Z. 68(2).

Valkenburg C, Slot DE, Bakker EW, Van der Weijden FA. 2016. Does dentifrice use help to remove plaque? A systematic review. J Clin Periodontol. 43(12):1050-1058.

Valkenburg C, Van der Weijden F, Slot DE. 2019. Is plaque regrowth inhibited by dentifrice?: A systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis. Int J Dent Hyg. 17(1):27-38.

van der Sluijs E, Slot DE, Hennequin-Hoenderdos NL, van der Weijden GA. 2018. Dry brushing: Does it improve plaque removal? A secondary analysis. Int J Dent Hyg. 16(4):519-526.

Van der Weijden FA, Slot DE. 2015. Efficacy of homecare regimens for mechanical plaque removal in managing gingivitis a meta review. J Clin Periodontol. 42(Suppl 16):77-91.

Van der Weijden FA, Van der Sluijs E, Ciancio SG, Slot DE. 2015. Can Chemical Mouthwash Agents Achieve Plaque/Gingivitis Control? Dent Clin North Am. 59(4):799-829.

Van der Weijden GA, Timmerman MF, Nijboer A, Lie MA, Van der Velden U. 1993. A comparative study of electric toothbrushes for the effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration. Timerstudy. J Clin Periodontol. 20(7):476-481.

van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Snoek CM, van der Velden U. 1996. Toothbrushing force in relation to plaque removal. J Clin Periodontol. 23(8):724-729.

Verkaik MJ, Busscher HJ, Jager D, Slomp AM, Abbas F, van der Mei HC. 2011. Efficacy of natural antimicrobials in toothpaste formulations against oral biofilms in vitro. J Dent. 39(3):218-224.

Vilela MC, Ferreira GZ, Santos PS, Rezende NP. 2015. Oral care and nosocomial pneumonia: a systematic review. Einstein. 13(2):290-296.

Völker K. 2005. Putzeffizienz neuer Handzahnbürsten unter Verwendung eines 4-Achsen Roboters [Zahnmed. Diss.]. Universität Ulm.

Volpenhein DW, Walsh ME, Dellerman PA, Burkett TA. 1994. A new method for in vitro evaluation of the interproximal penetration of manual toothbrushes. J Clin Dent. 5(1):27-33.

Wade WG. 2013. The oral microbiome in health and disease. Pharmacol Res. 69(1):137-143.

Walsh T, Worthington HV, Glenny AM, Marinho VC, Jeroncic A. 2019. Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries. Cochrane Database Syst Rev. 3:Cd007868.

Watson PS, Pontefract HA, Devine DA, Shore RC, Nattress BR, Kirkham J, Robinson C. 2005. Penetration of fluoride into natural plaque biofilms. J Dent Res. 84(5):451-455.

WHO. 2003. The world oral health report. Continuous improvement of oral health in the 21 st century-the approach of the WHO Global Oral Health Programme. Geneva: World Health Organization.

Wolff D, Frese C, Maier-Kraus T, Krueger T, Wolff B. 2013. Bacterial biofilm composition in caries and caries-free subjects. Caries Res. 47(1):69-77.

Wolff D, Kensche A, Rupf S, Hannig M, Hannig C. 2014. Der orale Biofilm - neue Perspektiven zu einem alten Thema? Dtsch Zahnarztl Z. 69(11):658-673.

Wylie KM, Mihindukulasuriya KA, Zhou Y, Sodergren E, Storch GA, Weinstock GM. 2014. Metagenomic analysis of double-stranded DNA viruses in healthy adults. BMC Biol. 12:71.

Yaacob M, Worthington HV, Deacon SA, Deery C, Walmsley AD, Robinson PG, Glenny A-M. 2014. Powered versus manual toothbrushing for oral health. Cochrane Database of Systematic Reviews. 6(1-143b).

Yankell SL, Shi X, Emling RC. 1993. Comparative laboratory evaluation of two new toothbrushes regarding interproximal access efficacy. J Clin Dent. 4 Suppl D:D1-4.

Zantner C, Kielbassa AM. 2002. Wie wirksam sind Weißmacher-Zahnpasten? Oralprophylaxe. 24(1).

Zaura E, Keijser BJ, Huse SM, Crielaard W. 2009. Defining the healthy "core microbiome" of oral microbial communities. BMC Microbiol. 9:259.

Zhang SM, Tian F, Huang QF, Zhao YF, Guo XK, Zhang FQ. 2011. Bacterial diversity of subgingival plaque in 6 healthy chinese individuals. Exp Ther Med. 2(5):1023-1029.

8. Anhang

Tabelle 8.1: Datenreihe-Information der Viskositätsmessung der artifiziellen Plaque bei 20 °C, Methodenbeschreibung in Kapitel 2.3.1

Datenreihen-Informationen

Name:	Ann-Kathrin Flad 8
Probe:	Plaque Dispersion
Anzahl Abschnitte:	4
Applikation:	RHEOPLUS/32 V3.40 21004379-33024
Messgerät:	MCR101 SN80579496; FW3.40D090210; Slot3; Adj129d
Datum/Zeit:	22.09.2014; 13:24
Messsystem:	CP50-1/TG-SN15816; d=0,05 mm
Zusatzgeräte:	TU1=P-PTD200/TG-SN80521310
Umrechnungskonstanten:	
- Csr [min/s]:	6,1231892
- Css [Pa/mNm]:	30,606577
- Startverzögerungszeit [s]:	85,032
- Substanzdichte [rho]:	1.000
- Messsystem-Typ:	0
- Motorkorrekturfaktor:	1
Abschnitt:	1
Anzahl Messpunkte:	0
Zeitvorgabe:	4 Messpunkte, verwerfen Messpunktdauer 1,25 s
Messprofil:	
Drehzahl	n = 0,02 1/min
Abschnitt:	2
Anzahl Messpunkte:	5
Zeitvorgabe:	5 Messpunkte Messpunktdauer 5 s
Messprofil:	
Drehzahl	n = 0,02 1/min

Messpkt.	Zeit [s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [µNm]	Status []
1	10	3,76	34,6	0,0178	123	TGC,Dy_
2	15	4,31	37	0,019	141	TGC,Dy_
3	20	4,62	38,8	0,0194	151	TGC,Dy_
4	25	4,8	39,9	0,0196	157	TGC,Dy_
5	30	4,89	40,2	0,0198	160	TGC,Dy_

Abschnitt:	3
Anzahl Messpunkte:	10
Zeitvorgabe:	10 Messpunkte Messpunktdauer 0,1 s
Messprofil:	
Drehzahl	n = 200 1/min

Messpkt.	Zeit [s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [µNm]	Status []
1	30,1	1.470	2,83	85	48.200	TGC,Dy_
2	30,2	1.780	2,39	122	58.200	TGC,Dy_
3	30,3	1.980	2,16	150	64.800	TGC,Dy_
4	30,4	2.110	2,06	168	69.100	TGC,Dy_

Tabelle 8.2: Datenreihe-Information der Viskositätsmessung der artifiziellen Plaque bei 20 °C

5	30,5	2.200	2,01	179	72.000	TGC,Dy_
6	30,6	2.270	2	186	74.200	TGC,Dy_
7	30,7	2.320	1,99	190	75.800	TGC,Dy_
8	30,8	2.360	2	193	77.100	TGC,Dy_
9	30,9	2.390	2,01	194	78.100	TGC,Dy_
10	31	2.420	2,02	196	79.000	TGC,Dy_

Abschnitt: 4
Anzahl Messpunkte: 30

Zeitvorgabe: 30 Messpunkte
Messpunktdauer 5 s

Messprofil:
Drehzahl n = 0,02 1/min

Messpkt.	Zeit [s]	Schubspannung [Pa]	Viskosität [Pa·s]	Drehzahl [1/min]	Moment [µNm]	Status []
1	36	21,7	16	0,221	709	TGC,Dy_
2	41	5,48	35	0,0256	179	TGC,Dy_
3	46	4,94	40,8	0,0198	162	TGC,Dy_
[illegible]	51	5,16	43,7	0,0193	169	TGC,Dy_
5	56	5,44	46,1	0,0193	178	TGC,Dy_
6	61	5,68	47,7	0,0195	186	TGC,Dy_
7	66	5,88	49,2	0,0195	192	TGC,Dy_
8	71	6,06	50,6	0,0195	198	TGC,Dy_
9	76	6,23	52	0,0196	203	TGC,Dy_
10	81	6,37	53,1	0,0196	208	TGC,Dy_
11	86	6,52	54,2	0,0196	213	TGC,Dy_
12	91	6,65	55,2	0,0197	217	TGC,Dy_
13	96	6,77	56	0,0198	221	TGC,Dy_
14	101	6,87	56,8	0,0198	225	TGC,Dy_
15	106	6,96	57,5	0,0198	227	TGC,Dy_
16	111	7,06	58,4	0,0198	231	TGC,Dy_
17	116	7,15	58,9	0,0198	234	TGC,Dy_
18	121	7,2	59,3	0,0198	235	TGC,Dy_
19	126	7,27	60	0,0198	237	TGC,Dy_
[illegible]	131	7,36	60,8	0,0198	241	TGC,Dy_
[illegible]	136	7,45	61,6	0,0198	243	TGC,Dy_
22	141	7,55	62,4	0,0198	247	TGC,Dy_
23	146	7,63	63,1	0,0197	249	TGC,Dy_
24	151	7,72	63,7	0,0198	252	TGC,Dy_
25	156	7,81	64,5	0,0198	255	TGC,Dy_
26	161	7,89	65,4	0,0197	258	TGC,Dy_
27	166	7,97	65,6	0,0198	260	TGC,Dy_
28	171	8,04	66,2	0,0198	263	TGC,Dy_
29	176	8,09	66,4	0,0199	264	TGC,Dy_
30	181	8,14	67	0,0199	266	TGC,Dy_

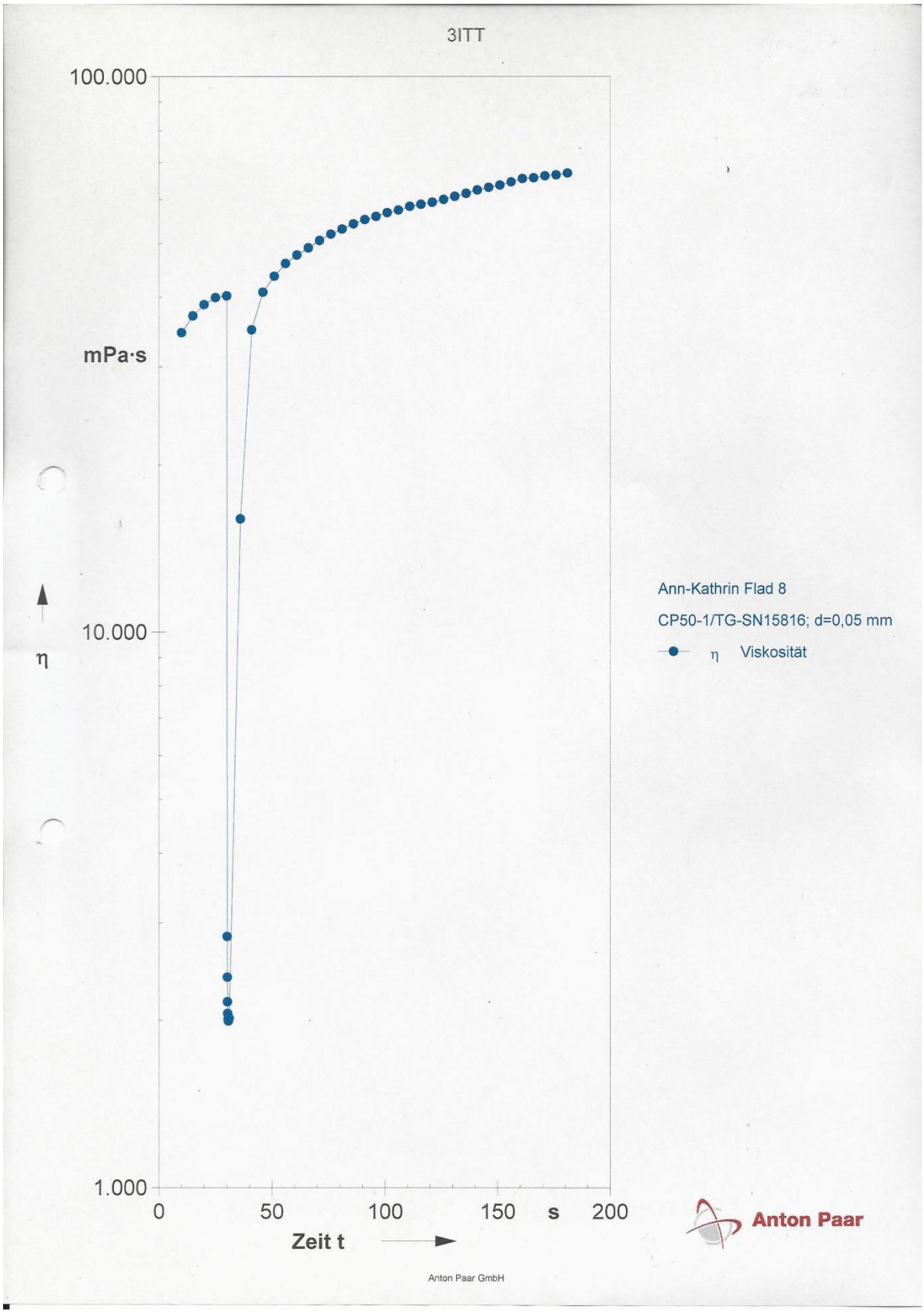

Abbildung 8.3: Sprungversuch mit Darstellung der Viskosität der artifiziellen Plaque bei 20 °C

Tabelle 8.4: Deskriptive Statistiken der Reinigungseffektivität (Plaque-Entfernung in %) für die beiden Zahnbürsten

Statistik → / Situs/ Feld(er) u. Situs↓	Zahnbürste							
	Dr. Best® Classic				Experimentelle Zahnbürste			
	Mittel-wert	Std.-abw.	Median	Quartil-abstand	Mittel-wert	Std.-abw.	Median	Quartil-abstand
bukkal	30,52	7,11	28,75	10,32	33,60	8,68	35,37	15,50
lingual	28,28	7,40	27,29	12,26	27,22	7,11	27,21	9,76
mesial	16,93	4,25	16,69	5,38	23,02	7,43	22,20	11,09
distal	18,71	4,76	18,30	6,92	21,43	7,31	19,78	10,62
ABCDF+W bukkal	15,18	6,34	14,35	8,17	23,02	8,33	22,43	10,82
ABCDF+W lingual	17,83	7,19	15,63	11,94	15,88	6,81	14,24	9,69
W bukkal	14,26	7,16	14,62	8,65	21,38	7,75	20,92	10,46
W lingual	23,07	9,69	22,75	8,88	17,71	9,04	15,22	13,66
W1+W2 mesial	11,69	5,47	9,94	6,81	19,47	8,66	19,70	11,97
W1+W2 distal	16,14	6,23	16,57	7,61	15,49	6,90	13,30	11,38
total	19,41	3,86	18,70	6,15	21,82	5,54	21,32	7,79

Erläuterungen: Beobachtungen pro Zahnbürste: n = 35 (Dr. Best® Classic: ‚ABCDF+W bukkal' und ‚W bukkal' je n=34). Std.-abw. = Standardabweichung.

Ergebnisse der Analysen des Einflusses der Gele auf die Reinigungseffektivität, s. Kap. 3.2.

Tabelle 8.5(a): Deskriptive Statistiken der Parameter der Reinigungseffektivität (Plaque-Entfernung in %) für die vier Gele und H_2O

Situs Felder/ Situs	Statistik	Gel / H_2O				
		Crest®	Elmex®	Rheodol-Gel plus	Rheomed-Oral Clean O	H_2O
bukkal	Mittelwert	29,19	37,55	31,02	31,22	31,33
	Standardabw.	9,48	7,88	7,51	5,35	7,83
	Median	26,83	40,05	30,30	30,58	28,42
	Quartilabstand	12,70	16,45	13,26	8,15	13,18
lingual	Mittelwert	32,21	26,27	24,48	28,77	27,02
	Standardabw.	7,68	6,67	5,46	5,59	8,67
	Median	33,32	23,92	22,77	29,20	26,00
	Quartilabstand	10,17	8,97	8,80	4,88	7,91
mesial	Mittelwert	16,89	24,08	22,50	15,52	20,88
	Standardabw.	4,79	4,59	8,44	2,59	7,89
	Median	17,29	24,54	20,55	16,46	19,09
	Quartilabstand	6,18	6,43	17,29	4,58	8,52
distal	Mittelwert	19,21	22,50	21,98	14,83	21,83
	Standardabw.	6,39	4,06	6,71	2,27	7,57
	Median	19,36	23,47	20,22	15,35	20,59
	Quartilabstand	11,12	6,09	9,94	2,84	6,76
ABCDF+W bukkal	Mittelwert	16,32	25,03	16,05	17,44	20,74
	Standardabw.	4,32	10,22	7,49	7,04	8,74
	Median	15,96	25,67	14,75	16,04	18,89
	Quartilabstand	4,13	17,81	14,31	12,27	11,99
ABCDF+W lingual	Mittelwert	20,85	15,09	14,78	17,51	16,06
	Standardabw.	7,79	6,94	5,51	6,20	7,58
	Median	23,49	12,06	13,82	18,48	13,98
	Quartilabstand	13,77	9,19	6,44	6,81	12,07

Erläuterungen: Beobachtungen pro Gel/H_2O: n = 14 (Crest®: ‚ABCDF+W bukkal' und ‚W bukkal' je n=13). Mittelwert = arithmetisches Mittel, ist gleich der Durchschnittswert. Standardabw. = Standardabweichung. Median = Zentralwert.

Tabelle 8.5(b): Deskriptive Statistiken der Parameter der Reinigungseffektivität (Plaque Entfernung in %) für die vier Gele und H_2O

Situs Felder/ Situs	Statistik	Gel / H_2O				
		Crest®	Elmex ®	Rheodol-Gel plus	Rheomed-Oral Clean O	H_2O
W bukkal	Mittelwert	14,70	22,65	16,66	15,73	19,41
	Standardabw.	4,42	9,88	8,81	7,18	8,11
	Median	14,96	23,02	15,91	15,19	18,25
	Quartilabstand	4,22	14,97	11,58	10,53	5,79
W lingual	Mittelwert	26,31	17,38	17,46	22,96	17,85
	Standardabw.	11,92	10,24	7,20	8,40	7,58
	Median	30,76	15,83	14,91	23,23	16,40
	Quartilabstand	22,59	9,87	9,87	13,57	9,38
W1+W2 mesial	Mittelwert	12,15	21,10	18,61	11,68	14,36
	Standardabw.	5,12	9,79	9,41	5,16	6,73
	Median	12,98	20,15	19,14	10,84	13,03
	Quartilabstand	8,98	19,45	14,89	7,11	8,25
W1+W2 distal	Mittelwert	17,95	17,13	17,30	9,97	16,73
	Standardabw.	8,12	5,14	5,31	3,47	6,86
	Median	18,83	16,17	16,60	9,53	16,71
	Quartilabstand	12,90	8,27	6,83	4,41	11,46
total	Mittelwert	20,95	22,88	20,08	18,55	20,62
	Standardabw.	5,06	5,69	5,21	3,02	4,78
	Median	21,75	21,89	18,98	18,05	19,73
	Quartilabstand	7,24	8,82	8,52	3,68	5,28

Erläuterungen: Beobachtungen pro Gel/H_2O: n = 15 (Crest®: ‚ABCDF+W bukkal' und ‚W bukkal' je n=14). Standardabw. = Standardabweichung.

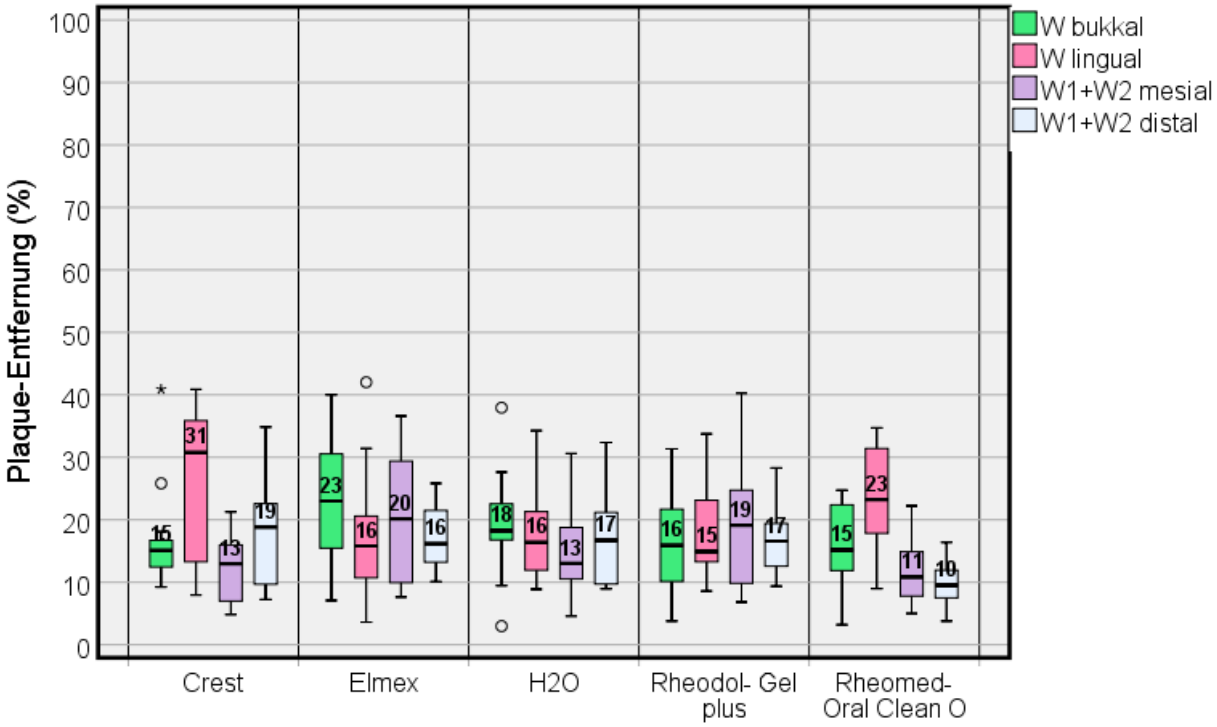

Abbildung 8.6: Plaque-Entfernung im Bereich der Wurzel: W bukkal, W lingual, W1+W2 mesial und W1+W2 distal bei den vier Gelen und H_2O

Erläuterungen: Anzahl der Beobachtungen pro Gel/H_2O: n = 14 (Crest®: bei den bukkalen Wurzelfeldern n=13).

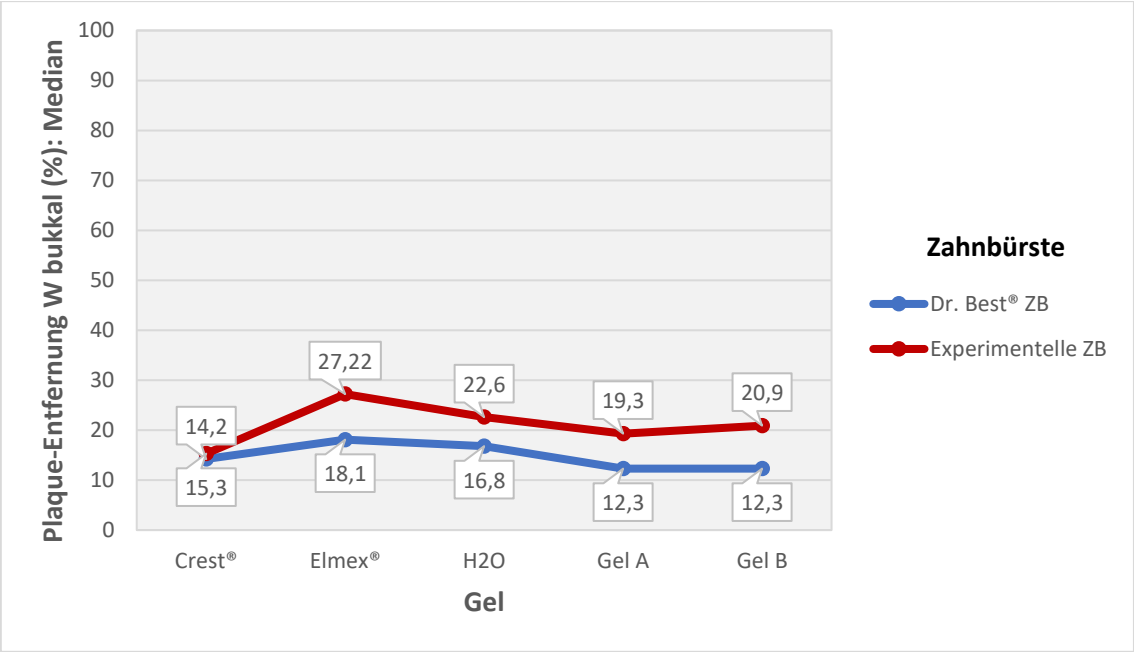

Abbildung 8.7(a): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung W bukkal

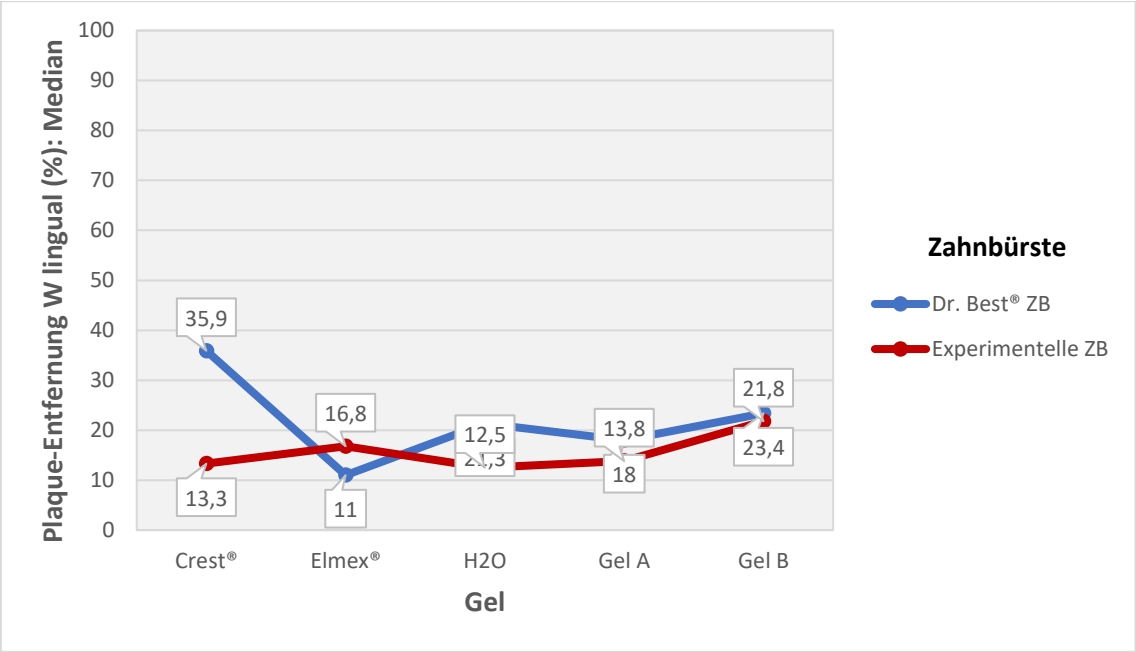

Abbildung 8.7(b): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung W lingual

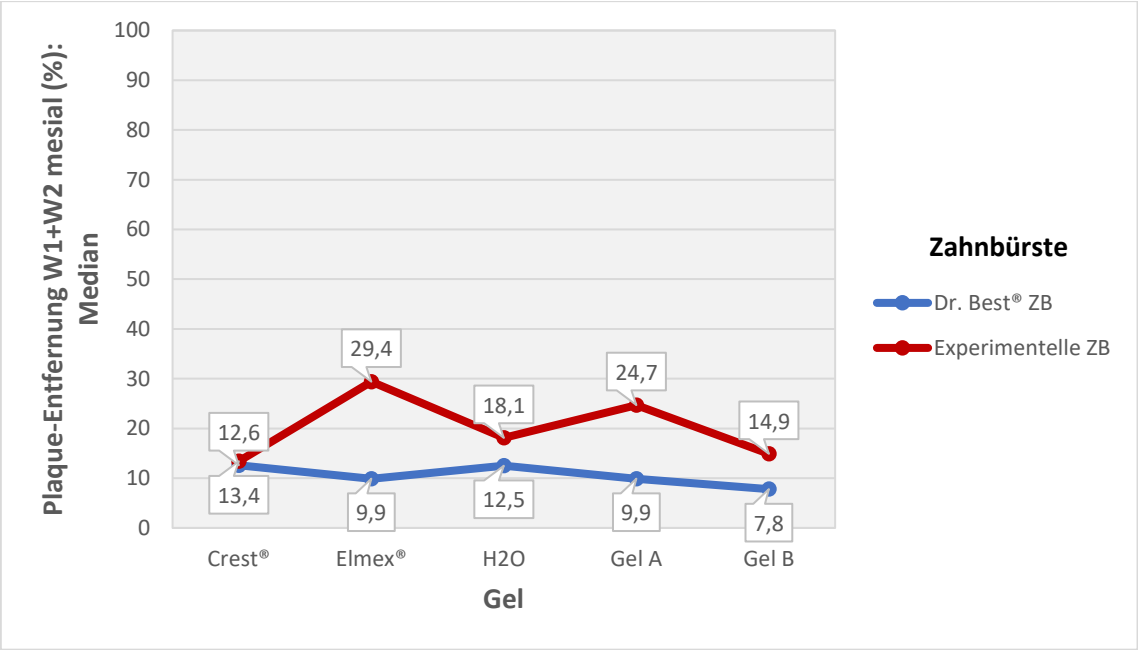

Abbildung 8.7(c): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung W1+W2 mesial

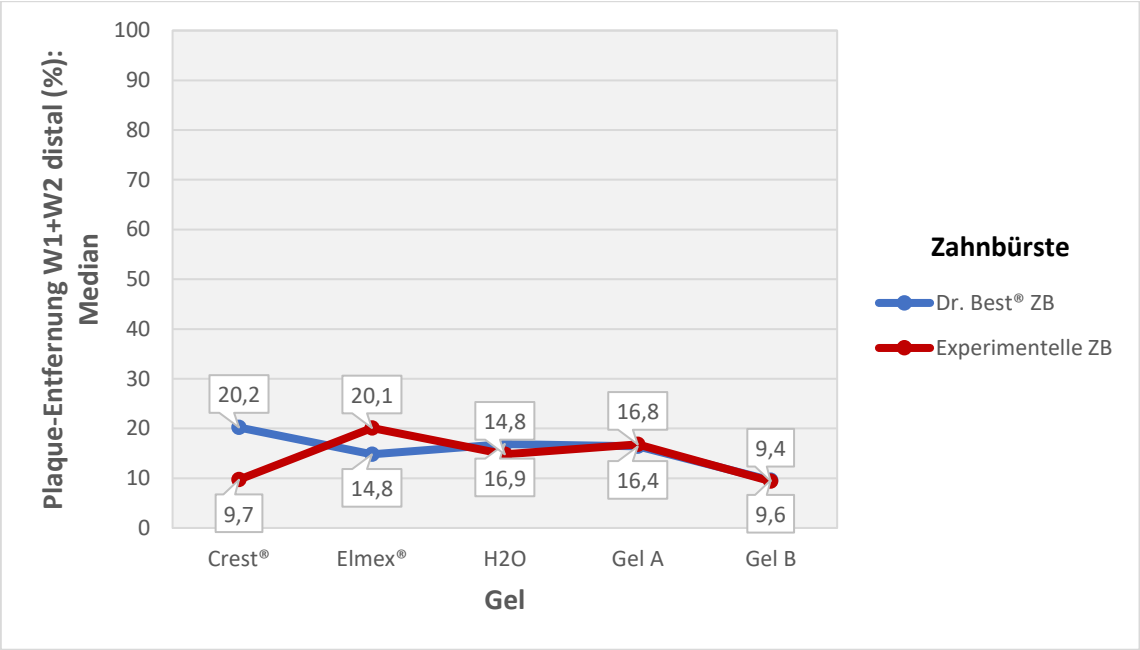

Abbildung 8.7(d): Interaktionseffekte zwischen den Gelen und Zahnbürsten als Liniendiagramme bei der Plaque-Entfernung W1+W2 distal

Wissenschaftliche Beiträge

Veröffentlichung:

FLAD AK., LANG T., WEICH K., GAENGLER P. 2016. In-vitro oral hygiene gel testing using organic plaque simulation. J Dent Res. Vol. 95, Spec. Issue, Abstract No. 0741

Posterpräsentation:

FLAD AK., LANG T., WEICH K., GAENGLER P. 2016. In-vitro oral hygiene gel testing using organic plaque simulation. Presentation/Poster No. 0741

International Association for Dental Research (IADR) General Session

Seoul, Republic of Korea, 22.06 - 25.06.2016

Danksagung

Mein besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. Dr. Peter Gängler für die hervorragend fachliche und stets freundliche Unterstützung während der gesamten Zeit der Dissertation. Die vielen gemeinsamen Gespräche und die konstruktiven Kritiken haben maßgeblich zum Gelingen diese Arbeit beigetragen.

Ebenso möchte ich mich herzlich bei Herrn Dr. Tomas Lang für die Betreuung und die interessanten Gespräche bedanken.

Ich möchte mich für die freundliche Unterstützung des Förderkreises Zahnmedizin e.V. bedanken und blicke mit viel Freude auf den Kongress der International Association for Dental Research im Jahr 2016 in Seoul, Südkorea zurück.

Für die kompetente Unterstützung und Beratung zu den statistischen Themen möchte ich mich bei Herrn Dr. Karl Weich bedanken.

Ich möchte mich bei allen herzlich bedanken, die zu der Entstehung und dem Gelingen meiner Dissertation beigetragen haben. Meinen Eltern und Freunden möchte ich ganz besonders für ihre unendliche Unterstützung danken.

Lebenslauf

Persönliches

Name	**Ann-Kathrin Laura Flad**
Anschrift	Stamitzstraße 15 68167 Mannheim
Geboren am	23.12.1992
Geburtsort	Speyer
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch

Beruflicher Werdegang

Lampertheim	Vorbereitungsassistent in allgemeinzahnärztlicher Praxis
Seit 08|2018	32+ Praxis für Zahnheilkunde, Dr. Markus Lewitzki, Dr. Birgit Benz
Witten	Erteilung der Approbation als Zahnärztin durch die
01|2018	Bezirksregierung Arnsberg
Witten	**Universität Witten-Herdecke**
10|2012 – 12|2017	Studium der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Abschluss Staatsexamen Teilnahme an dem International Association for Dental Research Kongress im Juni 2016 in Seoul, Südkorea. Wissenschaftliche Mitarbeiterin am ORMED Institute for Oral Medicine in Witten von November 2014 bis Juli 2017.
Innsbruck, Österreich	**Leopold-Franzens Universität in Innsbruck**
07|2011 - 06|2012	Studium der Pharmazie

Bildungsweg

Speyer 08|2008 – 03|2011	**Edith-Stein-Gymnasium** Abschluss der allgemeinen Hochschulreife
Weiterstadt/Erzhausen 08|2006 - 07|2008	**Hessenwaldschule (Gymnasium)**
Kingdom of Bahrain 08|2002 - 07|2006	**St. Christopher's Senior School**
Kingdom of Bahrain 08|1998 - 07|2002	**St. Christopher's Junior School**

Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere (an Eides statt), dass ich die zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema „Zahnmedizinische Plaque-Simulation zur Prüfung von Mundhygiene-Produkten“ selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und die in der Arbeit verwendete Literatur vollständig zitiert habe.

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

Ann-Kathrin Flad

Mannheim, 27. August 2019