

Klinisch-experimentelle Studie der Zahnreinigungseffizienz
eines zweistufigen Bürstenkopfes bei unterschiedlicher
Anpresskraft

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

der

Universität Witten / Herdecke

Fakultät für Gesundheit

Department für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

vorgelegt von Jens-Hendryk Willem Thiele

geboren in Haan / Mettmann

2013

Dekan: Prof. Dr. Stefan Wirth
Mentor: Prof. Dr. sc. med. Dr. h.c. Peter Gängler
Tutor: Dr. med. dent. Tomas Lang

Tag der Disputation: 24. April 2013

für Mama, Papa und Kluntje

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
2. Zielsetzung.....	2
3. Literaturübersicht	4
3.1. Biofilmbildung der dentalen Plaque.....	6
3.2. Plaquebewertung.....	9
3.2.1. Quigley-Hein-Index (QHI).....	11
3.2.2. Navy-Plaque-Index nach Elliot et al.	11
3.2.3. Navy-Plaque-Index nach Rustogi et al.....	12
3.2.4. Plaque-Index nach Silness und Løe (SLI).....	13
3.2.5. Modifizierter Silness Løe Plaque-Index (MSLPI)	14
3.2.6. Vergleich von MSLPI und Navy-Plaque-Index	14
3.3. Plaqueentfernung in Korrelation zur Anpresskraft	17
3.4. Abrasionen und Weichgewebsdefekte in Korrelation zur Anpresskraft	20
3.5. Zahnputztechniken.....	24
3.5.1. Horizontal schrubbende Technik.....	25
3.5.2. Modifizierte Bass-Technik	25
3.5.3. Charters-Technik	26
3.5.4. Modifizierte Stillman-Technik	26
3.5.5. Fones-Technik	27
3.5.6. Rolltechnik	27
3.5.7. Rot-Weiß-Technik	27
3.5.8. Zusammenfassung.....	28
3.6. Reinigungserfolg bei Rechts- und Linkshändern.....	29
4. Material und Methode.....	31
4.1. Probanden.....	31
4.2. Zahnbürstenmodelle.....	34
4.3. Ablauf der klinischen Studie.....	36
4.4. Hilfsmittel	42
4.5. Verblindung.....	43
4.6. Fotostatus	43
4.7. Statistik.....	44

5. Ergebnisse.....	46
5.1. Univariate und Bivariate Analyse	46
5.1.1. Belastung der Zahnfelder mit Plaque vor dem Putzen	46
5.1.2. Relativer Reinigungserfolg mit standardisierter Putztechnik	48
5.1.3. Relativer Reinigungserfolg mit habitueller Putztechnik	54
5.1.4. Vergleich der beiden verwendeten Verfahren.....	58
5.2. Multivariate Analyse.....	60
5.2.1. Relativer Reinigungserfolg mit habitueller Putztechnik	63
5.2.2. Relativer Reinigungserfolg mit standardisierter Putztechnik	68
5.3. Gesonderte Analyse der Anpresskräfte der beiden Zahnbürstenmodelle.....	70
5.3.1. Gemeinsame Betrachtung der Anpresskräfte für beide Zahnbürstenmodelle	71
5.3.2. Gesonderte Betrachtung der Anpresskräfte für jedes Zahnbürstenmodell.....	74
6. Diskussion.....	80
6.1. Plaquebewertung.....	80
6.2. Vergleich des Reinigungserfolges der beiden Zahnbürstenmodelle	81
6.3. Plaqueentfernung in Korrelation zur Anpresskraft	84
6.4. Zahnputztechniken.....	87
6.5. Reinigungserfolg bei Rechts- und Linkshändern.....	88
6.6. Material und Methode.....	89
7. Schlussfolgerung.....	91
8. Zusammenfassung.....	93
9. Summary	94
10. Abstract.....	95
11. Conclusion.....	96
12. Literaturverzeichnis	98
13. Anhang.....	106
14. Danksagung.....	107
15. Curriculum vitae	108
16. Eidesstattliche Erklärung.....	109

1. Einführung

Für die Prävention der Karies- und Parodontalerkrankungen, die durch pathogene Plaque mitverursacht werden (Löe et al., 1965; Theilade et al., 1966; von der Fehr et al., 1970), nimmt die Handzahnbürste einen der wichtigsten Plätze ein (Ketterl, 1993), und sie gilt bis heute als Standardausstattung für die häusliche Mundhygiene (Zimmer, 2003).

Aus diesem Grund werden immer wieder neue Zahnbürstenmodelle entwickelt, deren Reinigungseffizienz in Studien untersucht wird. Dabei finden zum einen Laboruntersuchungen (Murad 2008a, 2008b; Staufer, 2011) und zum anderen klinisch kontrollierte Studien Verwendung (Klimek und Hellwig, 1989; van der Weijden et al., 1996; 1998; 2004; McCracken, 2008). Sowohl bei den klinischen als auch bei den Laboruntersuchungen ergibt sich das Problem, dass sie untereinander aufgrund ihres unterschiedlichen Studiendesigns nur schwer zu vergleichen sind. Daher werden durch die Cochrane Collaboration, einem internationalen Netzwerk von Wissenschaftlern und Ärzten, das sich an den Grundsätzen der evidenzbasierten Medizin orientiert, systematische Übersichtsarbeiten erstellt, aktualisiert und verbreitet (Cochrane Collaboration).

Eine Herausforderung ist es, stets die Vorteile der guten Vergleichbarkeit, wie sie durch hoch standardisierte Laboruntersuchungen ermöglicht werden, gegenüber dem Vorteil der praxisnahen Untersuchung in klinischen Studien abzuwägen. Während gezeigt werden konnte, dass unter bestimmten Voraussetzungen die Ergebnisse von standardisierten Laboruntersuchungen und standardisierten klinischen Studien vergleichbar sind (Staufer et al., 2011), konnten bisher weder individuellen klinischen Studien spezielle Reinigungsergebnisse zugeordnet werden (van der Weijden et al., 1996; 1998), noch konnte gezeigt werden, dass die Ergebnisse individueller klinischer Studien mit denen standardisierter Laboruntersuchungen vergleichbar sind.

2. Zielsetzung

Das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn (GlaxoSmithKline, Bühl, Deutschland) wurde bereits in zwei Laborstudien unter dem Namen „Silky“ für den klinischen Einsatz getestet. In der ersten Studie wurde sie im Vergleich zu zwei weiteren Zahnbürstenmodellen daraufhin untersucht, wie tief sie in die Zahnzwischenräume eindrang. Dabei wurden künstliche Zähne mit einer Anpresskraft von 2,50 Newton, über einen Zeitraum von 15 Sekunden geputzt. Hierbei zeigte sich, dass das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn signifikant tiefer in die Approximalräume eindrang, als die beiden anderen Zahnbürstenmodelle (Murad et al., 2008a).

Im Anschluss daran wurde eine weitere Laborstudie durchgeführt, in der die Reinigungsleistung im Bereich des Zahnfleischsaums und die Eindringtiefe in den Sulkus der Handzahnbürste Dr.BEST Zwischenzahn, gegenüber zwei Vergleichsprodukten untersucht wurde. Bei diesem Laborversuch wurden künstliche Zähne mit einer Anpresskraft von 5,00 Newton über einen Zeitraum von jeweils 60 Sekunden geputzt. Auch bei diesem Test schnitt das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn signifikant besser ab, als die beiden anderen Zahnbürstenmodelle (Murad et al., 2008b).

In der vorliegenden Arbeit soll geprüft werden, ob das zweistufige Bürstenkopfmuster des Zahnbürstenmodells Dr.BEST Zwischenzahn, einem planen Bürstenkopfmuster, wie bei dem Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf (Procter & Gamble, Kronberg, Deutschland), in Bezug auf die Reinigung der Approximalräume überlegen ist.

Dazu sollen die beiden Zahnbürstenmodelle in einer klinisch kontrollierten in vivo Studie miteinander verglichen werden. Im 1. Quadranten soll dies, wie in den meisten in vitro und in vivo Studien üblich, nach einem standardisierten Verfahren erfolgen. Dabei wird der Proband aufgefordert, sich die Zähne mit einer horizontal schrubbenden Putztechnik und einer Anpresskraft von 3,00 Newton zu putzen. Die Putzzeit wird auf 20 Sekunden beschränkt. Auf diese Weise können die unterschiedlichen Putzergebnisse ausschließlich auf das entsprechende Zahnbürstenmodell zurückgeführt werden.

Im 2. Quadranten sollen die beiden Zahnbürstenmodelle in einem habituellen Verfahren verglichen werden. Die Probanden dürfen sich mit einer individuellen Putztechnik und einer individuellen Anpresskraft die Zähne putzen. Die verschiedenen Putztechniken und Anpresskräfte werden dokumentiert. Ebenso wird die Hand, mit der sich der Proband die Zähne putzt, dokumentiert, um einen eventuellen Zusammenhang herstellen zu können. Die Putzzeit wird wie im 1. Quadranten auf eine Zeit von 20 Sekunden pro Quadrant begrenzt. Auf diese Weise soll geprüft werden, ob die

unterschiedlichen Putzergebnisse nur auf ein entsprechendes Zahnbürstenmodell oder auch auf unterschiedliche Putzgewohnheiten der Probanden zurückgeführt werden können. Ein besonderes Interesse gilt dabei der Frage, ob einer individuellen Putztechnik ein entsprechender Reinigungserfolg zugeordnet werden kann.

Um eine Chancengleichheit für beide Zahnbürstenmodelle gewährleisten zu können, soll vor Durchführung der Studie für die Probanden ein klinisches Training (Einführungsphase) stattfinden, bei der sowohl die Art der Durchführung geschult wird, als auch die Gewöhnung an die beiden Zahnbürstenmodelle. Die Erfassung der Daten soll mit dem nach Claydon und Addy modifizierten Navy-Plaque Index erfolgen (1995). Um eine gute Reproduktion gewährleisten zu können, soll zu Beginn eine Kalibrierung des Untersuchers für die fotografische Dokumentation stattfinden. Die Anfärbung der dentalen Plaque unmittelbar vor dem Putzen mit dem jeweiligen Zahnbürstenmodell, soll mit einer Differentialfärbung erfolgen.

Neben der üblichen univariaten und bivariaten Analyse der Daten soll versucht werden, durch eine multivariate Analyse zusätzliche Informationen zu gewinnen, um den individuellen Putzgewohnheiten der Probanden einen jeweiligen Reinigungserfolg zuzuordnen zu können.

3. Literaturübersicht

In der Literatur wurden schon früh Karies- und Parodontalerkrankungen beschrieben. Die wohl älteste Vorstellung war die des Zahnwurmes, die erstmals etwa 1800 v. Chr. im ägyptischen Papyrus Anastasi beschrieben wurde (zit. n. Hoffmann-Axthelm, 1985). Diese Theorie wurde noch bis ins 18. Jahrhundert fortgeführt, als noch empfohlen wurde, bei Zahnschmerzen durch Würmer eine Einlage von Judenkirschen und gelbem Wachs oder die Räucherung mit Bilsensamen vorzunehmen (Bernstein, 1790). Parallel dazu entwickelte sich im 16. Jahrhundert die Entzündungstheorie. Dabei wurde die Entstehung der Karies zunächst als Reaktion auf eine Entzündung verstanden, die durch Überernährung ausgelöst wurde (Eustachius, 1563). Etwa 250 Jahre später wurde die Entstehung der Karies auf eine Entzündung des Dentins zurückgeführt (Fox, 1806). Zwei Jahrzehnte später wurde postuliert, dass das Dentin eine geringere Lebenskraft als der Schmelz hat und sich so nicht gut vor Entzündungen schützen könnte (Bell, 1829). Im 19. Jahrhundert entwickelte sich eine chemische Theorie zur Entstehung der Karies. Dabei wurde festgestellt, dass sich bei Zähnen, die in eine saure Lösung gelegt wurden, Spuren von Kalk nachweisen ließen und dass es dadurch vermutlich zu einem Substanzverlust käme (Mantegazza, 1864). Ein Vierteljahrhundert später stellte Miller die Theorie auf, dass Bakterien, die Substrat verstoffwechseln, Karies auslösen und Toxine der Bakterien Parodontalerkrankungen induzieren (Miller, 1889). Es dauerte aber noch bis ins 20. Jahrhundert hinein, bis in einer klinischen Studie nachgewiesen werden konnte, dass Karies durch unterlassene Mundhygiene und dadurch entstandene Plaque, sowie regelmäßige Zufuhr von Saccharose herbeigeführt werden kann, aber im initialen Stadium reversibel ist (von der Fehr et al., 1970). In einer weiteren klinischen Studie konnte Mitte des 20. Jahrhunderts gezeigt werden, dass die bakterielle Plaque eine Gingivitis auslöst, die bei rascher Entfernung reversibel ist (Löe et al., 1965; Theilade et al. 1966). Demnach sind sowohl Karies als auch Parodontalerkrankungen plaqueassoziiert (Addy und Adriaens, 1998).

So zeigte sich in der Vergangenheit, dass sowohl für die Entstehung der Karies als auch für die Entstehung der Parodontalerkrankungen ursächlich das Vorhandensein einer Plaque verantwortlich ist, die erstmals 1663 durch van Leeuwenhoek in einem Brief an die Royal Society of London beschrieben wurde (van Leeuwenhoek, 1722).

Weil eine kausale Expositionsvermeidung polybakterieller Infektionsmöglichkeiten aus oralen Biofilmen weder möglich noch wünschenswert ist, beruhen alle Prophylaxemaßnahmen zur Karies- und Parodontitisprävention bisher auf der Beeinflussung nonkausaler Faktoren (Gängler et al.,

2005). Nach Hellwig gehören dazu die Ernährungsumstellung, die Anwendung von Fluoriden, Fissurenversiegelungen und Mundhygienemaßnahmen (Hellwig et al., 2009).

Zur Durchführung der mechanischen Plaquekontrolle im Rahmen der Mundhygienemaßnahmen, wurden in den letzten Jahrhunderten verschiedene Geräte entwickelt. Während sich in den westlichen Ländern die Zahnbürste als Goldstandard herauskristallisierte, wurden in Arabien, Afrika, Indien, im südlichen Asien, in bestimmten Teilen der Tropen Süd- und Mittelamerikas und in gewissen Regionen im Süden der USA, bestimmte Hölzer einheimischer Sträucher und Bäume für die Zahnpflege benutzt (Cole et al., 1981). Bis heute gilt, dass die mechanische Zahnreinigung nach wie vor von großer Bedeutung für die Erhaltung der Gebissgesundheit ist (Dörfer, 2005). Es zeigte sich, dass die wichtigste Reinigungsmaßnahme die mechanischer Art mit Zahnbürste und Zahnfegen ist (Sudhoff, 1926). Dementsprechend nimmt die Handzahnbürste einen der wichtigsten Plätze in der Präventivmedizin ein (Ketterl, 1993) und gilt bis heute als Standardausstattung für die häusliche Mundhygiene in der westlichen Welt (Zimmer, 2003). Dabei ist es irrelevant, ob die mechanische Zahnreinigung mit einer Handzahnbürste erfolgt oder mit einem Miswak. So zeigte Al Hakim 2003, dass die regelmäßige Benutzung von Siwak (dreimal täglich) nach einer genauen Instruktion unter Anwendung einer bestimmten Putztechnik (Kombination von vertikaler und horizontaler Auswischbewegungen) als eine Alternative zur Zahnbürste für die Plaque- und Gingivitis-Reduktion gesehen werden kann.

In der folgenden Literaturübersicht soll gezeigt werden, wie eine dentale Plaque entsteht, welche Möglichkeiten der Klassifikation es gibt, wie sie sichtbar gemacht werden kann, welche negativen Einflüsse die Entfernung auf das Weichgewebe sowie den Zahn haben kann und inwiefern die Plaqueentfernung durch die Anpresskraft und die Benutzung der rechten oder linken Hand beeinflusst wird.

3.1. Biofilmbildung der dentalen Plaque

Die bakterielle Plaque (f <frz> plaque = Platte, Schild, plaquer = belegen) wurde als eine weiche, variabel dicke, dicht verfilzte, stumpfgelblichgraue Auflagerung definiert, die aus verschiedenen Bakterien und einer Matrix (bakterielle Produkte, Speichelkomponenten) besteht. Sie bildet einen hochkomplexen Biofilm, der aus unterschiedlichen Bakterien besteht, die in einem symbiotischen und asymbiotischen Wechselspiel zueinander stehen. Im Gegensatz zu einer planktonischen Zusammensetzung haftet (klebt) er fest auf der Zahnoberfläche und ist demnach nur mechanisch, nie jedoch mit scharfem Wasserstrahl entfernbar (Schröder 1983, Costerton 2007). Die bezahnte Mundhöhle stellt dabei ein ideales mikroökologisches System dar, wobei jeweils erneuerbare Plaqueansiedlung als Akkumulation und die konsekutive mikrobielle Reifung als Maturation des Biofilms charakterisiert ist. Das wichtigste Charakteristikum der oralen Biofilmbildung ist das bakterielle Adhärenzvermögen. Dabei handelt es sich um ein Gleichgewicht zwischen einem komplexen physikochemischen Mechanismus zur Adhärenz und adäquaten Mitteln der Wirtsabwehr. Generell kann die Plaque nicht als pathogen angesehen werden, da sie ohnehin - nach Durchbruch eines Zahnes in die Mundhöhle - vorhanden ist. Erst bestimmte Voraussetzungen wie eine Störung der bakteriellen Kommunikation untereinander oder Störungen der Wirtszell-Kommunikation führen zu einer Pathogenität (Gängler et al., 2007).

Die dentale Plaque lässt sich nach ihrer Beschaffenheit und ihrer Lokalisation unterscheiden. Der Biofilm kann sowohl als nicht mineralisierte Pellicula, Plaque, Materia alba, Food debris oder Farbbelag als auch in mineralisierter Form als Zahnstein (supragingival und subgingival) vorliegen (Riethe, 1974; Genco, 1990; Lange, 1990). Die Zusammensetzung ist dabei jeweils von der Lokalisation am Zahn abhängig. So überwiegen z.B. in der approximalen Plaque die grampositiven Aktinomyzeten, die unter anaeroben Bedingungen wachsen, während an den Glattflächen eher die aeroben Bakterien überwiegen (Klimm, 1997).

In welcher Form sich die dentale Plaque am Zahn anlagert, lässt sich am besten beobachten, wenn vorher der Zahn mit Hilfe einer professionellen Zahnreinigung gesäubert wurde. Wird danach die Mundhygiene unterlassen, kann sich ungestört eine Plaque entwickeln.

Silverstone gliederte die Plaquebildung 1981 in folgende drei Schritte: Im ersten Schritt heften sich Mikroorganismen an die Pellicula und / oder die Zahnoberfläche an (Adhärenz). Im zweiten Schritt kommt es zur intermikrobiellen Adhäsion (Koaggregation) gleicher oder

unterschiedlicher Arten. Im letzten Schritt kommt es zum Wachstum retinierter oder bereits adhärierter Mikroorganismen (Silverstone et al., 1981). König und Renggli gliederten die Plaquebildung 1987 in folgende Schritte. Zunächst kommt es zur Absorption von Speichelglykoproteinen an der Zahnoberfläche und Ausbildung der Pellicula. Darauf folgt die Primärbesiedlung erster Bakterien aus dem Speichel an der Pellicula, an die sich die Reifung der Plaque anschließt und unter Umständen zu einer pathogenen Mikroflora führt (König, 1987; Renggli, 1990).

Im zeitlichen Ablauf der Plaquebildung lassen sich im Hinblick auf die Plaquemenge und Plaquezusammensetzung verschiedene Phasen unterscheiden (Plagmann, 1998). Zunächst bildet sich innerhalb von wenigen Minuten bis zu zwei Stunden ein dünner Film aus Speichelproteinen, der als Pellicula bezeichnet wird. Dabei ist festzuhalten, dass die Pellicula sowohl eine positive als auch eine negative Funktion hat. Zum einen schützt sie die Zahnoberfläche gegen chemische Angriffe (z.B. Säuren aus Speisen), zum anderen schafft es eine Voraussetzung für die Anlagerung der Bakterien an der Zahnoberfläche und damit die Voraussetzung zur Bildung der Plaque (Plagmann, 1998). Hat sich die Pellicula gebildet, schließen sich die drei Phasen der Plaquebildung an. In der ersten Phase beginnt sich bis zum zweiten Tag eine unlösliche Matrix aus extrazellulären Polysacchariden am Zahn auszubilden. Sie besteht aus 10-20 Zelllagen und zu 90% aus grampositiven Kokken (Weiger, 1995). In der zweiten Phase, die sich bis zum siebten Tag anschließt, nimmt die Plaque deutlich zu und ihr Aufbau wird sehr viel komplexer. So reduziert sich die Menge der grampositiven Kokken auf ca. 50% und die gramnegativen Anaerobier nehmen in der Tiefe der Plaque bis auf 25% zu. Des Weiteren etablieren sich Filamente und fusiforme Bakterien (Theilade, 1984). In der dritten Phase, die sich bis zum vierzehnten Tag anschließt, kann sich dann eine reife, voll pathogene Plaque ausbilden, die eine Stärke von 0,2 bis 0,5mm erreichen kann, was 200 bis 300 Zelllagen entspricht. Zusätzlich zu den oben genannten Bakterien heften sich Spirillen und Spirochäten an (Theilade, 1984; Renggli, 1990). Durch die Dickenzunahme der Plaque verbessern sich zunehmend die Lebensbedingungen der Anaerobier.

Die Geschwindigkeit, in der die Zahnoberfläche von einem mikrobiellen Biofilm besiedelt wird, kann stark variieren und hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die Wurzeloberfläche wird z.B. in einem Zeitraum von 24 Stunden schneller besiedelt als die Schmelzoberfläche (Nyvad und Kilian, 1987). Des Weiteren wird eine Zahnoberfläche mit einer entzündeten Gingiva schneller mit Plaque besiedelt als eine Zahnoberfläche mit einer entzündungsfreien Gingiva (Ramberg et

al., 1995). Dazu verglichen sie die Plaqueneubildung bei jungen Personen. Die eine Gruppe wies zu Beginn der Untersuchung eine gesunde Gingiva auf, während die andere Gruppe eine Gingivitis hatte. Nach der eingehenden Untersuchung wurde bei allen Teilnehmern eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt. Danach durfte für 24 Stunden keine Mundhygiene betrieben werden. Da sich bei den Personen mit Gingivitis sehr viel schneller eine Plaque bildete, schlussfolgerten Ramberg et al., dass der Zustand der Gingiva eine wichtige Rolle bei der Plaqueneubildung spielen würde (1995).

In der vierten Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS IV) - einer oralepidemiologischen Untersuchung in Form einer Kombination aus zahnärztlicher Befundung und gleichzeitig durchgeführter sozialwissenschaftlicher Befragung einer bevölkerungsrepräsentativen Zufallsstichprobe in Deutschland - wurden in vier Altersgruppen (Kinder, Jugendliche, Erwachsene und Senioren), charakteristische Daten zur Mundgesundheit und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad erhoben (Micheelis und Schiffner, 2006).

So wurde in den vier Altersgruppen mittels des Plaque-Indexes nach Silness und Loe (1963), das Vorhandensein von Plaque dokumentiert (Tabelle 3.1). Es zeigte sich, dass in allen Altersgruppen die erhöhten Indexwerte dominierten. Vor dem Hintergrund, dass sowohl Karies- als auch Parodontalerkrankungen plaqueassoziiert sind, sollte ihrer Kontrolle und Entfernung im Rahmen der Karies- und Parodontitisprophylaxe eine besondere Stellung eingeräumt werden.

Tabelle 3.1 SLI der 12-jährigen Kinder, 15-jährigen Jugendlichen, 35 bis 44-jährigen Erwachsenen und 65 bis 74-jährigen Senioren. Bei den Kindern wurden 16 Messstellen, bei den Jugendlichen 16 und 4 Messstellen, bei den Erwachsenen 4 und 24 Messstellen und bei den Senioren 24 und 6 Messstellen angewendet. Es ist zu sehen, dass in allen Altersgruppen die erhöhten Indexwerte dominieren.

	12-jährige Kinder 16 Messstellen	15-jährige Jugendliche 16 Messstellen 4 Messstellen	35 bis 44-jährige Erwachsene 4 Messstellen 24 Messstellen	65 bis 74-jährige Senioren 24 Messstellen 6 Messstellen			
Grad 0	1,6 %	1,5 %	21,0 %	24,0 %	2,0 %	1,3 %	12,5 %
Grad 1	46,0 %	35,3 %	42,7 %	40,9 %	35,6 %	20,4 %	40,2 %
Grad 2	28,5 %	42,3 %	25,0 %	21,3 %	38,9 %	39,9 %	24,5 %
Grad 3	23,8 %	20,8 %	11,3 %	13,9 %	23,6 %	28,5 %	22,8 %

3.2. Plaquebewertung

Plaqueindizes werden zum einen genutzt, um in epidemiologischen Studien objektive Daten zur Mundgesundheit und der Plaque- und Zahnsteinausdehnung aufzunehmen, zum anderen, um im klinischen Alltag sowohl dem Zahnarzt als auch dem Patienten die Möglichkeit zu geben, den Erfolg der Behandlung nachzuvollziehen. Aus diesem Grund werden an zahnmedizinische Indizes verschiedene Anforderungen gestellt. So soll mit einem Index eine quantitative Aussage getroffen werden können, er soll eine hohe Sensitivität und Spezifität haben, einfach und schnell aufzunehmen und gut reproduzierbar sein. Insbesondere für die Praxis ist es wichtig, dass ein Index sowohl von geschultem als auch von nicht speziell geschultem zahnmedizinischen Fachpersonal schnell angewendet und ausgewertet werden kann (Hellwig et al., 2009).

Vor diesem Hintergrund wurden in der Vergangenheit viele verschiedene Indizes entwickelt. Dabei standen stets unterschiedliche Bedürfnisse im Vordergrund, ob sie besonders einfach aufzunehmen oder besonders genau für klinische Untersuchungen sein sollten. Die Wahl eines Index-Systems, das bei Plaqueuntersuchungen angewendet werden soll, muss also auf das Ziel der Untersuchung, die Größe der Population, den zur Verfügung stehenden Zeitrahmen der Durchführung der Studie und auf den Typ und die Größenordnung der zu erwartenden Veränderungen, Rücksicht nehmen (Fischmann et al., 1986).

Der Bestimmung und anschließenden Bewertung der dentalen Plaque liegen zwei verschiedene Prinzipien zugrunde. Entweder lässt sich die Plaquebesiedlung ohne oder mit vorherigem Anfärben beurteilen. Sofern sie jedoch kein großes Ausmaß angenommen hat und daher nicht sichtbar ist, kann sie mit Hilfe von Revelatoren (lat. *revelare* = enthüllen) sichtbar gemacht werden. Dies ist insbesondere im klinische Alltag sinnvoll, um dem Patienten die Plaqueakkumulation demonstrieren zu können.

Schon früh wurde versucht die Zähne anzufärben, um die dentale Plaque sichtbar zu machen (Skinner, 1914). Infolgedessen wurden verschiedene Revelatoren entwickelt, die auf verschiedenen Substanzen basierten, die in den meisten Fällen Lebensmittelfarbstoffe als Basis hatten und demnach gesundheitlich unbedenklich waren (Roulet et al., 2000). Im Folgenden sollen vier verschiedene Plaquerevelatoren vorgestellt werden.

In Mundhygiene-Kontroll-Tabletten fand Erythrosin, ein Tetrajod-Fluorescein-Natrium, Verwendung. Bei der Verwendung dieser Tabletten muss stets darauf geachtet werden, dass der Patient keine Jodallergie hat (Roulet und Zimmer, 2003).

In Lösungen zur Anfärbung der dentalen Plaque wurde Fuchsin verwendet. Diese hat keine toxische Wirkung, kann aber bei einem Gebrauch über längere Zeit kanzerogen wirken (Schäfer, 2002).

Chemisch verwandt mit Fuchsin ist das Malachitgrün. Es wird in 1,0-2,5% Pinsellösungen verwendet. Es zeichnet sich durch eine hervorragende Kontrastwirkung aus, kann aber bei höheren Dosierungen toxisch wirken. Die orale LD50 bei Kaninchen liegt bei 75mg/kg Körpergewicht. Aus diesem Grund wird es klinisch nicht sehr häufig und wenn nur in geringen Dosen verwendet.

1972 beschrieben Block et al. erstmals die Differentialfärbung. Sie beruht auf einer Basis aus Lebensmittelfarbstoff und den Zusatzstoffen Patentblau und Phloxin B. Sie hat den Vorteil, dass sie die dentale Plaque entsprechend ihrem Alter anfärbt. So wird die Plaque, die älter als 24 Stunden ist, blau angefärbt und die junge Plaque rot. Auf diese Weise kann dem Patienten gezeigt werden, welche Bereiche er mit der Zahnbürste bisher nicht erreicht hat. Diese Differentialfärbungen sind gesundheitlich unbedenklich und finden daher in der Klinik den meisten Einsatz (Schäfer, 2002).

Im Folgenden sollen zunächst die Indizes vorgestellt werden, die mit einer Differenzialfärbung durchgeführt werden, bevor zum Abschluss die Indizes vorgestellt werden, die ohne eine Differenzialfärbung vorgenommen werden.

3.2.1. Quigley-Hein-Index (QHI)

Beim Plaque-Index nach Quigley und Hein (1962) werden nur die vestibulären Flächen der Zähne untersucht. Dafür werden die fazialen Flächen der Zähne mit einem Plaquerevelator angefärbt, um den Biofilm sichtbar zu machen. Bei diesem Index erfolgt die Einteilung in 6 Grade, die sich in Grad 0 bis 5 gliedern (Tabelle 3.2). Die Grade die sich für die einzelnen Zähne ergeben, werden zusammenaddiert und anschließend durch die Anzahl der erhobenen Werte dividiert. Daraus ergibt sich der individuelle Plaque Index für den Patienten. Mit Hilfe des QHI können sehr gut die Unterschiede in der Plaqueakkumulation dokumentiert werden (Quirney et al., 1991).

Tabelle 3.2 Quigley-Hein-Index (QHI)

Grad 0	keine Plaque vorhanden
Grad 1	vereinzelte Plaqueinseln am Zahnfleischsaum
Grad 2	deutliche Plaquelinie über 1mm Breite entlang des Zahnfleischsaums
Grad 3	Plaque über 1mm Breite entlang des Zahnfleischsaums bis max 1/3 der Zahnkrone
Grad 4	Plaque bis maximal 2/3 der Zahnkrone
Grad 5	Plaque über 2/3 der Zahnkrone

3.2.2. Navy-Plaque-Index nach Elliot et al.

In den bisher entwickelten Plaqueindizes wurde entweder die Glattfläche eines Zahnes oder der Approximalraum in seiner Gesamtheit beurteilt. Entweder rein nach einem ja / nein Entscheid oder in verschiedenen Graden. Im Navy-Plaque-Index nach Elliot, der erstmals 1972 vorgestellt wurde, wird der einzelne Zahn von vestibulär in 6 Felder unterteilt. Dabei wird er zunächst, vergleichbar mit dem Oral-Index von Greene und Vermillion (1960), in ein gingivales (von den Papillenspitzen kommend und 1mm oberhalb des Zahnfleischsaums verlaufend), mittleres und okklusales Kronendrittel aufgeteilt. Zusätzlich wird das mittlere Kronendrittel in einen mesialen und distalen Anteil gegliedert und das gingivale Kronendrittel in einen mesialen, distalen und mittleren Anteil, sodass sich insgesamt 6 Felder ergeben (Abbildung 3.1). Diese 6 Felder werden nach dem Anfärben danach beurteilt, ob Plaque vorhanden ist oder nicht. Durch diese Aufteilung

werden bei der Untersuchung insbesondere die gingivalen und approximalen Anteile im Vergleich zu den Glattflächen betont (Elliot et al., 1972; Fischman et al., 1986).

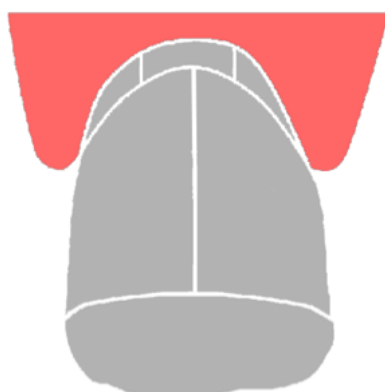


Abbildung 3.1 Zahnfelder nach dem Navy-Plaques-Index nach Elliot et al. (1972)

3.2.3. Navy-Plaques-Index nach Rustogi et al.

1992 wurde von Rustogi der Navy-Index nach Elliot modifiziert. Sowohl der gingivale als auch der inzisale Anteil blieben unverändert. Um eine noch detailliertere Untersuchung, insbesondere im approximalen Bereich unterhalb des Kontaktpunktes vornehmen zu können, wurden die beiden Felder des mittleren Kronendrittels noch einmal horizontal unterteilt und im unteren Anteil mittig ein weiteres Feld hinzugefügt. Dadurch ergeben sich nun insgesamt 9 Felder die mit den Buchstaben A bis I bezeichnet werden (Abbildung 3.2).

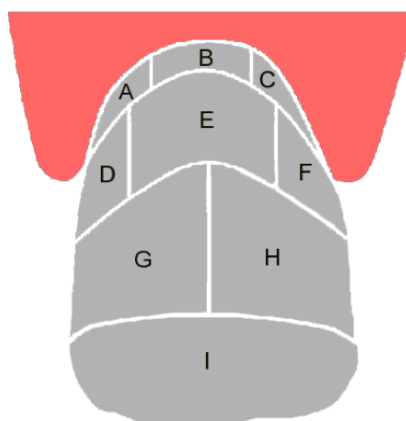


Abbildung 3.2 Zahnfelder nach dem Navy-Index nach Rustogi et al. (1992)

Die Auswertung des Navy-Index, sowohl nach Elliot et al. als auch nach Rustogi et al., erfolgte direkt am Patienten. Es zeigte sich aber, dass der Zeitaufwand sowohl für den Patienten als auch für den Untersucher sehr hoch war.

Aufgrund dessen wurde die Auswertung des Navy-Plaque-Index von Claydon und Addy 1995 modifiziert. Sie errechneten, dass sich bei 9 Werten die jeweils vestibulär und oral an einem Zahn erhoben wurden, bei einem Probanden mit 28 Zähnen eine Anzahl von 507 Werten ergaben. Diese Anzahl kann nicht in einer für den Patienten zumutbaren und für den Untersucher vertretbaren Zeit am Patienten erhoben werden. Daher sollen in der modifizierten Auswertungsmethode die Zähne so fotografiert werden, dass alle 9 Felder an allen vestibulären und oralen Flächen einsehbar sind. So kann die Untersuchung getrennt von der klinischen Untersuchung und eventuell getrennt vom klinischen Untersucher durchgeführt werden, um eine höhere Genauigkeit und Objektivität zu erreichen. Bei der Auswertung der fotografisch dargestellten Zähne wird die Plaqueakkumulation mit Hilfe einer Schablone durchgeführt (Abb. 3.2) (Claydon und Addy, 1995; 1996). Trotz der zeitlichen Einsparung am Patienten und der hohen Genauigkeit bleibt der Navy-Plaque-Index ein sehr aufwändiger Index, der zwar für Studien besonders geeignet ist, im Klinikbetrieb jedoch eine untergeordnete Rolle spielt. In Studien zeigte sich, dass er sehr gut zu reproduzieren ist. Dies gilt sowohl für geübtes Fachpersonal als auch für ungeübtes Personal (Shaloub und Addy, 2000). Desweiteren wurde festgestellt, dass der Navy-Plaque-Index mit der Auswertungsmethode nach Claydon und Addy (1995) eine verbesserte Objektivität im Vergleich zu anderen Indexsystemen ermöglicht.

3.2.4. Plaque-Index nach Silness und Løe (SLI)

1964 entwickelten Silness und Løe den SLI. Bei diesem Index wird der Biofilm nicht mit Hilfe eines Plaquerevelators sichtbar gemacht, sondern für jeden Zahn einzeln mit einer Sonde bestimmt. Jedem Zahn kann so einer der 4 Grade von 0 bis 3 zugeordnet werden (Tabelle 3.3). Die Summe der einzelnen Grade wird durch die Anzahl der bestimmten Zähne dividiert, wodurch sich der Wert für den Plaque-Index ergibt.

Aufgrund der akzeptablen Beurteilung der Fähigkeit zur Erreichung oraler Sauberkeit, wird der SLI als Index zur Beurteilung der Effektivität von Mundhygienemaßnahmen, zur Prävention von Karies- und Parodontalerkrankungen vorgeschlagen (Fischmann, 1986).

Tabelle 3.3 Plaque-Index (SLI) nach Silness und Løe

Grad 0	keine Plaque durch Inspektion und sondieren zu erkennen
Grad 1	nicht sichtbarer, dünner Plaquefilm, der nur durch Abschaben mit der Sonde zu erkennen ist
Grad 2	mäßige Plaqueablagerung, die mit bloßem Auge zu erkennen ist; die Plaque füllt den Interdentalraum nicht aus
Grad 3	dicke Plaqueablagerung, die den Interdentalraum ausfüllt

3.2.5. Modifizierter Silness Løe Plaque-Index (MSLPI)

Bei der Auswertung des Plaque-Index während klinischer Studien zeigte sich, dass es zu ungenauen Ergebnissen führen kann, wenn die vestibulären und oralen Felder nicht von den approximal liegenden Feldern unterschieden werden (van der Weijden et al., 1993). Aus diesem Grund wurde der Plaque-Index insofern modifiziert, dass jeder Zahn in 6 Felder unterteilt wird. Dabei werden jeweils die linguale und vestibuläre Fläche in zwei proximale Flächen und jeweils eine Glattfläche unterteilt. Die Klassifikation erfolgt nach dem Plaque-Index nach Silness und Løe (Tabelle 3.3). Dieser modifizierte Index fand seit dem Jahr 1993 in diversen Studien Verwendung (Danser et al., 2003; Graveland et al., 2004).

3.2.6. Vergleich von MSLPI und Navy-Plaque-Index

Zu Beginn der Arbeit stellte sich die Frage, mit Hilfe welches Plaque-Index die Befundung erfolgen sollte. Aus diesem Grund wurden die beiden für klinische Studien gängigen Indizes - der MSLPI und der Navy-Plaque-Index - miteinander verglichen. Dabei sollte sich insbesondere zeigen, welcher der beiden Plaqueindizes eine höhere Sensitivität aufweist. Vor dem Hintergrund, dass der Navy-Plaque-Index die Zahnflächen vestibulär in 9 Felder unterteilt (Abbildung 3.2) und der MSLPI in nur 3 Felder, ließ sich erwarten, dass der Navy-Plaque-Index eine höhere Sensitivität haben würden.

Um das zu belegen, wurden die Baseline Werte vergangener Studien im Hinblick darauf untersucht, ob es bei einem der beiden Indizes möglicherweise zu einer Unterbewertung kam. Dazu wurden die jeweiligen Maximalwerte bestimmt, die zugrunde gelegen hätten, wenn jedes Zahnfeld den maximalen Wert erhalten hätte. Für den MSLPI hätte sich jeweils ein durchschnittlicher Wert von 3,0 ergeben, wenn jedes Zahnfeld den Maximalwert von 3 erhalten hätte. Bei den beiden zugrunde liegenden Arbeiten von Claydon und Addy (1995; 1996) wurden

jeweils die vestibulär liegenden Felder von allen Zähnen bis zum 1. Molaren bestimmt. So ergab sich für den Navy-Plaque-Index bei 9 Feldern pro Zahn, ein Maximalwert von 216, wenn jedes Zahnfeld mit Plaque belegt gewesen wäre.

In Tabelle 3.4 sind die erhobenen Baseline-Werte aus den jeweiligen Studien aufgeführt, die den Navy-Plaque-Index nutzten. Diese wurden in ein prozentuales Verhältnis zum möglichen Maximalwert gesetzt.

Tabelle 3.4 Darstellung unterschiedlicher Baseline-Werte der planimetrischen Plaque Besiedlung mit dem Navy-Plaque-Index am Beispiel von 5 Gruppen

Studie	Gruppe	Theoretischer Maximalwert	Baseline-Wert	Prozentualer Anteil der Zahnfelder
Claydon und Addy, 1995	1	216	174,9	80,97
Claydon und Addy, 1996	1	216	183,3	84,86
Claydon und Addy, 1996	2	216	181,2	83,89
Claydon und Addy, 1996	3	216	183,9	85,14
Claydon und Addy, 1996	4	216	182,6	84,54

Geht man davon aus, dass ein Wert von 100% einen maximal mit Plaque belegten Zahn darstellen würde, wurde mit dem Navy-Plaque-Index durchschnittlich ein zu 83,88% belegter Zahn zu Beginn einer Untersuchung dokumentiert.

In den Tabellen 3.4 und 3.5 sind die erhobenen Baseline-Werte aus den jeweiligen Studien für den MSLPI aufgeführt, die sich vor dem Putzen ergeben hatten. Diese wurden genau wie beim Navy-Plaque-Index in ein prozentuales Verhältnis zum möglichen Maximalwert gesetzt.

Tabelle 3.5 Darstellung unterschiedlicher Baseline-Werte der Plaque Besiedlung mit dem MSLPI am Beispiel von 10 Gruppen

Studie	Gruppe	Theoretischer Maximalwert	Vestibulär	Vestibulär approximal	Durchschnittswert	Prozentualer Anteil
Danser et al., 2003	1	3	1,72	1,88	1,80	60,00
Danser et al., 2003	2	3	1,65	1,91	1,78	59,33
Danser et al., 2003	3	3	1,67	1,94	1,81	60,17
Danser et al., 2003	4	3	1,67	1,95	1,81	60,33
Danser et al., 2003	5	3	1,65	1,91	1,78	59,33
Danser et al., 2003	6	3	1,60	1,83	1,72	57,17
Danser et al., 2003	7	3	1,76	1,95	1,86	61,83
Danser et al., 2003	8	3	1,63	1,88	1,76	58,50
Graveland et al., 2004	1	3	k.A.	k.A.	1,41	47,00
Graveland et al., 2004	2	3	k.A.	k.A.	1,44	48,00

Vergleicht man die beiden Werte, so scheint der MSLPI zu einer Unterbewertung der Plaqueakkumulation zu neigen. Aus diesem Grund soll in der durchgeführten Studie der Navy-Plaque-Index Verwendung finden.

3.3. Plaqueentfernung in Korrelation zur Anpresskraft

Inwiefern die angewendete Anpresskraft beim Zähneputzen einen positiven oder negativen Einfluss auf das Putzergebnis hat, war in den vergangenen Jahren Gegenstand diverser Untersuchungen.

1989 wurde dazu von Klimek und Hellwig eine Untersuchung mit einer neu eingeführten Zahnbürste durchgeführt, die im Hinblick auf ihren Reinigungseffekt mit zwei erprobten Zahnbürsten verglichen wurde. Das neuartige Merkmal war ein dünner, dauerelastischer Hals, der die entstehenden Kräfte beim Zähneputzen reduzieren sollte. Dabei zeigte sich, dass es trotz des elastischen Halses der neuartigen Zahnbürste und der damit verbundenen Reduktion der Anpresskraft zu keinem signifikant schlechteren Putzergebnis kam.

Während Klimek und Hellwig (1989) davon ausgingen, dass nur aufgrund des dauerelastischen Halses mit einer geringeren Putzkraft geputzt wurde, versuchten van der Weijden et al. (1996) einen Zusammenhang zwischen Anpresskraft und Effektivität der Plaqueentfernung herzustellen. Dabei handelte es sich um eine Studie, die in zwei Teile gegliedert wurde. Im ersten Abschnitt wurde jeweils eine manuelle und eine elektrische Zahnbürste bei einer bestimmten Anpresskraft, auf ihre Reinigungsleistung hin untersucht. Im zweiten Teil wurde versucht, der habituellen Anpresskraft eines jeweiligen Probanden den entsprechenden Reinigungserfolg zuzuordnen. Im ersten Teil zeigte sich, dass eine erhöhte Kraft bei beiden Bürstentypen zu einer erhöhten Plaqueentfernung führte. Mit Ausnahme der hohen Anpresskraft von 3,00 Newton entfernte die elektrische Zahnbürste mehr Plaque als die Manuelle. Die Ergebnisse des zweiten Teils zeigten, dass es bei der Reinigung mit einer manuellen Zahnbürste zu einem beträchtlich höheren Kraftaufwand kam, als bei elektrischen Zahnbürsten. Es gelang van der Weijden et al. (1996) allerdings bei keiner der beiden Zahnbürsten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der beim Bürsten angewandten Kraft und der erreichten Plaqueentfernung herzustellen.

Zwei Jahre später versuchten van der Weijden et al. (1998) erneut, der habituellen Anpresskraft eines Probanden einen entsprechenden Reinigungserfolg zuzuordnen. Bei der Untersuchung putzten sich die Probanden, nachdem sie 24 Stunden jegliche Mundhygiene unterlassen hatten, für eine Minute die Zähne. Anschließend wurde zuerst der Reinigungserfolg bestimmt und dann während einer zweiminütigen Putzübung die individuelle Anpresskraft. Es gelang zwar eine mittlere Anpresskraft von 3,30 Newton zu bestimmen, mit der die Probanden die Zähne putzten, es gelang jedoch nicht, einen Zusammenhang zwischen der Effektivität der Plaqueentfernung

und der Kraft beim Zähneputzen herzustellen. Die Abhängigkeit zwischen der Effektivität und der Kraft war weder linear noch konnte eine Kurve an die Werte angepasst werden, die zeigte, dass bis zu einer bestimmten Größe der Kraft ein Anstieg der Kraft mit einem Anstieg in der Effektivität assoziiert war. Jenseits dieses Wertes resultierte die Anwendung höherer Kräfte in einer verminderten Effektivität. In diesem speziellen Test wurde diese "Übergangskraft" mit 4,07 Newton berechnet. Es ist also festzuhalten, dass es auch im zweiten Versuch nicht gelang, eine habituelle Anpresskraft einem entsprechenden Reinigungserfolg zuzuordnen.

Weitere fünf Jahre später wurde von McCracken et al. (2003) in einer weiteren Studie versucht, einer bestimmten Anpresskraft eine entsprechende Reinigungsleistung zuzuordnen. Im Hinblick auf die Anpresskraft sollte diese diesmal nicht habituell eingenommen werden. Vielmehr sollten verschiedene vorgegebene Anpresskräfte von 0,75 Newton; 1,50 Newton; 2,25 Newton und 3,00 Newton miteinander verglichen werden. Zusätzlich zur Anpresskraft sollte der Einfluss der Putzdauer auf die Reinigungseffizienz untersucht werden. Dabei wurden Putzzeiten von 30 Sekunden, 60 Sekunden, 120 Sekunden und 180 Sekunden miteinander verglichen. Es zeigte sich, dass die Putzdauer und die Putzkraft einen signifikanten Einfluss auf die Plaqueentfernung mit elektrischen Zahnbürsten hatte. Putzzeiten von über 120 Sekunden und Putzkräfte von über 1,50 Newton führten dabei nicht zu signifikant besseren Reinigungserfolgen.

Im Jahr 2004 untersuchten van der Weijden et al., inwiefern eine höhere Anpresskraft im Vergleich zu niedrigeren Anpresskräften zu vermehrten Rezessionen führen kann und ob eine höhere oder niedrigere Anpresskraft die Effektivität der Plaqueentfernung beeinflusst. Im Rahmen jener Studie wurden 35 Studenten, die nicht Zahnmedizin studierten, angewiesen, für 24 Stunden jegliche Mundhygiene zu unterlassen und sich anschließend für jeweils 60 Sekunden einen Quadranten mit einer Anpresskraft von 1,50 Newton und einen weiteren Quadranten mit einer Anpresskraft von 3,50 Newton zu reinigen. Dabei zeigte sich während der Nachuntersuchungen kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Rezessionen. Es zeigte sich aber ein signifikanter Unterschied bei den Putzergebnissen. Bei niedrigen Anpresskräften kam es zu einer Plaquereduktion von 60%, bei der Anwendung der hohen Anpresskräfte nur zu einer Plaquereduktion von 56%.

Die dargelegten Studien lassen eine Entwicklung erkennen. 1996 gingen van der Weijden et al. noch davon aus, dass eine höhere Putzkraft auch mit einer höheren Effizienz bei der Plaqueentfernung einher geht. In der damaligen Studie ließen sie die Probanden ihre Zähne habituell putzen. Es gelang ihnen aber nicht, einen Zusammenhang zwischen der habituell

angewendeten Putzkraft und dem Reinigungserfolg herzustellen. Bei ihrem zweiten Versuch konnten sie 1998 erneut keinen Zusammenhang herstellen. Jedoch stellten sie fest, dass sich die Reinigungsleistung nicht unbegrenzt bei einer Erhöhung der Anpresskraft verbessern würde. Sie gingen davon aus, dass sich bei einer mittleren Anpresskraft von 4,07 Newton die Reinigungsleistung verschlechtern würde.

2003 untersuchten McCracken et al. mit einer elektrischen Zahnbürste den Einfluss der Zeit und der Anpresskraft auf die Reinigungsleistung. In der Studie wurde festgestellt, dass sich der Reinigungserfolg nicht verbessert, wenn länger als 120 Sekunden geputzt wird und wenn die Anpresskraft 1,50 Newton übersteigt. Ein Jahr später untersuchten van der Weijden et al. erneut das Ausmaß der Plaquerreduktion bei einer niedrigen Anpresskraft von 1,50 Newton und einer hohen Anpresskraft von 3,50 Newton. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass eine niedrigere Anpresskraft zu einem signifikant besseren Reinigungserfolg führte.

Nach der bisherigen Studienlage erscheint also eine Putzzeit von 120 Sekunden und eine Putzkraft von 1,50 Newton als optimal. Diese Daten basieren auf vorgegebenen Putztechniken. Putzen sich Probanden ohne Vorgaben die Zähne, verwenden sie eine Putzkraft von 3,30 Newton. Inwiefern die Ergebnisse, die auf vorgegebenen Kräften basieren mit individuellen vergleichbar sind, ist unklar.

3.4. Abrasionen und Weichgewebsdefekte in Korrelation zur Anpresskraft

Verluste an der Zahnhartsubstanz können verschiedene Ursachen haben. Man unterscheidet Attrition, die durch Zahn-zu-Zahn Kontakt entsteht, von Abrasionen, die durch Kontakt mit zahnfremden Materialien wie Zahnpflegewerkzeugen, horizontalen Putztechniken oder stark abrasiven Zahnpasten ausgelöst werden und Erosionen die durch Säurewirkung bedingt sind (Ebeleseder, 2005). Welche der oben genannten Faktoren welchen Einfluss auf die Stärke des Substanzabtrags haben, wurde in der Vergangenheit oftmals untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung der unterschiedlichen Zahnbürstentypen.

So wurde 1967 durch Fraleigh et al. an insgesamt 208 Personen (davon 151 männlich) im Alter zwischen 4 und 64 Jahren der Versuch unternommen, einen hypothetischen Standardwert für die durchschnittliche Anpresskraft zu erhalten. Dies scheiterte jedoch an der zu großen Bandbreite der gemessenen Werte. In einer weiteren 1989 von Mierau et al. durchgeführten Studie wurden 45 Probanden (sowohl männlich als auch weiblich) mit einem Durchschnittsalter von 24 Jahren dabei beobachtet, wie sie Mundhygienemaßnahmen „wie Zuhause“ durchführten. Dabei zeigte sich unter anderem, dass es bei einer Anpresskraft von über 2,00 Newton zu vermehrten akuten und chronischen Bürstläsionen kam.

Neben den angeführten in vivo Studien wurden auch in vitro Studien durchgeführt, um Auswirkungen der Borstenhärte auf die Zahnhartsubstanz zu untersuchen. Dabei wurden verschieden harte Zahnbürsten, die unterschiedliche Borstendurchmesser aufwiesen, auf ihre Abrasivität hin untersucht, indem mit einer herkömmlichen Zahncreme 20.000 Putzbewegungen auf einer Acrylplatte ausgeführt wurden. Der Substanzverlust wurde jeweils nach 5.000 Putzbewegungen dokumentiert. Dabei zeigte sich, dass weiche Zahnbürsten zu einem höheren Substanzverlust führten als harte. Die Autoren führten dies zum einen auf eine vermehrte Retention von Zahncreme in den weicheren und dünneren Borsten zurück, zum anderen auf die größere Kontaktfläche zwischen den Borsten und der Acrylplatte durch die größere Biegung (Dyer et al., 2000). Aufgrund dieser Studie lässt sich vermuten, dass vielmehr eine zu starke Anpresskraft zu einer Schädigung der Zahnhartsubstanz führt als zu harte Borsten.

2011 untersuchten Zimmer et al. den Einfluss verschiedener Borstenhärten im Hinblick auf die Reinigungseffizienz, die Entwicklung der Gingivitis und auf gingivale Traumata. Dazu wurden 120 Probanden im Alter zwischen 18 und 62 Jahren untersucht. Sie wurden angewiesen, sich zweimal am Tag für zwei Minuten die Zähne zu putzen. Vier und acht Wochen nach Beginn der

Untersuchung wurden jeweils die oben genannten Parameter mit Hilfe des QHI (Tabelle 3.2), PBI (Tabelle 3.7), modifizierten Approximalraum Plaque Index (Zimmer und Strauss, 2005) und dem nach Danser modifizierten Abrasion Index von Breitenmoser, dokumentiert (Abbildung 3.3 und Tabelle 3.6). Dieser Index zur Differenzierung der Weichgewebsdefekte wurde erstmals 1979 erwähnt (Breitenmoser et al.) und später von Danser modifiziert (1998). Die Gingiva wird dabei in die zervikale Gingiva (marginal, frei), die interdentale Gingiva (Papillen) und die befestigte Gingiva (attached) unterteilt (Abbildung 3.3). Bei den Oberkieferzähnen beinhaltet die befestigte Gingiva den gesamten harten Gaumen.

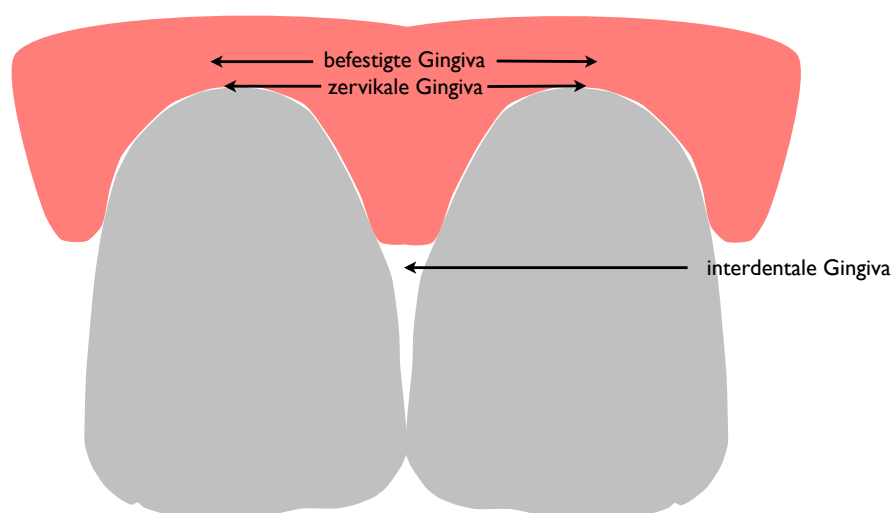


Abbildung 3.3 Topografische Darstellung der Gingiva zur Einteilung nach dem Gingivalen Abrasionsindex (Breitenmoser et al. 1979).

Die Abrasionen werden mit einer Parodontalsonde nach Williams an jedem Zahn in ihrer größten Ausdehnung gemessen und jeweils drei verschiedenen Graden zugeordnet (Tabelle 3.6). Bei den Läsionen, die zwischen 2mm und 3mm liegen, wird jeweils auf- oder abgerundet. So können Veränderungen zu Beginn und zum Abschluss einer Studie dokumentiert werden.

Tabelle 3.6 Schweregrade des Gingivalen Abrasionsindex (Danser et al., 1998)

small	Läsion ist durchschnittlich $\leq 2\text{mm}$
medium	Läsion ist durchschnittlich $\geq 3\text{mm}$, aber $\leq 5\text{mm}$
large	Läsion ist durchschnittlich $> 5\text{mm}$

Es zeigte sich, dass eine härtere Zahnbürste in der Lage ist mehr Plaque als eine weichere Zahnbürste zu entfernen. Dabei kommt es allerdings zu einem größeren gingivalen Trauma im Vergleich zu einer weichen Zahnbürste (Zimmer et al., 2011).

Tabelle 3.7 Papillen Blutungs Index (PBI) (Saxer und Mühlemann, 1975)

Grad 0	keine Blutung
Grad 1	Auftreten eines "Blutungspunktes"
Grad 2	Auslösen eines schmalen "Blutbandes" oder mehrerer "Blutungspunkte"
Grad 3	Ausfüllen des Interdentalraums ("interdentales Dreieck") mit Blut
Grad 4	erhebliche Blutung bei Sondierung mit Tropfenbildung und Verlaufen über das gesamte benachbarte Zahnfleisch

Aufgrund der oben genannten Studienlage wurden in der Vergangenheit elektrische Zahnbürsten entwickelt, in denen ein Sensor integriert ist, um die Anpresskraft, die vom Patienten angewendet wird, zu kontrollieren. Procter & Gamble (Kronberg, Deutschland) entwickelte dazu die Zahnbürste Oral-B Triumph 5000 mit Smart Guide, der dem Patienten visuell anzeigt, wenn eine bestimmte Anpresskraft überschritten wird. Auf Nachfrage nannten Procter & Gamble über die telefonisch zu erreichende Verbraucherberatung einen Bereich, bei dem der Warnhinweis ausgelöst wird, der zwischen 2,80 Newton und 3,30 Newton liegt. Worauf diese Messwerte basieren, wurde nicht mitgeteilt mit Hinweis auf die Geheimhaltung der Daten.

Um zu überprüfen, inwiefern ein Smart Guide überhaupt dazu führt Anpresskräfte zu reduzieren, wurde 2008 von Janusz et al. eine Studie durchgeführt. Beim ersten Termin wurden die Probanden aufgefordert, sich für zwei Minuten die Zähne zu putzen. In die Studie aufgenommen wurden nur Probanden, die bei dieser Putzübung länger als 4 Sekunden eine Putzkraft wählten, die über der Anpresskontrolle lag. So wurden 58 Probanden in die Studie einbezogen, denen für 30 Tage Zahnbürsten zugeteilt wurden. Die eine Gruppe bekam eine Zahnbürste mit Anpresskontrolle und die andere Gruppe eine ohne. Nach 30 Tagen stellten sich die Probanden erneut vor und es wurde verglichen, inwieweit sich die Dauer reduzierte, in der die Anpresskontrolle ausgelöst wurde. Es zeigte sich, dass die Dauer, in der die Anpresskontrolle aktiviert war, bei den Probanden mit Anpresskontrolle durch den Smart Guide um 88,5% geringer und bei den Probanden ohne Anpresskontrolle nur um 53,4% geringer war. Es ist dabei

festzuhalten, dass nicht eine Kraft gemessen wurde, sondern nur die Dauer, in der die Anpresskontrolle aktiviert war.

3.5. Zahnputztechniken

Obwohl in der vorliegenden Arbeit neben der Anpresskraft insbesondere die Zahnbürstenformen im Hinblick auf die Reinigungsleistung untersucht werden, muss festgehalten werden, dass die mechanische Plaquekontrolle insbesondere von einem systematischen Vorgehen abhängig ist und nicht vom Zahnbürstendesign (Rateitschak et al., 1989). Aufgrund dieser Erkenntnis entwickelten Rateitschak et al. 1989 eine Systematik nach der idealerweise die Zähne geputzt werden sollten. Danach sollte mit den schwer zugänglichen oralen Bereichen begonnen werden und anschließend die vestibulären Flächen gereinigt werden. Die Zahnbürste sollte dabei einen Kreis beschreiben, sodass im Unterkiefer lingual begonnen wird und im selben Quadranten vestibulär der Kreis geschlossen wird. Erst danach werden die Okklusionsflächen der Zähne gereinigt (Abbildung 3.4).

Je nach Erkrankungen bzw. manuellem Geschick des Patienten, werden verschiedene Zahnputztechniken beschrieben. Diese Techniken haben gemeinsam, dass die Zahnbürste im Frontzahnbereich zum Putzen von oral senkrecht an die Zahnflächen angesetzt werden sollte. In allen anderen Bereichen sollte die Zahnbürste zum Putzen waagrecht an die Zahnflächen gesetzt werden. Mit welcher Anpresskraft und für welche Zeit die Zähne gereinigt werden sollen, wurde in den Absätzen 3.4 und 3.5 erläutert. Inwiefern die Anpresskraft variiert werden sollte, ist zusätzlich Gegenstand der vorliegenden Arbeit

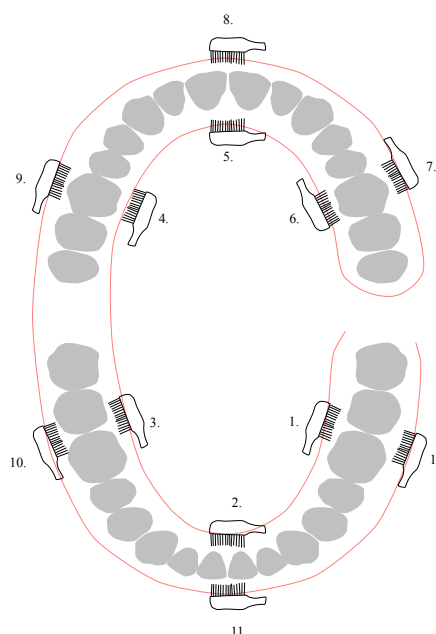


Abbildung 3.4: Systematik des Zähneputzens (Rateitschak et al., 1989)

3.5.1. Horizontal schiebende Technik

Die am häufigsten verwendete Putztechnik ist die horizontale, schiebende Technik (Rugg-Gunn et al., 1979; Mierau 1992). Es wurde 1972 von Frandsen et al. festgestellt, dass diese schiebende Technik bei den Patienten zu besten Ergebnissen im Hinblick auf die Plaqueentfernung führt. Später wurde jedoch festgestellt, dass es durch die horizontale Putztechnik zu parodontalen Defekten, wie der Stillman-Spalte und keilförmigen Defekten kommen kann (Mierau et al., 1989; Mierau, 1992). Weitere Studien zeigten, dass unterschiedliche Putztechniken nicht zu eindeutig besseren oder schlechteren Putzergebnissen führen (Robinson, 1976; MacGregor et al., 1979; Staufer, 2011). Neben der horizontal schiebenden Technik werden in der Literatur weitere Zahnputztechniken beschrieben, die in unterschiedlichen Indikationsbereichen Anwendung finden.

3.5.2. Modifizierte Bass-Technik

Diese Technik wurde 1954 von Bass beschrieben. Sie soll sowohl für Patienten mit gesundem Parodont als auch für Patienten mit einer Gingivitis oder Parodontitis geeignet sein. Die Zahnbürste wird in einem Winkel von 45° zur Zahnachse auf Zahn und Gingiva aufgesetzt, sodass die Borsten in Richtung Zahnfleischsaum zeigen (Abbildung 3.5). Aus dieser Position heraus werden dann pro Zahn 10 bis 15 rüttelnde und kreisende Bewegungen ausgeführt (Bass, 1954a; 1954b). Die Effektivität dieser Methode wurde von Waerhaug 1981 untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine gezielte Anwendung der Bass-Technik - dreimal pro Woche - zu einer Verhinderung der Plaqueakkumulation an den Bukkalflächen führt. Dabei wurden sogar Bereiche bis 1mm subgingival erreicht (Waerhaug, 1981). Sollte der Patient aus dieser Technik in die horizontal schiebende Technik verfallen, kann es zu Verletzungen sowohl der Gingiva als auch des Epithelansatzes kommen (Gülzow, 1978; Rateitschak et al., 1989).

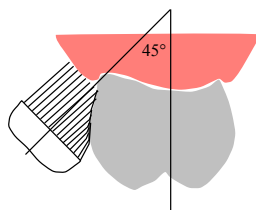


Abbildung 3.5: Modifizierte Putztechnik nach Bass (Bass, 1954)

3.5.3. Charters-Technik

Diese Technik wurde 1922 von Charters beschrieben. Ziel sei es, eine Massagewirkung auf die Gingiva zu erreichen, sodass es zu einer Stimulation der Blutzirkulation kommt. Dazu wird die Zahnbürste in einem Winkel von 45° zur Zahnachse auf Zahn und Gingiva aufgesetzt und zwar so, dass die Borsten vom Zahnfleischsaum weg zeigen (Abbildung 3.6). Die Zahnbürste wird dabei, vergleichbar der modifizierten Bass Technik, in kreisenden Bewegungen langsam von distal nach mesial geführt. Diese Methode soll sich insbesondere im Rahmen parodontologischer Behandlungen eignen (Peters, 1978).

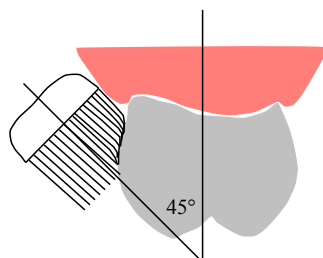


Abbildung 3.6: Putztechnik nach Charters (Charters, 1922)

3.5.4. Modifizierte Stillman-Technik

Diese Technik wurde 1933 von Stillmann beschrieben. Die Zahnbürste wird dabei so angesetzt, dass die Borstenenden im Bereich der Gingiva liegen. Anschließend wird eine Auswischbewegung vom Zahnfleisch hin zum Zahn ausgeführt. Ziel soll es sein, mit einer intermittierenden Kraft auf die Schleimhaut eine Stimulation und Blutdrainage der Gingiva zu erreichen (Stillman, 1933). Zusätzlich zu den intermittierend auswischenden Bewegungen kann auch noch eine rüttelnde Bewegung in mesio-distaler Richtung ausgeführt werden. Durch diese Art der Putztechnik kann erreicht werden, dass die Gingiva in Richtung apikal gedrückt wird, es zu einer Abflachung der Gingiva kommt und so insbesondere die Interdentalräume besser gereinigt werden (Sauerwein, 1962).

3.5.5. Fones-Technik

Diese Zahnputztechnik wurde 1934 von Fones entwickelt. Die Technik sollte so durchgeführt werden, dass der Unterkiefer in „Abbissstellung“ oder in Ruheschwebelage gehalten wird und zunächst die Bukkalflächen, anschließend die lingualen und okklusalen Flächen mit kleinen kreisenden Bewegungen gereinigt werden (Fones, 1934). Besonders gut ist für diese Putztechnik ein Bürstenkopf mit dicht und parallel stehenden Borsten (multi-tufted) geeignet. Insbesondere in Verbindung mit einer kreisenden Bürstenbewegung soll diese Zahnputztechnik für manuell eingeschränkte Patienten und Kinder als besonders effektiv im Vergleich zu anderen Putztechniken überlegen sein (Gülzow und Busse, 1970). Es zeigte sich aber, dass die Reinigung der Interdentalräume und der subgingivalen Bereiche nicht ausreichend ist und dass es zu einer Abflachung der kreisenden Bewegung kommen kann, sodass eine horizontal schrubbende Technik ausgeführt wird, die zu Schädigungen an Gingiva und Zahn führen kann (Sauerwein, 1962).

3.5.6. Rolltechnik

Diese Zahnputztechnik wurde 1970 von Riethe entwickelt. Bei dieser Technik werden die Borsten parallel zur Zahnachse angelegt, sodass sie in Richtung apikal zeigen, dem Gingivalsaum anliegen und so zu einer Blutleere der Gingiva führen. Anschließend wird der Bürstenkopf mit einer rollenden Bewegung an den vestibulären oder oralen Flächen entlang, in Richtung koronal abgerollt, bis die Borsten in einem rechten Winkel zur Zahnachse stehen (Riethe, 1970). Durch die mehrfache Wiederholung der Bewegung soll es zu einer Stimulation der Gingiva kommen (Rateitschak et al., 1989).

3.5.7. Rot-Weiß-Technik

Diese Zahnputztechnik wurde 1949 von Leonhard entwickelt. Sie verfolgt das Ziel, Verletzungen oder Retraktionen des Gingivalsaums zu vermeiden. Dazu werden die Borsten in einem Winkel von 90° zu den Glattflächen angestellt. Aus dieser Grundposition wird der Bürstenkopf vom Zahnfleischsaum zur Inzisalkante bzw. Okklusionsfläche geführt. Die Okklusionsflächen werden durch schrubbende Bewegungen gereinigt (Leonhard, 1949). Die Vorstellung, den Bürstenkopf

fortwährend in einem Winkel von 90° zu den Glattflächen zu halten, erfordert eine ständige Korrektur der Arbeitsrichtung, wodurch die Durchführung dieser Putztechnik erheblich erschwert ist (Peters, 1978).

3.5.8. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie sollten die verschiedenen Putztechniken nur grob unterschieden werden. Sie wurden in eine rotatorische Gruppe, zu der die modifizierte Bass-, die Charters- und die Fones-Technik zählte, in eine Methode bei der die Zahnbürste vom Zahnfleisch zum Zahn gedreht wird, zu der die modifizierte Stillmann-, die Roll- und die Rotweißtechnik zählte und in die horizontal schrubbende Technik unterschieden.

Diese Unterscheidung sollte vor allem dazu dienen, dass in der multivariaten Analyse ausgeschlossen werden konnte, dass die Putztechnik einen signifikanten Einfluss auf den Reinigungserfolg haben würde und somit unter Umständen die gängige Aussage bestätigt werden konnte, dass keine Zahnputztechnik einer anderen überlegen ist.

3.6. Reinigungserfolg bei Rechts- und Linkshändern

In der Vergangenheit wurde versucht einen Zusammenhang herzustellen, inwiefern die Hand, mit der sich eine Person die Zähne putzt, einen Einfluss auf den Reinigungserfolg der Zähne haben könnte. In der Literatur finden sich nicht viele Studien, die diesen Aspekt untersuchen. Desweiteren kommen sie teilweise zu unterschiedlichen Ergebnissen.

In Süd-Wales wurde 1987 durch Addy et al. eine Untersuchung an 1105 Kindern zwischen 11 und 12 Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse der Studie galten als Ausgangswert für eine Nachuntersuchung vier Jahre später. Dabei wurde untersucht, welche Kinder eine vermehrte Ansammlung von Plaque und einer Gingivitis aufwiesen. Es zeigte sich unter anderem, dass Rechtshänder eine vermehrte Plaqueansammlung auf der linken Seite aufwiesen. Bei den Linkshändern konnte dagegen kein spezifischer Zusammenhang hergestellt werden.

Bei der Nachuntersuchung zeigte sich, dass eher das Geschlecht und die soziale Klasse einen Einfluss auf die Entstehung von Plaque und Gingivitis hatte als die Putzfrequenz oder Händigkeit (Addy et al., 1990).

Im Jahr 2001 folgte durch Tezel et al. eine Untersuchung in Erzurum (Türkei), die einen Zusammenhang zwischen Rezessionen und Händigkeit herstellen sollte. Diese Studie wurde an insgesamt 110 Probanden durchgeführt. Von den 110 Probanden waren 55 Rechtshänder (davon 25 männlich) und 55 Linkshänder (davon 20 männlich). Bei der Auswertung zeigte sich, dass Linkshänder häufiger Rezessionen entwickelten als Rechtshänder. Rechtshänder entwickelten Rezessionen insbesondere an den Eckzähnen und Prämolaren des rechten Ober- und Unterkiefers. Linkshänder wiesen ein ähnliches Bild auf, sodass sich die Rezessionen an den Zähnen des linken Ober- und Unterkiefers entwickelten. An den Frontzähnen gab es keine Unterschiede zwischen Rechts- und Linkshändern. Im Oberkiefer kamen die Rezessionen häufiger vor als im Unterkiefer. Desweiteren zeigte sich, dass die Zahnputztechnik einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung von Rezessionen hatte, wobei dies insbesondere für die horizontal schrubbende Technik galt.

2011 versuchten Cakur et al. einen Zusammenhang zwischen der Händigkeit und der Kariesentstehung herzustellen. Obwohl die Rechtshänder eine bessere Mundhygiene zeigten als die Linkshänder, konnte dennoch kein signifikanter Unterschied hergestellt werden.

Ogleich die Datenlage nicht sehr umfangreich ist, scheint es dennoch so zu sein, dass auf der rechten Seite stärker mit der rechten Hand geputzt wird als mit der Linken. Genauso verhält es

sich mit der linken Hand auf der linken Seite. Diese Schlussfolgerung basiert darauf, dass es auf der kontralateralen Seite zu einer vermehrten Plaqueansammlung kommt (Addy et al., 1987) und auf der ipsilateralen Seite zu vermehrten Rezessionen (Tezel et al., 2001).

Obwohl es die Literatur so darstellt, zeigt sich in der Klinik ein anderes Bild, sodass Patienten, die sich mit der rechten Hand die Zähne putzen auf der linken Seite mit einer größeren Kraft putzen.

4. Material und Methode

4.1. Probanden

An der klinisch-experimentellen Studie nahmen 20 Probanden teil, 14 weibliche und 6 männliche. Die Probanden waren Studenten der Universität Witten/Herdecke, der Ruhruniversität Bochum und der Technischen Universität Dortmund und mussten folgende Einschlusskriterien erfüllen¹:

- Jeder Proband musste eine vollständige Dentition der regio 17-27 vorweisen können.
- Im Untersuchungsbereich durfte kein Proband unbehandelte Kariesläsionen oder Zahnersatz aufweisen.
- Jeder Proband musste zahnmedizinische Grundbegriffe verstehen können, was durch folgende Kriterien erfüllt wurde:
 - der Proband studierte selbst Zahnmedizin.
 - dem Probanden wurden vor Studienbeginn zahnmedizinische Grundbegriffe vermittelt.

In der einführenden Veranstaltung am 30. Mai 2008 wurden die Probanden über den genauen Ablauf der klinischen Studie informiert. Ihnen wurden die beiden Zahnbürstenmodelle A und B für die Einführungsphase („Wash-In“ Phase) ausgehändigt, in der sich die Probanden erstmalig an das neuartige Zahnbürstenmodell A gewöhnen konnten, um einer Hemmung während der klinischen Tests vorzubeugen.

Den Probanden wurde zunächst ein Überblick über die 6-wöchige Studie gegeben, die mit einer Wash-In Phase beginnen sollte, in der sie morgens das Zahnbürstenmodell A und abends das Zahnbürstenmodell B nutzen mussten. Auf diese sollten zwei Studienwochenenden folgen, vor bzw. zwischen denen eine jeweilige Wash Out Phase lag, bevor sie über den genauen Ablauf eines Studienwochenendes informiert wurden. Dabei lag der Schwerpunkt auf den Anforderungen, die die Probanden einzuhalten hatten.

¹ Die Freigabe der Studie erfolgte durch die Ethikkommission der Universität Witten/Herdecke (Antrag Nr. 38/2008)

Es wurde ihnen verdeutlicht, dass für das Gelingen der Studie eine ausreichende Plaqueakkumulation von elementarer Bedeutung war. Ihnen wurde erklärt, dass sie sich am Freitag des jeweiligen Studienwochenendes entsprechend der Zeitpläne, die ihnen ausgehändigt wurden, zur Professionellen Zahnreinigung in der Universität Witten/Herdecke einfinden mussten. Diese würde von trainierten Absolventen der Lehrabschnitte „Präventive Zahnheilkunde“ der Universität Witten/Herdecke durchgeführt und von Herrn Thiele überwacht. Um in den folgenden 72 Stunden eine ausreichende Plaqueakkumulation zu erreichen, müssten sie jede Art der Mundhygiene unterlassen und auf stark abrasive Nahrung, wie Äpfel oder Karotten, verzichten. Ferner wurde ihnen erklärt, dass sie in den letzten 12 Stunden vor dem Test zusätzlich die Nahrungsaufnahme auf weiche Kost umzustellen hatten, um so eine möglichst hohe Plaqueakkumulation zu erreichen.

Anschließend wurden die Probanden darüber informiert, wie die Dokumentation am Montag des jeweiligen Studienwochenendes ablaufen würde. Zunächst würden sie angewiesen werden, ihre individuelle Anpresskraft auf einer Waage zu demonstrieren. Danach würden ihre Zähne angefärbt und fotografisch dokumentiert. Dabei wäre es wichtig, dass sie den Mund nur leicht und vorsichtig ausspülten, damit nicht zu viel der gewonnenen Plaque abgelöst werden würde. Beim anschließenden Putzen der Zähne im 2. Quadranten mit ihrer individuellen Putztechnik, würden sie zur Dokumentation gefilmt werden. Vor dem folgenden Putzen mit der standardisierten Putztechnik im 1. Quadranten würden die Probanden mit Hilfe einer speziellen Waage, auf der ein Unterkiefermodell fixiert werden würde, um Putzbewegungen nachahmen zu können, auf eine Anpresskraft von 3,00 Newton kalibriert (Abbildung 4.1).



Abbildung 4.1 Kalibrierung der Anpresskraft auf 3,00 Newton

Die Kalibrierung fände verblindet statt, sodass der Proband seinen freien Putzdruck nicht einsehen könne. Die Putztechnik würde ihnen in Augenhöhe mit Hilfe eines Videos vorgespielt.



Abbildung 4.2 Probandin, die sich im 1. Quadranten die Zähne nach den Vorgaben putzt

Damit es zu keinen Überlagerungen der Putzergebnisse aus dem 1. und 2. Quadranten kommen könne, wurde den Probanden erklärt, dass jeweils die beiden ersten Inzisivi eine „verbotene Zone“ darstellen würden. Nachdem der Proband beide Quadranten geputzt hätte, würde eine zweite fotografische Dokumentation stattfinden.

Nach den Informationen und der Möglichkeit Rückfragen zu stellen, wurde jedem der 20 Probanden zufällig eine Nummer von 1 bis 20 zugeordnet, nach der sie in Gruppen mit den Buchstaben von A bis F eingeteilt wurden. Probanden mit den Nummern 1 bis 4 wurden der Gruppe A, Probanden mit den Nummern 5 bis 7 der Gruppe B, Probanden mit den Nummern 8 bis 10 der Gruppe C, Probanden mit den Nummern 11 bis 14 der Gruppe D, Probanden mit den Nummern 15 bis 17 der Gruppe E und Probanden mit den Nummern 18 bis 20 der Gruppe F zugeordnet. Anhand von Zeitplänen konnte jeder Proband erkennen, an welchem Tag er sich zu welcher Zeit für die klinischen Tests bereit zu halten hatte (Tabelle 4.1 und 4.2).

4.2. Zahnbürstenmodelle

In der durchgeführten Studie wurde das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn (GlaxoSmithKline, Bühl, Deutschland) und das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf (Procter & Gamble, Kronberg, Deutschland) getestet (Abbildung 4.3).

Bei dem Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn handelte es sich um eine neuartige Zahnbürste mit einer Länge von 192 mm und einer Breite von 15 mm. Der Bürstenkopf hatte eine Länge von 32 mm und eine Breite von 14 mm. Auf diesem waren 42 Borstenbüschel (Tuft) in der Inmold-Technik befestigt, die jeweils aus dicken und dünnen Borsten bestanden. Die dicken ergaben ein planes Borstenfeld, während die dünnen jeweils aus der Mitte eines Borstenbüschels pinselartig herausragten. Die dicken Borsten wiesen eine Länge von 8 mm auf und waren zirkulär um die Dünnen, mit einer Länge von 13 mm, angeordnet. So ergab sich durch die dicken Borsten die erste Stufe und durch die dünnen längeren Borsten die zweite Stufe des Bürstenkopfes. Zwei Federungssysteme verbanden den Bürstenkopf mit dem Zahnbürstengriff. Zum einen ein kugelartiges Gelenk direkt vor dem Kopf zum anderen eine ziehharmonikaartige Federung, die in den Griff der Zahnbürste integriert war.

Bei dem Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf handelte es sich um ein handelsübliches Zahnbürstenmodell, mit einer Länge von 195 mm und einer Breite von 14 mm. Der Bürstenkopf besaß eine Länge von 35 mm und eine Breite von 12 mm. Auf diesem waren 38 Borstenbüschel (Tuft), ebenfalls in der Inmold-Technik befestigt, die ein planes Borstenfeld ergaben. Die einzelnen Borsten maßen eine Länge von 10 mm. Da der Bürstenkopf nicht über eine spezielle Federung mit dem Zahnbürstengriff verbunden war, ergab sich die Flexibilität nur aus dem Material des Bürstengriffs.

Sowohl das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn als auch das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf besaßen ein planes Borstenfeld mit einer ähnlichen Anzahl von Borstenbüscheln. Die Anordnung auf dem Bürstenkopf variierte leicht, allerdings war die Grundfläche nahezu identisch. Die entscheidenden Unterschiede zwischen beiden Zahnbürstenmodellen bestanden darin, dass das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn zwei Borstenarten und eine integrierte Federung besaß während das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf nur ein planes Borstenfeld und keine integrierte Federung aufwies.

Während der Studie sollte das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn als Zahnbürstenmodell A und das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf als Zahnbürstenmodell B bezeichnet werden.

Handelsbezeichnung	Dr.BEST Zwischenzahn	Oral-B Indicator 40 Normalkopf
Studienbezeichnung	Zahnbürstenmodell A	Zahnbürstenmodell B
		
Länge	192 mm	195 mm
Breite	15 mm	14 mm
Bürstenkopf		
Länge	32 mm	35 mm
Breite	14 mm	12 mm
Tufts		
Anzahl	42	38
Arten	2	1
Länge (dick)	8 mm	10 mm
Länge (dünn)	13 mm	-

Abbildung 4.3 Technische Daten der Zahnbürstenmodelle Dr.BEST Zwischenzahn und Oral-B Indicator 40 Normalkopf

4.3. Ablauf der klinischen Studie

Die insgesamt 6-wöchige experimentelle Studie (Tabelle 4.5) begann am 30. Mai 2008 mit einer Einführungsveranstaltung, an die sich eine zweiwöchigen Eingewöhnungsphase („Wash-In Phase“) anschloss. In dieser Zeit machten sich die Probanden mit den beiden Testzahnbürsten vertraut, um eventuellen Irritationen beim Zähneputzen während der klinischen Studie vorzubeugen. Dies erschien notwendig, da es sich im Vorfeld gezeigt hatte, dass die neuartigen Zahnbürstenmodelle ein ungewohntes Gefühl beim Putzen hervorriefen.

Zwei Wochen später schloss sich an die Wash-In Phase die sogenannte „Wash-Out“ Phase an, die bis zum Beginn des ersten Studienwochenendes am 20. Juni 2008 andauerte. In diesem Zeitraum sollten sich die Probanden wieder an ihr herkömmliches Zahnbürstenmodell gewöhnen.

Die klinischen Untersuchungen fanden an den beiden Wochenenden vom 20. bis 23. Juni 2008 und vom 4. bis 7. Juli, im Sinne einer Cross-over Studie statt, sodass jeder Proband sowohl das Zahnbürstenmodell A als auch das Zahnbürstenmodell B mit der standardisierten und der habituellen Vorgehensweise testete. Das Prinzip der Cross-over Studie wird vor allem bei kurzer Studiendauer von weniger als 3 Monaten genutzt (Claydon und Addy, 1995; 1996; Zimmer et al., 2000). Die beiden Wochenenden liefen jeweils nach dem gleichen Prinzip ab. Es wurde nur das Zahnbürstenmodell gewechselt (Tabelle 4.1 und 4.2). Am Freitag des jeweiligen Studienwochenendes wurden die Probanden der Gruppen A-C (Proband 1 bis 10) und der Gruppen D-F (Proband 11 bis 20) entsprechend dem ausgehändigten Zeitplan, zur professionellen Zahnreinigung in die Universität Witten/Herdecke einbestellt. Diese wurde von trainierten Absolventen der Lehrabschnitte „Präventive Zahnheilkunde“ der Universität Witten/Herdecke durchgeführt und vom Autor dieser Schrift überwacht. Nach der Reinigung des Oberkiefers wurden die Probanden angewiesen, in den folgenden 72 Stunden jede Art der Mundhygiene zu unterlassen und auf stark abrasive Nahrung wie Äpfel oder Karotten zu verzichten. Ferner war in den letzten 12 Stunden vor dem Test zusätzlich die Nahrungsaufnahme auf weiche Kost umzustellen, um so eine möglichst gute Plaqueakkumulation zu erreichen. Am Montag des jeweiligen Studienwochenendes wurden die 20 Probanden dann entsprechend ihrer Gruppeneinteilung in die Universität Witten/Herdecke einbestellt (Tabelle 4.1 und 4.2). Zunächst musste der Proband seine individuelle Anpresskraft auf einer präparierten Waage simulieren (Abbildung 4.1). Dabei konnte er das Ergebnis nicht einsehen, damit er sich nicht an einem bestimmten Anpressdruck orientieren konnte.

Tabelle 4.1 Zeitplan und Gruppeneinteilung der Probanden für das 1. Studienwochenende

Datum	Uhrzeit	Gruppe	Vorgehen
20. Juni 2008	16:00 - 17:00	A-C	Professionelle Zahnreinigung
	17:00 - 18:00	D-F	
23. Juni 2008	16:00 - 16:50	A	Dokumentation des Plaquebefalls vor dem Putzen
	16:50 - 17:20	B	Putzen mit Zahnbürstenmodell A
	17:20 - 17:50	C	Dokumentation des Plaquebefalls nach dem Putzen
	17:50 - 18:30	D	Dokumentation des Plaquebefalls vor dem Putzen
	18:30 - 19:00	E	Putzen mit Zahnbürstenmodell B
	19:00 - 19:30	F	Dokumentation des Plaquebefalls nach dem Putzen

Tabelle 4.2 Zeitplan und Gruppeneinteilung der Probanden für das 2. Studienwochenende

Datum	Uhrzeit	Gruppe	Vorgehen
4. Juli 2008	13:00 - 18:15	A-C	Professionelle Zahnreinigung
	ab 18:15	D-F	
23. Juni 2008	17:00 - 17:50	A	Dokumentation des Plaquebefalls vor dem Putzen
	17:50 - 18:20	B	Putzen mit Zahnbürstenmodell B
	18:20 - 18:50	C	Dokumentation des Plaquebefalls nach dem Putzen
	18:50 - 19:30	D	Dokumentation des Plaquebefalls vor dem Putzen
	19:30 - 20:00	E	Putzen mit Zahnbürstenmodell A
	20:00 - 20:30	F	Dokumentation des Plaquebefalls nach dem Putzen

Anschließend erfolgte das Anfärben der Zähne, um die Plaqueakkumulation sichtbar zu machen und die Dokumentation des Plaquebefalls. Damit die Plaquebesiedlung vollständig erhalten blieb, wurde der Plaque-revelator tupfend aufgebracht und der Proband angewiesen, sich nur vorsichtig und mit wenig Wasser den Mund auszuspülen, um so gelöste Reste aus der Mundhöhle zu entfernen. Nach dem Anlegen des Retraktors, der einen besseren Blick in die Mundhöhle ermöglichte, wurden zunächst drei Dentalfotos des Probanden nach einem immer gleich ablaufenden Protokoll zur Dokumentation angefertigt (Abbildung 4.4, Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3 Protokoll zur Anfertigung der Dentalfotos

1.	Frontal	Zähne 13-23 (Spiegellose Aufnahme mit beidseitig angelegtem Retraktor, Abbildungsmaßstab 1:2,5)
2.	Rechtslateral	Zähne 13-16 (Gespiegelte Aufnahme mit Retraktor, Abbildungsmaßstab 1:2,5)
3.	Linkslateral	Zähne 23-26 (gespiegelte Aufnahme mit Retraktor, Abbildungsmaßstab 1:2,5)



Abbildung 4.4 Beispielhafte Dentalfotos, die von jedem Probanden vor dem Putzen (links) und nach dem Putzen (rechts) angefertigt wurden

Nachdem die Plaquebesiedlung vor dem Putzen dokumentiert worden war, erhielten die Probanden entsprechend ihrer Einteilung das Zahnbürstenmodell A oder B. Damit später eine genaue Zuordnung der Fotos zu den Probanden gewährleistet werden konnte, wurde auf einer Karteikarte das entsprechende Datum des Dokumentationstages, die Probandennummer, das Zahnbürstenmodell, die Durchlaufnummer, sowie die individuelle Anpresskraft des Probanden protokolliert.

Mit der zugeordneten Zahnbürste musste sich der Proband die Zähne zunächst im 2. Quadranten putzen, um zu verhindern, dass er sich an den standardisierten Vorgaben orientieren konnte.

Dabei wurde der Proband so positioniert, dass er von frontal gefilmt wurde. So konnten alle Variablen dokumentiert und später in einer Tabelle aufbereitet werden (Tabelle 4.4).

Tabelle 4.4 Tabelle in der für jeden Probanden das Zahnbürstenmodell, die Putztechnik, die Anpresskraft und die Händigkeit dokumentiert wurde. Dabei stand Putztechnik 1 für eine horizontale, Putztechnik 2 für eine rotatorische und Putztechnik 3 für eine rot-weiße Putztechnik. Die Anpresskraft wurde jeweils in Newton dokumentiert. Rechtshänder bekamen eine 1 und Linkshänder eine 2 zugeordnet.

Proband	Putztechnik		Anpresskraft		Händigkeit
	Zahnbürstenmodell A	Zahnbürstenmodell B	Zahnbürstenmodell A	Zahnbürstenmodell B	
1	2	2	1,00	3,00	1
2	2(Front), 3	2	1,20	2,50	1
3	3	2	1,50	1,75	1
4	2	2	1,50	2,00	1
5	2	2	1,00	1,50	1
6	2	1	0,80	3,00	1
7	2	2	2,00	2,75	1
8	1, 2	2 (Front), 3	2,50	3,50	1
9	2	2	2,00	1,50	1
10	2	2	1,25	4,50	1
11	3	3	1,00	2,25	1
12	3	3	1,75	1,50	1
13	2	2	1,50	3,50	1
14	1	1	1,75	2,00	1
15	1	1	2,00	2,25	2
16	3	3	2,25	2,25	2
17	2	2	1,75	1,00	1
18	2	2	1,25	1,75	1
19	2	2	1,50	2,25	1
20	2	2	2,00	2,00	1

Anschließend wurde der Proband für die standardisierte Putztechnik im 1. Quadranten mit Hilfe einer präparierten Waage auf eine Anpresskraft von 3,00 Newton kalibriert. Bei der Kalibrierung musste der Proband Putzbewegungen auf dem Unterkiefermodell ausführen, da die anfänglich kalibrierte Kraft bei einer Putzbewegung zunächst abfiel und entsprechend dynamisch korrigiert werden musste (Abbildung 4.1).

Damit alle Probanden die gleiche Putzdauer von 20 Sekunden in der horizontalen Putztechnik einhielten, wurde ein Video aufgenommen, in dem die Vorgaben demonstriert wurden. Dieses Video wurde ihnen zeitgleich in Augenhöhe vorgespielt, um ein Gefühl „wie vor dem Spiegel“ hervorzurufen. Dadurch musste der Proband nur noch die Bewegungen aus dem Video nachahmen (Abbildung 4.2). Durch das Video wurde gleichzeitig die Putzdauer kontrolliert (Stoppuhrfunktion).

In der Literatur wurde gezeigt, dass es nicht zu einer Verbesserung des Reinigungserfolges führt, wenn länger als 120 Sekunden geputzt wurde (McCracken et al., 2003).

Um Überlagerungen der beiden verschiedenen Putztechniken im Frontzahnbereich zu vermeiden, wurden die beiden 1. Inzisivi zu einer „verbotenen Zone“ erklärt, in der sich die Probanden die Zähne nicht putzen durften.

Nach dem Putzen der beiden Quadranten wurden ohne neues Anfärben der Zähne Dentalfotos zur Dokumentation angefertigt (Abbildung 4.4 und Tabelle 4.3).

Tabelle 4.5 Ablaufplan für die gesamte klinischen Studie vom 30. Mai bis zum 7. Juli 2008

1. Woche	Fr, 30. Mai 2008	Ausgabe der Zahnbürsten	„Wash-In“ Phase
	Sa		
	So		
	Mo		
	Di		
	Mi		
	Do		
	Fr		
2. Woche	Sa		
	So		
	Mo		
	Di		
	Mi		
	Do		
	Fr, 13. Juni 2008	Abgabe der Zahnbürsten	
Sa			
So			
Mo			
Di			
Mi			
Do			
3. Woche	Fr, 20. Juni 2008	Professionelle Zahnreinigung	1. Studienwochenende
	Sa		
	So		
	Mo, 23. Juni 2008	Untersuchung	„Wash-Out“ Phase
	Di		
	Mi		
	Do		
Fr			
4. Woche	Sa		
	So		
	Mo		
	Di		
	Mi		
	Do		
	Fr, 4. Juli 2008	Professionelle Zahnreinigung	2. Studienwochenende
Sa			
So			
Mo, 7. Juli 2008	Untersuchung		

4.4. Hilfsmittel

Bevor die Probanden am Freitag des jeweiligen Studienwochenendes ihre Mundhygiene für 72 Stunden einstellten, wurde bei allen Probanden eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt, durch die eine plaquefreie Mundhöhle erreicht wurde. Dabei kam ein Polierkelch (Prophy-Kelche®; Fa. Hager & Werken GmbH & Co KG, Duisburg, Deutschland) mit Polierpaste (Miraclean®; Fa. Hager & Werken GmbH & Co KG, Duisburg, Deutschland) zur Anwendung.

Hiermit wurde sichergestellt, dass kein Zahnstein und keine matrierte Plaque die Entfernbarkeit der Plaque von der Zahnoberfläche beeinträchtigen konnte. Nach Ablauf von 72 Stunden Plaque-Akkumulation (3-day plaque regrowth) wurde die entstanden Plaque sichtbar gemacht. Dazu wurde ein Plaquerevelator (Mira-2-Ton®; Fa. Hager & Werken GmbH & Co KG) verwendet.

Für die Dokumentation der entstandenen Plaque wurde eine Fotokamera (Nikon D70) und eine Videokamera (Sony HC1E (auf Stativ)) verwendet.

Damit die Fotos die Plaque auf dem gesamten Zahn, insbesondere in den Zahnzwischenräumen gut darstellen konnten, war es wichtig, die Aufnahmen möglichst senkrecht zur Zahnachse zu erstellen und die Mundhöhle gut auszuleuchten. Im Vorfeld fand daher eine Kalibrierung statt, um reproduzierbare Fotos für eine optimale Auswertung zu erhalten. Dafür wurden ein Objektiv (Micro Nikkor 105 mm / 2,8), ein Blitz (Nikon Makroblitz R1), ein einseitiger Retraktor (2x: Mirahold®; Fa. Hager & Werken GmbH & Co KG, Duisburg, Deutschland) und ein Lateralspiegel (Rhodiumbeschichtet, Fa. Doctorseyes) verwendet. Damit bei der späteren Auswertung die individuelle Anpresskraft eines jeden Probanden mit in die Auswertung einfließen konnte, wurde vor der Untersuchung jeweils die Anpresskraft, mit Hilfe einer herkömmlichen Waage (Abbildung 4.4), auf der eine Unterkiefer-Zahnreihe fixiert wurde, ermittelt.

4.5. Verblindung

Der während der klinische Studie angefertigte Fotostatus wurde vor der Übermittlung an den Untersucher (Autor dieser Schrift) codiert. Durch die Codierung hatte der Untersucher während der Auswertung keine Möglichkeit, Rückschlüsse auf das getestete Zahnbürstenmodell oder den Probanden zu ziehen.

Während der statistischen Auswertung blieb die Verblindung erhalten, sodass auch die Statistikerin keine Rückschlüsse auf das Zahnbürstenmodell oder den Probanden ziehen konnte. Erst zum Gutachten wurde die Verblindung aufgelöst.

4.6. Fotostatus

Der Fotostatus wurde fortlaufend nummeriert und so sortiert, dass weder der Untersucher noch die Statistikerin Rückschlüsse auf die Identität eines bestimmten Probanden ziehen konnte. Wie im Absatz 4.5 beschrieben, wurden die Daten zunächst codiert und anschließend an den Untersucher weitergegeben, der bei der klinischen Untersuchung nicht anwesend war und so eine völlig unabhängige Auswertung durchführen konnte. Ihm dienten zur Kalibrierung die methodischen Vorgaben nach Claydon und Addy (Absatz 3.2.3). Nach diesem Index wird jede Zahnfläche mit den Buchstaben A bis I in neun Felder eingeteilt (Abbildung 3.2). Diese Felder sind so gewählt, dass sie in Bereichen häufiger Plaquebesiedlung kleiner und in den Bereichen seltener Plaquebesiedlung größer sind. Das heisst, dass im approximalen Bereich und im Bereich des Sulkus die Felder kleiner sind und in den inzisalen bzw. okklusalen Bereichen größer. In der Planimetrie gilt ein Feld immer dann als positiv, sobald in ihm Plaque zu finden ist. Es wird dann mit einer 1 bezeichnet. Ist es frei von Plaque, bekommt es die Ziffer 0. Die anatomischen Bezugspunkte für die Einteilung der Plaqueareale sind dabei der gingivale Sulkus, der approximale Kontaktpunkt, die vertikale Mittellinie und der anatomische Äquator.

Um bei der Auswertung des Fotostatus eine Vergleichbarkeit der Betrachtung gewährleisten zu können, fand sie ausschließlich an einem Arbeitsplatz statt (IBM Thinkpad® T60, Lenovo, Raleigh, USA). Die Eintragung der Befunde wurde in Tabellenform ausgeführt, wofür das Programm Excel genutzt wurde (Tabelle 5.1 bis 5.4).

4.7. Statistik

In der vorliegenden Studie wurden für den Plaquebefall vor der Reinigung der Zähne mit Zahnbürstenmodell A und B Tests auf Ausreißer nach Grubbs durchgeführt (Rinne, 2003). Es stellte sich heraus, dass es keine systematische Abweichung einzelner Probanden in einem Durchlauf gab. Lediglich in 3 Fällen musste bei einem Signifikanzniveau von 5% die Nullhypothese, dass es sich bei dem Plaquebefall eines einzelnen Zahnes nicht um einen Ausreißer handelt, verworfen werden. Es ergibt sich für diese Studie somit ein Stichprobenumfang von $n=20$.

Für alle verwendeten Datenreihen waren Mittelwert und Varianz sinnvoll interpretierbar. Die aufgestellten Unterschiedshypothesen konnten somit mittels t-Tests überprüft werden. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs wurde zur Bestimmung der Zufallswahrscheinlichkeit eines berechneten t-Wertes, die entsprechende Tabelle der t-Verteilung zu Hilfe genommen. Da es sich bei den Daten um Messwiederholungen mit derselben Gruppe von Probanden handelte, wurde mittels Standard-t-Test untersucht, ob die Differenz der Reinigungsleistung beider Zahnbürsten signifikant vom Mittelwert Null verschieden war. Ein direkter Vergleich des Reinigungserfolges beider Zahnbürsten hätte aufgrund der zweifachen Berücksichtigung der individuell verschiedenen Varianz zu verzerrten Ergebnissen geführt. Der t-Test für abhängige Stichproben berücksichtigte dies, indem er untersuchte, ob sich die Differenz der Messwertpaare signifikant von Null unterschied (Bortz, 2005). Es wurden zweiseitige Tests benötigt, da im Vorhinein nicht von einer systematischen einseitigen Abweichung der Differenz vom Mittelwert Null, ausgegangen werden konnte.

Die untersuchten Daten erfüllten in einigen Fällen nicht die Grundvoraussetzung einer Normalverteilung. Obwohl der t-Test auch bei verbundenen Stichproben relativ robust auf eine Verletzung dieser Voraussetzung reagiert, wurden die Zeitreihen parallel einem Vorzeichen-Rangtest nach Wilcoxon unterzogen (Rinne, 2003; Bortz, 2005). Hierbei handelte es sich um einen verteilungsfreien Test, welcher lediglich eine Ordinalskalierung der untersuchten Daten voraussetzte. Der Wilcoxon-Test überprüfte, ob eine signifikante Abweichung der Differenz des Reinigungserfolges vom Median Null vorlag. Die Ergebnisse des Wilcoxon-Tests wurden nur dann protokolliert, wenn sie im Vergleich zu dem t-Test zu einem abweichenden Ergebnis führten.

Für die Verarbeitung der Daten und Tests wurden die Programme Microsoft Excel und EViews verwendet.

In Absatz 5.1 erfolgte zunächst eine deskriptive Analyse der Ausgangsdaten. Statistische Tests gingen der Frage nach, inwiefern sich der Reinigungserfolg der beiden Zahnbürsten in signifikantem Maße voneinander unterschied. Dabei wurden zunächst die Indexwerte, anschließend die Zähne und abschließend die einzelnen Zahnfelder analysiert.

In Absatz 5.2 handelte es sich um eine multivariate Analyse des untersuchten Sachverhaltes. Hier sollte – über die Frage nach der Vorteilhaftigkeit einer der beiden Zahnbürsten hinaus - insbesondere der Frage nachgegangen werden, ob eines der beiden verwendeten Verfahren (Festlegung möglichst vieler Parameter versus Protokollierung ihrer Variation) zu bevorzugen war. Darüber hinaus sollte untersucht werden, welche zusätzlichen Erkenntnisse sich aus der Modifikation der Versuchsanordnung ableiten ließen.

5. Ergebnisse

5.1. Univariate und Bivariate Analyse

5.1.1. Belastung der Zahnfelder mit Plaque vor dem Putzen

In den Tabellen 5.1 und 5.2 ist die Plaquebelastung der jeweiligen Zahnfelder an den einzelnen Zähnen vor dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell A bzw. dem Zahnbürstenmodell B im 1. Quadranten zu sehen. Nach der planimetrischen Auswertung konnte ein Zahnfeld maximal den Wert 20 erhalten, wenn bei allen Probanden das jeweilige Zahnfeld von einem Biofilm belegt gewesen ist (z.B Zahn 14 im Zahnfeld C). Dahingegen hätte ein Minimalwert von 0 ausgesagt, dass keines der Zahnfelder belegt gewesen wäre.

Dieser Ausgangsbefund wurde für alle Probanden zweimal für beide Quadranten, jeweils vor dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell A und B erhoben. In den folgenden Tabellen 5.1 bis 5.4 ist die Anfangsbelastung für die einzelnen Zahnfelder abzulesen.

Tabelle 5.1: Plaquebelastung der jeweiligen Zahnfelder an den einzelnen Zähnen vor dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell A im 1. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 12	20	20	20	20	19	20	18	16	12	165
Zahn 13	20	20	20	20	19	20	18	17	12	166
Zahn 14	20	20	20	20	19	20	18	14	7	158
Zahn 15	20	20	20	20	20	20	17	16	7	160
Zahn 16	20	20	20	20	20	20	20	19	8	167
Summe	100	100	100	100	97	100	91	82	46	816

Tabelle 5.2: Plaquebelastung der jeweiligen Zahnfelder an den einzelnen Zähnen vor dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell B im 1. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 12	20	20	20	20	19	20	19	18	10	166
Zahn 13	20	20	20	20	18	20	19	16	10	163
Zahn 14	20	20	20	20	20	20	18	15	9	162
Zahn 15	20	20	20	20	20	20	19	15	10	164
Zahn 16	20	20	20	20	19	20	20	20	14	173
Summe	100	100	100	100	96	100	95	84	53	828

Tabelle 5.3: Plaquebelastung der jeweiligen Zahnfelder an den einzelnen Zähnen vor dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell A im 2. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 22	20	20	20	20	20	20	17	15	10	160
Zahn 23	20	20	20	20	19	20	16	16	10	160
Zahn 24	20	20	20	20	20	20	18	16	9	161
Zahn 25	19	20	20	20	20	20	18	15	10	158
Zahn 26	20	20	20	20	20	20	20	20	14	170
Summe	99	100	100	100	99	100	89	82	40	809

Tabelle 5.4: Plaquebelastung der jeweiligen Zahnfelder an den einzelnen Zähnen vor dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell B im 2. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 22	20	20	20	20	18	20	14	5	11	158
Zahn 23	20	20	20	20	20	20	17	19	12	168
Zahn 24	20	20	20	20	20	20	19	15	7	161
Zahn 25	20	20	20	20	20	20	18	17	7	162
Zahn 26	20	20	20	20	20	20	19	19	13	171
Summe	100	100	100	100	98	100	87	85	50	820

Sowohl im 1. als auch im 2. Quadranten waren die marginal liegenden Zahnfelder B und C und die approximal liegenden Zahnfelder D und F jeweils an jedem Zahn und bei jedem Probanden mit Plaque belegt. Nur in einem Fall war das 3. marginal liegende Feld A am Zahn 25 nicht mit Plaque belegt. In den weiter inzisal bzw. okklusal liegenden Zahnfeldern nahm die Plaquebelastung immer weiter ab, sodass an allen Zähnen und in beiden Quadranten die Plaquebelastung im Zahnfeld I am geringsten war.

Die Plaquebelastung ist an beiden Wochenenden in beiden Quadranten mit Gesamtwerten zwischen 809 (90% aller Zahnfelder) und 828 (92% aller Zahnfelder) von möglichen 900 belegten Zahnfeldern zum einen vergleichbar gewesen und zum anderen hoch.

5.1.2. Relativer Reinigungserfolg mit standardisierter Putztechnik

Im 1. Quadranten mussten sich die Probanden die Zähne nach standardisierten Vorgaben putzen. Dabei war eine Anpresskraft von 3,00 Newton, eine horizontale Putztechnik und eine Putzdauer von 20 Sekunden einzuhalten.

In den beiden folgenden Tabellen 5.5 und 5.6 sind die jeweiligen Putzergebnisse für Zahnbürstenmodell A und B in absoluten Zahlen zu sehen. Demnach wurden, wie in Absatz 5.1.1, alle gereinigten Zahnfelder für einen bestimmten Zahn zusammenaddiert, die vor dem Putzen mit einer Plaque belegt, nach dem Putzen aber frei von Plaque waren. So konnte sich für ein Zahnfeld ein absoluter Reinigungserfolg von maximal 20 ergeben, wenn vor dem Putzen alle zwanzig Probanden ein belegtes Zahnfeld hatten und nach dem Putzen bei allen Probanden das Zahnfeld gereinigt war. Diesen maximal möglichen absoluten Reinigungserfolg gab es z.B. am Zahn 15 im Zahnfeld E.

Tabelle 5.5: Zahnfelder im 1. Quadranten, die vor dem Putzen mit Zahnbürstenmodell A mit Plaque belegt waren, nach dem Putzen aber frei von Plaque waren.

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	gesamt
Zahn 12	2	3	12	1	12	12	12	11	6	71
Zahn 13	6	5	14	1	18	14	15	15	9	97
Zahn 14	10	7	13	5	18	10	14	11	6	94
Zahn 15	13	6	13	8	20	16	16	13	7	112
Zahn 16	10	9	15	3	17	13	16	17	7	107
Mittelwert	41	30	67	18	85	65	73	67	35	481

Tabelle 5.6: Zahnfelder im 1. Quadranten, die vor dem Putzen mit Zahnbürstenmodell B mit Plaque belegt waren, nach dem Putzen aber frei von Plaque waren.

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	gesamt
Zahn 12	4	9	11	1	16	15	11	16	2	85
Zahn 13	6	11	15	2	17	16	11	13	7	98
Zahn 14	12	14	18	7	17	13	11	11	9	112
Zahn 15	8	9	16	4	19	14	12	12	10	104
Zahn 16	9	10	15	2	17	11	12	14	10	100
Mittelwert	39	53	75	16	86	69	57	66	38	499

Die absoluten Zahlen der beiden Tabellen haben jedoch nur eine begrenzte Aussagekraft. Der Wert 10 am Zahn 16 im Feld I besagt z.B., dass das Feld I im 2. Quadranten bei 10 der 20 Probanden vor dem Putzen plaquebehaftet war und nach dem Putzen frei von Plaque war. Dabei

wird aber nicht deutlich, ob vorher bei 20 Probanden das Feld mit Plaque behaftet war und nur die Hälfte es reinigen konnte oder ob nur bei 10 Probanden das Feld I mit Plaque behaftet war und jeder in der Lage war, es von Plaque zu befreien.

Daher war es notwendig, im nächsten Schritt den relativen Reinigungserfolg zugrunde zu legen. Dabei wird nur der Anteil der Zähne berechnet, bei dem das Feld vor dem Putzen mit Plaque behaftet gewesen ist und nach dem Putzen frei von Plaque war. Die beiden folgenden Tabellen 5.7 und 5.8 zeigen den relativen Reinigungserfolg für das Zahnbürstenmodell A und B bei standardisierter Vorgehensweise im 1. Quadranten.

Die relativen Reinigungserfolge in Tabelle 5.7 und 5.8 ergeben sich dabei aus den Anfangsbelastungen aus Tabelle 5.1 bis 5.2 und aus den absoluten Reinigungserfolgen aus den Tabellen 5.5 und 5.6. Bei der Reinigung mit dem Zahnbürstenmodell B ergab sich z.B. für das Zahnfeld E am Zahn 13 eine Anfangsbelastung von 18. In Tabelle 5.6 ist abzulesen, dass es zu einem absoluten Reinigungserfolg von 17 kam. Aus diesen beiden Werten ergibt sich der relative Putzerfolg von 0,94 (94%), wie in Tabelle 5.7 abzulesen ist.

Tabelle 5.7: Relativer Reinigungserfolg in den einzelnen Zahnfeldern der jeweiligen Zähne nach dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell A im 1. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 12	0,10	0,15	0,60	0,05	0,63	0,60	0,67	0,69	0,50	0,43
Zahn 13	0,30	0,25	0,70	0,05	0,95	0,70	0,83	0,88	0,75	0,58
Zahn 14	0,50	0,35	0,65	0,25	0,95	0,50	0,78	0,79	0,86	0,59
Zahn 15	0,65	0,30	0,65	0,40	1,00	0,80	0,94	0,81	1,00	0,70
Zahn 16	0,50	0,45	0,75	0,15	0,85	0,65	0,80	0,89	0,88	0,64
Mittelwert	0,41	0,30	0,67	0,18	0,88	0,65	0,80	0,82	0,76	0,59

Tabelle 5.8: Relativer Reinigungserfolg in den einzelnen Zahnfeldern der jeweiligen Zähne nach dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell B im 1. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 12	0,20	0,45	0,55	0,05	0,84	0,75	0,58	0,89	0,20	0,51
Zahn 13	0,30	0,55	0,75	0,10	0,94	0,80	0,58	0,81	0,70	0,60
Zahn 14	0,60	0,70	0,90	0,35	0,85	0,65	0,61	0,73	1,00	0,69
Zahn 15	0,40	0,45	0,80	0,20	0,95	0,70	0,63	0,80	1,00	0,63
Zahn 16	0,45	0,50	0,75	0,10	0,89	0,55	0,60	0,70	0,71	0,58
Mittelwert	0,39	0,53	0,75	0,16	0,90	0,69	0,60	0,79	0,72	0,60

Es kann festgestellt werden, dass die Reinigungsleistung sowohl von Modell A als auch von Modell B ähnlich ist. Während Modell A 59% aller Felder reinigt, reinigt Modell B 60% aller

Zahnfelder. In der Abbildung 5.1 werden die relativen Reinigungserfolge an den Zähnen mit Hilfe eines Säulendiagramms dargestellt.

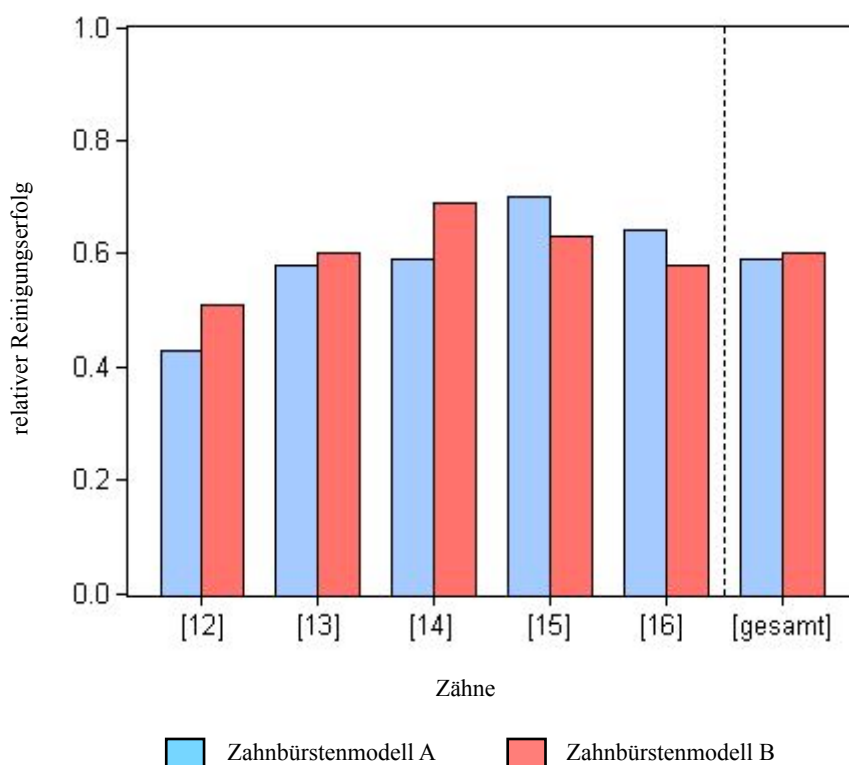


Abbildung 5.1: Vergleich des relativen Reinigungserfolges der Zahnbürstenmodelle A und B – Differenzierung nach den untersuchten Zähnen, 1. Quadrant

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse noch genauer betrachtet. Dazu wird untersucht, inwiefern die Zahnbürsten die einzelnen Zähne unterschiedlich reinigen. Im zweiten Schritt wird dann untersucht, ob die Zahnbürsten die einzelnen Zahnfelder unterschiedlich von Plaque befreien.

Um dies beurteilen zu können, wird jeweils mit Hilfe eines Signifikanztests untersucht, ob die Schwankungen in den Reinigungsergebnissen der Zähne bzw. der einzelnen Zahnfelder ein signifikantes Ausmaß erreichen oder ob es sich um zufällig entstehende Unterschiede handelt.

Tabelle 5.9: Signifikanztests für den relativen Reinigungserfolg bei einzelnen Zähnen im 1. Quadranten

Zahn	t-Test
12	-1,38
13	-0,51
14	-2,07*
15	1,33
16	1,20
Gesamt	-0,53

Wie in der Tabelle 5.9 zu sehen, ist die höchste Differenz beim Zahn 14. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10% (*) könnte davon ausgegangen werden, dass die Zahnbürste B den Zahn 14 signifikant besser reinigt, als die Zahnbürste A. Wenn wir jedoch von einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% (**) ausgehen, weicht der Wert am Zahn 14 dennoch nicht signifikant ab.

Im zweiten Schritt werden, wie oben beschrieben, die einzelnen Zahnfelder miteinander verglichen. Es ist festzustellen, dass die beiden Zahnbürsten im Bereich des Gingivasaumes eine durchschnittliche Reinigungsleistung von 50% aufweisen. Am schlechtesten wird von Zahnbürstenmodell A und B das Zahnfeld D mit nur 18% bzw. 16% gereinigt. Mit relativen Reinigungserfolgen zwischen 60% und 80% wird das Zahnfeld G von beiden Zahnbürstenmodellen am besten gereinigt.

Ein erneut durchgeführter Signifikanztest zeigt, dass die beiden Zahnbürstenmodelle bei einem Signifikanzniveau von 5% (**) in zwei Zahnfeldern signifikant unterschiedliche Reinigungsergebnisse liefern.

Tabelle 5.10: Signifikanztest für den relativen Reinigungserfolg der einzelnen Zahnfelder im 1. Quadranten.

Zahnfeld	t-Test
A	0,23
B	-2,53**
C	-0,97
D	0,36
E	-0,29
F	-0,39
G	2,30**
H	0,46
I	-0,31

So wird das Zahnfeld B von Zahnbürstenmodell B mit 53% gereinigter Felder deutlich besser gereinigt, als von Zahnbürstenmodell A, dass nur 30% der entsprechenden Zahnfelder reinigt. Umgekehrt verhält es sich im Zahnfeld G. Hier reinigt Zahnbürstenmodell A 80% der Flächen, wohingegen Zahnbürstenmodell B nur 60% der entsprechenden Zahnfelder reinigen kann. Es ist anzunehmen, dass für diesen Befund keine allgemeine Abweichung, sondern vielmehr das unterschiedliche Bürstenkopfdesign verantwortlich ist (Abbildung 4.1).

In der folgenden Abbildung 5.2 werden die relativen Reinigungserfolge an den einzelnen Zahnfeldern dargestellt. Auf der Abszisse sind die einzelnen Zahnfelder aufgetragen. Dabei sind die Zahnfelder, die bei einem Signifikanzniveau von 5% nicht signifikant voneinander abweichen mit einer eckigen Klammer markiert, wohingegen die Zahnfelder die signifikant voneinander abweichen ohne Klammer aufgetragen worden sind. Auf der Ordinate ist der Anteil der Zahnfelder aufgetragen, die vollständig gereinigt werden konnten und zuvor plaque-behaftet gewesen sind.

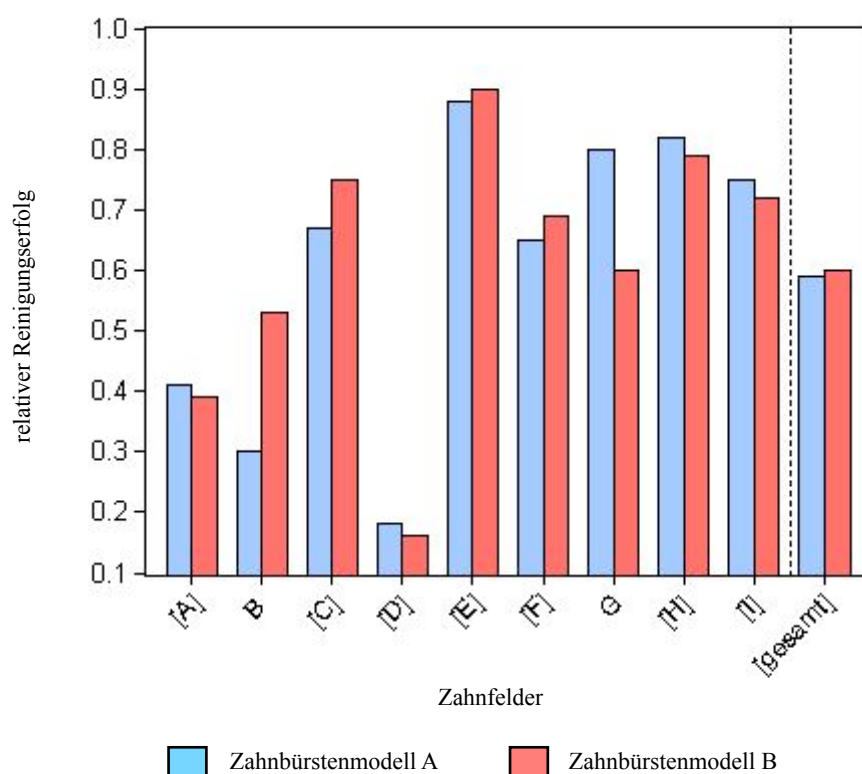


Abbildung 5.2: Vergleich des relativen Reinigungserfolges der Zahnbürstenmodelle A und B – Differenzierung nach den untersuchten Zahnfeldern im 1. Quadranten

Es ist festzustellen, dass sich die Reinigungsleistung der beiden Zahnbürstenmodelle bei der standardisierten Vorgehensweise bei einem Signifikanzniveau von 5% nur in nicht signifikantem Ausmaß voneinander unterscheiden. Dieses Ergebnis bestätigt sich ebenfalls bei der isolierten Betrachtung der einzelnen Zähne und bei der einzelnen Betrachtung der meisten Zahnfelder. Hier kommt es in nur zwei Fällen zu einer signifikanten Abweichung, was durch fehlende eckige Klammern an den jeweiligen Zahnfeldern in Abbildung 5.2 markiert wurde. Zahnfeld B wird von Zahnbürstenmodell B, das Zahnfeld G vom Zahnbürstenmodell A signifikant besser gereinigt.

5.1.3. Relativer Reinigungserfolg mit habitueller Putztechnik

Wie in Absatz 4.3 dargestellt, konnten sich die Probanden im 2. Quadranten ihre Zähne habituell, ohne dass ihnen eine bestimmte Putztechnik oder ein bestimmter Anpressdruck vorgegeben wurde, putzen.

In den beiden folgenden Tabellen werden wieder zunächst die absoluten Reinigungserfolge der Zahnbürstenmodelle A und B dargestellt.

Tabelle 5.11: Zahnfelder im 2. Quadranten, die vor dem Putzen mit Zahnbürstenmodell A mit Plaque belegt waren, nach dem Putzen aber frei von Plaque waren

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 22	5	6	14	1	18	17	12	11	5	89
Zahn 23	10	11	14	5	18	13	13	15	8	107
Zahn 24	13	11	11	7	20	12	16	16	5	111
Zahn 25	10	13	17	11	20	17	16	14	6	124
Zahn 26	12	9	14	11	20	15	19	19	9	128
Mittelwert	50	50	70	35	96	74	76	75	33	559

Tabelle 5.12: Zahnfelder im 2. Quadranten, die vor dem Putzen mit Zahnbürstenmodell B mit Plaque belegt waren, nach dem Putzen aber frei von Plaque waren

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 22	4	7	15	3	17	10	10	12	8	86
Zahn 23	12	12	15	8	19	12	14	18	11	121
Zahn 24	15	10	15	9	18	10	16	15	7	115
Zahn 25	12	16	15	9	19	12	14	15	6	118
Zahn 26	12	12	15	4	20	12	16	18	12	121
Mittelwert	55	57	75	33	93	56	70	78	44	561

Wie schon bei der standardisierten Vorgehensweise haben die absolut gereinigten Zahnfelder nur eine begrenzte Aussagekraft. Aus diesem Grund war es notwendig auch für die habituelle Vorgehensweise den relativen Reinigungserfolg zu bestimmen. Vergleicht man vorab die absoluten Reinigungserfolge der beiden Zahnbürstenmodelle A und B, so fällt mit 559 bzw. 561 eine sehr ähnliche Reinigungsleistung auf. Dementsprechend ist in den Tabellen 5.13 und 5.14 zu sehen, dass die relativen Reinigungserfolge ebenfalls sehr ähnlich sind.

Tabelle 5.13: Relativer Reinigungserfolg in den einzelnen Zahnfeldern der jeweiligen Zähne nach dem Putzen mit der Zahnbürstenmodell A im 2. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 22	0,25	0,30	0,70	0,05	0,90	0,85	0,71	0,73	0,63	0,56
Zahn 23	0,50	0,55	0,70	0,25	0,95	0,65	0,81	0,94	0,89	0,67
Zahn 24	0,65	0,55	0,55	0,35	1,00	0,60	0,89	1,00	0,71	0,69
Zahn 25	0,53	0,65	0,85	0,55	1,00	0,85	0,89	0,93	1,00	0,78
Zahn 26	0,60	0,45	0,70	0,55	1,00	0,75	0,95	0,95	0,90	0,75
Mittelwert	0,51	0,50	0,70	0,35	0,97	0,74	0,85	0,91	0,83	0,69

Tabelle 5.14: Relativer Reinigungserfolg in den einzelnen Zahnfeldern der jeweiligen Zähne nach dem Putzen mit der Zahnbürstenmodell B im 2. Quadranten

	Feld A	Feld B	Feld C	Feld D	Feld E	Feld F	Feld G	Feld H	Feld I	Gesamt
Zahn 22	0,20	0,35	0,75	0,15	0,94	0,50	0,71	0,80	0,73	0,54
Zahn 23	0,60	0,60	0,75	0,40	0,95	0,60	0,82	0,95	0,92	0,72
Zahn 24	0,75	0,50	0,75	0,45	0,90	0,50	0,84	1,00	1,00	0,71
Zahn 25	0,60	0,80	0,75	0,45	0,95	0,60	0,78	0,88	0,86	0,73
Zahn 26	0,60	0,60	0,75	0,20	1,00	0,60	0,84	0,95	0,92	0,71
Mittelwert	0,55	0,57	0,75	0,33	0,95	0,56	0,80	0,92	0,88	0,68

In Abbildung 5.3 werden die relativen Reinigungserfolge an den Zähnen mit Hilfe eines Säulendiagramms dargestellt. Die eckigen Klammern zeigen jeweils, dass sich die Reinigungserfolge in nicht-signifikanter Höhe unterscheiden.

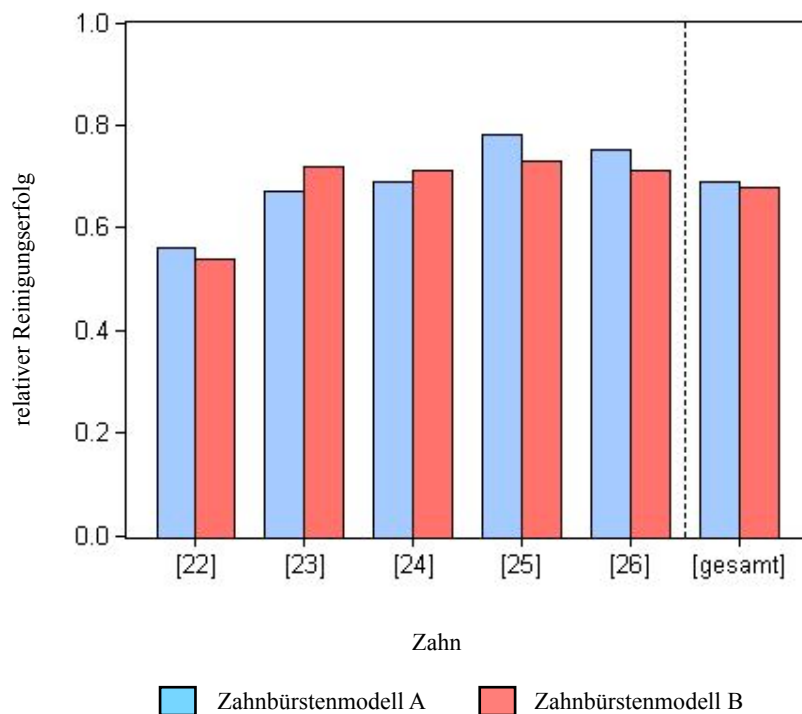


Abbildung 5.3: Vergleich des relativen Reinigungserfolges der Zahnbürstenmodelle A und B – Differenzierung nach den untersuchten Zähnen des 2. Quadranten

Nun erfolgt erneut die genauere Betrachtung der einzelnen Putzergebnisse. Zunächst werden die einzelnen Zähne und anschließend die einzelnen Zahnfelder miteinander verglichen.

Im Signifikanztest für die einzelnen Zähne in Tabelle 5.15 kann gezeigt werden, dass die größten Abweichungen an den Zähnen 23, 25 und 26 vorliegen. Gehen wir erneut von einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% aus, so unterscheiden sich die Reinigungsleistungen der Zahnbürstenmodelle A und B nicht signifikant voneinander.

Tabelle 5.15: Signifikanztests für den relativen Reinigungserfolg der einzelnen Zähne im 2. Quadranten

Zahn	t-Test
22	0,38
23	-1,08
24	-0,48
25	1,06
26	1,33
Gesamt	0,10

Im zweiten Schritt erfolgt der Signifikanztest für die einzelnen Zahnfelder. Die größten Abweichungen sind an den Zahnfeldern F und I zu erkennen. Wird auch hier eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% zugrunde gelegt, so kommt man zu dem Ergebnis, dass sich die Zahnbürstenmodelle A und B nur in einem nicht-signifikanten Ausmaß voneinander unterscheiden.

Tabelle 5.16: Signifikanztests für den relativen Reinigungserfolg der einzelnen Zahnfelder im 2. Quadranten

Zahnfeld	t-Test
A	-0,43
B	-0,96
C	-0,58
D	0,27
E	0,70
F	1,59
G	0,59
H	-0,11
I	-1,17

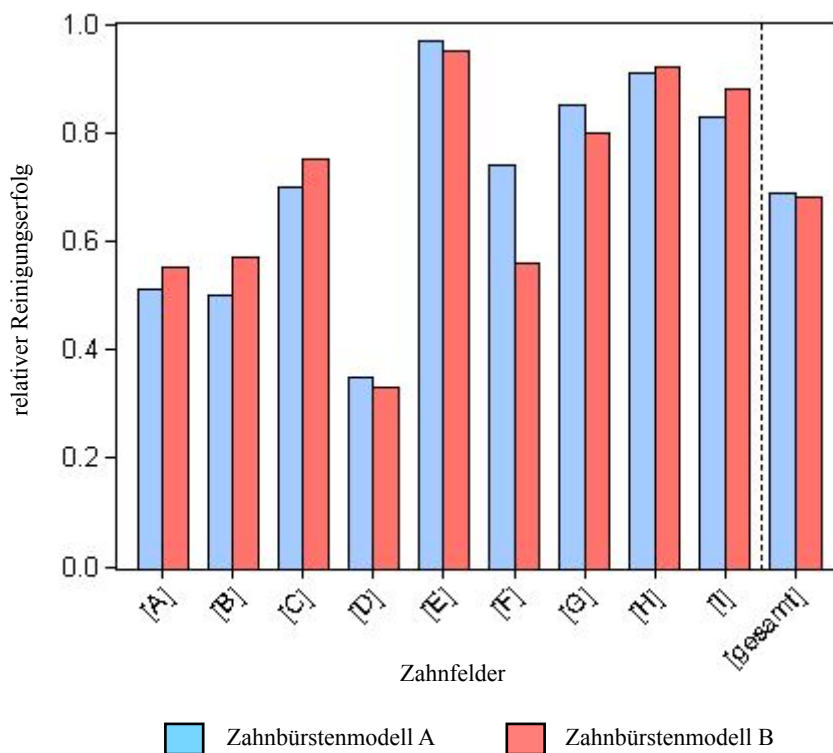


Abbildung 5.4: Vergleich des relativen Reinigungserfolges der Zahnbürstenmodelle A und B – Differenzierung nach den untersuchten Zahnfeldern des 2. Quadrant

In Abbildung 5.4 werden anhand eines Säulendiagramms die relativen Reinigungserfolge der einzelnen Zahnfelder durch die beiden Zahnbürstenmodelle A und B miteinander verglichen. Dabei liegen die Daten der jeweiligen Zahnfelder der einzelnen Zähne des 2. Quadranten zugrunde. Es zeigt sich im Zahnfeld D der schlechteste Reinigungserfolg, aber wie schon in Tabelle 5.16 gezeigt, unterscheiden sich dabei die einzelnen Zahnbürsten bei einem angesetzten Signifikanzniveau von 5% nicht signifikant voneinander, was erneut durch die eckigen Klammern an den einzelnen Zahnfeldern markiert wurde.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse für die habituelle Vorgehensweise im 2. Quadranten zeigen, dass sich die beiden Zahnbürstenmodelle A und B im Hinblick auf ihren relativen Reinigungserfolg nur in nicht-signifikantem Maße voneinander unterscheiden, wenn eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% zugrunde gelegt wird.

5.1.4. Vergleich der beiden verwendeten Verfahren

Bei der standardisierten Vorgehensweise im 1. Quadranten wird wie bei bisher üblichen Studien verfahren. Es wird versucht alle Probanden so zu kalibrieren, dass sie sich so weit es geht, nur hinsichtlich ihrer Anatomie unterscheiden, um die ermittelten Reinigungsleistungen weitestgehend auf die verschiedenen Zahnbürstenmodelle zurückführen zu können. Es zeigte sich, dass die beiden Zahnbürstenmodelle nur in zwei Zahnfeldern (B und G) eine unterschiedlich starke Reinigungsleistung hatten. Betrachtet man die Reinigungsleistung der beiden Zahnbürstenmodelle über alle Zähne hinweg, so unterscheiden sie sich nicht gravierend.

Bei der habituellen Vorgehensweise im 2. Quadranten sollen die Probanden sich möglichst so die Zähne putzen, wie sie es im Alltag gewohnt sind. Das heißt, dass sie sich nicht nur hinsichtlich ihrer Anatomie unterscheiden sollen sondern auch hinsichtlich ihrer individuellen Putztechnik, ihrer speziellen Anpresskraft und durch ihre Händigkeit.

Beim Vergleich der beiden Verfahren fällt auf, dass es beim relativen Reinigungserfolg im 2. Quadranten mit der habituellen Vorgehensweise zu einem um 10 Prozentpunkte (16,95%) besseren relativen Reinigungserfolg beim Zahnbürstenmodell A kommt (Tabelle 5.7 und 5.13), um einen um 8 Prozentpunkte (15,00%) besseren Reinigungserfolg beim Zahnbürstenmodell B (Tabelle 5.8 und 5.14) im Vergleich zu den Ergebnissen aus dem 1. Quadranten mit der standardisierten Vorgehensweise. Desweiteren zeigen sowohl die Ergebnisse der standardisierten als auch der habituellen Vorgehensweise, dass es zu einem besseren Putzerfolg bei den Zahnfeldern kommt, die fern des Zahnfleischsaums liegen, im Vergleich zu den Zahnfeldern die im Bereich des Zahnfleischsaums liegen. Insbesondere das Zahnfeld D weist sowohl bei der standardisierten als auch bei der habituellen Vorgehensweise einen besonders schlechten relativen Putzerfolg auf (Abbildung 5.4).

Im 1. Quadranten unterschieden sich die beiden Zahnbürstenmodelle in den Zahnfeldern B und G jeweils signifikant. Im 2. Quadranten unterschieden sich die Zahnbürstenmodelle hinsichtlich ihrer Reinigungsleistung nicht mehr signifikant voneinander. Es ist zu vermuten, dass die Probanden durch ihre individuelle Putztechnik, die Schwächen der jeweiligen Zahnbürstenmodelle weitestgehend ausgleichen konnten. Aufgrund der bivariaten Analyse können keine weiteren Schlussfolgerungen gezogen werden. Erst in der folgenden multivariaten Statistik soll versucht werden, ob die unterschiedlichen Ergebnisse auf eine der

Kontrollvariablen zurückzuführen sind und ob sich weitere signifikante Unterschiede zwischen den beiden Zahnbürstenmodellen nachweisen lassen.

5.2. Multivariate Analyse

Während die unterschiedlichen Reinigungserfolge im 1. Quadranten nur auf die jeweiligen Zahnbürstenmodelle zurückzuführen waren, kam es im 2. Quadranten durch die habituelle Putztechnik zu zusätzlichen Variablen, die die Reinigungsleistung der beiden Zahnbürsten zusätzlich beeinflussten. Diese zusätzlichen Variablen finden in einer Regressionsanalyse Verwendung, wozu verschiedene Variablen aufgestellt wurden.

Die erste Variable stellt die verschiedenen Putztechniken der Probanden dar. Jeder Proband wurde einer der drei folgenden Gruppen zugeordnet. Die erste Gruppe umfasst die Probanden, die die rotatorische Putztechnik nutzten, welche in den folgenden Auswertungen als Putz_{Rot} bezeichnet werden. Diese Putztechnik wurde von den meisten Probanden verwendet. Die zweite Gruppe umfasst die Rot-Weiß-Technik, die in den folgenden Auswertungen als Putz_{Rw} bezeichnet wird. Der dritten Gruppe wurden die Probanden zugeordnet, die eine horizontal schrubbende Putztechnik nutzten. Für die rotierende Putztechnik und die Rot-Weiß-Technik wurde jeweils eine 0/1-Variable in die jeweilige Regressionsgleichung mit aufgenommen. Bei Probanden, die verschiedene Putztechniken nutzten, wurden bei der Regressionsanalyse des Reinigungserfolges der einzelnen Zähne den jeweiligen Zähnen die jeweilige Putztechnik zugeordnet. Die Dummyvariablen wurden dabei in der Gesamtbetrachtung jeweils auf „Eins“ gesetzt.

Die zweite Variable stellt die verschiedenen Anpresskräfte, mit denen die Probanden die Zähne putzten, dar. Die Probanden wurden jeweils vor dem Putzen aufgefordert, die Kraft, die sie normalerweise beim Putzen verwenden, auf einer Waage zu simulieren (Absatz 4.3). Insgesamt lagen die Kräfte zwischen 0,80 Newton und 4,50 Newton (Anhang 1). Dabei war zu beobachten, dass die Probanden eine deutlich geringere Kraft mit dem Zahnbürstenmodell A als mit dem Zahnbürstenmodell B ausübten (Abbildung 5.5). Es zeigte sich, dass die Probanden durchschnittlich eine Anpresskraft von 1,58 Newton beim Zahnbürstenmodell A und 2,34 Newton beim Zahnbürstenmodell B verwendeten. Wie schon oben erwähnt, liegt die Anpresskraft beim Zahnbürstenmodell A um 0,76 Newton unterhalb der Anpresskraft des Zahnbürstenmodell B. Im Mittelwert ergibt sich für beide Zahnbürstenmodelle ein Anpresskraft von 1,96 Newton.

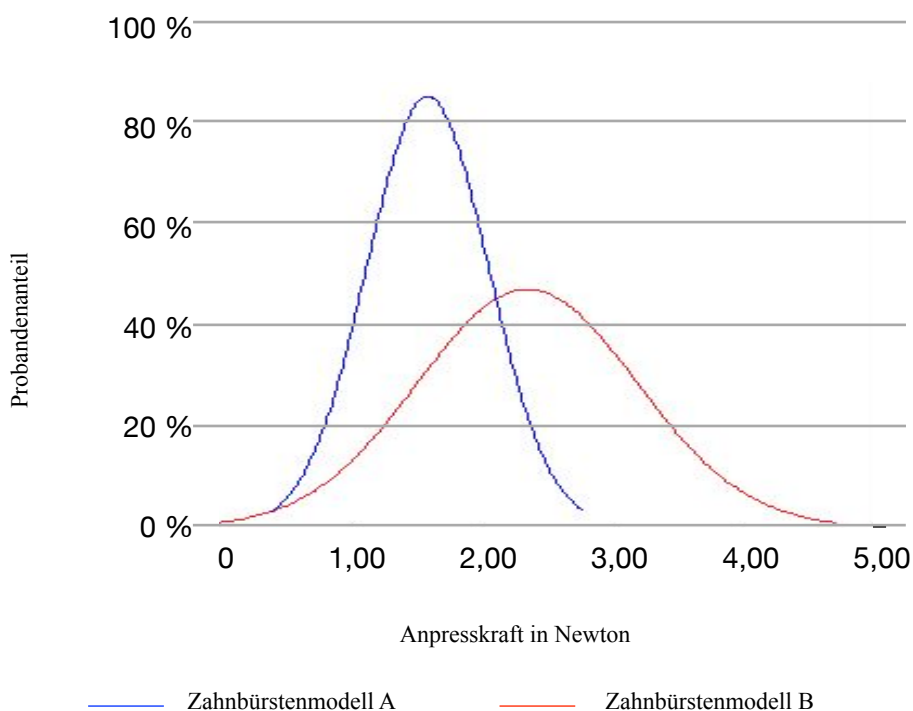


Abbildung 5.5: Ausgeübte Anpresskraft in Newton bei den Zahnbürstenmodellen A und B im 2. Quadranten

Die freie Wahl der Anpresskraft ist eine der neuen Variablen im Vergleich zur standardisierten Vorgehensweise im 1. Quadranten, bei der die Probanden vor dem Putzen auf eine Anpresskraft von 3,00 Newton kalibriert wurden.

Die dritte Variable unterscheidet die Händigkeit des Probanden. Dazu wurden zwei Gruppen gebildet. Die erste Gruppe umfasste die Probanden, die sich die Zähne mit der rechten Hand putzten und die zweite Gruppe die Probanden, die sich die Zähne mit der linken Hand putzten. Die Händigkeit wurde dabei mit einer weiteren 0/1 Variablen belegt, die in der folgenden Auswertung mit Linksh bezeichnet wird. Dabei wird einem Probanden der sich die Zähne mit der rechten Hand putzte, der Wert 0 zugeordnet und einem Probanden der sich die Zähne mit der linken Hand putzte der Wert 1.

Für den gesamten Reinigungserfolg wird zuerst eine OLS-Schätzung ("ordinary least squares estimation") vorgenommen. Anschließend werden Schätzungen durchgeführt, denen die Daten der einzelnen Zähne zugrunde liegen, um so die Zahl der Beobachtungen zu erhöhen und eventuell zusätzliche Informationen zu erhalten. Es zeigte sich, dass eine OLS-Schätzung für die einzelnen Zahnfelder nicht durchgeführt werden konnte, da die endogene Variable in diesem Fall eindeutig diskreten Charakter hat und die Normalverteilungsannahme für diese Variable stark verletzt war. Daher wurde für diese Datenreihe ein nicht-lineares Zähldatenmodell geschätzt,

wobei wegen der Verletzung der Grundannahme der „Equidispersion“ der Maximum-Likelihood-Schätzer für das Regressionsmodell einer negativen Binominalverteilung ermittelt wurde (Dexheimer, 2002; Greene, 2003). Die Ergebnisse dieser Schätzungen entsprechen jedoch weitestgehend denen der OLS-Regressionen, sodass die Daten dennoch genutzt werden konnten.

Mit der in diesem Abschnitt durchgeführten Multivariaten Analyse sollen mehrere Fragestellungen bearbeitet werden. Es soll untersucht werden, inwiefern die Reinigungsleistungen von Zahnbürstenmodell A und B auch bei der multivariaten Analyse ebenbürtig sind, ob die zusätzlichen exogenen Faktoren, wie die Hand mit der sich der Proband die Zähne reinigt, die Anpresskraft und die Putztechnik einen Einfluss auf den Reinigungserfolg haben und worin mögliche Vor- und Nachteile der modifizierten Vorgehensweise im 2. Quadranten liegen.

5.2.1. Relativer Reinigungserfolg mit habitueller Putztechnik

In diesem Abschnitt sollte der relative Reinigungserfolg untersucht werden, den die Probanden im 2. Quadranten erreichten ($Q2_{\text{Rein}}$). Es wurde wieder der relative Reinigungserfolg zugrunde gelegt, um nicht Zähne, die schon vor dem Putzen sauber waren, als gereinigte Zähne mit in die Wertung einfließen zu lassen (Absatz 5.1.3, Abbildung 5.13 und 5.14). In Abbildung 5.6 ist die Verteilung der Reinigungsleistungen auf die einzelnen Zähne zu sehen. Die Ergebnisse basierten auf einer Gesamtzahl von 40 Beobachtungen ($n=40$), wobei jeweils 20 Beobachtungen für Zahnbürstenmodell A und B gemacht wurden. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Probanden und die Ordinate den relativen Reinigungserfolg im zweiten Quadranten ($Q2_{\text{Rein}}$).

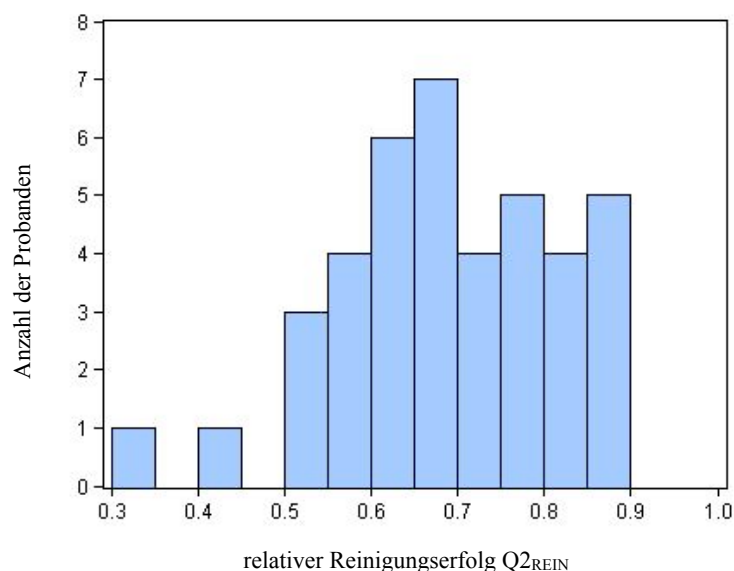


Abbildung 5.6: Relativer Reinigungserfolg der einzelnen Probanden im 2. Quadranten

Der geringste relative Reinigungserfolg für das Zahnbürstenmodell A lag bei ca. 35% und der höchste Reinigungserfolg bei ca. 97%. In den Tabellen 5.13 und 5.14 ist zu sehen, dass sich die Werte für den relativen Reinigungserfolg der beiden Zahnbürstenmodelle A (ca. 69%) und B (ca. 68%) um ca. 1 Prozentpunkt unterschieden. Der Mittelwert dieser Variablen lag bei 68,84%. Da ein Ausreißertest zeigte, dass auch die Extremwerte mit der Normverteilungsannahme kompatibel sind, flossen alle 40 Beobachtungen in die Analyse ein.

Bei dem aufzustellenden Modell galt $Q2_{\text{Rein}}$ als endogene Variable. Sie bestimmte den relativen Reinigungserfolg eines bestimmten Zahnbürstenmodells an allen einbezogenen Zähnen (22-26) des 2. Quadranten bei jedem einzelnen Probanden.

Sie ergab sich aus den folgenden exogenen Variablen (den Regressoren): Der Anpresskraft in Newton (Kraft), der Anpresskraft in Newton zum Quadrat (Kraft^2), der 0/1-Variablen (ZBA), die bei Verwendung von Zahnbürstenmodell A den Wert 1 und bei Zahnbürstenmodell B den Wert 0 zugewiesen bekamen, der 0/1-Variablen (Linksh), die bei einem linkshändigen Probanden den Wert 1 und bei einem rechtshändigen Probanden den Wert 0 zugewiesen bekam, der Dummy-Variablen Putz_{Rot} , die bei der rotatorische Putztechnik den Wert 1 zugewiesen bekam, der 0/1-Variable Putz_{RW} , die bei Verwendung der Rot-Weiß Putztechnik den Wert 1 zugewiesen bekam und der Konstante C. Die horizontal schrubbende Putztechnik bekam keine eigene Variable zugeordnet. Sollte sie Verwendung finden, wurden die beiden Variablen Putz_{Rot} und Putz_{RW} auf 0 gesetzt. Für dieses 1. Modell ergab sich dann folgende Schätzgleichung²:

$$Q2_{\text{Rein}} = C + \text{Kraft} + \text{Kraft}^2 + \text{ZBA} + \text{Linksh} + \text{Putz}_{\text{Rot}} + \text{Putz}_{\text{RW}}$$

In der Koeffizientenschätzung für das 1. Modell zeigte sich, dass bei einem Signifikanzniveau von 5% die verwendeten Variablen keinen signifikanten Unterschied von der Nullhypothese hatten und sie daher nicht abgelehnt werden konnten (F-Wert = 1,4666, prob = 0,22).

Bei der Untersuchung der t-Werte zeigten sich ebenfalls keine signifikant von 0 unterschiedlichen Koeffizienten. So musste festgestellt werden, dass bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% die Werte keinen Einfluss auf die Reinigungsleistung hatten. Diese Vermutung bestätigte sich zusätzlich, da es auch nicht zu signifikanten Koeffizientenschätzern kam, wenn nur ein Teil der Regressoren in verschiedenen Kombinationen verwendet wurden. Daraus war zu folgern, dass in diesem 1. Modell erklärende Variablen fehlten.

Um zu untersuchen ob sich die Qualität der Schätzung verbesserte, wenn Probanden-Dummys mit aufgenommen werden, wurde ein F-Test durchgeführt. Dazu wurden bei den vorliegenden 20 Probanden 19 0/1-Variablen eingeführt (Prob2 bis Prob20), die den Wert 1 annehmen, wenn dem entsprechenden Probanden eine Beobachtung zugeordnet werden konnte. Sollte dies nicht der

² Zur Verwendung von Dummy-Variablen in Regressionsmodellen siehe: Gujarati, 2003; Greene, 1993.

Fall sein, so erhielt die Variable den Wert 0. Da es nur zwei Probanden gab, die sich mit der linken Hand die Zähne putzten, musste diese Variable (Linksh) aus der Schätzgleichung entfernt werden. Zur Berechnung des OLS-Schätzers musste die Inverse der Matrix gebildet werden, die alle exogenen Variablen als Spalten enthielt. Diese Rechenoperation war nur möglich, wenn die Matrix vollen Rang hatte. Da die Variable Linksh eine Linearkombination aus Prob15 und Prob16 war, wäre ohne Ausschluss einer Variablen diese notwendige Bedingung verletzt gewesen.

Zunächst wurden alle 19 Probanden-Dummys in die Schätzgleichung aufgenommen, wobei redundante Probanden-Dummys, die sich mit Hilfe des F-Tests darstellen ließen, ausgeschlossen wurden. Es wurden alle Probanden-Dummys, die in der umfassenden Schätzung, einen t-Wert unter 1 aufwiesen, zusammengefasst. (Die Auswirkungen einer fälschlicherweise ausgeschlossenen relevanten Variablen auf die Qualität einer Schätzung wären ungleich negativer gewesen als diejenigen einer Verwendung redundanter Regressoren. Die hier gewählte Vorgehensweise stellte sicher, dass tendenziell eher zu wenig als zu viele Variablen ausgeschlossen wurden.) Die Gruppe wurde einem F-Test unterzogen, der aussagte, ob von dieser Gruppe von Variablen ein zu vernachlässigender Einfluss auf die endogene Variable ausging oder nicht (Gujarati, 2003). Nach dieser Vorgehensweise zeigte sich mit Hilfe eines erneuten F-Tests, dass die Probanden-Dummys einen gemeinsamen Einfluss auf die Schätzgleichung ausübten. Mit einem Wert von 3,2835 konnte die Nullhypothese abgelehnt werden.

Diese Modifikation der Variablen ergab ein neues Modell, dass im folgenden als 2. Modell bezeichnet werden soll. Dabei wurde die Variable, die den Probanden als Rechts- oder Linkshänder ausweist, gegen Probanden-Dummys ausgetauscht.

Bei der anschließenden Schätzung war zu erkennen, dass die verwendeten Variablen einen gemeinsamen, signifikanten Einfluss auf die endogene Variable ($Q2_{\text{Rein}}$) ausübten. Da sie frei von Autokorrelation und Homoskedastik war, lag eine unverzerrte Koeffizientenschätzung vor. Die vorliegende Schätzgleichung zeigte, welche Variablen einen signifikanten Einfluss ausübten und welche nicht. Demnach hatten die verschiedenen Putztechniken keinen Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg. Auch die Anpresskraft hatte, wenn man ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde legte, ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf das Reinigungsergebnis. Da der Wert der Anpresskraft dennoch einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis hatte, sollte die Kraft als Variable in der Schätzgleichung verbleiben. Die Variable der quadrierten Kraft musste

allerdings nicht in der Schätzgleichung verbleiben. Nach erneuter Überprüfung der Plausibilität, wurde mit Hilfe eines erneuten F-Tests der Ausschluss der Variablen Kraft², ZBA, Putz_{Rot} und Putz_{Rw}, kontrolliert.

In dem sich daraus ergebenden 3. Modell wurden zusätzlich die exogenen Variablen Kraft², ZBA, Putz_{Rot} und Putz_{Rw} ausgeschlossen. Bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 3,51% wurde in dieser Schätzung für die endogene Variable ($Q2_{\text{Rein}}$) ein Signifikanzniveau von 5% erreicht. Der Koeffizientenschätzer war demnach so zu interpretieren, dass bei gleichbleibenden Bedingungen die Erhöhung der Anpresskraft um 1,00 Newton den Reinigungserfolg um 5% minderte. Wie in Abbildung 5.5 zu sehen, war die mittlere Anpresskraft des Zahnbürstenmodells A erheblich geringer als beim Zahnbürstenmodell B. Vor diesem Hintergrund war die Feststellung, dass die Reinigungsleistung um 5% abnahm, wenn die Anpresskraft um 1,00 Newton zunahm, sehr interessant. Demnach müsste das Zahnbürstenmodell A eine bessere Reinigungsleistung gehabt haben als das Zahnbürstenmodell B. Wie in der bisherigen Arbeit dargelegt, hatten die beiden Zahnbürstenmodelle aber eine ähnliche Reinigungsleistung.

Für diese Feststellung gab es zwei mögliche Erklärungen. Es konnte sein, dass weitere exogene Faktoren, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt worden waren, einen Einfluss auf die Putzleistung der beiden Zahnbürstenmodelle hatten und die Nachteile des Zahnbürstenmodells B ausgeglichen hatten. Eine weitere Erklärung konnte sein, dass der bisherige Zusammenhang zwischen der Anpresskraft und der Reinigungsleistung für beide Zahnbürstenmodelle gemeinsam durchgeführt wurde. Es war aber möglich, dass es spezifische Unterschiede zwischen den beiden Zahnbürstenmodellen gab. Während die erste Vermutung in dieser Arbeit nicht untersucht werden konnte, da keine weiteren Variablen aufgenommen wurden und daher Auslöser für eine neue Studie sein sollten, wurde die zweite Vermutung im Abschnitt 5.3 untersucht.

Die Ergebnisse der multivariaten Analyse für den 2. Quadranten mit habitueller Putztechnik ließen sich wie folgt zusammenfassen und gaben damit Antworten auf die in diesem Absatz eingangs gestellten Fragen. Die Reinigungsleistung der beiden Zahnbürstenmodelle A und B unterschieden sich in nicht-signifikanter Weise voneinander und schienen sich auch nach der multivariaten Analyse ebenbürtig zu sein. Dabei war die Putztechnik für das Ergebnis der Reinigungsleistung irrelevant. Dahingegen war die Anpresskraft für das Ergebnis der Reinigungsleistung relevant. Eine um 1,00 Newton erhöhte Anpresskraft, führte zu einer verminderten Reinigungsleistung von 5%. Dabei war festzuhalten, dass das Zahnbürstenmodell

A mit einer erheblich geringeren Anpresskraft von nur 1,58 Newton im Vergleich zum Zahnbürstenmodell B mit einer durchschnittlichen Anpresskraft von 2,34 Newton verwendet wurde. Das entsprach einem Unterschied von 32,48%. Da nicht auf die Probanden Variable verzichtet werden konnte, musste es einen weiteren individuellen Einflussfaktor auf die Reinigungsleistung geben, der in der vorliegenden Arbeit nicht erfasst wurde.

5.2.2. Relativer Reinigungserfolg mit standardisierter Putztechnik

Während sich die Probanden im 2. Quadranten die Zähne habituell reinigen konnten, mussten sie sich im 1. Quadranten die Zähne nach bestimmten Vorgaben reinigen (Absatz 4.3 standardisiertes Vorgehen). Demnach mussten sie sich auf eine Anpresskraft von 3,00 Newton kalibrieren. In diesem Abschnitt wurde wie in Absatz 5.2.1 eine OLS-Schätzung ("ordinary least squares estimation") durchgeführt. So sollte überprüft werden, ob es wirklich gelang, die Probanden für die Testzeit auf eine bestimmte Anpresskraft zu kalibrieren oder ob sie nach einer gewissen Zeit in ihre gewohnte Technik zurückverfielen. Wie im vorherigen Abschnitt war der relative Putzerfolg ($Q1_{\text{Rein}}$) die endogene Variable. Neben der Anpresskraft wurde das Zahnbürstenmodell und die Probanden-Dummys als exogene Variablen hinzugefügt.

Die Koeffizientenschätzung und die wesentlichen Teststatistiken basierten auf dem in Absatz 5.2.1 aufgestellten 3. Modell. Bei der Schätzgleichung war zu sehen, dass sowohl die Zahnbürstenmodelle als auch die Anpresskraft nur einen nicht-signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hatten. Selbst wenn die beiden exogenen Faktoren gemeinsam betrachtet wurden, hatten sie einen nicht-signifikanten Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg. Die Probanden-Dummys hatten dagegen einen signifikanten Einfluss auf den Reinigungserfolg. Da die Anpresskraft einen nicht-signifikanten Einfluss auf die Reinigungsleistung hatte, konnte bewiesen werden, dass es möglich war, die Probanden auf eine entsprechende Anpresskraft zu kalibrieren. Wie hoch diese Anpresskraft sein sollte, war in dieser Schätzgleichung zu vernachlässigen.

Verglich man die vorgegebene Anpresskraft von 3,00 Newton des 1. Quadranten mit den durchschnittlichen Anpresskräften des 2. Quadranten, so fiel auf, dass die Probanden im 2. Quadranten mit einer um ca. 1,00 Newton geringeren Anpresskraft die Zähne putzten. Verglich man dazu die Reinigungsleistungen in den beiden Quadranten, so fiel auf, dass der relative Reinigungserfolg im 1. Quadranten um ca. 10% schlechter war als im 2. Quadranten.

Aus der multivariaten Analyse ließ sich für den 1. Quadranten schließen, dass die Reinigungsleistung der beiden Zahnbürstenmodelle A und B signifikant unterschiedlich waren. Da die Anpresskraft den Reinigungserfolg in nicht-signifikanter Höhe beeinflusste, die Probanden-Dummys jedoch den Reinigungserfolg in signifikanter Höhe beeinflussten, wurde bewiesen, dass es möglich war, die Probanden auf eine bestimmte Anpresskraft zu kalibrieren.

Die erhöhte Anpresskraft von 3,00 Newton könnte die Ursache für die geringere Reinigungsleistung im Vergleich zum 2. Quadranten gewesen sein.

5.3. Gesonderte Analyse der Anpresskräfte der beiden Zahnbürstenmodelle

Im Absatz 5.2.1 zeigte sich, dass die von den Probanden gewählte Anpresskraft eine entscheidende Variable war, auch wenn bei einem Signifikanzniveau von 5%, kein signifikanter Einfluss auf das Reinigungsergebnis festgestellt werden konnte. Die Erhöhung der Anpresskraft um 1,00 Newton ging mit einer Verminderung des Reinigungserfolges um 5% einher. Dies konnte wie in Absatz 5.2.1 zwei verschiedene Ursachen haben. Entweder hatten weitere Faktoren Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg, die in dieser Arbeit nicht erfasst wurden und Anstoß für eine neue Studie sein sollten, oder die Anpresskraft beeinflusste die beiden Zahnbürstenmodelle unterschiedlich, sodass die Zusammenhänge gesondert voneinander untersucht werden müssten.

In diesem Kapitel sollte nun detailliert untersucht werden, ob die Veränderung der Anpresskraft den Reinigungserfolg beider Zahnbürsten unterschiedlich beeinflusste, oder ob es einen allgemein gültigen Zusammenhang für beide Zahnbürsten gab. Aus methodischen Gründen war es nicht möglich, die bisherigen Ergebnisse nach den Zahnbürstenmodellen zu differenzieren. Der Grund lag darin, dass der Stichprobenumfang mit $n = 20$ so gering geworden wäre, dass keine weiteren exogenen Variablen aufgenommen werden konnten. So war es nötig, dass auf die Daten zurückgegriffen wurde, bei denen jeder einzelne Zahn beobachtet wurde. In dieser Datenreihe lagen für die 20 Probanden für beide Zahnbürsten die Reinigungserfolge an 5 Zähnen vor (Zahn 22 bis 26). Auf diese Weise konnte ein Stichprobenumfang von $n=100$ für jede Zahnbürste durchgeführt werden. Durch die neue Datenbasis wurde es notwendig, erneut die signifikanten Koeffizientenschätzer, Determinanten des Reinigungserfolges, ohne Aufteilung nach den einzelnen Zahnbürstenmodellen zu ermittelt und mit den Schätzergebnissen aus dem Absatz 5.2 zu vergleichen.

5.3.1. Gemeinsame Betrachtung der Anpresskräfte für beide Zahnbürstenmodelle

Bei der Untersuchung des relativen Reinigungserfolges lagen, wie in Absatz 5.3 beschrieben, 200 Beobachtungen vor, da 20 Probanden an der Studie teilnahmen, die sich mit Zahnbürstenmodell A und B die Zähne putzten und 5 Zähne (22 bis 26) beobachtet wurden. Bei der Testung der 200 Beobachtungen auf Ausreißer zeigte sich ein Minimalwert von 0 der als Ausreißer eingeordnet werden musste und daher aus der Datenbasis entfernt wurde. So blieben 199 Beobachtungen mit einem mittleren relativen Reinigungserfolg von 0,6897 (68,97%), einem Minimalwert von 0,1250 (12,50%) und einem Maximalwert von 1,0000 (100%). In die erste Schätzung wurden zunächst die Probanden-Dummys als 0/1 Variable einbezogen und zusätzlich die möglicherweise relevanten exogenen Faktoren.

Das Modell ergab sich aus der endogenen Variablen $Q2_{Allz}$, die den relativen Reinigungserfolg eines bestimmten Zahnbürstenmodells an einem bestimmten Zahn des 2. Quadranten bei einem Probanden beschrieb und verschiedenen Regressoren. Im Einzelnen war dies die 0/1 Variable Zahn22,...,Zahn25, die für den jeweils zu beurteilenden Zahn den Wert 1 zugeordnet bekam, die 0/1-Variable Prob2,...,Prob20, die bei der Beurteilung des jeweiligen Probanden den Wert 1 eingesetzt bekam, der Anpresskraft in Newton (Kraft), der Anpresskraft in Newton zum Quadrat ($Kraft^2$), die 0/1-Variable (ZBA), die bei Verwendung von Zahnbürstenmodell A den Wert 1 und bei Verwendung des Zahnbürstenmodell B den Wert 0 zugewiesen bekam, die Dummy Variable ($Putz_{Rot}$), die die rotatorische Putztechnik bestimmte die 0/1-Variable ($Putz_{RW}$), die bei Verwendung der Rot-Weiß Putztechnik den Wert 1 zugewiesen bekam und die Konstante C. Daraus ergab sich, wie in Abschnitt 5.2 erneut eine Schätzgleichung für das 1. Modell.

$$Q2_{ALLZ} = C + Zahn22 + \dots + Zahn25 + Prob\ 2 + \dots + Prob\ 20 + Kraft + Kraft^2 + ZBA + Putz_{Rot} + Putz_{RW}$$

In dem daraufhin durchgeführten F-Test wurde gezeigt, dass weder auf die Zahn-Dummys noch auf die 0/1-Variable zur Bestimmung der Probanden als Variable, verzichtet werden konnte. Des Weiteren zeigte sich, dass nicht alle Variablen einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hatten. So wurden in zwei Schritten die nicht-signifikanten Zahn-Dummys (F-Wert = 1,4485 mit $prob = 0,23$) entfernt, sodass ein neues 2. Modell entstand. Da die in dieser Schätzgleichung verwendeten Variablen einen gemeinsamen signifikanten Einfluss auf die endogene Variable

hatten, die Residuen normal verteilt und frei von Autokorrelation und Homoskedastik waren, lag eine gute Gleichung vor.

Auch diese Gleichung bestätigte die Ergebnisse aus dem Kapitel 5.2.1, in denen bereits dargelegt wurde, dass sowohl die Putztechnik, als auch die Zahnbürstenmodelle keinen signifikanten Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg hatten. Die Anpresskraft übte bei einem Signifikanzniveau von 10% wieder einen negativen Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg aus. Die Variable der Kraft² war ebenfalls ohne signifikanten Einfluss und konnte daher bei einem neuen Modell aus der Gleichung entfernt werden.

In einem erneuten F-Test wurde bewiesen, dass der Ausschluss der Variablen Kraft², ZBA, Putz_{Rot}, und Putz_{Rw} einen nicht-signifikanten Einfluss auf die Schätzgleichung des Modells 2 hat (F-Wert 0,9888, prob = 0,42). Damit konnten die Variablen für das 3. Modell aus der Schätzgleichung entfernt werden. Auch im vorliegenden 3. Modell zeigte sich erneut der negative Einfluss der erhöhten Anpresskraft auf den relativen Reinigungserfolg der Probanden. Wie schon im Absatz 5.1, konnte auch diesmal das Ergebnis bei einem Signifikanzniveau von 5% nicht verworfen werden. (Es ergab sich eine t-Wert von -2,48 für den geschätzten Koeffizienten der Anpresskraft. Die zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit bei Ablehnung der Nullhypothese lag bei 1,42%).

Bei dieser Auswertung war zu beobachten, dass Proband 16 im Hinblick auf seinen relativen Reinigungserfolg signifikant negativ von den restlichen relativen Reinigungserfolgen der anderen Probanden abwich. Proband 16 war einer der beiden linkshändigen Probanden. Obwohl sich für Proband 16 kein signifikant abweichender relativer Reinigungserfolg im 1. Quadranten darstellte, musste dennoch davon ausgegangen werden, dass die Linkshändigkeit zu einem Nachteil für den relativen Reinigungserfolg im 2. Quadranten führen konnte. Es sollte auf jeden Fall in zukünftigen Studien die Variable der Hand, mit der sich ein Proband die Zähne reinigt mit einbezogen werden, um bei einer besseren Datenlage eventuell nicht mehr auf Probanden-Dummys angewiesen zu sein, um somit einen signifikanten Einfluss der Händigkeit auf den relativen Reinigungserfolg nachweisen zu können.

Die Ergebnisse des Absatzes 5.2.1, in der der zahnbezogene relative Reinigungserfolg der Zahnbürsten in der habituellen Putztechnik untersucht wurde, werden durch die Ergebnisse dieses Kapitels, in denen der relative aggregierte Reinigungserfolg beurteilt wurde, bestätigt. Es zeigte sich wieder, dass die Reinigungsleistung der beiden Zahnbürstenmodelle A und B in nicht-signifikanter Höhe differierten. Des Weiteren zeigte sich, dass die Anpresskraft für die

Reinigungsleistung relevant war. Da wieder nicht auf die Probanden-Variable verzichtet werden konnte, musste es einen weiteren individuellen Einflussfaktor auf die Reinigungsleistung geben, der in der vorliegenden Arbeit nicht erfasst wurde. Eventuell hatte die Händigkeit einen negativen Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg im 2. Quadranten. Da aber die Anzahl der Probanden, die sich mit der linken Hand die Zähne putzten, zu gering war, konnte auf Basis der Datenlage dieser Studie dazu keine verlässliche Aussage getroffen werden.

5.3.2. Gesonderte Betrachtung der Anpresskräfte für jedes Zahnbürstenmodell

Gegenstand dieses Kapitels war es, die beiden Zahnbürstenmodelle gesondert voneinander im Hinblick auf ihren relativen Reinigungserfolg bei unterschiedlichen Anpresskräften zu untersuchen. Auf Grund des begrenzten Datenumfanges musste zunächst in Kapitel 5.3.1 untersucht werden, inwiefern die Ergebnisse vergleichbar waren, wenn einmal der aggregierte relative Reinigungserfolg und einmal der zahnbezogene relative Reinigungserfolg untersucht wurde. Da sich dabei die Ergebnisse bestätigten, konnte nun mit einer größeren Datenlage den einzelnen Zahnbürstenmodellen der relative Reinigungserfolg bei einer bestimmten Anpresskraft zugeordnet werden.

Um die beiden Schätzungen im Folgenden miteinander vergleichen zu können, wurden in beiden Fällen die gleichen exogenen Variablen aufgenommen. Zusätzlich wurden die Variablen aufgenommen, die sich im Abschnitt 5.3.1 als unverzichtbar erwiesen hatten (Probanden-Dummies und eine 0/1-Variable für jeden Zahn). Aufgrund dessen, dass die maximale Aufnahme an Probanden-Dummies vermutlich dazu führte, dass die Schätzgleichungen redundante Variablen enthielten und damit die Koeffizientenschätzer zu groß und die t-Werte zu klein wurden, wurde das Signifikanzniveau bei dieser Untersuchung auf 10% angehoben.

Es wurde versucht, den Zusammenhang zwischen dem relativen Reinigungserfolg und der Anpresskraft in Form einer Funktion darzustellen. Um die Form der vermutlich entstehenden Funktion offen zu halten, wurden zunächst drei verschiedene Variablen für die Kraft eingeführt: $Kraft^3$, $Kraft^2$ und $Kraft$. Die Variablen wurden dann auf ihren signifikanten Einfluss hin untersucht und eventuell aus der Gleichung entfernt. Wenn das Zahnbürstenmodell A und B gleichzeitig betrachtet wurde, zeigte sich, dass $Kraft^2$ und $Kraft^3$ das Ergebnis nicht signifikant beeinflussten. Demnach ergab sich für die gemeinsame Betrachtung von Zahnbürstenmodell A und B folgende Schätzgleichung, wobei $f(x)$ für den relativen Reinigungserfolg ($Q2_{Allz}$) stand und x für die Anpresskraft in Newton.

$$f(x) = 0,7437 - 0,000406 * x$$

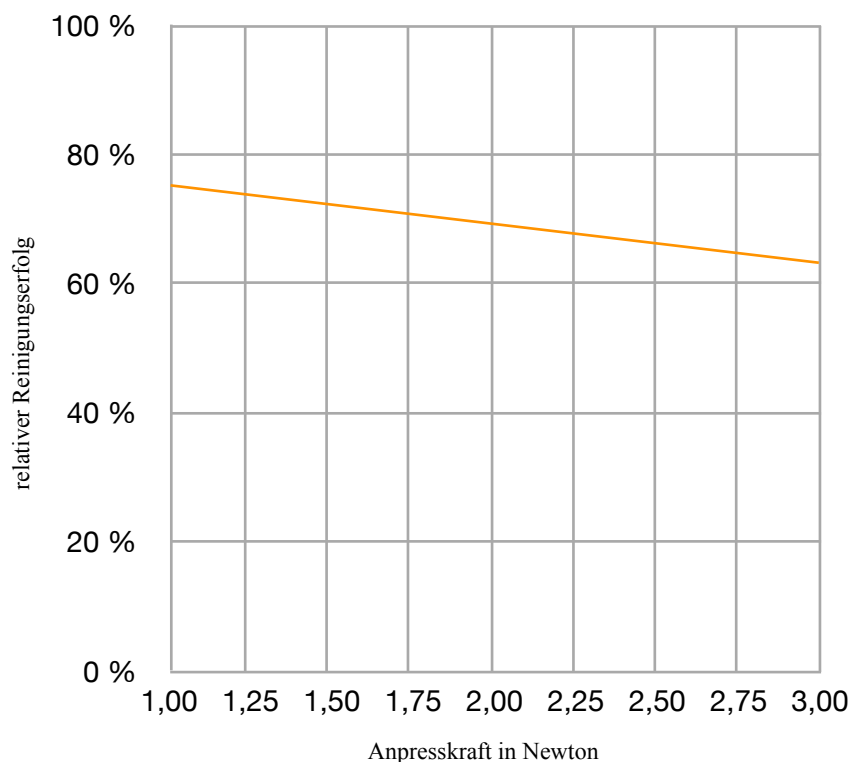


Abbildung 5.7: Geschätzte Funktion, die den Zusammenhang zwischen der Anpresskraft in Newton und den gemeinsamen relativen Reinigungserfolg des Zahnbürstenmodells A und B darstellt

Wurde in die oben stehende Gleichung eine beliebige Anpresskraft eingegeben, so gab sie Aufschluss über den zugehörigen relativen Reinigungserfolg des Zahnbürstenmodells in Newton. In Abbildung 5.7 ist die so entstehende Funktion für den gemeinsamen Reinigungserfolg der Zahnbürstenmodelle A und B dargestellt.

Wurde nur das Zahnbürstenmodell A betrachtet, so ergab sich ein anderes Ergebnis. Wie bei der gemeinsamen Betrachtung musste die Variable Kraft³ ebenfalls verworfen werden, da sie nicht signifikant das Ergebnis des relativen Reinigungserfolges beeinflusste. Dahingegen beeinflusste neben der Variablen Kraft ebenfalls die Variable Kraft² das Ergebnis signifikant. Daraus ergab sich nach der OLS-Schätzung folgende Schätzgleichung für das Zahnbürstenmodell A, wobei f(x) für den relativen Reinigungserfolg (Q2_{Allz}) stand und x für die Anpresskraft in Newton.

$$f(x) = 1,7476 - 0,014064 * x + 0,0000443 * x^2$$

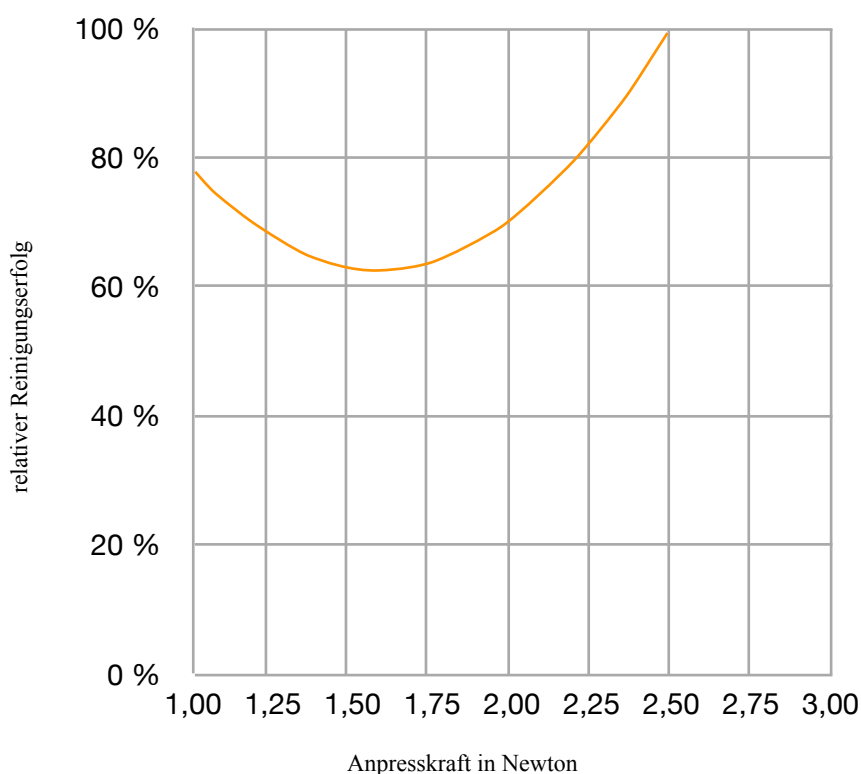


Abbildung 5.8: Geschätzte Funktion, die den Zusammenhang zwischen Anpresskraft in Newton und den relativen Reinigungserfolg des Zahnbürstenmodells A darstellt

Wie in Abbildung 5.8 zu sehen, entsprach die geschätzte Funktion für das Zahnbürstenmodell A einer nach oben geöffneten Parabel. Der Funktion war zu entnehmen, dass der relative Reinigungserfolg bei Zunahme der Anpresskraft bis zu einer Stärke von ca. 1,60 Newton stetig abnahm. Hier kehrte sich der Zusammenhang um und es kam bei weiter ansteigender Anpresskraft zu einer Erhöhung des relativen Reinigungserfolges. erinnerte man sich an den Aufbau des Zahnbürstenmodells A, so fielen die zwei Ebenen der Borstenfelder auf (Abbildung 4.1). Die Ergebnisse waren vermutlich so zu interpretieren, dass zunächst nur die längeren orangefarbenen Borsten in Funktion standen. Bei einer Anpresskraft von 1,60 Newton traten auch die kürzeren Borsten in Funktion, wodurch es zunächst zu einer Steigerung des relativen Reinigungserfolges kam.

Zuletzt sollte eine Schätzgleichung für das Zahnbürstenmodell B erstellt werden. Zunächst musste wieder untersucht werden, inwiefern die verschiedenen Variablen für die Kraft signifikant das Ergebnis für den relativen Reinigungserfolg beeinflussten. Während für beide

Zahnbürstenmodelle sowohl Kraft^2 als auch Kraft^3 verworfen werden mussten und sich daraus eine lineare Funktion ergab, musste bei der Gleichung für das Zahnbürstenmodell A nur die Variable Kraft^3 verworfen werden, woraus sich ein Polynom zweiter Ordnung ergab. Bei der Untersuchung für das Zahnbürstenmodell B zeigte sich nun, dass alle drei Variablen Kraft , Kraft^2 und Kraft^3 einen hochsignifikanten Einfluss auf das Ergebnis des relativen Reinigungserfolges hatten. Für das Zahnbürstenmodell B ergab sich für die Funktion somit ein Polynom 3. Ordnung mit folgender Schätzgleichung, wobei $f(x)$ für den relativen Reinigungserfolg ($Q_{2\text{Allz}}$) steht und x (Kraft) für die Anpresskraft in Newton.

$$f(x) = 3,3423 - 0,043784 * x + 0,000229 * x^2 - 0,000000384 * x^3$$

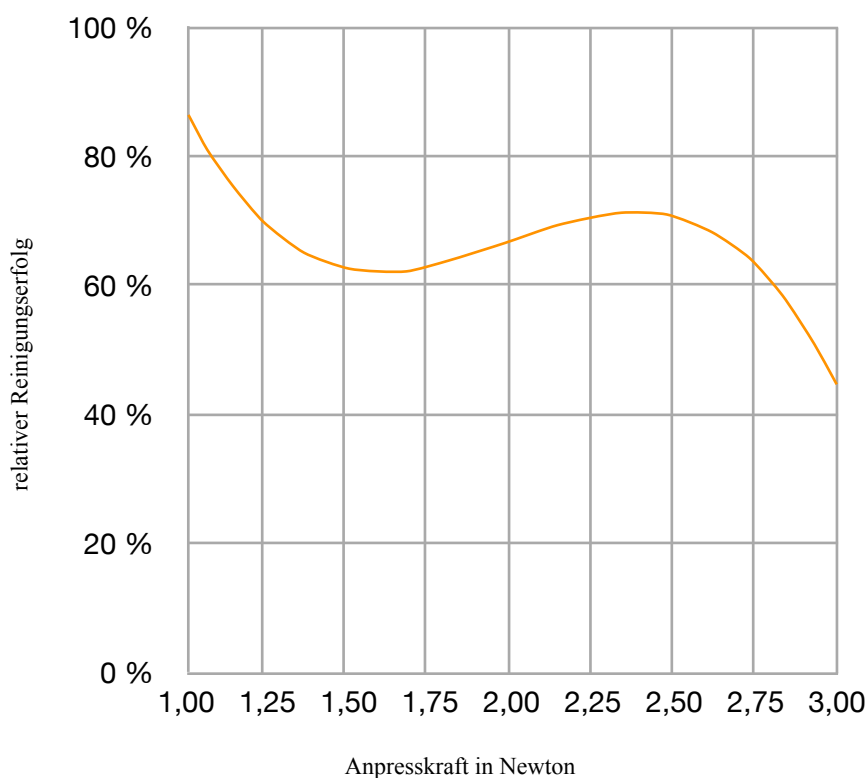


Abbildung 5.9: Geschätzte Funktion, die den Zusammenhang zwischen Anpresskraft in Newton und den relativen Reinigungserfolg des Zahnbürstenmodells B darstellt

Für das Zahnbürstenmodell B ergab sich daher folgende Interpretation. Es gab einen relativ weiten Bereich, der zwischen 1,25 Newton und 2,75 Newton lag, in dem die Erhöhung oder die Verringerung der Anpresskraft keinen entscheidenden Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg hatte. Überschritt man jedoch eine Anpresskraft von ca. 2,75 Newton, so verringerte sich der relative Reinigungserfolg erheblich (Abbildung 5.9).

Bei der Interpretation der Funktionen, die in Abbildung 5.7 bis 5.9 zu sehen sind, mussten folgende Dinge beachtet werden: Bei der gesonderten Betrachtung der beiden Zahnbürstenmodelle fiel auf, dass die Probanden sich tendenziell mit dem Zahnbürstenmodell A die Zähne mit einer geringeren Anpresskraft als bei dem Zahnbürstenmodell B putzten. So ergab sich für die Zahnbürste A eine Bandbreite von 0,80 Newton bis 2,50 Newton, während sich für die Zahnbürste B eine Bandbreite von 1,00 Newton bis 4,50 Newton ergab. Es ist festzustellen, dass sich 90% der Probanden die Zähne sowohl mit Zahnbürstenmodell A als auch mit Zahnbürstenmodell B mit einer Anpresskraft zwischen 1,00 Newton und 3,00 Newton putzten, daher soll in den Abbildungen 5.7 bis 5.9 nur dieser Bereich dargestellt werden. Nur ein Proband wählte mit dem Zahnbürstenmodell A weniger als 1,00 Newton und nur 3 Probanden mit dem Zahnbürstenmodell B eine Anpresskraft über 3,00 Newton. Aus diesem Grund sollten die Funktionen aus Abbildung 5.7, insbesondere in diesem Bereich zwischen 1,00 Newton und 3,00 Newton interpretiert werden. Mit dem Zahnbürstenmodell A putzten die Probanden durchschnittlich mit einer Anpresskraft von 1,58 Newton. Mit dem Zahnbürstenmodell B putzten sich die Probanden durchschnittlich die Zähne mit einer Anpresskraft von 2,34 Newton. Betrachtete man nun für die jeweiligen Durchschnittswerte die Funktionen, so fiel auf, dass die Probanden intuitiv für das Zahnbürstenmodell A eine sehr ungünstige Anpresskraft wählten, da er mit 1,58 Newton nahe der ungünstigsten Reinigungsleistung von 1,60 Newton lag. Währenddessen putzten sich die Probanden mit dem Zahnbürstenmodell B mit einer durchschnittlichen Anpresskraft von 2,34 Newton intuitiv die Zähne in einem sehr günstigen Bereich nahe des lokalen Maximums.

Es stellte sich die Frage wie es möglich war, dass der relative Reinigungserfolg bei steigender Anpresskraft abnahm (Absatz 5.2.1), aber dennoch Zahnbürstenmodell A zu einer ähnlichen Reinigungsleistung wie Zahnbürstenmodell B kam, obwohl bei Zahnbürstenmodell A eine geringere Anpresskraft gewählt wurde. Betrachtete man die Funktion aus Abbildung 5.7, so fiel für den gemeinsamen Durchschnittswert der beiden Zahnbürstenmodelle von 1,96 Newton auf, dass die beiden Funktionen in einem sehr ähnlichen Bereich lagen. Der Widerspruch konnte mit der unterschiedlichen Form der Funktion erklärt werden.

Es stellte sich weiter die Frage, warum sich für Zahnbürstenmodell A ein Polynom 2. Ordnung ergab und für das Zahnbürstenmodell B ein Polynom 3. Ordnung. Der Grund konnte darin liegen, dass sich bei zusätzlichen Daten für das Zahnbürstenmodell A mit höheren Anpresskräften ebenfalls ein Polygon 3. Ordnung ergeben hätte.

Es ließ sich also schlussfolgern, dass der relative Reinigungserfolg einer Zahnbürste von der gewählten Anpresskraft abhängig war, dass sich die Zahnbürstenmodelle A und B hinsichtlich ihrer Reaktion auf die Variation der Anpresskraft voneinander unterschieden, sodass es erst bei einer relativ hohen Anpresskraft von 2,75 Newton beim Zahnbürstenmodell B zu einem Abfall des relativen Reinigungserfolges kam, wohingegen es beim Zahnbürstenmodell A bis zu einer Anpresskraft von 1,60 Newton zu einer Verminderung des relativen Reinigungserfolges, darüber hinaus aber zu einem Anstieg des Reinigungserfolges kam. Für höhere Kräfte lagen keine Ergebnisse vor.

6. Diskussion

6.1. Plaquebewertung

Vor Beginn der Studie stellte sich die Frage nach dem geeigneten Index, der in der vorliegenden Studie Verwendung finden sollte. Da Bedenken bestanden, dass es bei einem Index, der auf dem Plaque-Index nach Silness und Løe (1964) basiert, zu einer Unterbewertung des dentalen Biofilms kommen könnte, wurde der Navy-Plaque-Index in der nach Claydon und Addy modifizierten Form benutzt (1995).

Basierend auf verschiedenen Studien (Claydon, Addy, 1995; 1996; Danser, 2003; Graveland, 2004) hatte sich in der Literaturübersicht gezeigt, dass mit dem Plaque-Index nach Silness und Løe, eine Anfangsbelastung von 57,17% registriert werden konnte, wohingegen die Anfangsbelastungen bei Studien die auf dem Navy-Index basierten, in einem Bereich von 83,88% lagen (Absatz 3.2.6). In der vorliegenden Studie wurden für jeden Probanden zwei Anfangsbelastungen - vor dem Putzen mit dem Zahnbürstenmodell A und B - aufgenommen. Dabei zeigte sich für den 1. Quadranten eine durchschnittliche Anfangsbelastung von 1644 belegten Zahnfeldern von möglichen 1800 (Tabelle 5.1 und 5.2), was einer Anfangsbelastung von 91,33% entspricht. Im 2. Quadranten zeigte sich ein ähnliches Bild, sodass 1629 Zahnfelder von möglichen 1800 belegt waren (Tabelle 5.3 und 5.4), was einer Anfangsbelastung von 90,50% entspricht. Da diese Werte über den bisher erhobenen Werten aus den Studien, die auf dem Navy-Plaque-Index basieren, liegen, spricht dies für eine akzeptable Anfangsbelastung der Zähne, sodass die Reinigungsleistung gut untersucht werden konnte.

Bei der Auswertung zeigte sich, dass die Zahnfelder von A-I unterschiedlich stark mit einer dentalen Plaque besiedelt waren. Dennoch wurde einem Zahnfeld, sobald es belegt war, der Wert 1 zugeordnet. In zukünftigen Studien sollte überlegt werden, ob der nach Bretz modifizierte Navy Plaque Index Verwendung finden sollte, bei der jedes Feld noch einmal in drei verschiedene Grade unterteilt wird (2011). Es sollte allerdings abgewartet werden ob der modifizierte Index ähnlich gut reproduzierbar ist, wie der Navy Plaque Index.

6.2. Vergleich des Reinigungserfolges der beiden Zahnbürstenmodelle

In diversen Studien wurden die relativen Reinigungserfolge von manuellen Zahnbürsten untersucht (Claydon und Addy, 1995; 1996; van der Weijden et al., 1996; 2004; Graveland et al., 2004). Dabei zeigen sich diverse Unterschiede im Studiendesign. So putzten sich zum Teil die Probanden die Zähne habituell, sodass es nur eine zeitliche Vorgabe gab (Claydon und Addy, 1995; 1996 Graveland et al., 2004). Demgegenüber gab es Studiendesigns, die den Probanden nach standardisierten Vorgaben putzen ließen (van der Weijden et al., 1996; 2004). Dabei zeigte sich, dass habituelle Studiendesigns zu besseren Putzergebnissen führten als standardisierte (Tabelle 6.1, 6.2).

Ein weiterer Unterschied lag in der Verwendung verschiedener Plaqueindizes (Absatz 3.2.6, 6.2) Diese Unterschiede machen es schwer, die in dieser Studie erhobenen Daten mit denen anderer zu vergleichen, was ein generelles Problem bei klinischen Studien ist.

Daher soll an dieser Stelle nur festgestellt werden, dass die relativen Reinigungserfolge dieser Studie vergleichbar sind mit denen anderer Studien, deren Studiendesign ebenfalls auf dem Navy-Plaque-Index basierten. Desweiteren zeigte sich in der vorliegenden Studie, dass eine habituelle Putztechnik zu einem höheren relativen Reinigungserfolg führt als eine standardisierte (Tabelle 6.2).

Tabelle 6.1: Relative Reinigungserfolge in Studien, deren relativer Reinigungserfolg auf dem SLI basierten.

Studie	Putztechnik	Anpresskraft (in N)	Plaquereduktion (in %) vestibulär gesamt
van der Weijden, 1996	standardisiert	1,00	31
van der Weijden, 1996	standardisiert	1,50	36
van der Weijden, 1996	standardisiert	2,00	46
van der Weijden, 1996	standardisiert	2,50	42
van der Weijden, 1996	standardisiert	3,00	56
van der Weijden, 2004	standardisiert	1,50	58
van der Weijden, 2004	standardisiert	3,50	53
Graveland, 2004	habituell	k.A.	82

Tabelle 6.2: Relative Reinigungserfolge in Studien, deren relativer Reinigungserfolg auf dem Navy-Plaque-Index basierten.

Studie	Putztechnik	Anpresskraft (in N)	Plaquereduktion (in %) vestibulär gesamt
Claydon, Addy, 1995	habituell	k.A.	74,0
Claydon, Addy, 1995	habituell	k.A.	65,9
Claydon, Addy, 1995	habituell	k.A.	71,2
Claydon, Addy, 1996	habituell	k.A.	74,3
Claydon, Addy, 1996	habituell	k.A.	76,8
Claydon, Addy, 1996	habituell	k.A.	76,2
Claydon, Addy, 1996	habituell	k.A.	72,3
vorliegende Studie	habituell	1,58 (0,80-2,50)	69
vorliegende Studie	habituell	2,34 (1,00-4,50)	68
vorliegende Studie	standardisiert	3,00	59
vorliegende Studie	standardisiert	3,00	60

Im Rahmen der bivariaten Analyse in Absatz 5.1 zeigte sich, dass das Zahnbürstenmodell A und das Zahnbürstenmodell B bei der Verwendung der standardisierten Putztechnik im 1. Quadranten, mit einem relativen Reinigungserfolg von 59% bzw. 60% (Tabelle 5.7, 5.8) über alle Zähne hinweg, jeden Zahn gleich gut reinigte. Bei der Betrachtung der einzelnen Zahnfelder zeigte sich, dass beide Zahnbürstenmodelle das Zahnfeld D sehr schlecht reinigten. Weiter zeigte sich, dass das Zahnbürstenmodell B das Zahnfeld B signifikant besser reinigte und das Zahnbürstenmodell A das Zahnfeld G (Abbildung 5.2), welches zu den approximalen Zahnfeldern gezählt werden kann.

Unter Verwendung der habituellen Putztechnik im 2. Quadranten zeigte sich bei der bivariaten Analyse erneut ein ähnlicher Reinigungserfolg für die Zahnbürstenmodelle A und B von 69% bzw. 68% (Tabelle 5.13, 5.14). Im Gegensatz zum 1. Quadranten gab es bei den einzelnen Zahnfeldern keine signifikanten Abweichungen, auch wenn es eine deutliche Abweichung im Zahnfeld F zugunsten des Zahnbürstenmodells A gab, welches ebenfalls zu den approximalen Zahnfeldern gezählt werden muss (Abbildung 5.4).

Im Rahmen der multivariaten Analyse in Absatz 5.2 unterschieden sich die beiden Zahnbürstenmodelle weder bei der standardisierten Putztechnik im 1. Quadranten noch bei der habituellen Putztechnik im 2. Quadranten in signifikanter Höhe voneinander, sodass sich die Ergebnisse der bivariaten Analyse bestätigten.

So kann festgestellt werden, dass sich die beiden Zahnbürstenmodelle A und B im Rahmen der bivariaten Analyse in signifikanter Höhe im Zahnfeld B und G unterschieden. Dabei zeigt das Zahnbürstenmodell A einen signifikant besseren relativen Reinigungserfolg im approximal gelegenen Zahnfeld G, während das Zahnbürstenmodell B das vestibulär liegende Zahnfeld B signifikant besser reinigte. Im Rahmen der multivariaten Analyse zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Demnach bestätigen sich die Ergebnisse aus den durchgeführten in vitro Studien (Murad et al., 2008a; 2008b) insofern, als das Zahnbürstenmodell A mit seinem zweistufigen Borstenmuster in der Lage ist, einzelne approximal liegende Zahnfelder besser zu reinigen als das herkömmliche Zahnbürstenmodell B mit einem planen Borstenfeld.

6.3. Plaqueentfernung in Korrelation zur Anpresskraft

Es steht außer Frage, dass unterschiedliche Putzkräfte zu unterschiedlichen Reinigungsleistungen führen, ob dabei eine erhöhte Anpresskraft zu einem besseren oder schlechteren Ergebnis führt, wurde kontrovers diskutiert. Van der Weijden et al. stellten 1996 fest, dass eine erhöhte Anpresskraft, sowohl bei manuellen als auch bei elektrischen Zahnbürsten bis zu einer Kraft von 3,00 Newton, zu besseren Reinigungsleistungen führt. 1998 stellten van der Weijden et al. fest, dass eine steigende Anpresskraft nicht endlos zu besseren Reinigungsergebnissen führt. Sie errechneten für diesen Übergangsbereich eine durchschnittliche Kraft von 4,07 Newton. 2003 widmeten sich Mc Cracken et al. dieser Aufgabenstellung und stellten fest, dass es ab einer Anpresskraft von 1,50 Newton nicht mehr zu einer verbesserten Reinigungsleistung kommt.

Dabei ist festzuhalten, dass es in den dargestellten Studien weder van der Weijden et al. 1996, 1998 und 2004 noch Mc Cracken et al. 2003 gelang, einer individuellen Putzkraft einer bestimmten Reinigungsleistung zuzuordnen. Es konnte lediglich mit verschiedenen vorgegebenen Putzkraften festgestellt werden, dass eine Putzkraft zwischen 1,50 Newton und 4,07 Newton zu keinem verbesserten Reinigungserfolg führt. Inwiefern diese vorgegebene Putzkraft und die vorgegebene Putztechnik mit der individuellen Putztechnik und der individuellen Anpresskraft im Alltag zu vergleichen ist, bleibt dabei unklar.

Neben der Feststellung, dass unterschiedliche Putzkräfte zu unterschiedlichen Reinigungsleistungen führen, kann weiter festgestellt werden, dass steigende Putzkräfte über 2,00 Newton einen negativen Einfluss auf Abrasionen und Weichgewebsdefekte haben (Mireau et al., 1989). Dabei muss beachtet werden, dass neben den unterschiedlichen Putzkraften, auch die Härte der Borsten einen Einfluss auf die Defekte im Hart- und Weichgewebe haben. So erreichten die Probanden mit einer härteren Zahnbürste in der Regel bessere Reinigungsleistungen als mit einer weichen Zahnbürste. Allerdings führte die Benutzung von harten Zahnbürsten auch zu größeren Traumata an Hart- und Weichgeweben als eine weiche Zahnbürste (Dyer et al., 2000; Zimmer et al., 2011).

Aufgrund der dargestellten Literatur scheint eine Anpresskraft von über 1,50 Newton zu keinen verbesserten Reinigungsleistungen zu führen und ab einer Putzkraft von über 2,00 Newton besteht sogar das Risiko, dass es zu Defekten sowohl am Zahn als auch am Weichgewebe kommt. Vor dem Hintergrund erscheint es fraglich, dass bei der Zahnbürste Oral-B Triumph 5000 (Procter & Gamble Company, Kronberg, Deutschland) der Warnhinweis über eine zu hohe

Anpresskraft erst bei einer Kraft von 2,80 Newton bis 3,30 Newton auslöst. Es sei jedoch angemerkt, dass diese Kräfte bei einer habituellen Putztechnik erreicht werden. (Werksangabe 2011)

In diesem Zusammenhang ist es interessant, die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit einzuführen. Hier zeigte sich, dass eine standardisierte Putztechnik und eine vorgegebene Putzkraft, auf denen die Ergebnisse bisheriger Verfahren basieren, im Vergleich zur habituellen Putztechnik schlechter abschneiden (Absatz 5.1.4). Vor dem Hintergrund stellt sich die Frage, inwiefern die bisher erhobenen Daten überhaupt in den Alltag übertragen werden können. Um so wichtiger war es, einen erneuten - wissenschaftlich fundierten - Versuch zu unternehmen, einer habituellen Putztechnik einen entsprechenden Reinigungserfolg zuzuordnen. Die multivariate Analyse des relativen Reinigungserfolges bei habitueller Putztechnik im Absatz 5.2.1 zeigt, dass eine steigende Anpresskraft einen negativen Einfluss auf den Reinigungserfolg hat. Aufgrund dieses Hinweises wurde im Absatz 5.3 eine gesonderte Untersuchung im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Reinigungserfolg und Anpresskraft, durchgeführt. Hier konnten tatsächlich erstmals für die beiden Zahnbürstenmodelle Funktionen erstellt werden, die einer individuellen Anpresskraft einen relativen Reinigungserfolg zuordnen (Abbildung 5.7 bis Abbildung 5.9). Dabei wurde die bisher aufgestellte Theorie bestätigt, dass es bei der Überschreitung einer bestimmten Anpresskraft zu einer Verminderung der Reinigungsleistung kommt. Insbesondere für das Zahnbürstenmodell B lässt sich sagen, dass ab einer Anpresskraft von ca. 2,75 Newton eine erhebliche Reduzierung des Reinigungserfolges eintritt. Für das Zahnbürstenmodell A liegen für diesen Bereich keine Daten vor.

Die entscheidenden Ergebnisse sind dementsprechend die Feststellung in Absatz 5.3, dass es gelungen ist mit dem Zahnbürstenmodell A einen adäquaten Reinigungserfolg zu erzielen mit einer Anpresskraft die deutlich unterhalb der Anpresskraft von Zahnbürstenmodell B liegt und dass es gelungen ist, die Anpresskraft als entscheidende Variable bei der habituellen Putztechnik zu bestimmen und einem entsprechenden Reinigungserfolg zuzuordnen.

Es stellt sich nach dieser Arbeit die Frage, welche Aussagekraft von bisherigen in-vivo Studien ausgeht, die die Probanden auf eine entsprechende Anpresskraft kalibrierten. Es könnte sich zeigen, dass die Putzergebnisse aus in-vivo Studien, bei denen die Probanden sich auf standardisierte Weise die Zähne putzten, generell nicht mit in-vivo Studien zu vergleichen sind, bei denen sich die Probanden die Zähne individuell putzen durften. In Folge dessen müsste erneut untersucht werden, inwiefern eine in-vitro Studie zu vergleichbaren Putzergebnissen führt,

wie eine in-vivo Studie. Dieser Zusammenhang konnte bisher nur für den Vergleich zwischen standardisierten Putzvorgaben hergestellt werden (Staufer, 2011). Demnach ist in kommenden Studien zu überprüfen, inwiefern sich die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse in einer in-vitro Studie nachweisen lassen. Hierbei sollten vor allem die Reinigungsleistungen einer Zahnbürste bei einer Anpresskraft zwischen 1,00 Newton und 3,00 Newton untersucht werden.

6.4. Zahnputztechniken

Wie in der Literaturübersicht dargestellt, gibt es verschiedene Zahnputztechniken (Absatz 3.5). Es ist dabei festzuhalten, dass insbesondere das systematische Vorgehen einen entscheidenden Einfluss auf den Reinigungserfolg hat (Rateitschak et al., 1989). Desweiteren führen verschiedene Putztechniken in klinischen Untersuchungen zu keinem besseren oder schlechteren Reinigungserfolg (Robinson, 1976; MacGregor et al., 1979; Stauffer, 2011). Besser sollte mit dem Patienten entsprechend seiner Vorerkrankung und seinem motorischen Geschick eine passende Zahnputztechnik eingeübt werden (Fath, 2000).

In der vorliegenden Studie wurden im 2. Quadranten bei der habituellen Putztechnik die verschiedenen Putztechniken der Probanden einer rotatorischen, einer rot-weiß und einer horizontal schrubbenden Gruppe zugeordnet (Absatz 3.5.8). Diese Einteilung erschien praktikabel und sollte die gängige These, dass keine Putztechnik einer anderen im Hinblick auf den Reinigungserfolg überlegen ist, kontrollieren.

Wie in Absatz 5.2.1 dargestellt ließ sich in der vorliegenden Studie zeigen, dass die Putztechnik für den relativen Reinigungserfolg $Q2_{\text{Rein}}$ irrelevant war. Die gleiche Situation zeigte sich bei der folgenden Untersuchung in Absatz 5.3.1, bei der der relative Reinigungserfolg $Q2_{\text{Allz}}$ für jeden einzelnen Zahn im 2. Quadranten beobachtet wurde.

Damit konnte erneut die gängige These bestätigt werden, dass verschiedene Putztechniken weder einen positiven noch einen negativen Einfluss auf den Reinigungserfolg haben. So kann davon ausgegangen werden, dass nach wie vor die Putztechnik nach den individuellen Bedürfnissen der Patienten ausgewählt werden sollte, sodass sie in der Lage sind, das geforderte systematische Vorgehen einzuhalten.

6.5. Reinigungserfolg bei Rechts- und Linkshändern

In der Literatur hat sich gezeigt, dass die Hand mit der sich eine Person die Zähne putzt, einen Einfluss auf den Reinigungserfolg auf der rechten und linken Seite hat (Addy et al., 1987; Addy et al. 1990; Tezel et al., 2001). So war davon auszugehen, dass Rechtshänder im 1. Quadranten und Linkshänder im 2. Quadranten einen besseren relativen Reinigungserfolg erreichen würden. Da in der vorliegenden Studie der 2. Quadrant mit einem habituellen Verfahren untersucht wurde, bei dem auch die Hand, mit der sich der Proband die Zähne putzte, als mögliche Variable aufgenommen wurde, konnte es dazu kommen, dass Linkshänder besser abschneiden als Rechtshänder.

In Absatz 5.3.1 zeigte sich, dass einer der beiden Linkshänder im Hinblick auf seinen relativen Reinigungserfolg ($Q2_{Allz}$) signifikant negativ im Vergleich zu den restlichen Probanden abwich. Dahingegen zeigte sich für den relativen Reinigungserfolg ($Q1_{Rein}$) kein signifikant abweichendes Ergebnis im Vergleich zu den anderen Probanden.

Während sich also im 1. Quadranten, in dem bessere Reinigungsleistungen von Rechtshändern zu erwarten gewesen wären, keine unterschiedlichen relativen Reinigungserfolge darstellten, wick im 2. Quadranten einer der beiden Linkshänder signifikant negativ ab, obwohl es eigentlich zu besseren relativen Reinigungserfolgen der Linkshänder hätte kommen müssen. Aufgrund der Tatsache, dass in dieser Studie nur 2 Linkshänder aufgenommen werden konnten, ist diesem Ergebnisse keine zu große Bedeutung beizumessen. Dennoch sollte festgehalten werden, dass die Hand, mit der sich ein Proband die Zähne putzt, einen signifikanten Einfluss auf den relativen Reinigungserfolg haben kann und daher in zukünftigen Studien darauf geachtet werden sollte, dass gleich viele Rechts- und Linkshänder aufgenommen werden, um mit einer besseren Datenlage eventuelle Zusammenhänge nachweisen zu können.

6.6. Material und Methode

Mit Hilfe der 20 Probanden sollten zwei verschiedene Zahnbürstenmodelle miteinander verglichen werden. Zum einen das Zahnbürstenmodell A mit einem zweistufigen Bürstenkopfdesign, das durch längere dünne Borsten und kürzere dicke Borsten entsteht. Zum anderen das Zahnbürstenmodell B, das stellvertretend für herkömmliche Zahnbürstenmodelle mit einem planen Bürstenkopfdesign steht. Neben dem Unterschied im Bürstenkopfdesign, unterschieden sich die Zahnbürsten auch im Handgriff. Während der Bürstenkopf des Zahnbürstenmodells A über Federungssysteme mit dem Handgriff verbunden ist, ist der Bürstenkopf des Zahnbürstenmodells B direkt mit dem Handgriff verbunden. In der Studie zeigte sich, dass beim Zahnbürstenmodell A eine erheblich geringere Anpresskraft genutzt wurde, als beim Zahnbürstenmodell B. Aufgrund des Bürstendesigns ist es schwer nachzuvollziehen, ob die geringere Anpresskraft aus dem unangenehmen Gefühl durch die langen, dünnen Borsten des Zahnbürstenmodells A resultiert oder aus dem Zahnbürstendesign mit den zusätzlichen Federungssystemen. In zukünftigen Studien, sollte das Zahnbürstenmodell A mit einem anderen Modell mit Federungssystemen und einem planen Borstenfeld getestet werden, um den Unterschied durch die Anpresskraft zweifelsfrei auf das Bürstenkopfdesign zurückführen zu können.

Die Kalibrierung der Probanden auf eine Anpresskraft von 3,00 Newton für die standardisierte Putztechnik erfolgte mit Hilfe einer modifizierten Waage. Obwohl in Absatz 5.2.2 gezeigt werden konnte, dass es gelungen ist, die Probanden auf diese Anpresskraft zu kalibrieren, zeigte sich während der klinischen Untersuchung, dass es zu Schwierigkeiten kommen kann, wenn die Probanden außerhalb des Mundes auf ihre Anpresskraft kalibriert werden. Vor allem stellte es sich als nachteilig heraus, dass während des Putzens nicht kontrolliert werden konnte, ob der Proband die richtige Anpresskraft verwendete. Daher würde es eventuell zu einer verbesserten Datenlage kommen, wenn mit einer speziellen Apparatur, die Anpresskraft im Mund gemessen werden könnte (van der Weijden et al., 1996).

Das Studiendesign im Sinne einer Cross-over Studie (Claydon und Addy, 1995; 1996), erwies sich als sehr günstig, da in kurzer Zeit mit einer geringen Anzahl von Probanden eine Datenlage erhoben werden konnte, mit der die meisten Fragestellungen, abgesehen vom Einfluss der Hand mit der sich der Proband die Zähne putzt, dieser Arbeit bearbeitet werden konnten.

Bei der Analyse der erhobenen Daten zeigte sich, dass die Durchführung einer multivariaten Analyse erheblich zur Qualität beitrug. Wäre nur eine bivariate Analyse durchgeführt worden, hätte der Zusammenhang zwischen der habituellen Putztechnik und dem relativen Reinigungserfolg nicht hergestellt werden könne. Aus diesem Grund sollte in zukünftigen Studien vermehrt auf eine multivariate Analyse zurückgegriffen werden.

7. Schlussfolgerung

Mit der vorliegenden Arbeit wurden zwei Fragestellungen verfolgt. Zum einen sollte das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn (GlaxoSmithKline, Bülh, Deutschland) mit dem Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf (Procter & Gamble, Kronberg, Deutschland) im Hinblick auf die Reinigungsleistung, insbesondere in den Approximalräumen untersucht werden. Zum anderen sollte der Versuch unternommen werden, einen festgestellten Reinigungserfolg nicht nur einer standardisierten Putztechnik sondern auch einer habituellen zuzuordnen.

Dazu putzten sich 20 Probanden an zwei Studienwochenenden die Zähne mit einer Handzahnbürste mit einem planen und einem zweistufigen Bürstenkopf, jeweils im 1. Quadranten nach genauen Vorgaben und im 2. Quadranten mit ihrer individuellen Putztechnik. Nach der Analyse der erhobenen Daten konnte festgestellt werden, dass

- I. beide Zahnbürstenmodelle sowohl im 1. als auch im 2. Quadranten ähnliche relative Reinigungserfolge erzielten. Dabei reinigte das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn das approximal liegenden Zahnfeld G besser als das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf. Dahingegen reinigte das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf das vestibulär liegende Zahnfeld B besser (Absatz 5.2.1, Absatz 5.2.3).
- II. die habituelle Putztechnik zu besseren relativen Reinigungserfolgen führte, als die Standardisierte (Absatz 5.1.4).
- III. das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn bei gleichem relativen Reinigungserfolg mit einer um 32,48% geringeren Anpresskraft benutzt wurde, als das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf (Absatz 5.2.1).
- IV. eine um 1,00 Newton ansteigende Anpresskraft zu einem um 5% schlechteren relativen Reinigungserfolg führte (Absatz 5.2.1).
- V. unterschiedliche Putztechniken keinen Einfluss auf den Reinigungserfolg hatten (Absatz 5.2.1, 5.3.1).
- VI. es neben der Anpresskraft weitere Variable geben musste, die den relativen Reinigungserfolg beeinflussten, die in dieser Arbeit nicht näher bestimmt werden konnten (Absatz 5.2.1).
- VII. das Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn unter der als kritisch angesehenen Anpresskraft von 2,00 Newton, die für Abrasionen und Weichgewebsdefekte verantwortlich

gemacht wird (Mireau et al., 1989) lag und daher als eine schonende Zahnbürste bezeichnet werden konnte, wohingegen das Zahnbürstenmodell Oral-B Indicator 40 Normalkopf, mit einer durchschnittlichen Anpresskraft von 2,34 Newton, über der kritischen Anpresskraft lag (Absatz 5.2.1).

VIII. es dem Zahnbürstenmodell Dr.BEST Zwischenzahn auch in einer klinischen Studie gelang, mit seinem zweistufigen Borstenkopfmuster approximal besser zu reinigen als ein herkömmliches Zahnbürstenmodell mit einem planen Bürstenkopf (Absatz 5.2.1, Absatz 5.2.3).

8. Zusammenfassung

Es wurde nach einem Cross-Over Design die Plaqueentfernung von zwei verschiedenen Handzahnbürsten über einen Zeitraum von 39 Tagen untersucht. An der Untersuchung nahmen 20 Probanden teil. Jeder Proband verwendete jeweils einmal die beiden zu untersuchenden Zahnbürsten, nachdem sie für 3 Tage jegliche Mundhygiene unterlassen hatten. Die gebildete Plaque wurde mit einer Kamera aufgenommen und später am Bildschirm mittels des Navy Plaque Index nach Rustogi et al. (1992) bestimmt. Anschließend putzten sich die Probanden im 1. Quadranten die Zähne nach genauen Vorgaben und im 2. Quadranten in ihrer individuellen Putztechnik, jeweils für 20 Sekunden. Anschließend wurde erneut ein Fotostatus angefertigt.

Bei der standardisierten Putztechnik im 1. Quadranten kam es mit dem Zahnbürstenmodell mit dem zweistufigen Borstenfeld zu einer Plaquereduktion von durchschnittlich 59% und bei dem Zahnbürstenmodell mit dem planen Borstenkopf zu einer durchschnittlichen Plaquereduktion von 60%. Bei der individuellen Putztechnik im 2. Quadranten kam es mit dem Zahnbürstenmodell mit dem zweistufigen Borstenfeld zu einer Plaquereduktion von durchschnittlich 69% und bei dem Zahnbürstenmodell mit dem planen Borstenkopf zu einer durchschnittlichen Plaquereduktion von durchschnittlich 68%. Die Zahnbürste mit dem zweistufigen Borstenkopf führte weder bei der standardisierten noch bei der habituellen Putztechnik zu signifikant besseren Reinigungsleistungen.

Die habituelle Putztechnik führte sowohl bei der Zahnbürste mit dem zweistufigen Bürstenkopf als auch bei der Zahnbürste mit dem planen Bürstenkopf zu signifikant besseren Reinigungsergebnissen als die standardisierte Putztechnik. Bei der Untersuchung der einzelnen Zahnfelder ergab sich bei der standardisierten Putztechnik ein signifikanter Unterschied im Zahnfeld B zu Gunsten des Zahnbürstenmodells mit dem planen Borstenkopfmuster und im Zahnfeld G zu Gunsten des Zahnbürstenmodells mit dem zweistufigen Borstenkopfmuster.

Die vorliegende Studie bestätigte die Ergebnisse aus den bisherigen in vitro Studien, dass das Zahnbürstenmodell mit dem zweistufigen Bürstenkopf, insbesondere in den approximalen Bereichen zu besseren Reinigungsergebnissen führte als das Zahnbürstenmodell mit dem planen Bürstenkopf.

Bei der Analyse der vorliegenden Daten konnte erstmals ein Zusammenhang zwischen den individuellen Putztechniken und der jeweiligen Reinigungsleistung hergestellt werden. Im Vergleich zu einer vorgegebenen Putztechnik ergab sich eine höhere Reinigungsleistung. Desweiteren zeigte sich, dass eine steigende Anpresskraft zu schlechteren Reinigungsergebnissen führte.

9. Summary

The purpose of the present study was to test the effectiveness of a manual toothbrush with a new filament arrangement in comparison to a toothbrush with a traditional filament arrangement. For this study twenty dental and non-dental students were selected. The study consisted of two experimental periods. Prior to each experimental period the students received a professional dental cleaning and were instructed to abstain from oral hygiene for at least 72h. At baseline the teeth in the first and second quadrant were disclosed using Mira-2 Tone disclosing solution. Next, the examiner documented the amount of dental plaque with three dental photographs (frontal, left lateral, right lateral). The subjects brushed their teeth during the first experimental period with one of the two toothbrushes and changed the toothbrush for the second period. Brushing was performed in the first quadrant with a brushing force of 2.50 Newton and a horizontal brushing technique. In the second quadrant the subjects were instructed to brush as they normally do. In both quadrants brushing was performed for 20 seconds. Visual assistance was given for the first quadrant to control technique and time. Again, three dental pictures were taken of each student in order to document the amount of dental plaque.

The plaque reduction with the given brushing force and technique for the toothbrush with a new filament arrangement was 59%, with a traditional filament arrangement 60%. In comparison the results of a plaque reduction with an individual brushing force and technique were 69% with the new filament arrangement and 68% after using a traditional filament arrangement. Using an individual brushing technique and force is significantly more efficient than using a predetermined brushing force and technique. The plaque removal in zone B with given instructions was significant more efficient with a traditional filament arrangement and in zone G with a new filament arrangement.

This study confirmed the results of prior in vitro studies, namely that the toothbrush with the new filament arrangement was significantly more efficient especially at interproximal surfaces. For the first time it was possible to document a relationship between the individual brushing force and the level of plaque reduction. We conclude that an increase of the brushing force of 1.00 Newton will have a negative effect of 5 % upon the level of plaque reduction.

10. Abstract

The plaque removal of two different manual toothbrushes was examined throughout a 39 day cross over period. Twenty subjects participated in the study. Every subject used both toothbrushes to be examined once after not having any kind of oral hygiene for 3 days. The plaque formed was photographed with a camera and later determined on the screen using the Navy Plaque Index according to Rustogi et al. (1992). Afterwards, the study participants brushed their teeth in the 1st quadrant following exact indications and in the 2nd quadrant with their individual brushing techniques, in each case for 20 seconds. Another photograph was taken afterwards.

With the standardized brushing technique employed in the 1st quadrant, plaque was reduced by an average of 59% with the toothbrush with the two-stage bristles and by an average of 60% with the toothbrush model with the flat bristle head. Using the individual brushing technique in the 2nd quadrant, plaque was reduced by an average of 69% with the toothbrush with the two-stage bristles and by an average of 68% with the toothbrush model with the flat bristle head. The cleaning result achieved with the toothbrush with the two-stage bristles was not significantly better, neither with the standardized nor with the habitual brushing technique.

The cleaning result of the habitual brushing technique was significantly better than the standardized brushing technique, both when using the toothbrush with the two-stage bristles and when using the toothbrush with the flat bristle head.

When the individual tooth fields were examined, the standardized brushing technique was significantly different in tooth field B in favor of the toothbrush model with the flat bristle head pattern, and in tooth field G in favor of the toothbrush model with the two-stage bristle head pattern.

This study confirmed the results obtained in current in vitro studies, namely that the toothbrush model with the two-stage bristle head leads to better cleaning results (especially in the proximal areas) than the toothbrush model with the flat bristle head.

When the data were analyzed, a connection between the individual brushing techniques and the respective cleaning result could be established for the first time. Compared to a given brushing technique, there was better cleaning result. It was also determined that a higher contact pressing force led to worse cleaning results.

11. Conclusion

This dissertation aimed to elucidate two problems: First of all, to compare the cleaning result (particularly in the proximal areas) obtained with the Dr.BEST Interdental toothbrush model made by GlaxoSmithKline of Bühl (Germany) with that of the Oral-B Indicator 40 Normal Head toothbrush model made by Procter & Gamble of Kronberg (Germany). Secondly, an attempt was made to allocate a determined cleaning result not only according to a standardized brushing technique but also to a habitual one.

To find out, 20 study participants brushed their teeth on two study weekends with a manual toothbrush that had a flat bristle head and one that had a two-stage bristle head, in each case in the 1st quadrant according to exact indications and in the 2nd quadrant with their individual brushing technique. After analyzing the collected data, it was possible to determine that:

- I. Both toothbrush models were similarly successful for cleaning the 1st and 2nd quadrants. However, the Dr.BEST Interdental toothbrush model cleaned the proximally located tooth field G better than the Oral-B Indicator 40 Normal Head toothbrush model. On the other hand, the Oral-B Indicator 40 Normal Head toothbrush model cleaned tooth field B located in the vestibule better (paragraphs 5.2.1 & 5.2.3).
- II. Habitual brushing technique was, relatively speaking, better for cleaning teeth than the standardized one (paragraph 5.1.4).
- III. With equal relative cleaning result, the Dr.BEST Interdental toothbrush was used with 32.48% lower contact pressing force than the Oral-B Indicator 40 Normal head toothbrush model (paragraph 5.2.1).
- IV. A higher contact pressing force that increases by 1.00 newton led to a 5% worse relative cleaning result (paragraph 5.2.1).
- V. Different brushing techniques have no influence on the cleaning result (paragraphs 5.2.1 & 5.3.1).
- VI. Apart from the contact pressing force, additional variables had to exist for influencing the relative cleaning result, but they could not be precisely determined in this dissertation (paragraph 5.2.1).

-
- VII. The Dr.BEST Interdental toothbrush model was used under the critically regarded contact pressing force of 2.00 newtons (responsible for abrasions and soft tissue defects, see Mireau et al., 1989)) and therefore could be regarded as a gentle toothbrush. On the other hand, the Oral-B Indicator 40 Normal Head toothbrush model with an average contact pressing force of 2.34 newtons was above the critical contact pressing force (paragraph 5.2.1).
- VIII. In a clinical study, the Dr.BEST Interdental toothbrush model with its two-stage bristle head pattern was also capable of cleaning proximally better than a conventional toothbrush model with a flat bristle head (paragraphs 5.2.1 & 5.2.3).

12. Literaturverzeichnis

- ADA American Dental Association: Acceptance Program Guidelines Toothbrushes. Council on Scientific Affairs. <http://www.ada.org/ada/seal/standards/index.asp>. Toothbrushes PDF file/46 K, 1998; S. 4-8
- Addy M, Griffiths G, Dummer P, Kingdom A, Shaw WC: The distribution of plaque and gingivitis and the influence of toothbrushing hand in a group of South Wales 11-12 year-old children. *J Clin Periodontol.* 1987; 14: 564-72.
- Addy M, Griffiths G, Dummer P, Kingdom A, Shaw WC: The effect of toothbrushing frequency, toothbrushing hand, sex and social class on the incidence of plaque, gingivitis and pocketing in adolescents: a longitudinal cohort study. *Community Dent Health.* 1990; 7: 237-47.
- Addy M, Adriaens P: Consensus report of group A. In: Lang NP, Attström R, Loe H: Proceedings of the European Workshop on Mechanical Plaque Control. Quintessenz, Chicago etc. 1998
- Al Hakim MS: Klinisch kontrollierte Studie zur Überprüfung der Mundhygieneeffektivität der natürlichen Zahnbürste (Siwak) aus der Arak-Pflanze (*Salvadora persica*). Zahnmedizinische Dissertation, Universität Witten/Herdecke, 2003.
- Bass CC: An effective method of personal hygiene. Part I. *J La State Med Soc.* 1954a; 106: 57-73
- Bass CC: An effective method of personal hygiene. Part II. *J La State Med Soc.* 1954b; 106: 100-12
- Bell T: *The Anatomy, Physiology and Diseases of the Teeth.* London. 1829; Zitiert nach Hoffmann-Axthelm W: *Die Geschichte der Zahnheilkunde.* 2 Aufl. Quintessenz, Berlin.
- Bernstein JG: *Praktisches Handbuch für Wundärzte und Geburtshelfer.* Teil II, 2. Aufl. Leipzig. 1790; Zitiert nach Hoffmann-Axthelm W: *Die Geschichte der Zahnheilkunde.* 2 Aufl. Quintessenz, Berlin.
- Block PL, Lobene RR, Derdivanis JP: A two-tone dye test for dental plaque. *J Periodontol.* 1972; 43: 423-6
- Bortz J: *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler,* 6. Auflage, Heidelberg. 2005.
- Breitenmoser J, Mormann W, Mühlemann HR: Damaging effects of toothbrush bristle end form on gingiva. *J Periodontol.* 1979; 50: 212–6
- Bretz MJ: Vergleichende Plaque-Planimetrie am Beispiel der Reinigungsleistung eines Kauschaums. Zahnmedizinische Dissertation Universität Witten/Herdecke 2011.

-
- Cakur B, Yildiz M, Dane S, Zorba YO: The effect of right or left handedness on caries experience and oral hygiene. *J Neurosci Rural Pract.* 2011; 2: 40-2
- Charters WJ: Ideal tooth brushing. *J Dent Res.* 1922; 4: 11-6
- Claydon N, Addy M: The use of planimetry to record and score the modified Navy-index and other area-based plaque indices, *J Clin Periodontol.* 1995; 22: 670-3
- Claydon N, Addy M: Comparative single-use plaque removal by toothbrushes of different designs. *J Clin Periodontol.* 1996; 23: 1112-6
- Cole, T.C., Müller, E., und Becker, H., „Chewing sticks“ - Zahnhölzer, volkstümliche Zahnpflege ohne Zahnbürste. *Pharm Unserer Zeit* 10 (1981), 150-5.
- Costerton JW: *The Biofilm Primer.* Springer-Verlag, Berlin etc. 2007
- Danser MM, Timmerman MF, Ijzerman Y, Bulthuis H, Van der Velden U, Van der Weijden GA:** Evaluation of the incidence of gingival abrasion as a result of toothbrushing. *J Clin Periodontol.* 1998; 25: 701–6.
- Danser MM, Timmerman MF, Ijzerman Y, Piscoer MI, van der Velden U, van der Weijden GA: Plaque removal with a novel manual toothbrush (X-Active) and the Braun Oral-B 3D Plaque Remover. *J Clin Periodontol* 2003; 30: 138–44.
- Dexheimer V: *Zählmodellen (Count Data Models) Ansätze und Anwendungen,* Institut für Statistik und Ökonometrie, Mainz. 2002
- Dörfer CE: Mechanische Plaquekontrolle in Gängler P et al.: *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie.* 2. Auflage Thieme, Stuttgart. 2005
- Dyer D, Addy M, Newcombe RG: Studies in vitro of abrasion by different manual toothbrush heads and standard toothpaste, *J Clin Periodontol.* 2000; 27: 99-103
- Ebeleseder KA: Trauma der Zähne in Gängler P et al.: *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie.* 2. Auflage Thieme, Stuttgart. 2005
- Elliot JR, Bowers GM, Clemmer BA, Rovelstad GH: Evaluation of an oral physiotherapy center in the reduction of bacterial plaque and periodontal disease. *J Periodontol.* 1972; 43: 221-4
- Eustachius B, *Libellus De Dentibus. Venetiis.* 1563; Zitiert nach Hoffmann-Axthelm W: *Die Geschichte der Zahnheilkunde.* 2 Aufl. Quintessenz, Berlin.
-

-
- Fath S: Zahnputztechniken. In: Roulet JF, Fath S, Zimmer S: Lehrbuch der Prophylaxeassistentin. 2. Auflage Urban & Fischer, München 2000; S. 172
- Fischman SL: Current status of indices of plaque. J Clin Periodontol. 1986; 13:371-4
- Fones AC: Mouth Hygiene – a Text-Book for Dental Hygienists. Lea & Febinger, Philadelphia. 1934
- Fox J: The history and treatment of the diseases of the teeth, London. 1806; Zitiert nach Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. 2 Aufl. Quintessenz, Berlin.
- Fraleigh CM, Elhaney JHMC, Heiser RA: Toothbrushing force study. J Dent Res. 1967; 46: 209-14
- Frandsen AM, Barbano JP, Suomi JD, Chang JJ, Houston R: A comparison of the effectiveness of the Charters, scrub and roll methods of toothbrushing in removing plaque. Scand J Dent Res. 1972; 809: 267-71
- Gängler P et al.: Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie. 2. Auflage Thieme, Stuttgart. 2005
- Genco R.J.: Microbial dental plaque. In: Genco RJ, Goldman HM, Cohen DW: Contemporary Periodontics. Mosby, St. Louis 1990; S. 126.
- Graveland MP, Rosema NAM, Timmerman MF, Van der Weijden GA: The plaque-removing efficacy of a finger brush (I-Brushes). J Clin Periodontol 2004; 31: 1084– 7.
- Greene JC, Vermillion JR: The oral hygiene index: a method for classifying oral hygiene status. J Am Dent Assoc. 1960; 61: 172-9
- Greene JC, Vermillion JR: The simplified oral hygiene index. J Am Dent Assoc. 1964; 68: 7-13
- Greene WH: Econometric Analysis. 2nd edition Prentice Hall International, New York, 1993
- Greene WH: Econometric Analysis. 5th edition Prentice Hall International, New York, 2003
- Gülzow HJ, Busse G: Klinisch-experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit verschiedener Zahnputzmethoden und Zahnputzmittel. Dtsch. Zahnärztl. Z. 1970; 25: 1126-34
- Gülzow HJ: Oralhygiene. Münch Med Wochenschr. 1978; 120: 1637-42
- Gujarati, Damodar N: Basic Econometrics, 5. Auflage, New York. 2003
- Harrap GJ: Assessment of the effect of dentifrices on the grove of dental plaque. J Periodontol. 1974; 1: 166-74
-

-
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. 5. überarbeitete und erweiterte Auflage Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln. 2009
- Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. 2 Aufl. Quintessenz, Berlin. 1985; S. 360-4, S. 453-62
- Janusz K, Neson B, Bartizek RD, Walters PA, Biesbrock AR: Impact of a novel power toothbrush with Smart Guide technology on brushing pressure and thoroughness. J Contemp Dent Pract. 2008; 19: 1-8.
- Ketterl W.: Zahnerhaltung II – Praxis der Zahnheilkunde 3. 3. Auflage Urban & Schwarzenberg, München. 1993
- Klimek J, Hellwig E: Clinical comparison of newly introduced toothbrush with two presently available toothbrushes, Oralprophylaxe. 1989; 11, 144-8
- Klimm W: Kariologie: Ein Leitfaden für Studierende und Zahnärzte, Carl Hanser Verlag, München, Wien. 1997
- König KG: Karies und Parodontopathien. Ätiologie und Prophylaxe. Thieme, Stuttgart. 1987
- Lange DE: Parodontologie in der täglichen Praxis. Quintessenz, Berlin. 1990
- Leonhard NS: In our opinion – home technics for the care of the teeth. J Periodont. 1949; 20: 37-41
- Löe HJ, Theilade E, Jensen SB: Experimental Gingivitis in Man. J Periodontol. 1965; 36:177-87.
- Löe HJ, Silness J.: Periodontal disease in pregnancy. I. Prevalence and severity. Acta odont. scand. 1963; 21: 533-51.
- MacGregor IDM, Rugg-Gunn AJ, Edgar WM, Ferguson MW: Toothbrushing behaviour in relation to plaque and gingivitis in adolescent schoolchildren. J Periodontal Res 1979; 14: 231-8
- Mantegazza P: An experimental inquiry into the action of sugar and of certain acids in upon the teeth. Brit. J. Dent. Sc. 1864; 7: 49-54; Zitiert nach Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. 2 Aufl. Quintessenz, Berlin.
- McCracken GI, Janssen J, Swan M, Steen N, de Jager M, Haesman PA: Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush. J Clin Periodontol 2003; 30: 409-13
- Micheelis W, Schiffner U, 2005: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Deutscher Zahnärzte Verlag (DÄV), Köln 2006.
-

-
- Miller WD: Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Thieme, Leipzig, 1889; Zitiert nach Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. 2 Aufl. Quintessenz, Berlin.
- Mierau HD, Haubitz I, Völk W: Gewohnheitsmuster beim Gebrauch der Handzahnbürste. Dtsch Zahnärztl. Z. 1989; 44: 836-41
- Mierau HD: Der freiliegende Zahnhals. Dtsch. Zahnärztl. Z. 1992; 47: 643-53
- Murad D, Bosma ML, Spirgel C, Shi X, and Yankell SL: Laboratory interproximal access efficacy of three manual toothbrushes. GlaxoSmithKline, Buehl, Germany; 2008a
- Murad D, Bosma ML, Spirgel C, Shi X, Yankell SL: Gingival margin cleaning and subgingival access efficacy of three toothbrushes. GlaxoSmithKline, Buehl, Germany; 2008b
- Nyvad B, Kilian M: Microbiology of early colonization of human enamel and root surface in vivo. Scand J Dent Res. 1987; 95: 369-80
- Peters S: Prophylaxe – Ein Leitfaden für die zahnärztliche Praxis. Quintessenz. Berlin etc. 1978; S. 72-85, S. 115
- Plagmann HC: Lehrbuch der Parodontologie. Hanser Verlag, Wien. 1998; S. 44
- Quigley GA, Hein JW: Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. J Am Dent Assoc. 1962; 65: 26-9
- Quirney M, Dekeyser C, van Steenberghe D: Discriminating power of five plaque indices. J Periodontol. 1991; 62: 100-5
- Ramberg P, Axelsson P, Lindhe J: Plaque formation at healthy and inflamed gingival sites in young individuals. J Clin Periodontol 1995; 22: 85-8
- Rateitschak KH, Rateitschak EM, Wolf HF: Farbatlant der Zahnmedizin: Parodontologie. 2. Auflage, Thieme-Verlag, Stuttgart, New York. 1989; S. 112-4
- Renggli HR: Ätiologie marginaler Parodontopathien, In: Ketterl W: Parodontologie. Urban & Schwarzenberg, München. 1990; S. 33
- Riethe P: Der Wert der Mundhygiene für das marginale Parodontium. Verein für Zahnhygiene, Frankfurt. 1970; S. 11-5
- Riethe P: Die Quintessenz der Mundhygiene. Quintessenz, Berlin. 1974.
- Rinne H: Taschenbuch der Statistik, 3. Auflage, Frankfurt am Main 2003.
-

-
- Robinson E: A comparative evaluation of the Scrub and Bass Methods of toothbrushing with flossing as an adjunct (in fifth and sixth graders). *Am J Public Health*. 1976; 66: 1078-81
- Roulet JF: Zahnbeläge. In Roulet J.F., Fath S., Zimmer S.: *Lehrbuch der Prophylaxeassistentin*. 2. Auflage, Urban & Fischer, München 2000; S. 50
- Roulet JF, Zimmer S: *Prophylaxe und Präventivzahnmedizin*. Farbatlanten der Zahnmedizin. Bd. 16. 1. Auflage Thieme, Stuttgart. 2003
- Rugg-Gunn AJ, MacGregor IDM, Edgar WM, Ferguson MW: Toothbrushing behaviour in relation to plaque and gingivitis in adolescent schoolchildren. *J Periodontal Res*. 1979; 14: 231-8
- Rustogi KN, Curtis JP, Volpe AR, Kemp JH, McCool JJ, Korn LR: Refinement of the modified Navy-plaque index to increase plaque scoring efficiency in gumline and interproximal tooth areas. *J Clin Dent*. 1992; 3: 9-12
- Sauerwein E: Traktat über die Zahnbürste. *Dtsch Zahnärztl Z*. 1962; 17: 121-34
- Saxer UP, Mühlemann H: Motivation und Aufklärung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 1975; 85: 905-19
- Schäfer, C: Unerwünschte Nebenwirkungen von Plaque-Anfärbemitteln. *Prophylaxe Impuls*. 2002; 6: 12-6
- Schröder HE: *Pathobiologie oraler Strukturen, Zähne Pulpa, Parodont*. Karger, Basel. 1983
- Shaloub A, Addy M: Evaluation of accuracy and variability of scoring area based plaque indices. a laboratory model. *J Clin Periodontol*. 2000; 27: 16-21
- Silness J, and Loe H: Periodontal disease in pregnancy, II Correlation between oral hygiene and periodontal condition, *Acta odont. scand*. 1964; 11: 121-35.
- Silverstone LM, Johnson NW, Hardie JM, Williams RAD: The formation, structure and microbial composition of dental plaque. In: Silverstone LM, Johnson NW, Hardie JM, Williams RAD: *Dental Caries, Etiology, Pathology and Prevention*. Macmillan Press Ltd, London, Basingstoke. 1981; S. 70
- Skinner FH: The prevention of pyorrhea and dental caries by oral prophylaxis. *Dent Cosmos*. 1914; 56: 299-309
- Staufer S: Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der klinischen Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten. *Zahnmedizinische Dissertation Universität Witten/Herdecke* 2011.
- Stillman PR: A philosophy of the treatment of periodontal disease. *Dent Dig*. 1933; 38: 215
-

-
- Sudhoff K: Geschichte der Zahnheilkunde. 2. Aufl. Johann Ambrosius Barth, Leipzig. 1926; S. 83
- Tezel A, Canakci V, Cicek Y, Demir T: Evaluation of gingival recession in left- and right-handed adults. *Int J Neurosci.* 2001; 110: 135-46.
- Theilade E, Wright WH, Jensen SB, Løe H: Experimental gingivitis in man. *J Periodontol Res* 1966; 1: 1-13
- Theilade J: Dental Plaque and dental calculus. In: Lindhe J: Textbook of clinical periodontology. Munksgaard, Kopenhagen. 1984, S.85
- Van der Weijden GA, Danser MM, Niboer A, Timmerman MF, van der Veiden U: The plaque-removing efficacy of an oscillating/rotating toothbrush. A short-termstudy. *J Clin Periodontol.* 1993; 20: 273-8
- Van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Snoek CM, van der Velden U: Toothbrushing force in relation to plaque removal. *J Clin Periodontol.* 1996; 23: 724-9
- Van der Weijden GA, Timmermann MF, Danser MM, van der Velden U: Relationship between the plaque removal efficacy of a manual toothbrush and brushing force. *J Clin Periodontol.* 1998; 25: 413-416
- Van der Weijden GA, Timmerman MF, Versteeg P, Piscaer M, Van der Velden U: High and low brushing force in relation to efficacy and gingival abrasion. *J Clin Periodontol* 2004; 31: 620-4.
- van Leeuwenhoek A.: *Epistola Saliva hominum, sexu, aetate, vitae conditione etc.* 1722. Zitiert nach Gängler P et al.: *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie.* 2. Auflage Thieme, Stuttgart. 2005
- Von der Fehr FR, Løe H, Theilade E: Experimental Caries in Man. *Caries Res.* 1970; 4: 131-48
- Waerhaug J: Effect of toothbrushing on subgingival plaque formation. *J Periodontol* 1981; 52: 30-4
- Weiger R, Netuschil L, von Ohle C, Brex M: Microbial vitality of supragingival dental plaque during initial stages of experimental gingivitis in humans. *J Periodont Res.* 1995; 30: 204-9
- Zimmer S, Fosca M, Roulet JF: Clinical study of the effectiveness of two sonic toothbrushes. *J Clin Dent.* 2000; 11: 24-7
- Zimmer, S: Mundhygiene und Mundhygienehilfsmittel. In Roulet JF, Zimmer S: *Prophylaxe und Präventivzahnmedizin: Bd. 16 (Gebundene Ausgabe).* 1. Auflage Thieme, Stuttgart. 2003; S. 47
-

Zimmer S, Strauss J: Efficacy of the cybersonic in comparison with the Braun 3d excel and a manual toothbrush. *J Clin Periodontol.* 2005; 32: 360-3

Zimmer S, Öztürk M, Barthel CR, Bizhang M, Jordan RA: Cleaning efficacy and soft tissue trauma after use of manual toothbrushes with different bristle stiffness. *J Periodontol.* 2011; 82: 267-71

13. Anhang

Anhang 1: Putztechnik, Anpresskraft und Händigkeit der Probanden

Proband	Putztechnik		Anpresskraft		Händigkeit
	Zahnbürstenmodell A	Zahnbürstenmodell B	Zahnbürstenmodell A	Zahnbürstenmodell B	
1	2	2	1,00	3,00	1
2	2(Front), 3	2	1,20	2,50	1
3	3	2	1,50	1,75	1
4	2	2	1,50	2,00	1
5	2	2	1,00	1,50	1
6	2	1	0,80	3,00	1
7	2	2	2,00	2,75	1
8	1, 2	2(Front), 3	2,50	3,50	1
9	2	2	2,00	1,50	1
10	2	2	1,25	4,50	1
11	3	3	1,00	2,25	1
12	3	3	1,75	1,50	1
13	2	2	1,50	3,50	1
14	1	1	1,75	2,00	1
15	1	1	2,00	2,25	2
16	3	3	2,25	2,25	2
17	2	2	1,75	1,00	1
18	2	2	1,25	1,75	1
19	2	2	1,50	2,25	1
20	2	2	2,00	2,00	1

Erläuterungen: Putztechnik 1: horizontal; Putztechnik 2: rotatorisch; Putztechnik 3: rot-weiss. Anpresskraft in Newton. Händigkeit: 1 = rechts, 2 = links.

14. Danksagung

Mein größter Dank gilt meinem geschätzten Doktorvater, Prof. Dr. med. Dr. h.c. Peter Gängler, sowohl für die akribische Durchsicht meines Manuskriptes und die kreativen Anregungen, als auch für die diversen persönlichen motivierenden Gespräche.

Herrn Dr med. dent. Tomas Lang möchte ich für die Idee, durch die diese Dissertation erst entstehen konnte, für die wissenschaftliche, berufliche und nicht zuletzt persönliche Betreuung sowohl bei dieser Dissertation als auch auf meinem beruflichen Weg, danken.

Frau Dr. Jennes gilt mein besonderer Dank für ihre unermüdliche Auseinandersetzung mit dem Thema, ohne die, die große Hilfe und die statistische Beratung so nicht möglich gewesen wäre.

Herzlich möchte ich der Firma GlaxoSmithKline für die Bereitstellung der Studienmodelle danken.

Ein besonderer Dank geht an die Ethik Kommission der Universität Witten / Herdecke für die Beratung und Freigabe der Studie.

Mein herzlichster Dank gilt aber vor allem den Probanden, ohne deren zuverlässiges Erscheinen zu den Untersuchungen und Zahnreinigung diese Dissertation niemals hätte verwirklicht werden können.

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern danken, die mich bis zum heutigen Tag in allen Lebensbereichen aufopferungsvoll unterstützt haben und ohne die ich nicht an diesem Punkt wäre an dem ich heute bin.

15. Curriculum vitae

Name	Thiele
Vorname	Jens-Hendryk Willem
Adresse	Am Strasserfeld 35 40627 Düsseldorf
Geburtsdatum	20. Juli 1984
Geburtsort	Haan / Mettmann
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	ledig
Eltern	Frieder Kurt Richard Thiele, Wirtschaftsprüfer, Steuerberater Gabriela-Susanna Thiele (geb. Wolters), Ökotrophologin
Geschwister	Jan-Frederik Thiele (geb. 4. Januar 1980), Finanzdirektor

Berufliche Entwicklung

seit Februar 2012	Assistenz Zahnarzt in der Praxis Dres. Schweppe und Thiedemann, Fröndenberg
-------------------	---

Berufsbezogene Ausbildung

Dezember 2011	Zahnmedizinisches Staatsexamen und Erlangung der zahnärztlichen Approbation
März 2009	Zahnärztliche Vorprüfung
Oktober 2007	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
Oktober 2006	Aufnahme des Studiums der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der Universität Witten/Herdecke
August 2004 - Oktober 2006	Ausbildung zum Zahntechniker Zahntechnik Theisen in Düsseldorf Unterbach Zahntechnik Brown in Düsseldorf Gerresheim

Schulische Ausbildung

August 1994 - Juli 2003	Gymnasium-Gerresheim Am Poth, Düsseldorf Abschluss: Abitur
August 1990 - Juli 1994	Carl Sonnenschein Grundschule, Düsseldorf

16. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich (an Eides statt), dass ich die zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde vorgelegte Dissertationsschrift mit dem Thema „Klinisch-experimentelle Studie der Zahnreinigungseffizienz eines zweistufigen Bürstenkopfes bei unterschiedlicher Anpresskraft“, 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.

Witten, den 12. Dezember 2012