

**Automatisierte Plaque-Planimetrie zur
Effektivitätsbewertung der robotergenerierten
Plaquereduktion**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des doctor medicinae dentariae
der
Universität Witten/Herdecke
Fakultät für Gesundheit
Department für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

vorgelegt von
Frederik Arnoldi
aus Idar-Oberstein

2015

Dekan: Prof. Dr. Stefan Wirth

1. Betreuer: Prof. Dr. sc.med. Dr. h.c. Peter Gängler

2. Betreuer: Dr. med. dent. Tomas Lang

Tag der Disputation: 11.11.2015

**Meiner lieben Familie
und im Besonderen meinen Eltern**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung	5
3	Übersicht	7
3.1	Entstehung der dentalen Plaque	7
3.2	Ätiologie der Karies	9
3.3	Ätiologie der Gingivitis	11
3.4	Dentition des Menschen	13
3.4.1	Das Milchgebiss (Dentes decidui)	13
3.4.2	Permanente Dentition (Dentes permanentes)	14
3.5	Indizes	16
3.5.1	In Studien verwendete Plaque-Indizes bei Kindern	18
4	Material und Methoden	36
4.1	Material	36
4.2	Materialbeschreibung	37
4.3	Methoden	42
4.3.1	Räumlichkeit der Laborversuche	42
4.3.2	Kalibrierung des Putzroboters auf das menschliche Wechselgebiss / Milchgebiss	42
4.3.3	Kalibrierung und Einrichtung des Putzroboters	43
4.3.4	Herstellung der Modelle für den Putzzyklus	45
4.3.5	Fotografische Dokumentation	48
4.3.6	Entfernung der Testzähne aus dem Zahnträger	49
4.3.7	Aufbau der Automatisierten Plaque-Planimetrie	50
4.3.8	Inbetriebnahme der Automatisierten Plaque-Planimetrie	52
4.4	Indexierung der Labordaten	54
4.5	Formatierung der computergenerierten Daten	58
4.6	Verarbeitung der Ergebnisse	58
4.7	Statistische Auswertung	59
4.8	Statistische Auswertungsverfahren	62
5	Ergebnisse	64
5.1	Zahnbürste EXPER 2	74
5.1.1	Gesamte Zahnfelder	74
5.1.2	Bukkale Zahnfelder	78
5.1.3	Linguale Zahnfelder	80
5.1.4	Bukkale Risiko-Zahnfelder ABCDF	82
5.1.5	Linguale Risiko-Zahnfelder ABCDF	84
5.1.6	Stark unterschiedlich bewertete Zahnfelder	86
5.2	Zahnbürste SENSITIVE	87
5.2.1	Gesamte Zahnfelder	87
5.2.2	Bukkale Zahnfelder	91
5.2.3	Linguale Zahnfelder	93
5.2.4	Bukkale Risiko-Zahnfelder ABCDF	95
5.2.5	Linguale Risiko-Zahnfelder ABCDF	96
5.2.6	Stark unterschiedlich bewertete Zahnfelder	97
5.3	Zahnbürste STAGE 3	100
5.3.1	Gesamte Zahnfelder	100

5.3.2	Bukkale Zahnfelder	104
5.3.3	Linguale Zahnfelder	106
5.3.4	Bukkale Risiko-Zahnfelder ABC.....	108
5.3.5	Linguale Risiko-Zahnfelder ABC.....	109
5.3.6	Stark unterschiedlich bewertete Zahnfelder	111
5.4	Analyse einzelner Risikozahnfelder	113
5.4.1	Zahnbürste EXPER S	114
5.4.2	Zahnbürste SENSITIVE	123
5.4.3	Kinderzahnbürste JUNIOR	131
6	Diskussion.....	138
6.1	Methodik	139
6.2	Planimetrischer Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012).....	146
6.3	Ergebnisse.....	148
7	Ausblick	154
8	Zusammenfassung.....	156
9	Summary.....	159
10	Verzeichnis	161
11	Anhang.....	1
12	Danksagung.....	I
13	Curriculum vitae.....	II
14	Eidesstattliche Erklärung.....	IV

1 Einleitung

Wie anthropologische Funde beweisen, wurde die Mundhygiene bereits in der frühen menschlichen Entwicklungsgeschichte vor über 3000 Jahren betrieben. Zu dieser Zeit wurden die unterschiedlichsten Materialien wie z.B. Holz, Horn oder Metall als Zahnstocher verwendet (Golding 1982).

Im Laufe der Evolutionsgeschichte verwendete der Mensch viele unterschiedliche Methoden und Materialien, um sich die orale Gesundheit zu bewahren.

In China wurde die Herstellung einer Zahnbürste, die den heutigen Handzahnbürsten ähnelte, nachgewiesen und auf das Jahr 1500 n.Chr datiert (Schweisheimer 1969).

Wie ein archäologischer Fund aus Lübeck zeigt, gab es auch in Deutschland zu diesem Zeitpunkt (ca. 1500 n.Chr.) Knochenbestecke bestehend aus Zahnstocher, Ohrlöffel und Zahnbürste.

Die erste offiziell im deutschen Sprachraum entwickelte und beschriebene Zahnbürste findet in der Zeitschrift "Frauenzimmer-Apotheken" aus dem Jahre 1700 von Christoph Hellwig Erwähnung (Holtkamp 1965), deren Borstenfeld aus Tierhaar bestand.

Jedoch waren Zahnbürsten erst nach Ende des 19. Jahrhunderts für den Großteil der Bevölkerung finanziell erschwinglich (Golding 1982).

So konnte sich in den Industrienationen seit Ende des 19. Jahrhunderts die Zahnbürste als effektivste Methode zur häuslichen Plaquekontrolle etablieren (König und Navia 1995) und nimmt in der zahnmedizinischen Prävention eine Schlüsselrolle ein.

In unserer heutigen Gesellschaft stehen uns viele Möglichkeiten der Mundpflege zur Verfügung. Die Zahnbürste gilt als Standardausstattung für die Ausführung einer guten häuslichen Mundhygiene (Roulet und Zimmer 2003). Neben der herkömmlichen Handzahnbürste wird ein ansteigender Gebrauch von elektrischen Zahnbürsten festgestellt. Nach Schätzungen der Firma Philips aus dem Jahr 2005 benutzen etwa 300 Millionen Menschen weltweit eine elektrische Zahnbürste.

Auch in Deutschland zeigt sich nach den Untersuchungen des Institutes der Deutschen Zahnärzte aus dem Jahr 2006 (IDZ 2006) ein ähnliches Bild. So verwenden die 35- bis 44-jährigen Deutschen zu 77,5% eine Handzahnbürste und 38,6% eine elektrische Zahnbürste, wobei die Möglichkeit der Mehrfachantwort gegeben war (Micheelis und Schiffner 2006). Eine bevölkerungsrepräsentative Befragung zeigt eine ähnliche Verteilung. In dieser Befragung gaben 38% der Teilnehmer an, eine elektrische Zahnbürste zu benutzen, wohingegen 53% eine Handzahnbürste verwendeten (Zimmer und Liedling 2014).

Bezüglich der Reinigungsleistung gibt es in der Literatur differente Auffassungen und Studienergebnisse. Das aktuelle Review der Cochrane Collaboration von Yaacob et al. (2014) sagt aus, dass die elektrischen Zahnbürsten für eine effektivere Plaque- und Gingivitisreduktion sorgen als es durch den Gebrauch von Handzahnbürsten möglich ist. Jedoch gestehen die Autoren ein, dass die klinische Relevanz dieser Ergebnisse weiterhin unklar bleibt.

Zudem ist für die Effektivität eines Mundhygieneproduktes auch ein regelmäßiger und systematischer Gebrauch essenziell (Van der Weijden et al. 2008). So wird empfohlen, mindestens zweimal täglich die Zähne von Plaque zu säubern (Zimmer et al. 2011). In den Industrienationen hat sich das Verhalten der Bevölkerung positiv entwickelt, sodass man davon ausgeht, dass 80% bis 90% mindestens einmal täglich ihre Zähne putzen (Saxer und Yankell 1997a,b).

Die IV. Deutsche Mundgesundheitsstudie fand heraus, dass 72,8 % der Erwachsenen und 60,6 % der Senioren der Bundesrepublik Deutschland täglich zweimal die Zähne zu putzen (Micheelis und Schiffner 2006).

Bei der Untersuchung von Zimmer und Liedling (2014) zeigten sich ähnliche Werte. Zum Erhalt der oralen Gesundheit stellt die häusliche Mundhygiene einen Grundpfeiler der Prophylaxe dar. Abgesehen von der Ernährungslenkung und der Verwendung von Fluoriden, ist die mechanische Plaquekontrolle die effektivste häusliche Prophylaxemaßnahme, die durch den Patienten in Eigenverantwortung durchgeführt werden kann und demnach für den Erhalt der Mundhygiene unerlässlich ist (Fejerskov et al. 2015, Roulet und Zimmer 2003, Hellwig et al. 2009).

Neben den allgemeinen Fortschritten in der Gruppen- und Individualprophylaxe bei Kindern und Erwachsenen ist unter anderem auch Dank der fortwährenden Weiterentwicklung dieser Mundhygieneprodukte eine Verbesserung des oralen Gesundheitszustandes in Deutschland zu verzeichnen. So hat sich bei 12-jährigen Kindern aus den alten Bundesländern der Kariesindex DMFT von 4,1 bei der ersten Deutschen Mundgesundheitsstudie 1989 (DMS I) bis auf 0,7 bei der vierten Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS IV) reduziert (Micheelis und Schiffner 2006).

Die Industrie entwickelt, zum Teil in enger Kooperation und unter Mithilfe der Wissenschaft, stetig neue Mundhygieneprodukte, um den oralen Biofilm stärker zu beeinflussen und dessen pathologische Potenz zu minimieren.

Jeder Hersteller und jede Neuentwicklung erhebt für sich den Anspruch, bessere Putzergebnisse zu erzielen als die Konkurrenz oder das Vorgängerprodukt, womit sich die Frage stellt, wie sehr sich Mundhygieneprodukte, wie z.B. Zahnbürsten, hinsichtlich ihrer Putzeffektivität unterscheiden und wie diese objektiv sowie reproduzierbar getestet werden kann.

In der Vergangenheit wurden sowohl klinische als auch *in-vitro* Studien durchgeführt, um die Effektivität und die Eigenschaften von Mundhygieneprodukten zu testen.

Prinzipiell sind für *in-vivo* Studien ein vergleichbares Probandengut nötig. Ein Probandengut birgt jedoch das Risiko einer inter- und einer intraindividuellen Varianz auf Grund von Anatomie, Patientencompliance, unterschiedlicher Geschicklichkeit sowie Lerneffekten (Lazarescu et al. 2003). Bei der Plaquerreduktion spielen in klinischen Studien viele Faktoren eine Rolle und die Putzeffektivität ist nur bedingt objektiv darstellbar.

Um eine objektive, reproduzierbare und unter simulierten klinischen Verhältnissen nachvollziehbare Testung der unterschiedlichsten Mundhygieneprodukte durchführen zu können, wurden automatisierte (robotergestützte) Arbeitsplätze entwickelt. Mit diesen Arbeitsplätzen sind unter anderem Testungen der Lebensdauer, der Effektivität und der Abrasivität von Zahnbürsten oder anderen Produkten möglich, und es kann während der Entwicklung auf aufwändige klinische Studien verzichtet werden.

Sowohl die Testung an sich als auch die darauffolgende Auswertung sollten möglichst objektiv und standardisiert sein. Denn durch die Subjektivität der Analysten kann eine Übervorteilung oder Benachteiligung in der Auswertung auftreten.

Das von Gängler et al. (2013) beschriebene vollautomatische Gerät, die Automatisierte Plaque-Planimetrie (APP), eine Gemeinschaftsentwicklung von ORMED - Institute for Oral Medicine at the University of Witten/ Herdecke und der Firma M+C Schiffer (Neustadt, Deutschland) - versucht genau diese Objektivität hinsichtlich der Auswertung zu ermöglichen, indem jede Zahnfläche durch einen automatisierten Vorgang zunächst von einer Kamera bildlich erfasst wird. Im Anschluss ermittelt eine Analysesoftware den Anteil der gesäuberten Fläche im Bezug zur Gesamtoberfläche des Zahnes. Dies geschieht mit Hilfe einer Pixel-Zählfunktion.

Gängler et al. (2013) fanden heraus, dass die Reproduzierbarkeit sowie die Beurteilung der Putzeffektivität in allen planimetrischen Feldern gegeben ist und somit die APP in Kombination mit Putzrobotern als Erweiterung für die vergleichende Testung von unterschiedlichen Zahnbürsten oder die Entwicklung von Zahnbürstenprototypen empfohlen wird.

In Anlehnung an die bereits durchgeführte Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der klinischen Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten von Staufer (2011) und an die klinische Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten von Fleuter (2015), sollte nun eine quasi-klinische Validierung der standardisierten Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) zur Auswertung der Putzeffektivität von unterschiedlichen Zahnbürsten durchgeführt werden.

Nachdem die Validierung einer robotergestützten Methode von Staufer (2011) und Fleuter (2015) durchgeführt wurde, sollte für die Gewährleistung einer quasi-klinischen Validierung der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) der umgekehrte Beweis gebracht werden.

2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit soll die quasi-klinische Validierung der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) nach Gängler et al. (2013) hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit mit einer klinischen Indexerhebung zur Bestimmung der Putzeffektivität an Modellzähnen der Milch-/Wechsel – sowie permanenten Gebissituation sein.

Deshalb sollte geprüft werden, in welchem Maße die computerunterstützte Auswertungsmethode der APP mit der klinischen Indexerhebung übereinstimmt und ob mit Hilfe dieser Methode Vergleiche zwischen Zahnbürsten oder anderen Mundhygieneprodukten möglich sind.

Darüber hinaus sollte ein interindividueller Vergleich zwischen zwei unabhängigen und verblindeten Auswertungspersonen darüber Aufschluss geben, in welchem Umfang die beiden klinischen Indexerhebungen übereinstimmen.

In dieser Validierungsstudie einer Automatisierten Plaque-Planimetrie mit einer quasi-klinischen Auswertung sollten unterschiedliche Versuchs- sowie Auswertungsverfahren verwendet werden, um differenzierte Voraussetzungen für die Validierung zu generieren.

Dazu sollten unterschiedliche Zahnbürstentypen (elektrische -, Hand- und Kinderzahnbürsten) in unterschiedlichen Gebissituationen (permanente Dentition und Milch-/Wechselgebiss) Verwendung finden, durch welche ein möglichst differenziertes Reinigungsspektrum erzielt wird.

Für die quasi-klinische Validierung sollten verschiedene künstliche Zähne sowie verschiedene Situs durch einen standardisierten automatisierten Putzvorgang gereinigt und durch eine ebenfalls standardisierte intraorale Fotografie dokumentiert werden.

Für die Auswertung der Reinigungseffektivität sollten möglichst aussagekräftige Plaque-Indizes Verwendung finden, welche sich besonders gut an der jeweiligen Gebissituation anwenden lassen.

Für die Validierung der APP mit dem modifizierten Navy-Plaque-Index nach Claydon und Addy (1995), welcher durch Lang et al. (2011) in die Grade 0, 1 und 2 verfeinert wurde, sollte eine künstliche permanente Gebissituation Verwendung finden.

Für die Validierung der APP mit dem Planimetrischen Kinder-Plaque-Index (PKPI) nach Lang und Gängler (2012) sollte eine künstliche Milch-/Wechselgebissituation Verwendung finden.

Um eine aussagekräftige klinische Indexerhebung zu realisieren sowie einen späteren interindividuellen Vergleich zu ermöglichen, sollte diese verblindet und durch zwei voneinander unabhängige Auswertungspersonen durchgeführt werden.

Abschließend sollte die statistische Auswertung der erhobenen Daten überprüfen, ob sich ein Vergleich zwischen quasi-klinischer und vollautomatisierter Reinigungsbewertung abbilden lässt.

Wenn die automatisierte Plaque-Planimetrie eine klinische Indexerhebung simulieren kann, wäre dies eine nicht manipulierbare, objektive, reproduzierbare, zeit- und kostengünstige Erweiterung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von unterschiedlichen Zahnbürstentypen.

3 Übersicht

3.1 Entstehung der dentalen Plaque

Löe et al. (1965) und Von der Fehr et al. (1970) wiesen nach, dass die mikrobielle Plaque der maßgebliche Faktor für die lokale Auslösung von Gingivitis, Parodontitis und Karies ist.

Grundlage der Kolonisation und späteren Biofilmentwicklung auf der Zahnoberfläche ist die Pellikel. Diese Pellikel bildet sich als dünner Überzug auf der gereinigten Zahnoberfläche innerhalb von Sekunden, besteht vornehmlich aus Speichelglykoproteinen und Mukopolysacchariden und dient den Bakterien als Adhäsionsmedium.

Die Entwicklung und Reifung der Plaque erfolgt, bei ausbleibender Entfernung, phasenweise (König 1987).

In der ersten Phase kommt es dabei auf Grund des ständigen Kontakts der oralen Mikroorganismen und deren Adhärenzvermögen zu einer Kolonisation der Pellikel auf der Zahnoberfläche. Ädhäsine sind für die eigentliche Bindung an die Pellikel der Zahnoberflächen verantwortlich, die an den bis zu 20nm langen Pili sowie die Polysaccharid-Glykokalix der Streptokokken lokalisiert sind. Der Streptococcus sanguis besitzt das höchste Adhärenzvermögen und gilt als Pionierkeim der frühen Besiedlungsphase. Diese Phase ist nach ein bis zwei Tagen abgeschlossen.

Schließlich entsteht eine 10 bis 20 Zelllagen dicke Bakterienmasse, die zum größten Teil aus Stäbchen und grampositiven Kokken (Streptococcus mitis, Streptococcus oralis, Streptococcus sanguis) besteht (Nyvad und Kilian 1990, MacPherson et al. 1991). Im Anschluss folgt die Kolonisation durch weitere Spezies insbesondere Streptokokken der Mutans Gruppe (z.B. Streptococcus mutans).

Streptokokken der Mutans-Gruppe sind auf Grund ihrer Säureproduktion maßgeblich am Demineralisationsprozess des Schmelzes und der daraus resultierenden Kariesentstehung beteiligt. Jedoch fand Klein et al. (2015) heraus, dass die kariogene Wirkung von *Streptococcus mutans* nicht ausschließlich auf dessen Säureproduktion oder die numerische Überlegenheit zurückzuführen ist, sondern dass er vielmehr für die strukturelle Organisation der unlöslichen Matrix-Polymere verantwortlich ist (Klein et al. 2015).

Durch die Produktion dieser extrazellulären polysaccharidreichen (EPS) Matrix, bestehend aus Dextran, Mutan und Lävan, und unter Zuhilfenahme der räumlichen Leitstruktur nimmt die Bakterienmasse rasch zu. Die Grundbausteine Mutan und Dextran bilden dabei ein hochgradig visköses Netzwerk, welches fest an der Zahnoberfläche haftet (König 1987).

Reinkulturen waren der Grundbaustein für das mikrobiologische Verständnis der oralen Plaque, jedoch hat sich in den letzten Jahrzehnten in dem Verständnis der Komplexität der Plaque viel verändert. Denn auf Grund des Zusammenwirkens von mehreren hundert Bakterienspezies in Verbindung mit Pilzen und Viren entsteht ein hochkomplexer Verbund, welcher miteinander und dem Wirt in ständiger Wechselbeziehung steht (Zaura und Mira 2015).

Dabei dienen bakterienfreie Kanäle der Plaque als Diffusionswege, und die Kommunikation zwischen den Bakterien eines Biofilms wird dabei über Signal- oder Effektormoleküle ermöglicht (Ten Cate 2006). Die Wechselwirkungen innerhalb der Plaque, wie die bakterielle Koaggregation, chemische Signalübertragung, Gentransfer, Wachstumssynergismus und -antagonismus sowie pH-Pufferung sind so komplex, dass die produzierte Endbilanz der Plaquegemeinschaft bedeutend höher ist, als die Summe der einzelnen Bakterienbilanzen (Zaura und Mira 2015).

Auch ist die Zusammensetzung und strukturelle Organisation des kariogenen Biofilms nicht statisch sondern ändert sich vielmehr dynamisch in Abhängigkeit von den Lebensumständen (Marsh 2003). So kann es zu einem synchronen Auftreten von Anlagerung, Wachstum, Abnahme sowie Neuanlagerung kommen (Marsh 2004).

1985 fand Gängler heraus, dass es Phasen der Stagnation und Progression gibt, welche fließend ineinander übergehen können, gleichermaßen ist der Übergang von einem physiologischen Biofilm mit eubiotischen Verhältnissen zur pathogenen mikrobiellen Plaque mit dysbiotischen Verhältnissen fließend (Gängler et al. 1985).

3.2 Ätiologie der Karies

Mit einer globalen Prävalenz von 35 Prozent ist die Karies die häufigste orale Infektionskrankheit überhaupt (Marcenes 2013).

Die Karies ist das Resultat metabolischer Bakterienaktivitäten, welche in mikrobiellen Gemeinschaften auf der Zahnoberfläche haften und zur lokalen Auflösung der Zahnhartsubstanz an der bedeckten Region führen kann, wenn die lokale Wirtsabwehr zusammenbricht (Gängler et al. 2010, Fejerskov et al. 2015). Unterstützt wird dieser Prozess durch die Nahrungsaufnahme sowie die Wirtsfaktoren, welche die Besiedelung von kariogenen Biofilmen auf der Zahnoberfläche maßgeblich beeinflussen (Selwitz et al. 2007, Russell 2008).

Im Laufe der letzten 2 Jahrhunderte wurden verschiedene Kariestheorien beschrieben. Das bis heute gültige Kariesmodell für die Entstehung einer kariösen Läsion wurde von Keyes (1962) entwickelt und von König (1971) um den Faktor "Zeit" ergänzt.

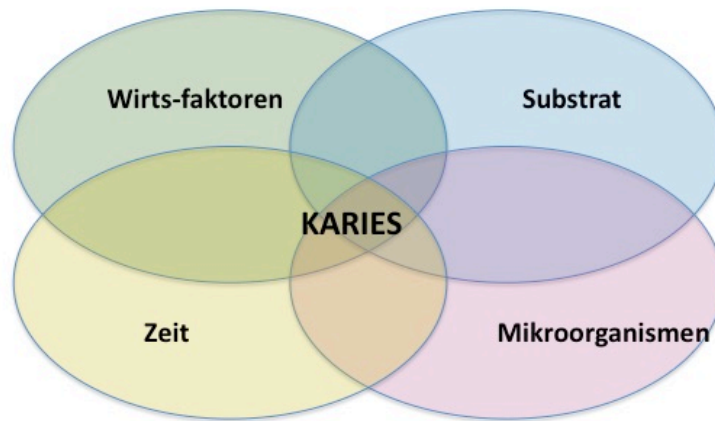


Abb. 3.1.: Die vier Grundvoraussetzungen für das Entstehen einer kariösen Läsion (Modell nach König 1971)

Das Zusammenwirken aller vier Faktoren führt zur Etablierung einer kariösen Läsion wohingegen das Fehlen nur eines Faktors die Entstehung unterbindet (König 1971). Verursacht wird die Karies durch die Metabolisierung von niedermolekularen Kohlenhydraten durch die dentalen Plaquebakterien, an deren Ende organische Säuren stehen. Somit sind die Säure produzierenden Bakterien für die Demineralisation der Zahnhartsubstanz verantwortlich. Mutans-Streptokokken spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Unter aeroben Verhältnissen produziert *Streptococcus mutans* ausschließlich Lactat (Yamada et al. 1985). Unter anaeroben Konditionen macht Lactat jedoch nur etwa 50 Prozent der gesamten Säureproduktion aus und es werden zudem Acetat sowie Methansäure hergestellt (McLean 2014).

Gustafsson et al. zeigte 1954 in der sogenannten Vipeholm-Studie, dass jedoch nicht alleine die Absolutmenge, sondern vielmehr die Häufigkeit der Substratzufuhr für den

Karieszuwachs entscheidend ist, da das Gleichgewicht zwischen De- und Remineralisation kontinuierlich gestört wird (Gustafsson et al. 1954).

Sobald der pH-Wert dauerhaft unter 5,5 sinkt, reichen die Remineralisations-Eigenschaften des Speichels nicht mehr aus (Fischer et al. 1995) und es folgt eine Protonisierung des Schmelzminerals durch Wasserstoff-Ionen (Ten Cate und Arends 1977, König 1987). Zunächst stellt sich diese Protonisierung des Schmelzminerals klinisch als Kreidefleck (white-spot-lesion) dar.

Bei langen Demineralisationsintervallen der Zahnhartsubstanz kann es schlussendlich zu einem strukturellen Integritätsverlust dieser und demzufolge zur Kavitation führen.

3.3 Ätiologie der Gingivitis

Auch bei der Gingivitis ist die Anwesenheit bakterieller Plaque hinsichtlich der Entstehung von Gingivitis und Parodontitis essentiell. Im Gegensatz zur Karies ist nicht die Säureproduktion für die Entstehung der Erkrankung verantwortlich sondern in erster Linie die durch Keime exprimierten Stoffwechselprodukte und Antigene. Diese lösen akute Entzündungen sowie immunpathologische Reaktionen des Wirtsorganismus aus und sind bei der destruktiven Wirkung am Parodont maßgeblich beteiligt.

So spielt auch die individuelle Reaktion des Wirtes eine bedeutsame Rolle bei der Entstehung einer Gingivitis (Listgarten 1986).

Bei der Gingivitis kommt es zu einer Entzündung des an die Zahnhartsubstanz angrenzenden Weichgewebes. Mikroskopisch lassen sich ein inflammatorisches Exsudat, Ödembildung, Destruktion der gingivalen Kollagenfasern sowie ulzerative und proliferative Veränderungen des Epithels beobachten.

Löe et al. beschrieb 1965 erstmals die Beziehung zwischen der Entstehung von Gingivitiden und der Anwesenheit von Plaque. Er untersuchte die Entstehung sowie das Fortschreiten der gingivalen Entzündungsprozesse während des Aussetzens der häuslichen Mundhygiene über ein Zeitintervall von 6 - 21 Tagen in Abhängigkeit von

der dentalen Plaquebesiedelung. Innerhalb von 10 Tagen kam es zu sichtbaren Zeichen einer Gingivitis wie Farb- und Oberflächenstrukturveränderung und erhöhter Blutungsneigung. Nach Wiedereinsetzen der Mundhygiene ist eine etablierte Gingivitis reversibel (Löe et al. 1965).

Die plaqueinduzierte Gingivitis beschränkt sich ausschließlich auf den weichgeweblichen supraalveolären Bereich des Zahnhalteapparats und ist auf Grund dessen, nach Beseitigung der inflammatorischen Ursache, reversibel.

Die marginale Parodontitis beschreibt einen irreversiblen, destruktiven Prozess des Parodonts. Unter stetiger Progression kann als Konsequenz der Verlust des betroffenen Zahnes die Folge sein (Gängler et al. 2010). Die intrinsischen Faktoren, wie der individuellen Immunreaktion, sind dabei ausschlaggebend. Durch ihre Lokalisation und die daraus resultierenden veränderten Lebensbedingungen entscheidet sie sich in Zusammensetzung und Aufbau von der supragingivalen Plaque.

Auch weil die Progression nicht vorhersagbar ist, ist die Prävention der Gingivitis stets der erste Schritt zur Prävention einer späteren Parodontitis (Burt et al., 2005).

Axelsson et al. (2004) beschreiben den Zusammenhang zwischen guter Mundhygiene in Verbindung mit regelmäßiger Prophylaxe und dem dadurch verringerten Risiko an Karies, Gingivitis sowie Parodontitis zu erkranken und das auf Grund dessen mit einem langen Zahnerhalt zu rechnen ist. Auch Lang et al. haben den Zusammenhang zwischen einem entzündeten gingivalen Gewebe und dem daraus resultierenden erhöhten Zahnverlustisiko beschrieben (Lang et al. 2009).

In Anbetracht dessen, dass die Plaque ein auslösender Faktor der opportunistischen Infektionserkrankungen Karies, Gingivitis sowie Parodontitis ist, bedarf es einer regelmäßigen und vergleichbaren Dokumentation und Untersuchung der Plaquebesiedelung. In der Zahnmedizin ist deshalb die Erhebung sogenannter Plaqueindizes zur Bewertung und Untersuchung ein unerlässliches Instrument.

3.4 Dentition des Menschen

Das menschliche Gebiss lässt sich in zwei Dentitionen untergliedern.

Die 1. Dentition beginnt mit dem Durchbruch der Milchzähne im Alter von 6-10 Monaten und besteht bis zum 6. Lebensjahr. Auf Grund der geringen intraoralen Kiefergröße wird der zur Verfügung stehende Platz optimal ausgenutzt. Zwischen dem 6. und 13. Lebensjahr werden die Milchzähne der 1. Dentition durch die permanenten Zähne der 2. Dentition ersetzt.

In der Regel folgt dieser Vorgang einem bestimmten Muster. Mit Abschluss des 14. Lebensjahrs ist die 2. Dentition zumeist abgeschlossen.

Für alle Dentitionsphasen gilt, eine höhere Kariesgefährdung der frisch durchgebrochenen Zähne infolge ungünstiger Ernährungsgewohnheiten, nicht optimaler Mundhygiene und noch unvollständiger Schmelzmaturation.

3.4.1 Das Milchgebiss (Dentes decidui)

Das vollbezahnte Milchgebiss, beinhaltet insgesamt 20 Zähne. Jeder Quadrant besteht aus zwei Schneidezähnen (Dentes decidui incisivi), einem Eckzahn (Caninus deciduus) und zwei Milchmolaren (Dentes decidui molares).

In Form und Farbe unterscheidet sich die Milchzahndentition grundsätzlich von der permanenten Dentition.

Im Gegensatz zu den eher gelblich wirkenden bleibenden Zähnen erscheinen die Milchzähne eher porzellanartig mit einer weiß-bläulichen Grundfärbung. Die Farbe lässt sich auf die veränderten Lichtbrechungseigenschaften des Schmelzes, der in geringerem Maße mineralisiert und zudem dünner ist, zurückführen (Schröder 2000). Auf Grund des geringeren Mineralgehaltes sind die Milchzähne bedeutend anfälliger gegenüber Demineralisationsprozessen.

Des Weiteren ist die Widerstandsfähigkeit des Milchzahnschmelzes dem der permanenten Zähne unterlegen. In Form und Größe sind sie dem infantilen Kieferknochen angepasst und variieren bedeutend seltener als die 2. Dentition.

Generell kann festgehalten werden, dass die Kronen der 2. Dentition - mit Ausnahme der beiden Prämolaren, welche kleiner sind als die Milchmolaren der 1. Dentition - zumeist größer als die der Milchzähne sind .

Anders als bei den permanenten Zähnen, bei denen der zervikale Übergang flach ist, wulstet sich der Schmelz der Milchzahnkronen im zervikalen Bereich zu einem "*Cingulum basale*" auf (Rohen 1994).

Die Milchzahndentition beginnt im Regelfall zwischen dem 6. und 10. Monat mit dem Durchbruch der unteren mittleren Schneidezähne. Mit einmonatiger Verzögerung folgen darauf die mittleren Schneidezähne des Oberkiefers. Sobald die ersten Zähne durchgebrochen sind, ist eine mechanische Plaquekontrolle notwendig.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Zähne im Unterkiefer tendenziell früher durchbrechen als ihre Antagonisten im Oberkiefer.

Auf die mittleren Frontzähne folgen die seitlichen Schneidezähne im Alter zwischen 10 und 14 Monaten. Nun wird der Eckzahn übersprungen und mit 14 - 18 Monaten bricht der erste Milchmolar durch. Erst nach dessen Durchbruch stellt sich der Eckzahn mit 18 - 24 Monaten in der entstandenen Lücke ein. Das Milchgebiss wird mit dem 2. Milchmolaren im Alter zwischen 24 und 30 Monaten komplettiert.

Da es Kleinkindern aus motorischen Gründen noch nicht möglich ist, selbstständig eine adäquate Plaquereduktion durchzuführen, bedarf es grundsätzlich der Mithilfe bzw. Kontrolle eines Erwachsenen.

3.4.2 Permanente Dentition (Dentes permanentes)

Das permanente Gebiss besteht aus 32 Zähnen. Jeder Quadrant umfasst einen mittleren und einen seitlichen Schneidezahn (Dentes incisivi), den Eckzahn (Dens caninus), zwei Prämolaren (Dentes praemolares) und drei Molaren (Dentes molares). Da die drei Molaren reine Zuwachszähne sind und nicht jeder Zahn der 2. Dentition einen Zahn der 1. Dentition ersetzt, spricht man beim menschlichen Gebiss von einer Semidiphyodontie.

Der Mineraliengehalt des Schmelzes (Enamelum dentis) der bleibenden Zähne liegt mit 97 Gew% bzw. 91 Vol% über dem der Milchzähne, welches ihn widerstandsfähiger gegen Erosion, Attrition und Abrasion macht.

Die Kronen- und Fissurenmorphologie, die Durchbruchzeiten und die Durchbruchreihenfolge unterliegen einer großen individuellen Schwankungsbreite und sind bei den bleibenden Zähnen bedeutend größer als bei den Milchzähnen. Grundsätzlich kann aber gesagt werden, dass die Oberkieferzähne größer sind als ihre Antagonisten im Unterkiefer. Auf Grund der tiefen Grübchen und Fissuren, in welchen sich Nahrungsrückstände sehr gut festsetzen und durch die Borsten der Zahnbürsten nur bedingt zu erreichen sind, gelten diese als Prädilektionsstellen für die Etablierung kariöser Läsionen im Kindesalter.

Im Allgemeinen setzt die 2. Dentition im Alter von 6 Jahren mit dem Durchbruch des 1. Molars ein.

Während dieses Zeitpunktes ist besonders bei dem 1. Molar auf eine adäquate Plaquekontrolle zu achten. Auf Grund der noch beschränkten motorischen Fähigkeiten des Kindes und der schwer zugänglichen Lage, da dieser hinter der geschlossenen Milchzahnreihe durchbricht, stellt sich die Mundhygiene bei diesem Zahn häufig als diffizil heraus. Zenkner (2013) zeigte, dass es bei eruptierenden Zähnen, welche mit visuell sichtbarer Plaque behaftet sind, 14,5-mal häufiger zu einer kariösen Läsion kommt, als bei nicht plaquebehafteten Zähnen.

Im Anschluss brechen die unteren sowie mittleren oberen Incisivi, gefolgt von den seitlichen Schneidezähnen im Unterkiefer und Oberkiefer, mit 7 - 8 Jahren durch. Diese Phase wird nun als frühe Wechselgebissphase bezeichnet und es tritt eine 1-1,5 jährige Durchbruchspause ein.

Somit beginnt im Alter von 9 - 10 Jahren die 2. Phase des Zahnwechsels, die späte Wechselgebissphase.

In dieser Phase brechen zunächst die Unterkiefereckzähne sowie die 1. unteren und oberen Prämolaren durch. Mit 11 Jahren kommt es zum Durchbruch der 2. unteren und oberen Prämolaren, gefolgt von den oberen Eckzähnen.

Die späte Wechselgebissphase endet im Alter von 12 Jahren mit dem Durchbruch der 2. Molaren im Unter- und Oberkiefer.

Komplettiert wird das eugnathe Gebiss mit dem Durchbruch des 3. Molaren (Dens serotinus), im Volksmund als Weisheitszahn bezeichnet, welcher im Normalfall erst nach dem 18. Lebensjahr durchbricht. In Form und Durchbruchzeit kommt es bei diesen Zähnen zu den häufigsten Unregelmäßigkeiten wobei auch Retentionen nicht selten zu beobachten sind.

Karies entsteht häufig an sogenannten Prädilektionsstellen, welche sich durch vermehrte Plaqueanlagerung infolge verminderter Selbstreinigung auszeichnen. Im Wechselgebiss sind neben den sich im Durchbruch befindlichen Zähnen im Allgemeinen auch die Fissuren und Grübchen, die Approximalflächen sowie die zervikalen Glattflächen zu nennen. Häufig gestalten sich die Fissuren der Molaren und Prämolaren tief und teilweise ampullenförmig, sodass die häusliche Reinigung in diesen Bereichen erschwert und nicht uneingeschränkt möglich ist. Des Weiteren sind die anatomischen Varianzen wie das Foramen caecum dentis bei Frontzähnen oder das Tuberculum Carabelli bei den ersten Molaren im Oberkiefer als Prädilektionsstellen zu nennen. Auch die Approximalregionen sind nur erschwert und unter Zuhilfenahme von Zahnseide oder Bürstchen zu erreichen.

3.5 Indizes

Die Erfassung der Mundgesundheit und der Plaque- sowie Zahnsteinausdehnung wird in epidemiologischen Studien mit Hilfe von Indizes durchgeführt. Nicht nur in epidemiologischen Studien finden Indizes Verwendung, sondern auch in der praxisrelevanten Bewertung der oralen Gesundheit von Patienten oder zur Kontrolle einer vorherigen Therapie.

An einen aussagekräftigen Index können folgende Anforderungen gestellt werden:

- Quantitative Aussagen
- hohe Sensitivität und Spezifität
- hoher positiver/negativer Vorhersagewert

- Einfachheit und Reproduzierbarkeit
- rasche, praktische Anwendung und Ausrechnung (insbesondere in der zahnärztlichen Praxis)
- einfache Handhabung auch durch nicht speziell geschulte Zahnärzte bzw. geschultes zahnmedizinisches Personal

Ein Plaque-Index kann mit Hilfe unterschiedlichen Verfahren erhoben werden.

Dabei unterscheidet man zwischen drei grundsätzlichen Verfahrenstypen:

1. Bei dem klassischen Verfahren wird eine direkte und rein visuelle Plaquebestimmung durchgeführt.
2. Das planimetrische Verfahren bedient sich zunächst einer fotografischen Erfassung des Situs, wobei die Auswertung zeitlich versetzt erfolgt.
3. Das gravimetrische Verfahren bestimmt das Nass- oder Trockengewicht der kollektierten Plaquemenge.

Zur visuellen Erhebung sind in der Regel Revelatoren nötig, welche die Plaque anfärben. Revelatoren sind Lebensmittelfarbstoffe, häufig Erythrosin, Patentblau V oder fluoreszierende Farbstoffe, die in Kautablettenform oder als Lösungen erhältlich sind.

In der Regel werden alle vorhandenen Zähne bei der Erhebung einbezogen.

Es hat sich herausgestellt, dass es Zähne gibt, die als repräsentativ für das gesamte Gebiss angesehen werden können. Mit den sogenannten sechs Ramfjord-Zähnen (16, 21, 24, 36, 41, 44) kann eine Untersuchung relativ zügig und dennoch effizient durchgeführt werden (Ramfjord 1956).

Die Entscheidung, welcher Index für eine Plaqueuntersuchung sinnvoll ist, sollte möglichst ergebnisorientiert sein. Parameter wie der Studientyp, die Studiendauer und die Größe des Probandenguts sind dabei zu beachten und der für die Fragestellung sinnvollste Index ist auszuwählen (Fischmann 1986).

In der Literatur gibt es keine eindeutige Meinung, ob ein bestimmter Plaque Index für die Untersuchung des Milchgebisses oder des frühen Wechselgebisses bei Kindern besonderes geeignet ist. Die folgende Auflistung beruht auf der nach intensiver Literaturrecherche am häufigsten in Studien verwendeten Plaque-Indizes und hat keinen Anspruch auf Erfassung aller jemals in Studien zur Plaquebewertung bei Kindern verwendeten Methoden.

3.5.1 In Studien verwendete Plaque-Indizes bei Kindern

3.5.1.1 Ausschließlich im Milchgebiss verwendete Indizes (Alter von 0-6 Jahren)

Visual plaque index - VPI (Ainamo & Bay, 1975):

in den Studien von Zhou et al. (2011) Zhang et al. (2013) und Zhang et al. (2014).

Plaque Index Quigley und Hein - QHI (1962):

in der Studie von Taschner et al. (2012).

Plaque Control Record - PCR (O'Leary 1972):

in den Studien von Ferrazzano et al. (2008) sowie Juárez-López und Villa-Ramos (2010).

Plaque Index - PI (Sillness and Løe 1964):

in der Studie von Esfahanizedeh (2011).

Navy-Plaque-Index (modifiziert nach Rustogi et al. 1992):

in der Studie von Borutta (1997).

3.5.1.2 Ausschließlich im Wechselgebiss verwendete Indizes (Alter von 6-12 Jahren)

Visual plaque index - VPI (Ainamo & Bay, 1975):
in der Studie von Cortelli et al. (2012).

Oral Hygiene Index OHI / Oral Hygiene Index - simplified OHI-S (Greene & Vermilion, 1960/1964):
in den Studien von Rodrigues et al. (1990), Villalobos-Rodelo et al. (2007), Bekiroglu et al. (2012) sowie Othman et al. (2015).

Plaque Index Quigley und Hein - QHI (1962):
in den Studien von Biesbrock et al. (2003), Biesbrock et al. (2004), Dogan et al. (2004), van Palenstein Helderma et al. (2006) sowie Malekafzali et al. (2011).

Approximaler Plaque Index - API (Lange et al., 1977):
in den Studien von Dogan et al. (2004) sowie Azrak et al. (2008).

Plaque Control Record - PCR (O'Leary 1972):
in den Studien von Sadeghi und Alizadeh (2007) sowie Ferrazzano et al. (2008).

Patient Hygiene Performance - PHP (Podshadley and Haley 1968):
in den Studien von Martens et al. (1973) sowie Kaplis et al. (1979).

Navy-Plaque-Index (modifiziert nach Rustogi et al. 1992):
in der Studie von Ghassemi et al. (2013).

Planimetrischer Kinder-Plaque-Index - PKPI (Lang und Gaengler 2012):
in den Studien von Lang et al. (2014) und Fleuter (2015)

3.5.1.3 Ausschließlich im frühen bleibenden Gebiss verwendete Indizes (Alter von 12-18 Jahren)

Oral Hygiene Index (Greene & Vermilion, 1960):

in den Studien von Rodrigues et al. (1990), Siudikiene et al. (2005), Bekiroglu et al. (2012) sowie Othman et al. (2015).

Plaque Index Quigley und Hein - QHI (1962):

in den Studien von Biesbrock et al. (2003), Biesbrock et al. (2004), Dogan et al. (2004), Sripriya und Shaik Hyder Ali (2007), D'Cruz und Aradhya (2013), Damle et al. (2014) sowie Chainani et al. (2014).

Approximaler Plaque Index - API (Lange et al., 1977):

in den Studien von Dogan et al. (2004) sowie Dolinska und Stokowska (2006).

Plaque Index - PI (Sillness and Loe 1964):

in den Studien von Brightman et al. (1991), Taani (1996), Dolinska und Stokowska (2006) sowie El-Qaderi et al. (2006).

Plaque Control Record - PCR (O'Leary 1972):

in der Studie von Ferrazzano et al. (2008).

Navy-Plaque-Index (modifiziert nach Rustogi et al. 1992):

in der Studie von Ghassemi et al. (2013).

3.5.1.4 Visual plaque index - VPI (Ainamo & Bay, 1975)

Die Vorteile dieses ehemals für epidemiologische Untersuchungen empfohlenen Index sind seine schnelle Erhebung sowie die einfache Auswertung.

Insgesamt werden zehn Zähne ausgewertet. Je fünf Zähne im UK auf der linken- oder rechten Seite und fünf Zähne im OK auf der entsprechend anderen Seite. Jeder mit Plaque behaftete Zahn fließt mit 10% in die Auswertung mit ein. Es handelt sich somit um einen dichotomen Index, also um eine reine "JA-/NEIN - Entscheidung".

Die Vorteile dieses Index sind seine leichte Handhabung, die einfache Aufklärung und Motivation des Kindes sowie das geringe Risiko einer kindlichen Überforderung. Eine Motivation des Patienten zur Verbesserung seiner Mundhygiene ist jedoch nur bedingt möglich, denn durch den "JA/NEIN - Entscheidung" lässt sich eine fortschreitende Besserung der häuslichen Mundhygiene nicht bestimmen. Wäre ein Zahn zunächst komplett plaqueakkumuliert und zu einem späteren Zeitpunkt mit einer kleinen Plaqueinsel behaftet, so verbleibt der Zahn unverändert mit der Bewertung - "JA" - (Plaque vorhanden) und geht mit 10% in die Gesamtbewertung ein. Für vergleichende Studien zur Effektivitätsbestimmung von Mundhygieneprodukten ist dieser Index jedoch nur bedingt geeignet.

3.5.1.5 Oral Hygiene Index (Greene & Vermilion, 1960)

Dieser Mundhygieneindex stellt eine Kombination aus Plaque- (DI) und Zahnsteinindex (CI) dar. Jeder dieser beiden Indizes setzt sich wiederum aus 12 Werten zusammen.

Die Zahnbögen des Ober- und Unterkiefers werden jeweils in drei Segmente aufgeteilt, sodass insgesamt sechs Segmente entstehen. Jedes dieser Segmente wird von bukkal und lingual inspiziert und jeweils der Zahn mit dem größten Debris- bzw. Zahnsteinvorkommen nach bestimmten Kriterien bewertet, eingestuft und notiert. So entstehen bei einer Bezahnung jedes Segments 12 Werte für die Berechnung des DI und 12 Werte für die Berechnung des CI.

Bei dem Zahnsteinindex werden zudem die subgingivalen Konkreme mitberücksichtigt.

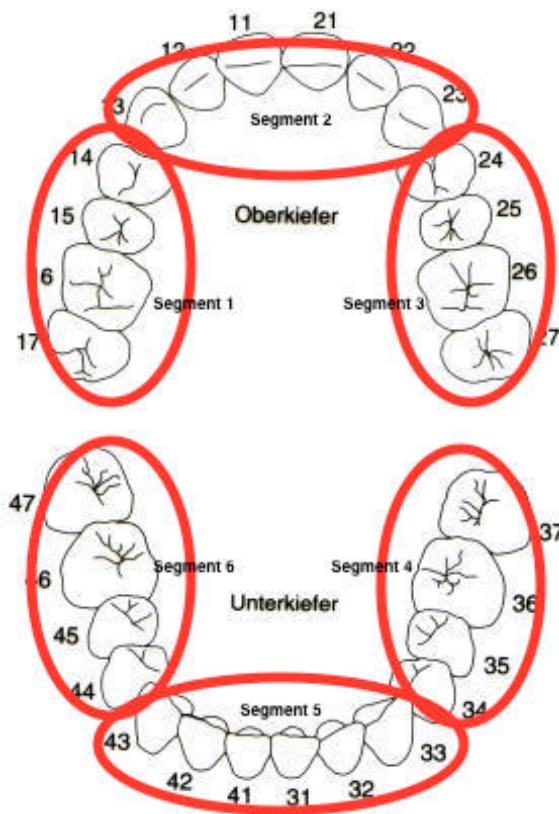


Abb. 3.2.: Aufteilung des Ober- und Unterkiefers in sechs Segmente.

Die Einstufungen der Plaquegrade werden wie folgt vorgenommen:

Grad	Kriterien
0	Keine Plaque oder kein Zahnstein vorhanden
1	Plaque überschreitet nicht mehr als 30% der Zahnfläche oder exogene Verfärbungen, unabhängig von behandelten Oberflächen.
2	Plaquebehaftete Oberfläche liegt zwischen 30% und 60%.
3	Plaquebehaftete Oberfläche liegt über 60%.

Die Einstufungen des supragingivalen Zahnsteins werden wie folgt vorgenommen:

Grad	Kriterien
0	Kein Zahnstein vorhanden.
1	Zahnstein überschreitet nicht mehr als 30% der Zahnfläche.
2	Zahnsteinbehaftete Oberfläche zwischen 30% und 60% oder vereinzelte subgingivale Konkremente (oder beides).
3	Zahnsteinbehaftete Oberfläche über 60% oder massive subgingivale Konkremente (oder beides).

Werden alle erhobenen Plaquewerte miteinander addiert und durch die Anzahl der Beobachtungen (12) dividiert, erhält man den DI (Debris - Index).

Genauso verhält es sich mit den erhobenen Zahnsteinbewertungen, und man erhält als Ergebnis den CI (Calculus - Index).

Der OHI berechnet sich wie folgt:

OHI	=	Summe Debris Index (DI) + Summe Calculus Index (CI)
-----	---	---

Die modifizierte und vereinfachte Variante, der sogenannte OHI-S (Oral Hygiene Index - simplified) nach Greene und Vermilion (1964), legt bestimmte Zähne fest, welche nach den oben beschriebenen Kriterien graduiert werden.

Im Oberkiefer werden die ersten Molaren - in der Regel Zahn 16 und 26 - von bukkal bewertet, der Frontzahn 11 von vestibulär.

Im Unterkiefer werden die ersten Molaren - in der Regel Zahn 36 und 46 - von lingual bewertet, sowie der Frontzahn 31 von vestibulär.

3.5.1.6 Plaque Index Quigley und Hein - QHI (1962)

Der ursprüngliche Index bewertet die lingualen und bukkalen nicht restaurierten Zahnoberflächen, mit Ausnahme der dritten Molaren, nach deren Anfärbung mit einem Plaquerevelator. Dabei wird zwischen 6 Bewertungsgraden (0-5) unterschieden, die von G. A. Quigley und J. W. Hein 1962 festgelegt und von S. Turesky, N. D. Gilmore und I. Glickman 1970 modifiziert wurden. Diese Modifikation nach Turskey et al. ist heute am gebräuchlichsten und unterteilt sich wie folgt:

Grad	Kriterien
0	Keine Plaque vorhanden.
1	Vereinzelte Plaqueinseln am zervikalen Randsaum.
2	Durchgehendes bis zu 1mm dickes Plaqueband am zervikalen Randsaum.
3	Über 1mm dickes Plaqueband, das bis zu 1/3 der Zahnfläche bedeckt.
4	1/3 bis 2/3 der Zahnfläche sind plaquebehaftet.
5	Mehr als 2/3 der Zahnfläche sind plaquebehaftet.

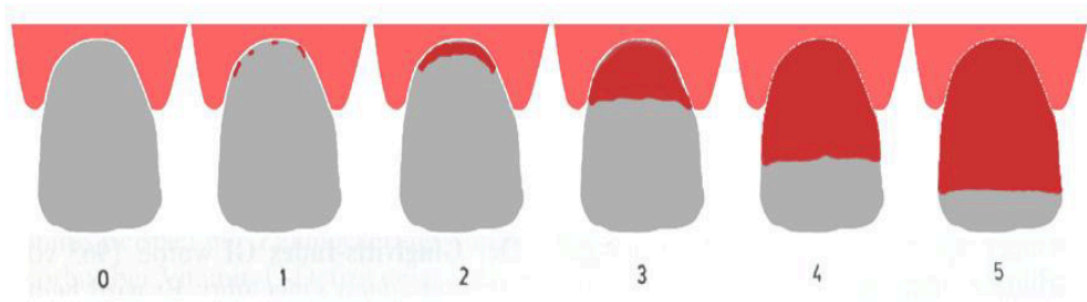


Abb. 3.3.: Schematische Darstellung des QHI.

Die Berechnung des QHI lässt sich daraus resultierend wie folgt darstellen:

QHI =	Summe erhobener Werte
	Summe untersuchter Flächen

Sowohl die einfache Erhebung als auch die Möglichkeit der praktischen Demonstration, lassen den QHI als geeigneten Plaqueindex für den Praxisalltag zu. Darüber hinaus erweist er sich in Studien zur Evaluation von Mundhygieneprodukten als praktikabel (Fischmann, 1986).

Neben der quantitativen Bewertung der plaquebehafteten Oberfläche bietet er zusätzlich die Möglichkeit, den zeitlichen und individuellen Verlauf der Plaqueakkumulation zu beurteilen (Quirynen et al., 1991).

3.5.1.7 Approximaler Plaque Index - API (Lange et al., 1977)

Obiger Index beruht auf einer visuellen Beurteilung der Approximalräume nach Anfärbung mit einem Plaquerevelator.

Die Erhebung erfolgt quadrantenweise; der 1. und 3. Quadrant wird von oral, der 2. und 4. Quadrant von bukkal bewertet. Bei dem API handelt es sich um einen dichotomen Index, d.h. hier liegt keine Graduierung vor, sondern ein reiner "JA/NEIN - Entscheid".

Da es sich bei dem API-Index um einen prozentualen Wert handelt, wird er wie folgt berechnet:

API (in %) =	Summe plaquepositiver Flächen	X 100
	Summe untersuchter Flächen	

Der API wird in differenzierte Bereiche untergliedert, um einen Rückschluss auf die Mundhygiene zu ermöglichen.

API - Werte unter 25% entsprechen dabei einer optimalen Mundhygiene. Liegt der Wert zwischen 25-39%, so spricht man von einer guten Mundhygiene. Ein API von 40-69% lässt bereits die Aussage "mäßige Mundhygiene" zu. Eine unzureichende Mundhygiene entspricht einem API von 70-100%.

Zur Reinigung der Approximalräume bedarf es einer durch den Patienten gründlich durchgeführten Mundhygiene sowie Compliance. Der Index eignet sich daher sehr gut, um die Mitarbeit des Patienten oder Probanden abzuschätzen. Während Parodontalbehandlungen erweist sich die häusliche Mundhygiene als existentiell und ein API unter 35% kann als Anhaltspunkt für eine gute Compliance gewertet werden. Mit dem Interdentalhygiene-Index (HYG), der eine Modifikation des originalen API darstellt, lässt sich hingegen die Plaquefreiheit in Prozent auszudrücken. Auf Grund der Strenge dieses Index zeigt er sich für epidemiologische Studien als ungeeignet (Rateitschak 1989).

Um die Dichotomie des API zu umgehen, entwickelten Zimmer et al. (2005) eine Modifikation - den sogenannten mAPI (modified-Aproximal-Plaque-Index). Dieser kombiniert die Graduierung von 0 bis 3 des *Silness und Loe* Plaqueindex mit dem API. So entsteht ein Index mit erhöhter Sensitivität und lässt eine differenziertere Beurteilung der Mundhygiene sowie deren Veränderung zu.

3.5.1.8 Plaque Control Record - PCR (O'Leary et al., 1972)

Ein weiterer dichotomer Index, der in Prozent angegeben wird, ist der Plaque Control Record nach O'Leary - eine Weiterentwicklung des Hygiene-Index (HI) nach O'Leary (1967). Dieser Index beachtet sowohl die Approximalbereiche als auch die Glattflächen. Dabei wird jeder Zahn in die vier Bereiche mesial, distal, lingual und bukkal eingeteilt und singular bewertet. Zur Erhebung ist auch bei diesem Index ein Plaquerevelator nötig, um eine exakte Plaquebeurteilung zu gewährleisten.

Demzufolge würden bei einem vollbezahnten Milchgebiss mit 20 Zähnen maximal 80 Beobachtungen aufgezeichnet werden. Eine Zahnfläche mit Plaque wird als positiv (+), eine gereinigte Zahnfläche als negativ (-) bewertet.

Der PCR berechnet sich danach wie folgt:

PCR (in %) =	Summe plaquepositiver Werte	X 100
	Summe untersuchter Flächen	

Liegt der PCR unter 10%, so kann von einer guten Mundhygiene gesprochen werden.

Die Vorteile dieses Index liegen darin, dass alle Zahnflächen ausgewertet werden und somit direkt auf die Putzeffizienz geschlossen werden kann. Als Nachteile wären die fehlende Quantitätsbestimmung sowie der hohe zeitliche Aufwand zu nennen.

3.5.1.9 Patient Hygiene Performance - PHP (Podshadley and Haley 1968)

Ursprünglich wurde dieser Index zur Effektivitätskontrolle von Mundhygieneinstruktionen verwendet. Dabei wird jede Zahnfläche durch den Untersucher gedanklich in fünf Felder aufgeteilt und bewertet.

Zur besseren Erhebung werden vorwiegend Plaquerelvatoren benutzt. Ein plaquepositives Feld wird mit "1" und ein plaquenegatives Feld mit "0" bewertet. Ist ein Zahn vollkommen mit Plaque bedeckt, wird er deshalb mit "5" bewertet. Prinzipiell werden bei der Erhebung nur die 6 Ramfjord-Zähne verwendet, was somit eine maximale Beobachtungszahl von 60 ergibt. Durch seine Unterteilung hebt der PHP die approximalen Zahnabschnitte hervor.

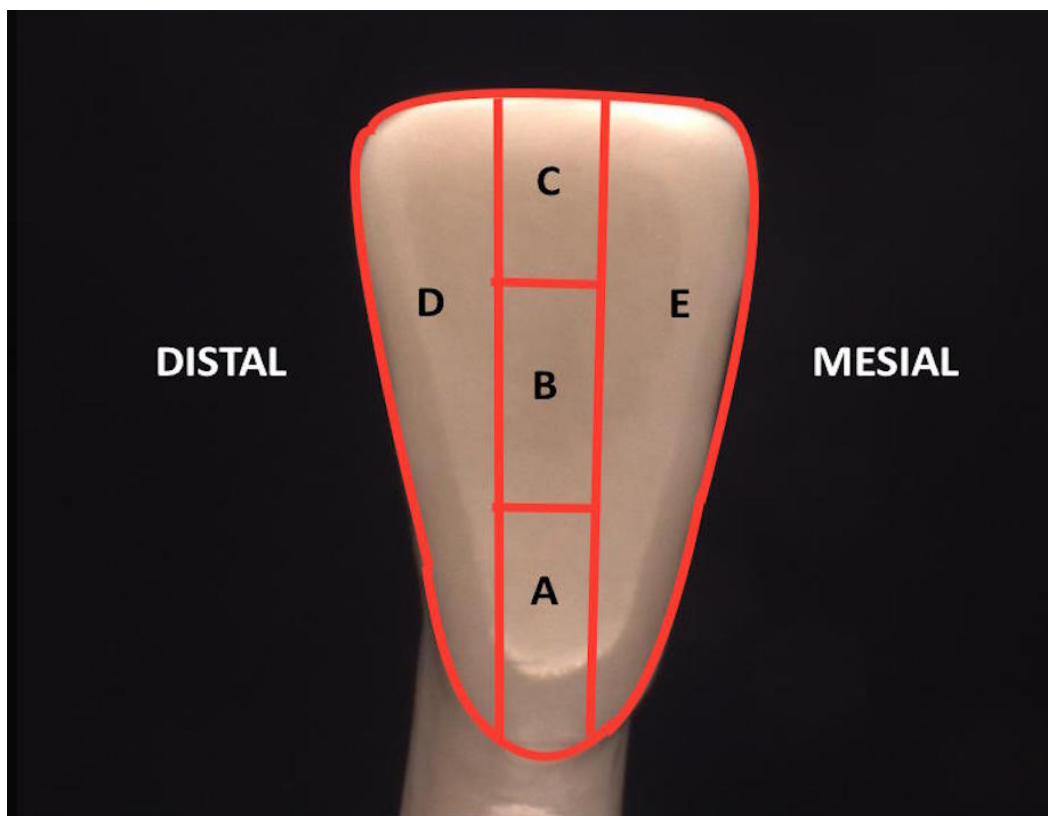


Abb. 3.4.: Schematische Darstellung der Feldeinteilung nach Podshadely und Haley (1968)

3.5.1.10 Plaque Index - PI (Sillness and Loe 1964)

Wie beim QHI spricht man beim PI nach Sillness und Loe von einem graduellen Index, der jedoch auf eine Anfärbung der Plaque verzichtet. Visuell und mit Hilfe einer Sonde werden die Werte erhoben, dabei unterscheiden sich die Grade 0-3 durch folgende Kriterien:

Grad	Kriterien
0	Keine Plaque vorhanden.
1	Dünner Plaquefilm am gingivalen Randsaum, welcher nur durch Sondieren visuell sichtbar wird.
2	Mäßiger Plaquefilm am gingivalen Randsaum, welcher mit bloßem Auge erkennbar ist.
3	Starke Plaqueakkumulation am marginalen Randsaum → das Interdentaldreieck ist mit Plaque ausgefüllt.

Der PI berechnet sich daraufhin wie folgt:

PI =	Summe aller Indexwerte
	Summe untersuchter Flächen

Der PI eignet sich auf Grund seiner Sensibilität sehr gut für epidemiologische Studien (Sillness 1964).

3.5.1.11 Navy Plaque Index - NPI (Elliot et al. 1972)

Der ursprünglich von Elliot et al. (1972) entwickelte Index unterteilt jeden Zahn in 6 Felder. Dabei wird jedes Feld auf das Vorhandensein von Plaque kontrolliert und mit 0 oder 1 bewertet, wobei 0 eine komplette Reinigung - und 1 die Anwesenheit von Plaque in diesem Feld wiedergibt.

Die 6 Felder sind in 3 Hauptzonen angeordnet, in einer okklusalen, einer mittleren und einer gingivalen Zone. Die mittlere Zone wird senkrecht halbiert und lässt sich somit in einen mesialen - und distalen Abschnitt unterteilen. Die gingivale Zone wird ungefähr in gleichen Teilen gedrittelt und besteht demzufolge aus einem distalen -, mittleren - und mesialen Feld. Eine gedachte Verbindung der beiden Interdentalpapillen mit einem Abstand von 1mm parallel zum Gingivarand begrenzt die gingivale Zone zur koronalgelegenen mittleren Zone. Mit dieser Felderaufteilung wird der gingivale - und proximale Bereich gegenüber den 2 anderen Zonen besonders hervorgehoben (Elliot et al. 1972, Fischman et al. 1986).

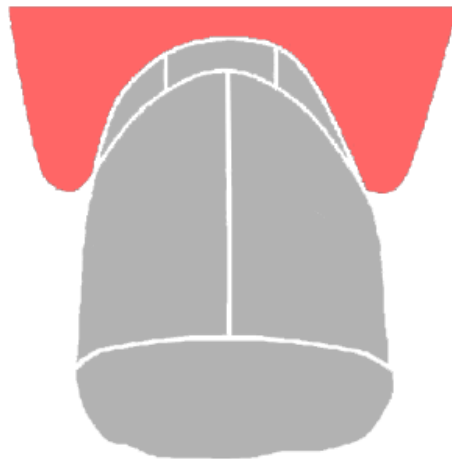


Abb. 4.5.: Schematische Darstellung des NPI nach Elliot et al. (1972).

Die Modifikation des Navy-Plaque-Index durch Rustogi et al. (1992) unterteilt eine Zahnfläche in 9 Felder (A-I). Wie bei Elliot et al. (1972) werden auch diese Felder nach dem Vorhandensein von Plaque mit 0 oder 1 bewertet. Die Aufteilung der 9 Felder lehnt an den ursprünglichen NPI an, ermöglicht jedoch durch eine weitere

Unterteilung der mittleren Zone eine differenzierte Betrachtung dieser. Ausgehend vom mesialen und distalen Kontaktpunkt, unterteilt eine zum Gingivarand parallele Linie die mittlere Zone in einen oberen und unteren Bereich. Der untere Bereich wird ähnlich gedrittelt wie die ihn angrenzende gingivale Zone. Um die der Gingiva angrenzenden Bereiche zu vergrößern, sind auch die Felder A und C etwas ausgedehnter dargestellt. Die Modifikation nach Rustogi et al. (1992) verhilft zu einer differenzierten Bewertung der klinisch wichtigen interproximalen und gingivalen Abschnitte (Rustogi et al. 1992)

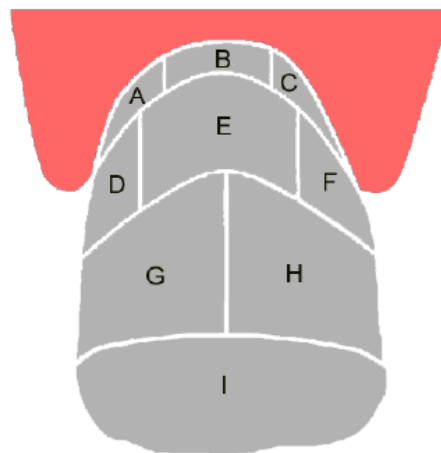


Abb. 3.6.: Schematische Darstellung des NPI nach Rustogi et al. (1992).

Im Milch- bzw. Wechselgebiss fand der Index unter anderem in der Studie von Borutta (1997) Verwendung.

Beide beschriebenen Varianten sind nicht für ein Full-mouth-screening ausgelegt, sondern lediglich für die Erhebung bei festgelegten Indikatorzähnen vorgesehen.

Vorteile dieses Index sind seine größere Objektivität gegenüber anderen Indizes sowie die gute intra- und interindividuelle Reproduzierbarkeit (Claydon und Addy, 1995; Schaloub und Addy, 2000).

Als nachteilig kann hier der hohe zeitliche Aufwand gesehen werden, den die Bewertung der einzelnen Zahnfelder in Anspruch nimmt.

Eine weitere Modifikation des Navy Plaque Index wurde durch Claydon und Addy (1995) beschrieben, welche die Verwendung eines planimetrischen Verfahrens vorsieht.

Mit einer intraoralen fotografischen Dokumentation werden alle zu bewertenden Zahnoberflächen unter Zuhilfenahme einer Schablone zeitlich versetzt ausgewertet. Geht man davon aus, dass pro Zahn sowohl oral als auch vestibulär 9 Beobachtungen möglich sind, könnte pro Patient eine maximale Beobachtungszahl von 576 erreicht werden. Durch die Fotodokumentation ist eine Bewertung aller Zahnflächen ohne erheblichen Zeitaufwand für den Patienten möglich (Claydon und Addy 1995, Claydon und Addy 1996).

Zur Evaluation von Mundhygienemaßnahmen oder Mundhygieneprodukten ist ein Vorher/Nachher-Vergleich essentiell. Auf Grund der dichotomen Entscheidung pro Zahnfeld muss eine klinisch sichtbare Reinigung nicht erfasst oder dargestellt werden.

Die durch Lang et al. (2011) beschriebene Modifikation des Navy-Plaque-Index beweist durch dessen sensiblere Unterteilung eine bessere und genauere Beurteilung der Reinigungseffektivität (Bretz 2010). Der Index basiert auf der Feldereinteilung nach Rustogi et al. (1992) bzw. Claydon und Addy (1995), gibt dem Beobachter jedoch die Möglichkeit, jedes Zahnfeld im bleibenden Gebiss quantitativ von 0 bis 2 zu bewerten. Ein Situs (bukkal oder lingual) kann demzufolge eine Maximalbewertung von 18 erreichen.

Grad	Kriterien
0	Keine Plaque vorhanden.
1	Feld mit weniger als 50% Plaque bedeckt.
2	Feld mit mehr als 50% Plaque bedeckt.

3.5.1.12 Planimetrischer Kinder-Plaque-Index - PKPI (Lang und Gängler 2012)

Die in Kapitel 3.2. beschriebenen morphologischen Unterschiede zwischen den permanenten Zähnen und Zähnen des Milchgebisses, sowie deren unterschiedliche Stadien des Durchbruchs, waren der Anlass für die Entwicklung eines speziellen Plaque-Index für das Milch- bzw. Wechselgebiss. Die Entwicklung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit 'ORMED - Institute for Oral Medicine at the University of Witten/Herdecke'. Der daraus entstandene Index ermöglicht sowohl die Beurteilung der durchbrechenden permanenten Zähne als auch der Milchzähne. Dieser Planimetrische Kinder-Plaque-Index wurde in der hier zugrundeliegenden quasi-klinischen Studie an Wechselgebissmodellen getestet.

In der Entwicklung des Index ging man von fünf unterschiedlichen Beobachtungssituationen eines Zahnes im Wechselgebiss aus.

Die folgende Tabelle stellt die Situationen sowie deren Kriterien dar:

Situation	Kriterien
1	Milchzahn vorhanden.
2	Kein Zahn vorhanden.
3	Eruption bis zu 1/3 des bleibenden Zahnes.
4	Eruption bis zu 2/3 des bleibenden Zahnes.
5	Permanenter Zahn vollständig durchgebrochen.

In den Situationen 2 und 5 wird wie bei der Modifikation nach Lang et al. (2011) am permanenten Gebiss verfahren.

Bei Betrachtung von 1 oder 4, wird der Zahn in 5 Felder eingeteilt. Dabei wird die klinische Krone durch eine horizontale Mittellinie in eine gingivanaher - und eine koronale Hälfte eingeteilt. Die gingivale Hälfte wird wiederum in ein mesiales-, zentrales- und distales Feld gedrittelt, wohingegen die koronale Hälfte in ein distales sowie ein mesiales Feld halbiert wird (Lang und Gängler 2012). Ist ein Zahn jedoch erst bis zu 1/3 durchgebrochen, so wird die klinische Krone horizontal in ein distales, ein zentrales und ein mesiales Feld gedrittelt (Lang et al. 2014). Alle Felder werden durch die nach Lang et al. (2011) festgelegten Kriterien für das Ausmaß der Plaquebedeckung mit den Graden 0, 1 oder 2 bewertet.

Durch diese modifizierte Unterteilung sind für die beschriebenen Situationen folgende Maximalwerte pro Zahn möglich:

Situation	Grad	Planimetriefelder des bukkalen Situs	Planimetriefelder des lingualen Situs	Maximalwert für den gesamten Zahn
1	2	5	5	20
2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
3	2	3	3	12
4	2	5	5	20
5	2	9	9	36

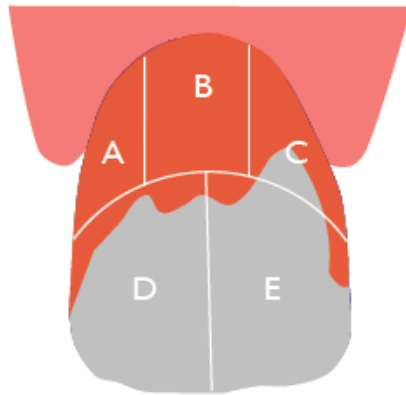


Abb. 3.7.: Schematische Darstellung des Navy-Plaque-Index für Milchzähne oder bis zu 2/3 eruptierte permanente Zähne.

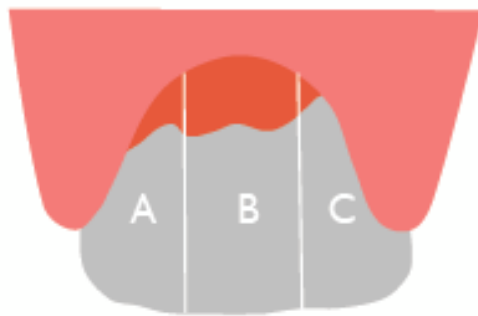


Abb. 3.8.: Schematische Darstellung des Navy-Plaque-Index für bis zu 1/3 eruptierte permanente Zähne.

4 Material und Methoden

4.1 Material

- Kunststoffzähne und entsprechender Unterkiefer-Zahnträger der Firma KaVo® (Biberach/Riß, Deutschland) für das permanente Gebiss.
- Kunststoffzähne und entsprechender Unterkiefer-Zahnträger der Firma Frasco® (Tettang, Deutschland) für das Milch-/Wechselgebiss.
- Färbemittel zur Simulation der Plaque
- Färbungs-/ Trocknungsapparatur
- Zahnputzroboter der Firma Kawasaki (Kobe, Japan)
- Entriegelungsapparatur für die KaVo® Zahnträger
- Entriegelungsapparatur für die Frasco® Zahnträger
- Zange zum Entnehmen der Testzähne
- ausgewählte Testzahnbürsten
- Isopropylalkohol (als Reinigungssubstanz)
- digitale Intraoralkamera - Sopro Life® der Firma Acteon (Acteon Germany GmbH, Mettmann, Deutschland)
- Computer-Programm zur Generierung der quasi-klinischen Bilddaten
- Digitalkamera der Firma Nikon (Düsseldorf, Deutschland) Modell D70
- APP (Automatisierte-Plaque-Planimetrie)
- Computer - MacBook Pro (Apple, Cupertino, CA, USA)

4.2 Materialbeschreibung

Kiefermodelle:

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die klinische Situation erhöht sich durch die Verwendung anatomisch korrekter Modelle. Die Zahnmodelle der Firma Frasaco® oder KaVo® bieten sich daher für einen quasi-klinischen Vergleich an (Volpenhein et al. 1994, Ernst et al. 1997). In dieser Studie sind sowohl Frasaco® als auch KaVo® Modelle verwendet worden.

Zähne und Zahnträger der Firma KaVo®:

Mit Hilfe des Unterkiefer-Zahnträgers und der zugehörigen Kunststoffzähne soll eine physiologische Situation des eugnathen Gebisses simuliert werden.

Der Zahnträger besitzt speziell angefertigte Einsparungen, in denen die Kunststoffzähne eingebracht und per Schnapphalterung arretiert werden können. Für die Versuchsdurchführung wurden lediglich die Zähne 33-48 genutzt.

Zähne und Zahnträger der Firma Frasaco®:

Mit Hilfe des Unterkiefer-Zahnträgers und der zugehörigen Kunststoffzähne soll eine physiologische Situation des frühen Wechselgebisses simuliert werden.

Bei den Zahnträgern handelt es sich um Frasaco® Unterkiefer Kinderzahnmodelle AK-6/2, die mit den Zähnen 73, 72, 71, 81, 82, 83, 84, 85 und 46 bestückt wurden. Das Modell besitzt speziell angefertigte Einsparungen, in denen die jeweiligen Kunststoffzähne eingebracht und dabei entweder festgeschraubt (73 und 83-46) oder eingesteckt (72-82) wurden und das frühe Wechselgebiss nachbildeten.

Färbemittel zur Simulation der Plaque:

Die Plaquesimulations-Substanz glich in seiner Konsistenz und seinen Eigenschaften denen der menschlichen Plaque. Darüber hinaus ist eine gute Reproduzierbarkeit gegeben.

Färbungs- und Trocknungsapparatur:

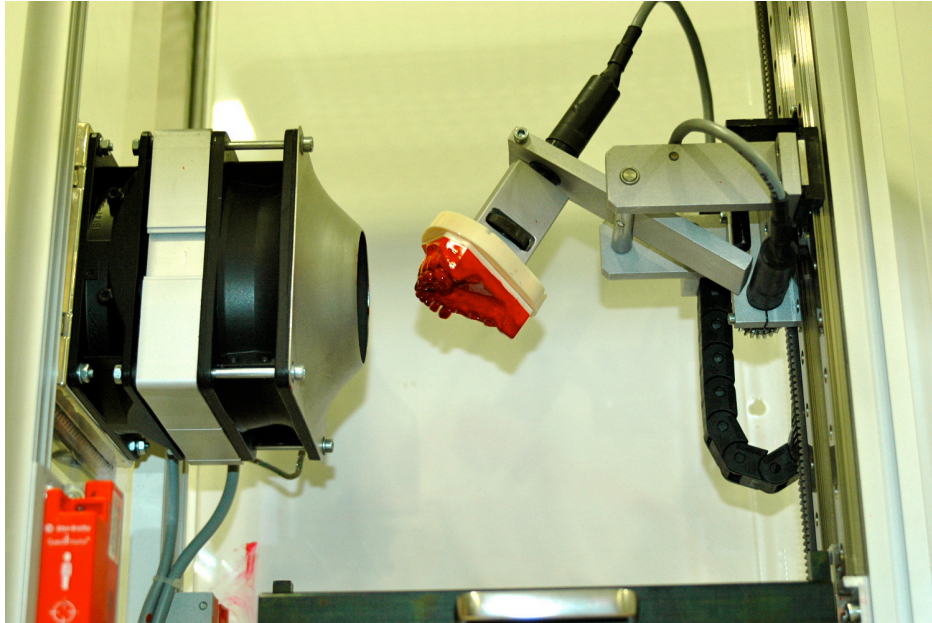


Abb. 4.1.: Färbungs- und Trocknungsapparatur während der Trocknungsphase eines Wechselgebissmodells.

Hierbei handelte es sich um eine spezielle Apparatur, die durch einen automatisierten Vorgang eine gleichmäßige Beschichtung der Prüfvorhänge gewährleistet.

Die Apparatur bestand aus einem beweglichen Arm, einem Trocknungsaggregat und einer Wanne für die Aufnahme der Plaquesimulations-Substanz.

Der automatisierte Arm gewährleistete durch seine vertikale Bewegung auf einer Schiene ein gleichmäßiges und reproduzierbares Eintauchen in die künstliche Plaque. Auf diese Weise wurde der komplette Zahnbogen bis mindestens 1cm unterhalb des künstlichen Zahnhalses mit der Plaquesimulations-Substanz benetzt. Für die weitere Analyse war dies eine wichtige Voraussetzung.

Durch die Rotation des Armes konnte ein gleichmäßiger und reproduzierbarer Trocknungsprozess gewährleistet werden.

Zahnputzroboter:

Zur Nutzung kam hierbei ein Sechs-Achsen-Roboter des Typs FS02N der Firma Kawasaki (Kobe, Japan). Dieser kann Bewegungen mit 3,80mm/s durchführen und besitzt eine Wiederholungsgenauigkeit von +/- 0,03mm. Er diente zur Simulation der Zahnputzbewegungen des Menschen.

Ausgewählte Testzahnbürsten:

Bei der Untersuchung wurden neun unterschiedlichen Zahnbürsten verwendet.

a) für das permanente Gebiss:

Bei den am permanenten Gebiss durchgeführten Versuchen wurden insgesamt 7 unterschiedliche Erwachsenenzahnbürsten (4 elektrische - und 3 Handzahnbürsten) getestet.

Folgende drei elektrische rotierend-oszillierende Zahnbürsten-Prototypen kamen dabei zum Einsatz und wurden mit einer handelsüblichen elektrischen rotierend-oszillierenden Zahnbürste verglichen

- Oral-B Precision Clean (Procter & Gamble Germany GmbH & Co Operations oHG, Schwalbach am Taunus, Deutschland) als Standard (wird nachfolgend mit "PRECISION CLEAN" bezeichnet)
- Experimental Standard (wird nachfolgend mit "EXPER S" bezeichnet)
- Experimental 2 (wird nachfolgend mit "EXPER 2" bezeichnet)
- Experimental 3 (wird nachfolgend mit "EXPER 3" bezeichnet)

Folgende drei Handzahnbürsten-Entwicklungen kamen dabei zum Einsatz:

- Interdental (wird nachfolgend mit "INTERDENTAL" bezeichnet)
- Sensitive (wird nachfolgend mit "SENSITIVE" bezeichnet)
- Whitening (wird nachfolgend mit "WHITENING" bezeichnet)

b) für das frühe Wechsel- / Milchgebiss:

Bei den Laborversuchen am frühen Wechsel-/ Milchgebiss wurden zwei handelsübliche Kinderzahnbürsten getestet. Beide aufgeführten Zahnbürsten werden vom Hersteller für Kinder im Alter von ca. 6 Jahren empfohlen.

Folgende zwei Kinderzahnbürsten kamen dabei zum Einsatz:

- Oral-B® Stage 3 (Procter & Gamble Germany GmbH & Co Operations oHG, Schwalbach am Taunus) (wird nachfolgend mit "STAGE 3" bezeichnet)
- Signal® Junior (Unilever Deutschland GmbH, Hamburg) (wird nachfolgend mit "JUNIOR" bezeichnet)

Intraoralkamera SoproLife®:

Hierbei fand die digitale Intraoralkamera SoproLife (Acteon Germany GmbH, Mettmann, Deutschland) Anwendung.

(752x582) PAL, (768x494) NTSC und einen Bildsensor: 1/4" CCD mit hoher Empfindlichkeit. Vier im Kopf eingebrachte LED-Lichtquellen gewährleisteten eine sehr gute Ausleuchtung des darzustellenden Bildbereichs. Für die Bilderfassung wurde eine spezielle Imaging-Software verwendet (SOPRO Imaging).

Die Datenübertragung von der Kamera auf den Laptop erfolgte via USB-Kabel.

Automatisierte Plaque-Planimetrie:

Die Messeinheit der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) von ORMED und M+C Schiffer ist eine computergesteuerte Einrichtung, bestehend aus einer Dunkelkammer, Kamera mit Lichtquelle, Analysesoftware (Bildverarbeitungssystem und Auswertungseinheit), auf einem beweglichen Schlitten positionierte Spezialhalterung für KaVo-Zähne und Frasaco Milchzähne, Monitor und Touchpanel.

Durch einen vollautomatisierten Vorgang werden zunächst alle Zahnflächen durch die Kamera bildlich erfasst und im Anschluss der Anteil der gesäuberten Fläche im Bezug zur Gesamtoberfläche des Zahnes ermittelt. Dies geschieht mit Hilfe einer Pixel-Zählfunktion. Eine genauere Beschreibung der APP folgt in Abschnitt 4.3.7 bzw. 4.3.8

4.3 Methoden

4.3.1 Räumlichkeit der Laborversuche

Die Laboruntersuchungen fanden in den Räumlichkeiten der Firma ORMED, Alfred-Herrhausen-Straße 45, 58448 Witten, ZBZ (Zahnmedizinisch- Biowissenschaftliches Zentrum) Raum 3.T1.03 statt.

Vor Versuchsbeginn sind sowohl die Raumtemperatur von 22°C als auch die Lichtverhältnisse kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert worden, sodass stets gleichmäßige Temperatur- und Lichtverhältnisse gewährleistet waren.

Zunächst wurde die Stromzufuhr für die Färbungs-Trocknungsapparatur und den Putzroboter sowie den daran angeschlossenen Druckmesser hergestellt.

4.3.2 Kalibrierung des Putzroboters auf das menschliche Wechselgebiss / Milchgebiss

Da der Putzroboter bisher nur Putzbewegungen am permanenten Modell simulieren konnte, bedurfte es einer neuen Programmierung und Ausrichtung der 6 Achsen auf das künstliche Wechselgebiss. Dies wurde wie folgt durchgeführt:

Das zentrale Borstentuft einer Zahnbürste mit flachem Bürstenfeld wurde durch den 6-Achs-Roboter bis zu dem definierten Mittelpunkt der bukkalen/lingualen Fläche justiert. Damit konnte der Ausgangspunkt für die Zahnbürste definiert werden. In dieser Position war es möglich, alle Putztechniken zu programmieren. Dabei waren rotierende-, schrubbende-, rüttelnde- und wischende Bewegungen sowie Kombinationen aus diesen möglich. Der Ausgangspunkt und die Bewegung wurden für jeden Testzahn sowohl von bukkal als auch von lingual programmiert.

Nachdem alle Positionen und Bewegungen in die Software des Roboters eingearbeitet waren, konnte mit der Labortestung der zwei Kinderzahnbürsten begonnen werden.

4.3.3 Kalibrierung und Einrichtung des Putzroboters

Durch die Spezialhalterungen, die für die individuellen Griffdesigns der Zahnbürsten hergestellt wurden, konnte die Zahnbürste am Roboterarm befestigt werden. Der Befehl „Bürste einrichten“ ließ den Roboterarm in die Position fahren, in der die Zahnbürste über verschiedene Stellschrauben und Verschiebebahnen in der vorgesehenen Halterung fixiert und in der richtigen anterioren-, posterioren-, horizontalen- und vertikalen Position angepasst werden konnte.

Ein auf einer Glasscheibe markiertes Fadenkreuz sorgte dafür, dass die Auflagefläche der Zahnbürste optimal ausgerichtet werden konnte. Dabei sollte optisch überprüft werden, dass sich das zentrale Zahnbürstentuft genau im Mittelpunkt des Fadenkreuzes befindet, und die Borstenspitzen gleichmäßig auf dem Fadenkreuz aufliegen.

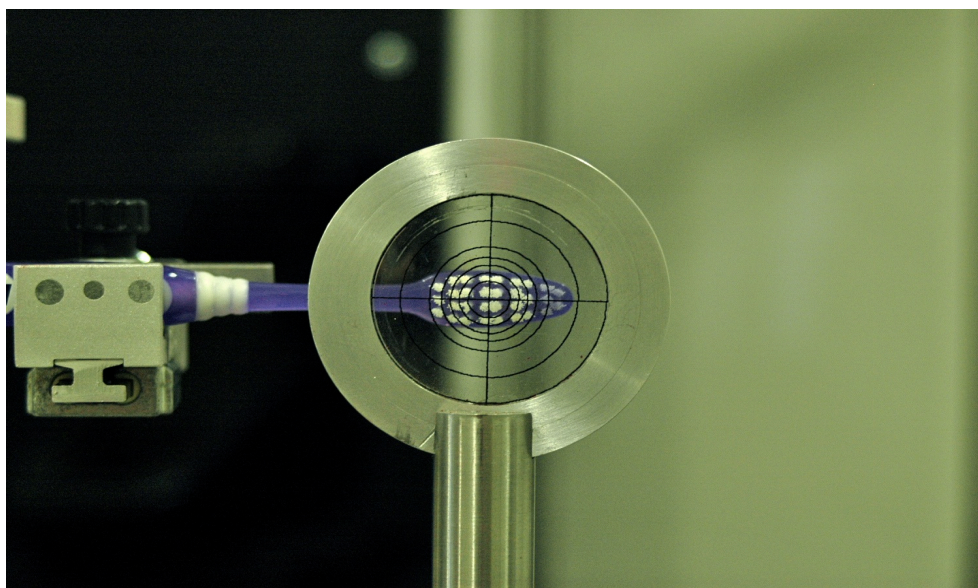


Abb. 4.2.: Ausrichtung des Borstenfelds im Fadenkreuz.

Nach Kontrolle der zentralen Ausrichtung des Bürstenkopfes erfolgte die Kräfteinstellung mit Hilfe eines zweiteiligen Kraftmessers.

Die Kraft, mit der die Borstenfelder auf die Zahnoberfläche stoßen, berechnet sich nach der Formel **Kraft = Druck x Fläche**.

Der Kraftmesser wurde vor jedem Putzzyklus auf der Kraftanzeige tariert und die Zahnbürste an den Druckmesser herangefahren. Die Kraftjustierung erfolgte durch die Bedienung einer Kraft-Winkelansteuerung. Dabei konnten die Winkel exakt auf $0,1^\circ$ und die Eindringtiefe auf 0,1 mm eingestellt werden. Die klinische Simulation sollte in dieser Studie mit einer Anpresskraft von 3,0 Newton (3,0 N) durchgeführt werden, weshalb die Summe des zweigeteilten Kraftmessers 300g (3,0 Newton) anzeigen musste, wobei eine Verteilung im Verhältnis 1:1 (anterior : posterior) angestrebt wurde. Bei den Kinderzahnbürsten wurde ein klinisch vertretbarer Wert von 1,5 N angestrebt.

Eine Toleranzabweichung von +/- 0,025 Newton wurde eingeräumt. Insgesamt durfte die Einstellung der Anpresskraft nicht länger als 4 Minuten dauern, damit die klinische Simulation der Kraft, bezogen auf die Flexibilität der Zahnbürste, gewährleistet werden konnte.

Wichtig bei der Einstellung ist der möglichst gleichmäßige Kontakt aller Borstentufte mit dem Kraftmesser, respektive der späteren Zahnoberfläche. Auf Grund der konkaven Borstenanordnung und des speziellen *Powertips* (verlängerte Borstenfilamente am Kopf des Borstenfeldes) stellte sich die Einstellung der OralB-Kinderzahnbürste (STAGE 3) als schwierig heraus. Bei der angestrebten Anpresskraft von 1,5 N hatten, in Folge der Ergonomie des Borstenfeldes, nur ca. 25% der Borsten Kontakt zum Kraftmesser. Durch Vervierfachung der Kraft auf 6,0 N konnte ein nahezu 100%iger Kontakt des Borstenfeldes auf dem Kraftmesser gewährleistet werden.

Der stark erhöhte Wert von 6,0 N bei der Kinderzahnbürste (STAGE 3) ist klinisch nicht vertretbar, jedoch lässt sich unter *in-vitro* Bedingungen anderweitig kein flächiger Kontakt des konkaven Borstenfeldes mit der Zahnoberfläche realisieren. Der vom Hersteller sogenannte *PowerTip* (verlängerte Borstenfilamente am Kopf des Borstenfeldes) der STAGE 3 Zahnbürste verhindert diesen flächigen Kontakt.

4.3.4 Herstellung der Modelle für den Putzzyklus

Die jeweiligen Modelle für das permanente – bzw. Milchgebiss wurden, wie bereits unter 4.2. beschrieben, vorbereitet.

Nachdem die Modelle mit den entsprechenden Kunststoffzähnen bestückt worden waren, folgte auf die Entfettung des kompletten Modells mit Isopropylalkohol eine anschließende 10-minütige Trocknungsphase.

Um eine für die Analyse reproduzierbare Anfärbung und Trocknung zu gewährleisten, wurden diese Schritte automatisiert durchgeführt.

Bevor der Einfärbungs- und Trocknungsprozess beginnen konnte, musste ein Trocknungszyklus ohne Zahnträger durchlaufen werden, um eine Anfangstemperatur des Trocknungsaggregats von ca. 58°C sicherzustellen.

In der Färbungs-Trocknungsapparatur wird das bezahnte Frasaco-Modell an einer entsprechenden Halterung eingerastet und fixiert. Die KaVo-Modelle hingegen werden mit Hilfe einer Fixationsschraube befestigt.

Durch Starten der Apparatur wurde das Modell gleichmäßig in das mit einer Plaquesimulations-Substanz gefüllte Becken getaucht und dadurch der komplette Zahnbogen mit dieser benetzt. Die Plaquesimulations-Substanz hat eine der menschlichen Plaque ähnliche Konsistenz. Anschließend wurde das Modell in Drehbewegungen exakt 300 Sekunden durch 58°C warme Luft gleichmäßig getrocknet.

Darauf folgte eine 120-sekündige Ruhephase.

Binnen dieser 120 Sekunden musste der mit Plaquesimulations-Substanz benetzte Zahnträger auf den Modellträger des Putzroboters eingesetzt werden.

Mit diesem Modellträger, der in den Putzroboter-Versuchsaufbau integriert ist, wird der Zahnträger an einem fixen Raumpunkt im Versuchsaufbau befestigt.



Abb. 4.3.: Der in den Putzroboter-Versuchsaufbau integrierte Modellträger mit eingesetztem Zahnträger (Wechselgebiss).

Nach der Einrastung war der spaltfreie Sitz des Frasacozahnträgers auf dem Modellträger optisch zu kontrollieren. Bei dem KaVo-Zahnträger wurde die Arretierung durch eine Fixationsschraube gewährleistet, sowie optisch kontrolliert.

Die Ausgangsposition des Putzroboters wurde bei beiden Modellen, wie zuvor beschrieben, mit einem Anpresskraft von 1,5 N bei elektrischen Erwachsenenzahnbürsten (PRECISION CLEAN - EXPER 3), 3,0 N bei Handzahnbürsten (INTERDENTAL - WHITENING) und mit 1,5 N (JUNIOR) bzw. 6,0 N (STAGE 3) bei Kinderzahnbürsten eingestellt.

4.3.4.1 Durchführung des Putzzyklus am Milchgebiss

Es wurde das für die Putzsimulation entsprechende Programm bestimmt und ausgewählt. In unserer klinischen Simulation wurde sowohl für die bukkalen als auch für die lingualen Flächen das Programm „*Schrubben*“ ausgesucht.

Der Zahnputzroboter beginnt jeden Putzzyklus am letzten Molaren im vierten Quadranten bukkal. Nachdem die bukkalen Flächen von Zahn 46 bis 73 durchlaufen sind, beginnt der Putzvorgang automatisch auf der lingualen Seite des Zahns 46 und führt die Putzbewegungen bis zu Zahn 73 fort (Abb. 4.4.).

Nach Beendigung des Putzzyklus kehrt der Putzroboter in seine Ausgangsposition zurück.

Durch die Programmierung des Putzroboters auf den 8. sowie teilweise auf den 7. Quadranten, wurden auch nur die Zähne 73-85 und 46 verwendet.



Abb. 4.4.: Mit Plaquesimulations-Substanz benetztes Wechselgebissmodell auf dem Modellträger vor und während des Putzvorgangs.

4.3.4.2 Durchführung des Putzzyklus am permanenten Gebiss

Der Ablauf sowie die Durchführung des Putzzyklus erfolgten wie zuvor beschrieben. Ausgehend von 48 bukkal bis 33 bukkal werden im Anschluss die lingualen Flächen von 48 bis 33 geputzt.

Sowohl für die elektrischen Zahnbürsten als auch für die Handzahnbürsten wurden spezielles Putzprogramme verwendet.

Bei dem Putzprogramm für die elektrischen Zahnbürsten wird jeder Zahn durch den Roboterarm angesteuert und in 4 Achsen mesial, distal, zervikal und koronal gekippt. Die Reinigung wurde durch die rotierend-ozillierende Eigenfrequenz gewährleistet. Das Putzprogramm für die Handzahnbürsten wurden vertikale, horizontale und rotierende Putzbewegungen ausgeführt. Dies sind speziell für diesen Putzroboter hinterlegte Putzprogramme.

4.3.5 Fotografische Dokumentation

Sobald der Putzzyklus beendet war, konnte mit der fotografischen Dokumentation begonnen werden. Dabei wurde beim Milchgebiss die digitale Intraoralkamera SoproLife® (Acteon Germany GmbH, Mettmann, Deutschland) verwendet.

Jeder Zahn wurde bei diesem Vorgehen sowohl von bukkal/ vestibulär als auch von lingual bildlich erfasst.

Die Bilderfassung erfolgte mit Hilfe einer speziellen Imaging-Software (SOPRO Imaging®), wobei die Datenübertragung von der Intraoralkamera auf den Laptop via USB-Kabel sichergestellt sein musste.

Bei der Fotodokumentation erfolgte die Neigung der Fotosensor möglichst parallel zur Kronenachse, um den Bildausschnitt mit der größten Zahnoberfläche zu erhalten. Beim permanenten Gebiss wurde die Fotodokumentation mit einer digitalen Spiegelreflexkamera durchgeführt. Dabei wurde der Zahnbogen jeweils drei-mal von bukkal und drei-mal von lingual aus unterschiedlich fokussierten Perspektiven fotografisch erfasst.

bukkal:

- Perspektive 1: Zähne 46, 47 und 48
- Perspektive 2: Zähne 43, 44 und 45
- Perspektive 3: Zähne 31, 32, 41, 42

lingual:

- Perspektive 4: Zähne 46, 47 und 48
- Perspektive 5: Zähne 43, 44 und 45
- Perspektive 6: Zähne 31, 32, 41, 42

4.3.6 Entfernung der Testzähne aus dem Zahnträger

Nach Abschluss der Fotodokumentation wurden die Kunststoffzähne aus dem Zahnträger entfernt, um sie in die speziell für jeden Zahn angefertigte Spezialhalterung der APP zu überführen.

Bei dem Milchzahnmodell wurden unter Zuhilfenahme eines Kreuzschraubenziehers und eines speziellen Entriegelungsdorns alle Zähne vom Zahnträger gelockert.

Im nächsten Schritt kam es unter Zuhilfenahme einer Zange zu einer Überführung der Testzähne aus dem Zahnträger. Hier galt es, darauf zu achten, dass der Anfasspunkt der Zange unterhalb der klinischen Krone lag, damit die verbliebene Plaquesimulations-Substanz nicht verwischt wurde.

Die Spezialhalterung stellt einen auf die jeweilige Zahnform angepassten Kunststoffquader dar.

Der Testzahn wurde durch senkrechten Druck bis zum Anschlag in die Spezialhalterung gedrückt. Dabei durfte nur punktuell die okklusale Fläche berührt werden.

Als Nächstes folgte eine visuelle Überprüfung des spaltfreien Sitzes der Testzähne in den Spezialhalterungen.

Bei den Modellen des permanenten Gebisses wurden alle Testzähne mit Hilfe einer Entriegelungsapparatur gleichzeitig aus der Sperrplatte gelöst. Auch hier wurde jeder Kunststoffzahn mittels einer Zange aus dem Zahnträger entfernt und in einer individuellen Spezialhalterung positioniert. Dabei musste auf das korrekte Einrasten der Spezialhalterung in die Kerbe des KaVo® Zahnes geachtet und anschließend nochmals kontrolliert werden.

4.3.7 Aufbau der Automatisierten Plaque-Planimetrie

Mit Hilfe der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP nach Gängler et al. 2013) wurden alle Testzähne aus vier Perspektiven (mesial, distal, vestibular und lingual) bildlich erfasst und die gereinigten sowie die mit Plaque behaftete Oberfläche pro planimetrischem Feld ausgewertet und schließlich als Prozentsatz angegeben.

Die APP besteht aus drei Komponenten: einer statischen Fotoeinheit für die bildliche Erfassung, einer Schienenkonstruktion für die Bewegung der Proben-träger in den Fokus der Kamera und einer computergesteuerten Bildbearbeitungseinheit zur prozentualen Auswertung der erfassten Zahnflächen.

Die Fotoeinheit besteht aus einer Kamera und einer darum angeordneten Lichtquelle, um einen reproduzierbaren Fokus sowie gleichbleibende, reproduzierbare und optimale Lichtverhältnisse zu gewährleisten.

Parallel zu dieser Fotoeinheit verläuft eine Schienenkonstruktion, auf welcher ein beweglicher Schlitten die Proben-träger mit den darin befestigten künstlichen Zähnen in horizontaler Achse bewegen und jeden Proben-träger in 4 definierten Positionen (mesial, distal, vestibulär und lingual) axial rotieren kann. Somit kann jeder Zahn mit seinen 4 Flächen exakt an einem festgelegten Punkt in der Apparatur Foto dokumentiert - und wiederkehrend durch den Schlitten angefahren werden.

Für die Ziele wurden lediglich die bukkalen sowie lingualen Zahnflächen berücksichtigt, da diese einer klinischen Simulation in einer klinischen Studie Berücksichtigung finden würden.

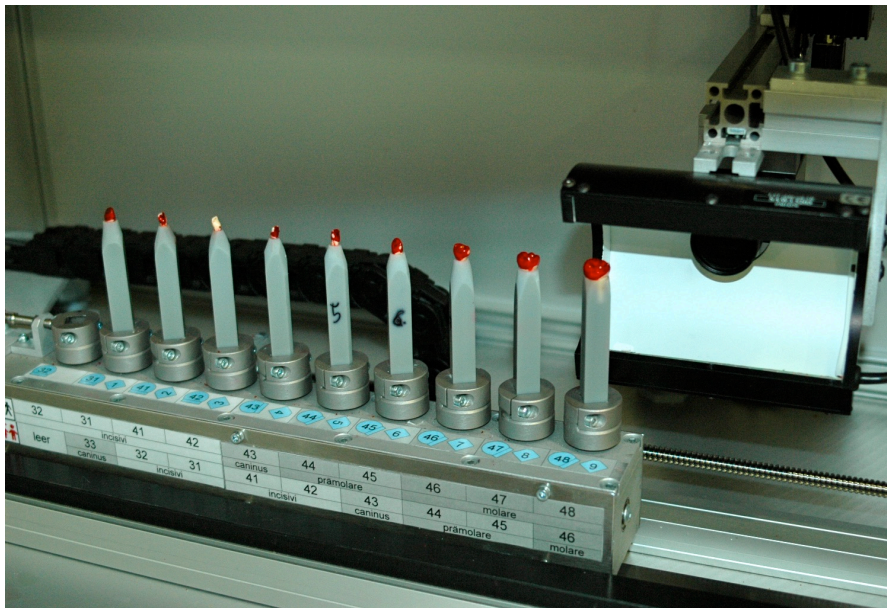


Abb. 4.5.: Aufbau der Automatisierten Plaque-Planimetrie mit Schlitten und Schienenkonstruktion, Fotoeinheit und bestückten individuellen Prüfzahnhalterungen für das Wechselgebiss.

Die computergesteuerte Bildbearbeitungseinheit ermöglicht die prozentuale Auswertung der Planimetriefelder in Echtzeit. Die auf die Anatomie jedes Kunststoffzahnes zugeschnittene Schablone wird durch die Bildbearbeitungssoftware auf den fotodokumentierten Zahn projiziert und die mit künstlicher Plaque behafteten Oberflächen in Pixelpunkte übertragen. Die übertragenen Pixelpunkte werden von der Pixelanzahl der Gesamtfläche subtrahiert und ins Verhältnis gesetzt, sodass ein Prozentsatz für den Reinigungserfolg errechnet werden kann. Somit konnte der gesamte Reinigungserfolg pro Zahn sowie jedes einzelne Planimetriefeld ausgewertet werden.

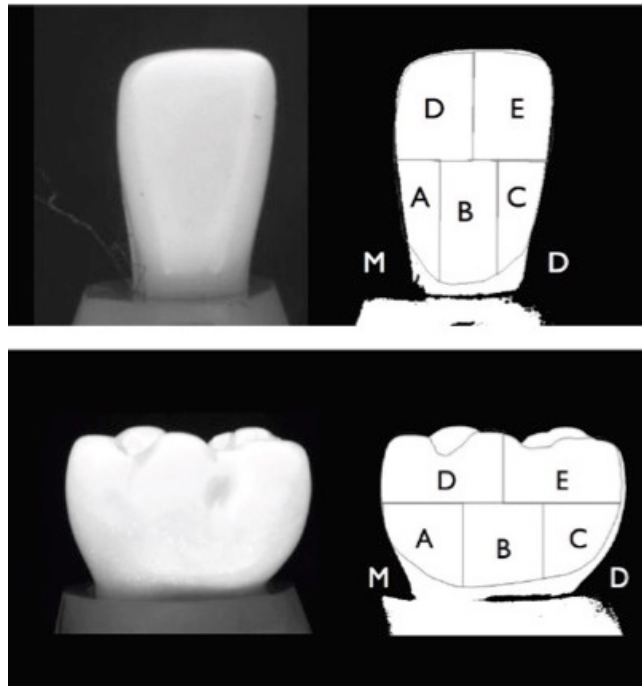


Abb. 4.6.: Durch die APP erfasste planimetrische Felder (A-E), die auf die bukkale/vestibuläre Fläche eines Milchfrontzahns (oben) und eines Milchmolars (unten) projiziert ist. M=mesial; D=distal (Lang et al. 2014).

4.3.8 Inbetriebnahme der Automatisierten Plaque-Planimetrie

Die Inbetriebnahme der APP folgt über die Herstellung der Stromzufuhr.

Bei allen Aktionen, bei denen die APP in Betrieb war, musste deren Schutztür geschlossen sein.

Nach dem Hochfahren des Computers wurde über ein Touchpanel das System mit einer automatischen Referenzfahrt in seine Ausgangsposition bewegt.

Mit Beendigung der Referenzfahrt konnten die Prüfdaten, wie Prüfablauf, Prüfer, Druck vorne und Druck hinten eingegeben werden.

Zudem konnte eingestellt werden, ob es sich um eine Auswertung von Milch- oder permanenten Zähnen handelte. Für das Erwachsenenengebiss wurde die Modifikation

des Navy-Plaque-Index nach Lang et al. (2011) verwendet, wohingegen beim Milch- oder Wechselgebiss der Planimetrische Kinder-Plaque-Index Lang und Gängler (2012) zum Einsatz kam.

Die bereits vorbereiteten Probenräger wurden nach Öffnung der Schutztür in die dafür vorgesehenen und beschrifteten Vorrichtungen gesteckt und mit einer Schraube fixiert. So standen alle Probenräger bzw. alle Testzähne in einer korrekten und reproduzierbaren Ausgangsposition und mit dem Schließen der Schutztür konnte dieser Vorgang abgeschlossen werden.

Es konnte der Prüfablauf gestartet und die Zahnposition bzw. die -ansicht konnte auf dem Monitor verfolgt werden.

Die Probenräger wurden durch eine computerunterstützte Rotation in vier Positionen gedreht und dadurch jeder Zahn von vier Seiten (mesial, distal, vestibulär und lingual) fotografisch erfasst. Im Anschluss an die Erfassung jeder Zahnfläche folgte die prozentuale Auswertung der einzelnen Planimetriefelder.

Nachdem der Prüfablauf beendet war, wurden die Probenräger wieder entfernt und die Testzähne entsorgt.

Falls es zu einer Verunreinigung der Probenräger durch die verwendete Plaquesimulations-Substanz gekommen war, mussten diese mit Isopropylalkohol umgehend gesäubert werden.

Nach jedem Prüfablauf konnte die aktuelle Achsposition und die digitalen Signale kontrolliert werden.

4.4 Indexierung der Labordaten

Für die quasi-klinische Validierung mussten zwei verblindete Auswertungspersonen (P1 und P2), jeweils unabhängig voneinander die zuvor erfassten quasi-klinischen Bilddaten mit einer klinischen Indexerhebung auswerten.

Die Auswertung der quasi-klinischen Bilddaten fand ausschließlich an einem Arbeitsplatz (MacBook Pro 13", Apple, Cupertino, CA, USA) statt, um die Vergleichbarkeit sicherzustellen.

Bei der Auswertung der Milchzähne, welche mit der Intraoralkamera dokumentiert worden sind, wurde das Bildbearbeitungs- und Archivierungsprogramm SOPRO-Imaging (Acteon, Mettmann, Deutschland) verwendet. Für die Auswertung der permanenten Zähne, welche mit der Spiegelreflexkamera aufgenommen wurden, wurde hingegen das Bildbearbeitungsprogramm AppleVorschau (Apple, Cupertino, CA, USA) verwendet.

Die Befunde wurden tabellarisch festgehalten (Programm Excel).

Dabei sind folgende Index-Werte nach folgenden Plaquebedeckungsgraden, wie durch Lang et al. (2011) definiert, erhoben worden:

0 = keine Plaque vorhanden

1 = 1 - 50% der Feldfläche mit Plaque bedeckt

2 = $\geq 50\%$ der Feldfläche mit Plaque bedeckt

Der klinischen Indexerhebung durch die Auswertungspersonen (P1 und P2) ging ein kontinuierlicher Kalibrierungsprozess voraus. Zunächst wurde jede Auswertungsperson durch eine dritte Person mit der Indexerhebung vertraut gemacht und in mehreren Testdurchläufen kalibriert. Im Anschluss folgte eine weitere Kontrollkalibrierung durch Prof. Dr. Dr. h.c. Gängler welche erfolgreich durchgeführt werden konnte. Um während des gesamten Auswertungszeitraums

eine klinische Indexerhebung unter gleichbleibenden Bedingungen zu ermöglichen, kalibrierten sich die Auswertungspersonen P1 und P2 in regelmäßigen Abständen gegenseitig.

In dieser Untersuchung wurden nur die Zähne 32-47 bzw. 72-46 in der Auswertung berücksichtigt. Beim permanenten Gebiss sollten die endständigen Zähne (33 und 48) eine gleiche Reinigungsmöglichkeit der Approximalflächen der letzten zu bewertenden Zähne (32 und 47) ermöglichen. Beim Milch-/Wechselgebiss galt dies für den Zahn 73 ebenfalls. Der Zahn 46 wurde auf Grund dessen Bedeutung in der Milch-/Wechselgebissituation in die Auswertung mit einbezogen.

Am Arbeitsplatz projizierte zunächst der Auswertungsperson (P1) den modifizierten Plaque-Index nach Lang et al. (2011) für permanente Zähne (Abb. 3.12.) bzw. nach Lang und Gängler (2012) für Milchzähne, virtuell auf die Zahnoberfläche der geöffneten Bilddatei und übertrug die bewerteten Planimetriefelder in eine Auswertungstabelle (Programm MicrosoftExcel®) (Abb. 3.11.).

Hierbei musste genau auf die mesiale, distale okklusale und zervikale Zahnbegrenzung und die bei jedem Zahn etwas variierende Felderkonfiguration geachtet werden.

Die anatomischen Bezugspunkte für die Einteilung der Plaquefelder waren:

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

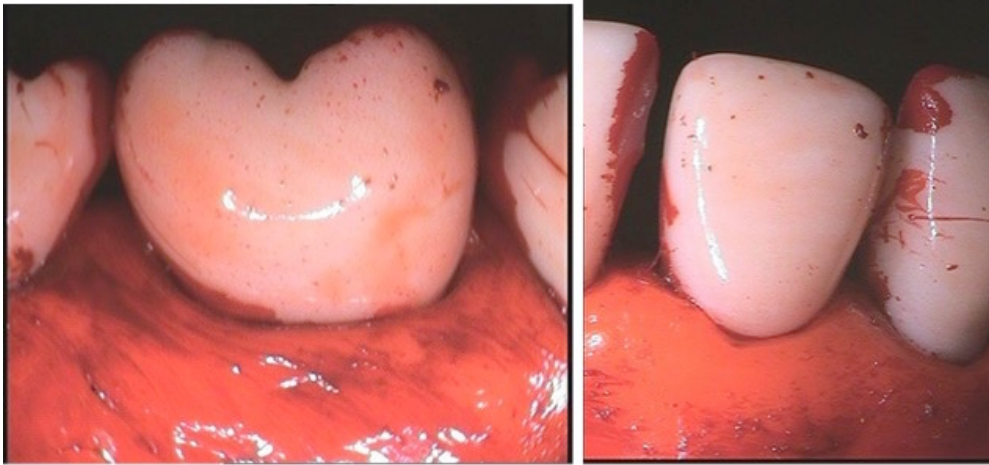


Abb. 4.7.: Durch die Intraoralkamera SoprLife aufgenommenen Frasaccozähne (links: Milchmolar 85, rechts: Milchfrontzahn 82) nach der Zahnreinigung durch den Putzroboter.



Abb. 4.8.: Schematische Darstellung der planimetrischen Felder (A-D) auf den sauberen Frasaccozähnen (links: Milchmolar 85 lingual, rechts: Milchfrontzahn 71 vestibulär) nach Lang und Gängler (2012).

Die zweite quasi-klinische Auswertung wurde an dem gleichen Arbeitsplatz, unter den gleichen Bild- und Lichtbedingungen von einer zweiten, verblindeten Auswertungsperson (P2) durchgeführt.

Die 2. Auswertungsperson (P2) überführte seine erhobenen Index-Werte in die vorgefertigte Exceltabelle (Abb 4.11.).

Die Pixelprozentangaben der APP wurden, korrekterweise in die Klinikwerte 0, 1 und 2 übersetzt und als dritte Auswertungsreihe in die Exceltabelle überführt (vgl. Kapitel 4.5.).

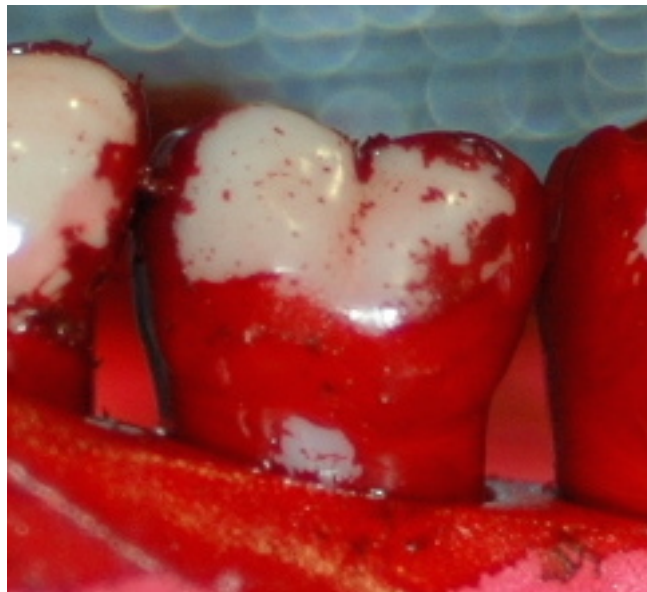


Abb. 4.9.: Exemplarische Darstellung des durch die Spiegelreflexkamera aufgenommenen KaVo Zahns 47 bukkal (47B) aus dem 1. Durchlauf (DL1) der Zahnbürste PRECISION CLEAN.

4.5 Formatierung der computergenerierten Daten

Das Verfahren mit dem Plaque-Prozentsatz der APP zur Auswertung der Laboruntersuchungen misst den prozentualen Anteil der nicht mit Plaque behafteten Zahnfläche an der gesamten untersuchten Zahnfläche. Dieser Prozentsatz musste in den oben beschriebenen Plaque-Index nach Lang et al. (2011) bzw. den Planimetrischen Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) übertragen werden. Dabei wurden folgende Prozentsätze auf die Index-Werte 0, 1 und 2 übertragen:

- 0 - 49,999 = 2
- 50,0 - 93,999 = 1
- 94,0 – 100 = 0

Hierbei wurde ein 6%-iger Toleranzwert für das Erreichen einer kompletten Plaqueentfernung eingeräumt.

Die übersetzten Index-Werte der APP wurden als dritter Teil der Auswertung in die bereits beschriebene Exceltabelle überführt (Abb 4.11.).

Dadurch lagen drei formal identische Tabellen mit den Werten aus drei unterschiedlichen Auswertungen vor, welche in die statistische Analyse einfließen konnten.

4.6 Verarbeitung der Ergebnisse

Für die Verarbeitung und Dokumentation der Bild- und computergenerierten Daten fanden die Computerprogramme MicrosoftExcel®, OpenOffice.org®, AppleVorschau® und Sopro-Imaging® Verwendung.

4.7 Statistische Auswertung

Bei der Untersuchung fanden die Daten für neun Zahnbürsten Berücksichtigung. Diese stammen aus verschiedenen Analysen und verfügen daher über einen unterschiedlichen Stichprobenumfang. Der summierte Stichprobenumfang beträgt 7.214 Beobachtungen.

In die Untersuchung gehen allerdings nur Zahnfelder ein, in denen alle drei Beobachter eine Bewertung vornahmen. War das nicht der Fall, wurde das entsprechende Zahnfeld aus allen drei Datenreihen entfernt.

Im Einzelnen handelt es sich um folgende Bürsten:

- Oral-B Precision Clean (PRECISION CLEAN) - (7 Durchläufe)
- Experimental Standard (EXPER S) - (7 Durchläufe)
- Experimental 2 (EXPER 2) - (5 Durchläufe)
- Experimental 3 (EXPER 3) - (5 Durchläufe)

Bei PRECISION CLEAN bis EXPER 3 handelte es sich um Elektrozahnbürsten mit rotierend-oszillierendem Bewegungsmuster. Die Daten liegen für 7 bzw. 5 Durchläufe, jeweils neun Zähne, und die neun Zahnfelder A bis I pro Zahn - jeweils bukkal und lingual vor.

- Interdental (INTERDENTAL) - (5 Durchläufe)
- Sensitive (SENSITIVE) - (5 Durchläufe)
- Whitening (WHITENING) - (5 Durchläufe)

Bei den Zahnbürsten INTERDENTAL bis WHITENING handelt es sich um manuelle Handzahnbürsten für Erwachsene.

- Oral-B Stage 3 (STAGE 3) - (7 Durchläufe)
- Signal Junior (JUNIOR) - (7 Durchläufe)

Die Zahnbürsten STAGE 3 und JUNIOR sind Kinderzahnbürsten. Die zugrundeliegende Auswertung erfolgte über ein Milchgebiss, bei dem 7 Zähne mit jeweils 5 Zahnfeldern – bukkal und lingual – in die Untersuchung eingehen.

Die Auswertung der Beobachtungen erfolgte im Hinblick auf folgende Aspekte:

- der Gesamtheit der bewerteten Zahnfelder,
- der gesamten bukkalen Zahnfelder,
- der gesamten lingualen Zahnfelder,
- der bukkalen Risikofelder ABCDF (ABC bei den Kinderzahnbürsten) sowie
- der lingualen Risikofelder ABCDF (ABC bei den Kinderzahnbürsten)

Für jedes in die Untersuchung eingehende Zahnfeld existieren Bewertungen von drei Beobachtern:

1) Plaque-Messung der APP

Diese liegt als Prozentzahl für jedes Zahnfeld vor. Für den Vergleich der Beobachter wurde diese Prozentzahl nach dem folgenden Schema in die entsprechende Indexzahl des modifizierten Planimetrie-Index nach Lang et al. (2011) (für das permanente Gebiss) bzw. des Planimetrischen Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) (für das Milchgebiss) umgewandelt:

- PI = 0: gemessene Reinigungsleistung auf dem jeweiligen Zahnfeld größer als 94 Prozent,
- PI = 1: gemessene Reinigungsleistung zwischen 50 und 94 Prozent und
- PI = 2: Reinigungsleistung von weniger als 50 Prozent der Feldfläche.

2) Bewertungen der einzelnen Zahnfelder durch zwei Auswertungspersonen (P1 und P2)

Diese verwenden zur Ermittlung der Indexzahlen die entsprechenden Bewertungskategorien des modifizierten Planimetrie-Index nach Lang et al. (2011) (für das permanente Gebiss) bzw. des Planimetrischen Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) (für das Milchgebiss) :

- PI = 0: das entsprechende Zahnfeld ist frei von Plaque,
- PI = 1: sichtbare Plaque auf dem entsprechenden Feld vorhanden, welche weniger als 50 Prozent des betrachteten Zahnfeldes einnimmt und
- PI = 2: sichtbare Plaque auf dem Zahnfeld, die mehr als 50 Prozent der Feldfläche ausmacht.

Des Weiteren sollten einzelne Risikozahnfelder hinsichtlich ihrer Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen APP und P1 in Abhängigkeit von dem Reinigungsergebnis des gesamten Situs untersucht werden.

Dabei wurden die Zahnfelder A, B und F bei den Erwachsenenzahnbürsten sowie B und E bei den Kinderzahnbürsten verwendet.

4.8 Statistische Auswertungsverfahren

Wird jedes Zahnfeld als eigenständige Beobachtung betrachtet, handelt es sich bei der vorliegenden Datenreihe um eine mindestens ordinalskalierte Variable, da die Qualität der gemessenen Eigenschaften mit der Erhöhung des Index abnimmt.

Rinne (2003) sowie Bortz und Döring (2006) sind unterschiedlicher Auffassung, ob die notwendige Bedingung für eine Intervallskalierung durch die Index-Variable erfüllt ist.

Da die Voraussetzung einer Ordinalskalierung der untersuchten Daten zutrifft, kann bei den Datenreihen der verteilungsfreie WILCOXON-Test für verbundene Stichproben angewendet werden (Bortz 2005, Weiß 2010). Der jeweilige Test überprüft, ob es hinsichtlich der zentralen Tendenz zu signifikanten Abweichungen der beiden untersuchten Untergruppen gekommen ist.

Um die zentrale Tendenz und die Varianz bei intervall-skallierten Datenreihen abzubilden, können die Signifikanztests unter Verwendung des arithmetischen Mittels durchgeführt werden.

Mit Hilfe des t-Tests lassen sich Hypothesen bezüglich der Unterschiede zweier Mittelwerte überprüfen (Gujarati 2003). Dafür müssen zweiseitige Tests durchgeführt werden. Der Standard-t-Test ist auf Grund der identischen Stichprobenumfänge der Untergruppen ein geeignetes Instrument für einen Mittelwertvergleich.

Wenn sowohl t- als auch WILCOXON-Test zu dem Ergebnis kommen, dass die Nullhypothese der Gleichheit der Mittelwerte bzw. der Mediane (bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 Prozent) abgelehnt werden kann, so sind die Unterschiede in den zentralen Tendenzen der untersuchten Variablen als „signifikant“ zu bewerten.

Mit dem κ -Koeffizient nach COHEN lässt sich der Grad der Übereinstimmung von zwei Auswertern messen (Weiß 2010). Dieser κ -Koeffizient geht über das hinaus, was man bei zufälliger Übereinstimmung erwarten würde. Hierbei wird jede einzelne

Beobachtung auf Übereinstimmung untersucht und entsprechend bewertet, wohingegen der WILCOXON- und t-Test lediglich die Güte der Übereinstimmung hinsichtlich der zentralen Tendenz der Datenreihen ermittelt.

Dabei können Ergebnisse zwischen 0 und 1 resultieren. Wird ein κ -Wert höher als 0,6 ermittelt, spricht dies für eine gute - ein Wert höher als 0,8 - für eine sehr gute Übereinstimmung. Diese Werte unterscheiden sich signifikant von einem zufällig zu erzielenden Ergebnis.

In Kapitel 5.4 des Ergebnisteils wird untersucht, ob bei bestimmten Risikozahnfeldern eine unterschiedliche Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen einer Auswertungsperson und der APP zu verifizieren ist. Dies wird in Abhängigkeit vom Reinigungsergebnis des gesamten Situs gestellt. Demzufolge ob das Reinigungsergebnis in Verbindung mit der Abweichung der Auswerter korreliert.

Hier findet der χ^2 -Test Anwendung, da es sich bei diesem um ein verteilungsfreies Verfahren für nominalskalierte Variablen handelt (Bortz 2005).

5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei Auswertungen (P1 und P2 = subjektiv, APP = computergeneriert) aus neun untersuchten Zahnbürsten ausgewertet und unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.7. formulierten Abgrenzungen bzw. Fragestellungen miteinander verglichen.

Mit einem summierten Stichprobenumfang von 7.214 Beobachtungen pro Auswerter folgte die statistische Analyse mit einem Datensatz von insgesamt 21.642 bewerteten Zahnfeldern.

Im Allgemeinen kann anhand der statistischen Ergebnisse gesagt werden, dass die vier elektrischen Zahnbürsten PRECISSION CLEAN, EXPER S, EXPER 1 und EXPER 2 ein schlechteres Putzergebnis erzielt haben als die drei Handzahnbürsten SENSITIVE, INTERDENTAL und WHITENING.

Bei der Analyse der Ergebnisse fällt zudem auf, dass bei steigender Reinigungsleistung die Übereinstimmung zwischen den beiden menschlichen Auswertungspersonen (P1 und P2) tendenziell zunimmt, gleichzeitig jedoch auch die Übereinstimmung der beiden Auswertungspersonen mit denen der APP tendenziell abnimmt.

Dementsprechend ist bei den elektrischen Zahnbürsten die Konformität zwischen den drei Auswertern größer als die bei den Handzahnbürsten.

Es folgt ein Überblick der statistischen Analysen:

Die elektrischen Zahnbürsten:

Die Auswertung der Zahnbürste PRECISSION CLEAN besitzt einen Stichprobenumfang von 1112 Zahnfeldern.

Mit einer Übereinstimmung von knapp 79 Prozent bewerten P1 und P2 die Zahnfelder mit einem identischen Wert, wobei P1 in 16 Prozent der Fälle einen kleineren Wert ermittelt als P2. Im Vergleich zu den Index-Werten der APP bewerten P1 in über 22 Prozent und P2 in über 17 Prozent der Beobachtungen die Zahnfelder mit einem kleineren Indexwert. Deutlicher wird dies bei den lingualen Risiko-Zahnfeldern ABCDF, bei welchen die APP in über 35 Prozent der Beobachtungen einen größeren Wert vergibt als P1. Sowohl die t-Tests als auch die Wilcoxon-Tests kommen zu dem Ergebnis, dass sich die Mediane und Mittelwerte mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 Prozent in signifikantem Maße unterscheiden. In 39 von 1112 Stichproben kommt es zu einer starken Abweichung (Bewertungsdifferenz von +2 oder -2) zwischen mindestens zwei Beobachtern. Die Riskofelder ABCDF sind mit 31 der 39 Abweichungen besonders häufig betroffen. Dabei sind 25 der 39 Abweichungen auf die kleinen approximalnahen Felder ACDF beschränkt.

Die Auswertung der Zahnbürste EXPER S besitzt einen Stichprobenumfang von 1122 Zahnfeldern.

Die Übereinstimmung zwischen den Auswertungspersonen gegenüber der APP ist mit 79 Prozent (P1) bzw. 81 Prozent (P2) sehr ähnlich. P1 und P2 weisen mit einer Kongruenz von über 83 Prozent den höchsten Wert auf und besitzen auch den gleichen Mittelwert (1,49). Bezüglich der Verteilung zeigt sich bei dem bivariaten Vergleich ein ähnliches Bild wie bereits bei PRECISSION CLEAN. Sowohl P1 als auch P2 bewerten in über 15 Prozent der Beobachtungen geringer als die APP. Die Verteilung im Vergleich zwischen P1 und P2 ist ausgeglichen. Die Signifikanztests ergeben, dass zwischen P1 und P2 eine starke Übereinstimmung besteht. In 17 von 1122 Stichproben kommt es zu starken Abweichungen. 14 dieser Abweichungen lassen sich auf die Risikozahnfelder ABCDF - und 12 der 17 Abweichungen auf die approximalnahen Felder ACDF zurückführen.

Die Auswertung der Zahnbürste EXPER 2 besitzt einen Stichprobenumfang von 796 Zahnfeldern.

Auch bei dieser Zahnbürste zeigt sich ein hoher Übereinstimmungsgrad zwischen P1, P2 und APP. Wobei P1 und P2 mit knapp 84 Prozent die höchste Konformität besitzen.

Die APP bewertet gegenüber P1 in fast 20 Prozent der Stichproben mit einem höheren Indexwert. Wohingegen P2 mit einer Übereinstimmung von knapp 83 Prozent eine homogenere Verteilung aufweist. Auch die Mittelwerte liegen bei P2 (1,69) und APP (1,72) sehr nah beieinander und die Signifikanztests bestätigen, dass eine starke Übereinstimmung besteht. In 9 von 796 Stichproben kommt es zu starken Abweichungen. 8 der 9 Felder mit einer starken Abweichung lassen sich auf die Risikozahnfelder ABCDF - und 5 der 9 Abweichungen auf die approximalnahen Felder ACDF zurückführen.

Die Auswertung der Zahnbürste EXPER 3 besitzt einen Stichprobenumfang von 800 Zahnfeldern.

Wie bei den bereits erwähnten elektrischen Zahnbürsten zeichnet sich auch diese durch einen hohen Übereinstimmungsgrad zwischen allen drei Auswertern aus.

P1 und P2 haben mit fast 86 Prozent die höchste Kongruenz in ihren Bewertungen.

Auch bei dieser Zahnbürste lässt sich feststellen, dass die APP tendenziell höher bewertet als die Auswertungspersonen P1 und P2.

Die Verteilung der Indexwerte ist bei allen Analysen weitestgehend ähnlich. Bei den bukkalen Risiko-Zahnfeldern ABCDF zeigt sich zwischen P1 und P2 mit einer Übereinstimmung von fast 90 Prozent der höchste Wert. Lediglich bei 3 von 800 Stichproben kam es zu einer starken Abweichung, wobei nur das Zahnfeld D betroffen war.

Die Handzahnbürsten:

Die Auswertung der Zahnbürste INTERDENTAL besitzt einen Stichprobenumfang von 800 Zahnfeldern.

Im Gegensatz zu den elektrischen Zahnbürsten zeigen sich starke Abweichungen hinsichtlich der Bewertung durch die Auswertungspersonen P1, P2 und der APP. Die Übereinstimmung zwischen P1 und P2 ist mit einem Maximalwert von 92 Prozent bei den lingualen Risiko-Zahnfeldern sehr hoch. Die Mittelwerte der beiden Auswertungspersonen überschreiten bei keiner Analyse den Wert 0,25 und liegen grundsätzlich sehr nah beieinander. Auch der t-Test und Wilcoxon-Test bestätigen, dass bei fast allen Analysen eine starke Übereinstimmung zwischen P1 und P2 besteht. Wohingegen die Signifikanztests für P1/P2 gegenüber der APP zu dem Ergebnis kommen, dass keine gute Übereinstimmung vorliegt. Bei den gesamten Zahnfeldern bewertet die APP sowohl im Vergleich zu P1 als auch zu P2 fast 50 Prozent mit einem höheren Indexwert. Bei den lingualen Zahnfeldern bewertet die APP sogar in über 60 Prozent der Fälle mit einem höheren Index-Wert, in über 15 Prozent der Fälle mit einer Differenz von plus zwei ($Dif=+2$). Ganz extrem fällt der bivariate Vergleich bei den lingualen Risiko-Zahnfeldern aus. P1 und P2 stimmen in 92 Prozent der Beobachtungen überein, jedoch erhebt die APP gegenüber P1 und P2 in über 80 Prozent der Stichproben einen höheren Indexwert. Die Kongruenz zwischen P1 und APP ist mit 14 Prozent als sehr schlecht zu bewerten. Im Durchschnitt bewertet die APP (1,18) ein linguales Risiko-Zahnfeld mit mehr als einem Grad höher als die Auswertungspersonen (0,12). In 89 von 800 Stichproben kommt es zu starken Abweichungen. 88 der 89 stark unterschiedlich bewerteten Zahnfelder betreffen die approximalnahen Risikofelder ACDF.

Die Auswertung der Zahnbürste SENSITIVE besitzt einen Stichprobenumfang von 800 Zahnfeldern.

Wie bei Zahnbürste INTERDENTAL ist bei der Gesamtheit der Zahnfelder eine extrem hohe Übereinstimmung von 90 Prozent zwischen P1 und P2 zu erkennen, wobei P1 etwas höher bewertet als P2. Bei den bukkalen Zahnfeldern stimmen P1

und P2 gegenüber der APP etwas besser überein (P1-APP=62 Prozent / P2-APP=65 Prozent) als bei den lingualen (P1-APP=41 Prozent / P2-APP=42 Prozent). Auch bei dieser Zahnbürste kommt es besonders bei den lingualen Risiko-Zahnfeldern zu einer extremen Verschiebung im bivariaten Vergleich. Hier vergibt die APP sowohl gegenüber P1 als auch gegenüber P2 in über 20 Prozent der Bewertungen einen Indexwert von plus zwei und in über 50 Prozent der Fälle einen Indexwert von plus eins. Nur in 22 Prozent der Beobachtungen stimmen alle drei Auswerter für den gleichen Indexwert. Die Auswertung der stark unterschiedlich bewerteten Zahnfelder zeigt, dass auch bei dieser Zahnbürste vermehrt die Risikozahnfelder betroffen sind. In 71 von 800 Stichproben kommt es zu starken Abweichungen. 68 der 71 Felder mit starker Abweichung betreffen die Planimetriefelder ABCDF und 64 der 71 Abweichungen die approximalnahen Risikofelder ACDF.

Die Auswertung der Zahnbürste WHITENING besitzt einen Stichprobenumfang von 810 Zahnfeldern.

Die Übereinstimmung zwischen P1 und P2 ist wie bei den zuvor erwähnten Handzahnbürsten mit 89 Prozent ähnlich gut. Mittelwerte von $P1=0,15$ und $P2=0,16$ deuten auf eine gute Übereinstimmung hin, was durch die Signifikanztests untermauert wird. Bei den lingualen Zahnfeldern kommen P1 und P2 auf eine Übereinstimmung von 95 Prozent, wohingegen die Übereinstimmung mit der APP bei ungefähr 25 Prozent liegt. Auch hier zeigt sich ein ähnliches Bild, dass die APP grundsätzlich dazu tendiert, einen höheren Index zu vergeben. Bei den lingualen Risikozahnfeldern vergibt die APP gegenüber P2 sogar in über 85 Prozent der Beobachtungen einen höheren Indexwert. Bei diesen Feldern liegt der Mittelwert von P1 und P2 unter 0,08, wohingegen die APP einen Mittelwert von 1,34 aufweist. In 134 von 810 Stichproben kommt es zu starken Abweichungen zwischen mindestens zwei Auswertern.

Bei den stark unterschiedlich bewerteten Zahnfeldern sind die Risikofelder ABCDF mit 128 der 134 Abweichungen häufig betroffen. 123 der 134 stark abweichenden Felder betreffen die kleinen approximalnahen Risikofelder ACDF.

Die Kinderzahnbürsten:

Die Auswertung der Zahnbürste STAGE 3 besitzt einen Stichprobenumfang von 490 Zahnfeldern.

P1 und P2 bewerten in 74 Prozent der Beobachtungen mit einem gleichen Index, wobei P1 tendenziell etwas höher bewertet als P2. P1 (61 Prozent) hat im Vergleich zu P2 (52 Prozent) auch eine höhere Übereinstimmung mit der APP. Die Mittelwerte von P1 (0,92) und APP (0,96) liegen sehr viel näher beieinander als der Mittelwert von P2 (0,74). Dies spiegelt sich auch in den Signifikanztest wider, welche eine starke Übereinstimmung zwischen P1 und APP zeigen. Bei allen Analysen bewertet P2 im Vergleich zu P1 oder APP bedeutend häufiger mit einem kleineren Indexwert als mit einem größeren. P1 stimmt in über 60 Prozent der Fälle mit der APP überein. Auch bei der Kinderzahnbürste SIGNAL und dem verwendeten Planimetrischen Kinder-Plaque-Index zeigt sich eine Häufung der stark unterschiedlich bewerteten Zahnfelder an den Risiko-Zahnfeldern ABC. In 27 von 490 Stichproben kommt es zu solch starken Abweichungen. 22 der 27 Zahnfelder mit starker Abweichung fielen auf die Risiko-Zahnfelder.

Die Auswertung der Zahnbürste JUNIOR besitzt einen Stichprobenumfang von 484 Zahnfeldern.

Gegenüber der Zahnbürste STAGE 3 bewerten P1 und P2 sehr ähnlich. Bei der Gesamtheit der Zahnfelder stimmen P1 und P2 in 76 Prozent der Beobachtungen überein. Auch gegenüber der APP zeigt sich mit 52 Prozent (P1-APP) und 56 Prozent (P2-APP) eine gute Kongruenz. Insgesamt ist der Grad von P2 und APP höher als von P1 und APP.

Auffällig ist auch bei der Zahnbürste JUNIOR die schlechtere Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder und insbesondere die Risikozahnfelder ABC zwischen den Auswertungspersonen und der APP. P1 stimmt nur in 43 Prozent der Stichproben mit der APP überein und bewertet fast 50 Prozent der lingualen Risikozahnfelder mit einem kleineren Indexwert als die APP. Die Übereinstimmung zwischen P1 und P2 zeigt dort wiederum sehr gute Ergebnisse, welches auch durch den t-Test und den

Wilcoxon Test bestätigt wird. In 26 von 484 Stichproben kommt es zu starken Abweichungen. Die approximalnahen Felder A und C sind 21mal von dieser Abweichung betroffen.

Abgesehen von den teilweise signifikanten Unterschieden in den Einzelbewertungen, lassen sich die Zahnbürsten bezüglich ihrer Reinigungseffektivität klassifizieren.

Durch die statistisch erfassten Mittelwerte lässt sich ein Ranking für alle 3 Auswertungen (P1, P2, APP) ermitteln. Dabei zeigt sich sehr gut, dass trotz der unterschiedlichen Bewertungen eine ähnliche Tendenz vorliegt.

Tabelle 5.1.: Ranking der Erwachsenenzahnbürsten (1-7), geordnet nach aufsteigendem Mittelwert, wobei ein übereinstimmendes Ranking von mind. 2 Auswertern farblich hinterlegt ist.

Ranking: (geordnet nach aufsteigendem Mittelwert)	1	2	3	4	5	6	7
gesamte Zahnfelder - P1	WHITENING (0,16)	SENSITIVE (0,17)	INTERDENTAL (0,18)	PRECISION CLEAN (1,27)	EXPER S (1,49)	EXPER 2 (1,61)	EXPER 3 (1,69)
gesamte Zahnfelder – P2	SENSITIVE (0,08)	INTERDENTAL (0,13)	WHITENING (0,15)	PRECISION CLEAN (1,39)	EXPER S (1,49)	EXPER 2 (1,69)	EXPER 3 (1,72)
gesamte Zahnfelder - APP	SENSITIVE (0,53)	INTERDENTAL (0,67)	WHITENING (0,79)	PRECISION CLEAN (1,52)	EXPER S (1,61)	EXPER 2 (1,72)	EXPER 3 (1,75)

bukkale Zahnfelder - P1	INTERDENTAL (0,23)	SENSITIVE (0,24)	WHITENING (0,25)	PRECISION CLEAN (1,18)	EXPER S (1,38)	EXPER 2 (1,53)	EXPER 3 (1,66)
bukkale Zahnfelder – P2	SENSITIVE (0,15)	INTERDENTAL (0,17)	WHITENING (0,25)	PRECISION CLEAN (1,29)	EXPER S (1,34)	EXPER 2 (1,63)	EXPER 3 (1,73)
bukkale Zahnfelder - APP	SENSITIVE (0,15)	INTERDENTAL (0,48)	WHITENING (0,54)	PRECISION CLEAN (1,38)	EXPER S (1,47)	EXPER 2 (1,63)	EXPER 3 (1,71)

linguale Zahnfelder - P1	WHITENING (0,06)	SENSITIVE (0,10)	INTERDENTAL (0,14)	PRECISION CLEAN (1,36)	EXPER S (1,59)	EXPER 2 (1,68)	EXPER 3 (1,72)
linguale Zahnfelder – P2	SENSITIVE (0,02)	WHITENING (0,05)	INTERDENTAL (0,10)	PRECISION CLEAN (1,49)	EXPER 3 (1,70)	EXPER 2 (1,75)	EXPER S (1,75)
linguale Zahnfelder - APP	SENSITIVE (0,72)	INTERDENTAL (0,85)	WHITENING (1,05)	PRECISION CLEAN (1,65)	EXPER S (1,75)	EXPER 3 (1,79)	EXPER 2 (1,82)

Tabelle 5.2.: Ranking der Kinderzahnbürsten (1-2), geordnet nach aufsteigendem Mittelwert, wobei ein übereinstimmendes Ranking von mind. 2 Beobachtungen türkis hinterlegt ist.

Ranking: (geordnet nach aufsteigendem Mittelwert)	1	2
gesamte Zahnfelder - P1	STAGE 3 (0,92)	JUNIOR (0,96)
gesamte Zahnfelder - P2	STAGE 3 (0,74)	JUNIOR (1,02)
gesamte Zahnfelder - APP	STAGE 3 (0,96)	JUNIOR (1,13)

bukkale Zahnfelder - P1	STAGE 3 (0,91)	JUNIOR (1,19)
bukkale Zahnfelder - P2	STAGE 3 (0,75)	JUNIOR (1,27)
bukkale Zahnfelder - APP	STAGE 3 (0,94)	JUNIOR (1,25)

linguale Zahnfelder - P1	JUNIOR (0,73)	STAGE 3 (0,93)
linguale Zahnfelder - P2	STAGE 3 (0,73)	JUNIOR (0,77)
linguale Zahnfelder - APP	STAGE 3 (0,98)	JUNIOR (1,01)

Vergleicht man die Mittelwerte der einzelnen Analysen der drei Beobachter miteinander, so fällt auf, dass die Handzahnbürsten INTERDENTAL bis WHITENING unter den ersten drei Platzierungen zu finden sind, gefolgt von den elektrischen Zahnbürsten PRECISSION CLEAN bis EXPER 3. Bei der Analyse der gesamten und bukkalen Felder stimmt das Ranking der APP bei den Handzahnbürsten mit mindestens einer Auswertungsperson überein. Bei den elektrischen Zahnbürsten haben sogar alle drei Beobachter das gleiche Ranking vergeben. Sowohl APP, P1 und P2 haben die Reinigungsleistung von PRECISSION CLEAN besser bewertet, gefolgt von EXPER S und EXPER 2 und schließlich EXPER 3, deren Reinigungsleistung am schlechtesten bewertet wurde.

Bei den Erwachsenenzahnbürsten stimmt die APP dementsprechend mehr mit einer Auswertungsperson überein als die zwei Auswertungspersonen untereinander.

Bei den Kinderzahnbürsten lässt sich ein ähnliches Bild erkennen. Hier haben sowohl APP, P1 als auch P2 in fast allen Analysen die gleiche Reihenfolge ausgewertet. Einzig bei den lingualen Feldern resultiert aus den von P1 erhobenen Werten ein anderes Ranking.

Im folgenden Ergebnisteil werden beispielhaft eine elektrische Zahnbürste (EXPER 2), eine Handzahnbürste (SENSITIVE) sowie eine Kinderzahnbürste (STAGE 3) dargestellt. Zudem soll eine Analyse von 3 definierten Risikozahnfeldern (ABF bei EXPER S und SENSITIVE bzw. BE bei JUNIOR) darüber Aufschluss geben, ob sich der Übereinstimmungsgrad in Abhängigkeit von der erzielten Gesamtreinigungsleistung am entsprechenden Situs verändert, oder ob dieser Reinigungsgrad ohne Bedeutung für die Genauigkeit der Bewertung ist.

Die restlichen Ergebnisse der Testzahnbürsten sowie deren Auswertung sind im Anhang einsehbar.

5.1 Zahnbürste EXPER 2

Bei Zahnbürste EXPER 2 handelt es sich um einen Prototyp einer elektrischen Zahnbürste mit rotierend oszillierender Eigenbewegung. Mit einer durchschnittlichen Indexbewertung (gesamt) von 1,72 (APP) bis 1,61 (P1) handelt es sich um einen mäßig gereinigten Situs.

5.1.1 Gesamte Zahnfelder

In der Analyse der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste EXPER 2 stellt die Tabelle 5.3. die Häufigkeitsverteilungen des Plaque-Index für alle bewerteten Zahnfelder bei den drei Auswertern (APP, P1 und P2) dar.

Tabelle 5.3.: Häufigkeitsverteilung der Plaque-Index-Grade (0,1,2) für alle bewerteten Zahnfelder der Zahnbürste EXPER 2 bei den drei Auswertern (APP, P1 und P2) .

APP=0	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	11	7	0	18
P1=1	2	9	1	12
P1=2	1	0	0	1
Summe	14	16	1	31

APP=1	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	10	11	0	21
P1=1	6	89	22	117
P1=2	0	4	16	20
Summe	16	104	38	158

APP=2	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	1	3	2	6
P1=1	1	42	51	94
P1=2	0	19	488	507
Summe	2	64	541	607

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=796. APP: aus dem Prozentsatz der APP abgeleiteter Indexwert. P1, P2: von Person 1 bzw 2 festgelegter Indexwert. APP,P1,P2=0: Zahnfeld ohne Plaque. APP,P1,P2=1: sichtbare Plaque < 50%. APP,P1,P2=2: sichtbare Plaque > 50%.

Die Tabelle zeigt beispielsweise, dass bei 488 der insgesamt 796 Zahnfelder der Zahnbürste EXPER 2 alle drei Beobachter zu dem Ergebnis kommen, dass das entsprechende Zahnfeld mit über 50% Plaque behaftet ist. Allerdings gibt es auch einen Fall, in dem die drei Beobachter zu einem deutlich unterschiedlichen Ergebniss gekommen sind: So gibt es z.B. ein Zahnfeld, das die APP mit mehr als 50% Plaque behaftet bewertet, bei denen aber die Personen P1 und P2 von einem komplett gereinigten Zahnfeld ($PI = 0$) ausgehen. Diese Felder, bei denen es zu erheblichen Differenzen in der Bewertung kommt, werden unter 5.1.6. noch ausführlicher analysiert werden.

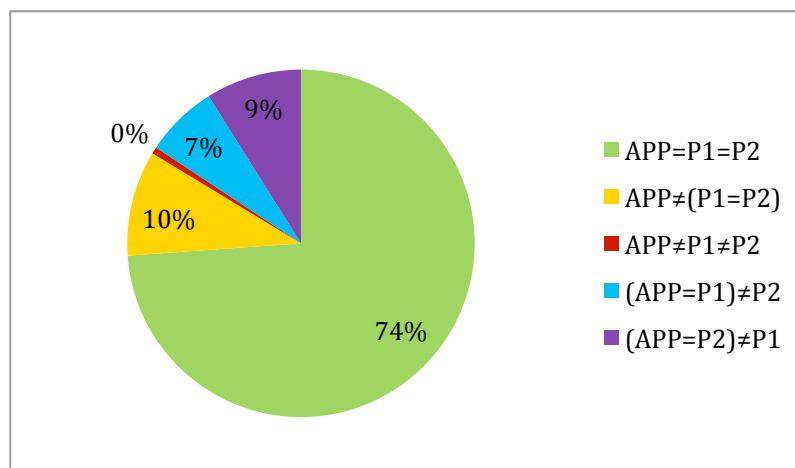


Abb. 5.1.: Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) in fünf differenten Konstellationen, angegeben in Prozent.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: $n=796$. APP: aus dem Prozentsatz der APP abgeleiteter Indexwert. P1, P2: von Auswertungsperson P1 bzw. Auswertungsperson P2 festgelegter Indexwert.

In 74 Prozent der Fälle stimmen APP, P1 und P2 hinsichtlich ihrer Bewertung des Zahnfeldes überein. Das kann $PI=0$, $PI=1$ oder $PI=2$ sein. Vergleiche hierzu Tabelle 5.3. In unter 1 Prozent der Fälle kommen alle drei Auswerter zu einem anderen Ergebnis.

Aus der Grafik wird ersichtlich, dass es – bei der Gesamtbetrachtung der Zahnfelder der Zahnbürste EXPER 2 - einen minimal höheren Grad der Übereinstimmung zwischen den Auswertungspersonen P1 und P2 gibt (in $4\%+74\%=84\%$ der Zahnfelder stimmen ihre Bewertungen überein), als zwischen P1 (81%) bzw. P2 (83%) und der APP. Um über entsprechende Tests zu untersuchen, ob diese Unterschiede ein signifikantes Maß haben und ob die jeweiligen Beobachter paarweise eine gute oder weniger gute Übereinstimmung in ihren Bewertungen aufweisen, ist es jedoch notwendig, die bivariaten Zusammenhänge zwischen den Beobachtern genauer zu analysieren. Auch die Abweichungsrichtung bei unterschiedlichen Bewertungen lässt sich erst im bivariaten Vergleich deutlich machen.

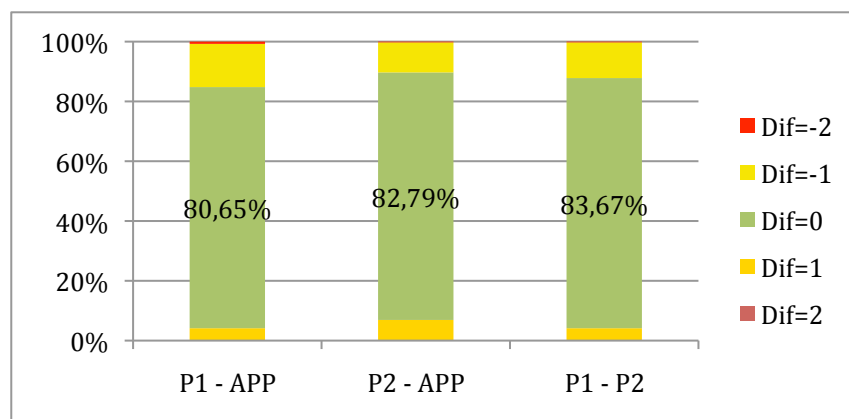


Abb. 5.2. Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste EXPER 2 im bivariaten Vergleich, angegeben in Prozent.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: $n=796$. APP: aus dem Prozentsatz der APP abgeleiteter Indexwert. P1, P2: von Beobachter P1 bzw. Beobachter P2 festgelegter Indexwert. Dif: Differenz zwischen Indexwert des erst- und des zweitgenannten Beobachters.

Es ist erkennbar, dass es unter den drei Analysen zu einer ähnlichen Verteilung der Indexwerte gekommen ist. Zudem ist die Abweichungsrichtung bei allen drei bivariaten Analysen ähnlich.

Tabelle 5.4. Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,72	1,61	1,69
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-2,86	<0,01	ja	2,32	0,020	ja	0,637
P1 vs. APP	-4,15	<0,01	ja	3,44	<0,01	ja	0,557
P2 vs. APP	-1,31	0,190	nein	1,14	0,256	nein	0,566

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=796. t: zweiseitiger Standard-t-Test des Mittelwertes. W: zweiseitiger WILCOXON-Test des Medians. prob(Test): p-Wert des ermittelten Testwertes. sign. (p=0,05)=ja: die Nullhypothese eines gleichen Mittelwertes/Medians der untersuchten Datenreihen kann zugunsten der Alternativhypothese eines voneinander verschiedenen Wertes bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5% abgelehnt werden.

Die Bewertungen für die Zahnbürste EXPER 2 zeichnen sich durch einen sehr hohen Grad an Übereinstimmung aus. Bei etwa 3 von 4 Zahnfeldern kommen alle drei Beobachter hinsichtlich des Planimetrie-Indexes zum selben Ergebnis. Nur bei 4 von 796 Bewertungen wählt jeder Beobachter einen anderen Index. Die Signifikanztests ergeben, dass zwischen P2 und APP eine so starke Übereinstimmung besteht, dass es lediglich zu zufälligen Abweichungen kommt. Die Mittelwerte von etwa 1,7 weisen die Zahnbürste als eine Bürste mit relativ geringer Reinigungsleistung aus.

5.1.2 Bukkale Zahnfelder

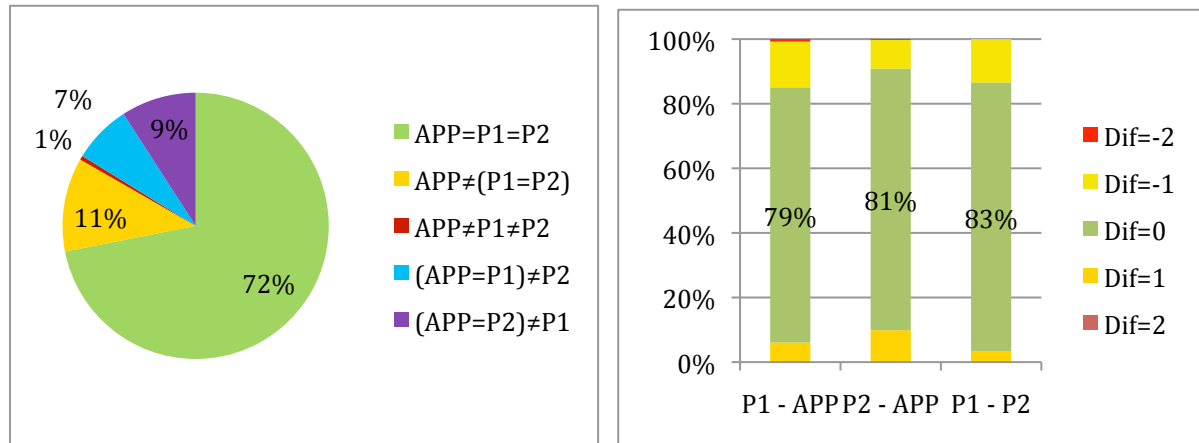


Abb. 5.3.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Beobachtungen der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent)

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=395. Weitere Erläuterungen siehe Abb. 5.1 (a) und (b).

Der Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder weicht minimal von denen der gesamten Zahnfelder ab. Bei 72 Prozent der Zahnfelder geben die drei Auswerter den gleichen Plaque-Index-Wert. Die Indexverteilung ist bei den bivariaten Analysen ähnlich.

Tabelle 5.5.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Beobachtungen der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,63	1,53	1,63
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-2,25	0,025	ja	2,13	0,033	ja	0,664
P1 vs. APP	-2,14	0,032	ja	1,95	0,052	nein	0,579
P2 vs. APP	0,12	0,906	nein	0,19	0,847	nein	0,586

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=395. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

Genauso wie bei Tabelle 5.4. zeichnen sich die Bewertungen für die bukkalen Zahnfelder durch einen hohen Grad an Übereinstimmung aus. Die Mittelwerte der drei Auswerter liegen sehr nah beieinander. Die APP und P2 besitzen sogar das gleiche arithmetische Mittel. P1 und P2 zeigen anhand des Cohen-Koeffizienten ein hohes Maß an Übereinstimmung

5.1.3 Linguale Zahnfelder

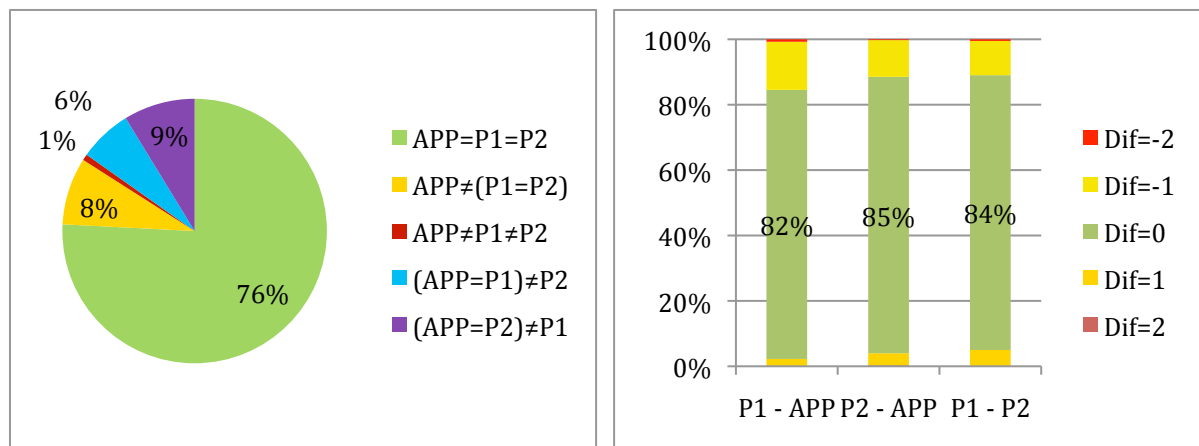


Abb. 5.4.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Beobachtungen der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent)

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=401. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.1. und 5.2.

Auch bei den lingualen Zahnfeldern zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den bereits beschriebenen Analysen der bukkalen und gesamten Zahnfelder. Bei allen drei bivariaten Analysen zeigt sich eine vergleichbare Abweichungsrichtung der erhobenen Indexwerte.

Tabelle 5.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Beobachtungen der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,82	1,68	1,75
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,80	0,072	nein	1,11	0,267	nein	0,598
P1 vs. APP	-4,03	<0,01	ja	2,91	<0,01	ja	0,509
P2 vs. APP	-2,36	0,019	ja	1,85	0,064	nein	0,531

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=564. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

Bei den Signifikanztests (Wilcoxon und t-Test) zwischen P1 und P2 zeigen sich keine signifikanten Abweichungen. Die APP hat im arithmetischen Mittel höhere Indexwerte vergeben als die zwei Auswertungspersonen (P1, P2).

5.1.4 Bukkale Risiko-Zahnfelder ABCDF

Die Risiko-Zahnfelder (ABCDF) sind aus klinischer Sicht besonders interessant, da diese als Risiko-Zahnfelder bezeichneten Planimetriefelder definitionsgemäß eine kleinere Oberfläche haben als die restlichen.

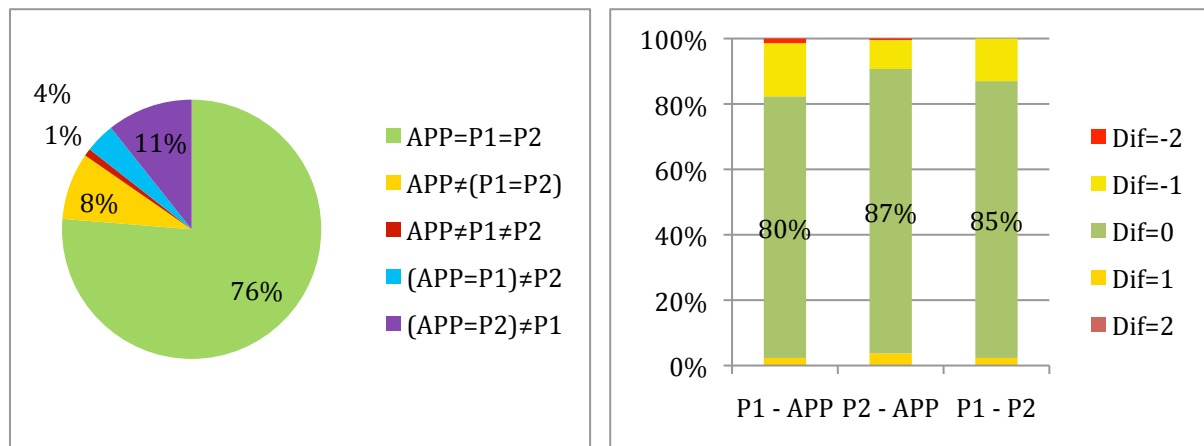


Abb. 5.5.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent)

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=215. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.1 und 5.2.

In mehr als 75 Prozent der Beobachtungen erheben die Auswerter bei der Auswertung der bukkalen Felder A,B,C,D und F einen identischen Wert. Bei dem Vergleich zwischen APP und P2 sind sich die Auswerter bei der Bestimmung des Index-Wertes in 87% der Fälle einig. Nur bei zwei Zahnfeldern haben sich alle drei Auswerter für einen differenten Wert entschieden. Die bivariate Analyse zeigt ein vergleichbares Bild wie die vorherigen Analysen. Die Abweichungsrichtung unter den drei Analysen ist vergleichbar.

Tabelle 5.7.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,89	1,73	1,83
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-2,31	0,021	ja	1,67	0,096	nein	0,524
P1 vs. APP	-3,89	<0,01	ja	2,59	<0,01	ja	0,315
P2 vs. APP	-1,59	0,113	nein	0,92	0,358	nein	0,391

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=215. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

Bei den Signifikanztests P1 vs. (versus) APP zeigt sich sowohl beim Wilcoxon - als auch beim t-Test - ein signifikanter Unterschied in der Übereinstimmung. Die Reinigungsleistung ist mit Mittelwerten über 1,70 als gering einzuordnen.

5.1.5 Linguale Risiko-Zahnfelder ABCDF

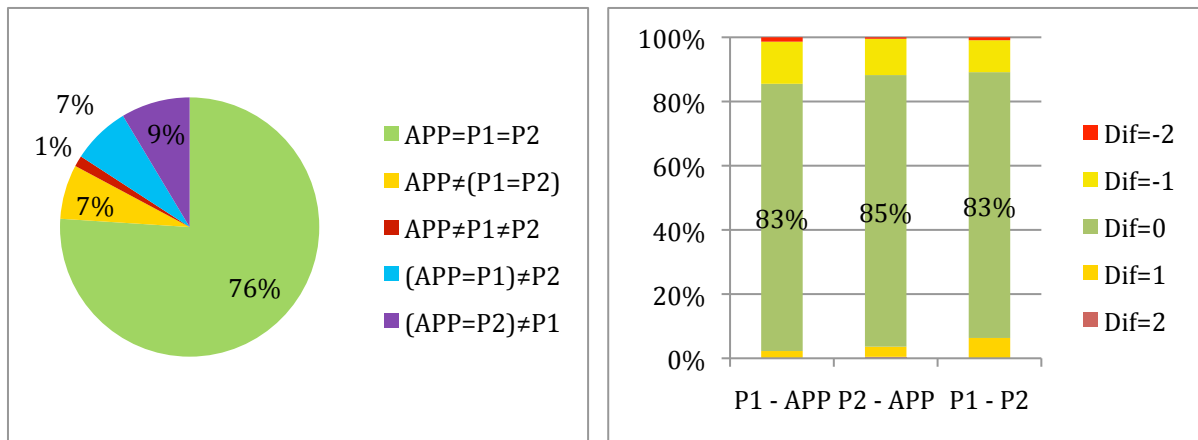


Abb. 5.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent)

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=221. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.1. und 5.2.

Für die lingualen Risiko-Zahnfelder zeigt sich eine ähnliche Verteilung wie bei den bukkalen Risiko-Zahnfeldern. Unter 20 Prozent der Beobachtungen werden von den Auswertungspersonen P1 und P2 mit einem geringeren Index bewertet als es bei den Auswertungen der APP der Fall ist (Dif=-1/-2).

Tabelle 5.8.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste EXPER 2, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,91	1,78	1,83
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,27	0,205	nein	0,70	0,484	nein	0,411
P1 vs. APP	-3,40	<0,01	ja	2,20	0,028	ja	0,292
P2 vs. APP	-2,28	0,023	ja	1,53	0,126	nein	0,246

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=221. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

Auch aus der Tabelle 5.8. wird anhand der Mittelwerte ersichtlich, dass es sich bei den linguale Risikozahfelder (ABCDF) im Vergleich zum gesamten Situs um einen eher schlecht gereinigten Abschnitt handelt. Die Signifikanztest deuten darauf hin, dass es zu nicht signifikanten Unterschieden hinsichtlich der Median und Mittelwertverteilung bei P1 vs. P2 gekommen ist. Somit ist die Übereinstimmung dieser beiden Auswertungspersonen positiv zu bewerten.

5.1.6 Stark unterschiedlich bewertete Zahnfelder

Um zu analysieren, ob es bestimmte Zahnfelder gibt, bei welchen es besonders häufig zu einer stark unterschiedlichen Bewertung kommt, sind diese in Tabelle 5.9. aufgeführt.

Bei der Zahnbürste EXPER 2 kommt es in 9 von 796 bewerteten Zahnfeldern zu Abweichungen von 2 Indexwerten zwischen zwei Beobachtern. (Dies entspricht 1,13 Prozent der Bewertungen). 8 der 9 Felder gehören zu der erwähnten Risiko-Gruppe (ABCDF).

Tabelle 5.9.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-I) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Zahnbürste EXPER 2.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	0	1	43B	D	1
0	2	0	43B	G	1
2	0	1	43B	D	3
2	0	2	45L	B	3
2	0	2	41L	D	4
2	0	0	42B	F	5
0	1	2	46L	B	5
2	0	1	44L	B	5
2	1	0	41L	A	5

5.2 Zahnbürste SENSITIVE

Die Handzahnbürste SENSITIVE weist mit einer durchschnittlichen Indexbewertung von 0,53 (APP) bis 0,08 (P2) eine recht gute Reinigungsleistung auf.

5.2.1 Gesamte Zahnfelder

Tabelle 5.10. zeigt die Häufigkeitsverteilungen des Plaque-Index (PI) für alle bewerteten Zahnfelder der Zahnbürste SENSITIVE bei den drei Beobachtern (APP, P1 und P2). Wie aus Tabelle 5.11. ersichtlich wird, handelt es sich bei der Handzahnbürste SENSITIVE um eine Zahnbürste mit einer vergleichsweise hohen Reinigungsleistung. (Vergleiche z.B. Zahnbürste EXPER 2)

Tabelle 5.10.: Häufigkeitsverteilung der Plaque-Index-Grade (0,1,2) für alle bewerteten Zahnfelder der Zahnbürste SENSITIVE bei den drei Auswertern (APP, P1 und P2).

APP=0	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	376	0	0	376
P1=1	37	24	2	63
P1=2	1	2	1	4
Summe	414	26	3	443

APP=1	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	248	4	1	253
P1=1	24	12	1	37
P1=2	2	0	5	7
Summe	274	16	7	297

APP=2	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	56	1	0	57
P1=1	3	2	0	5
P1=2	2	0	1	3

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=743.

Die Tabelle 5.10. macht deutlich, dass es zu einer Verschiebung des PI gekommen ist. Die APP hat bei 248 Stichproben das Zahnfeld mit PI=1 bewertet wohingegen sowohl die Auswertungsperson P1 als auch die Auswertungsperson P2 einen PI=0 vergeben haben. Lediglich bei 12 Beobachtungen kamen alle drei zu dem Ergebnis PI=1.

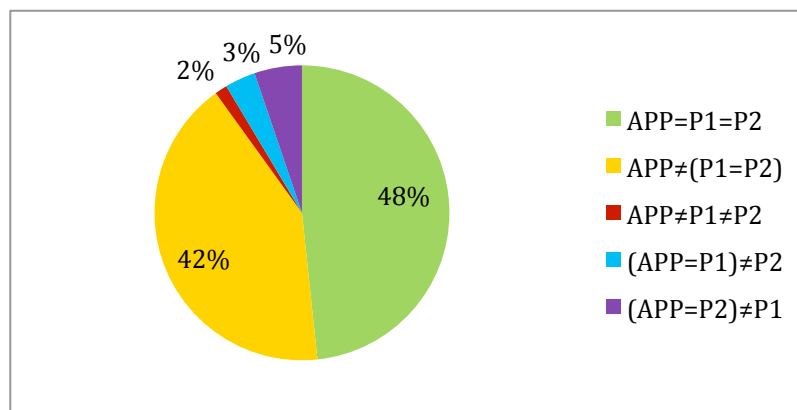


Abb. 5.7,: Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) in fünf differenten Konstellationen, angegeben in Prozent.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=805. APP: aus dem Prozentsatz der APP abgeleiteter Indexwert. P1, P2: von Beobachter P1 bzw. Beobachter P2 festgelegter Indexwert.

In Abbildung 5.7. zeigt sich, dass der Grad Übereinstimmung zwischen P1 und P2 mit 90 Prozent sehr hoch ist. Jedoch die Übereinstimmung aller drei Auswerter mit einem Wert unter 50 Prozent als mäßig zu bewerten ist. In unter 2 Prozent der Beobachtungen kamen alle drei Auswerter zu einem anderen Ergebnis. Im bivariaten Vergleich wird die Verteilungsrichtung analysiert.

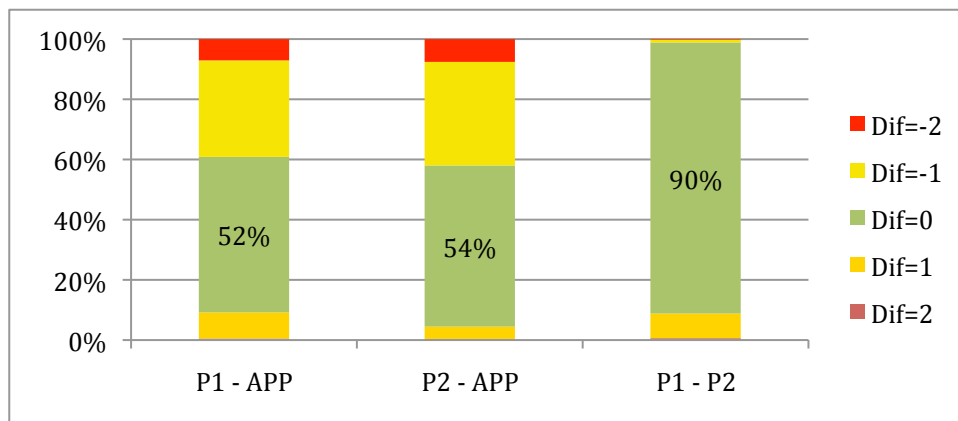


Abb. 5.8.: Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste SENSITIVE im bivariaten Vergleich, angegeben in Prozent.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=805. APP: aus dem Prozentsatz der APP abgeleiteter Indexwert. P1, P2: von Beobachter P1 bzw. Beobachter P2 festgelegter Indexwert. Dif: Differenz zwischen Indexwert des erst- und des zweitgenannten Beobachters.

Wie in Tabelle 5.10. schon ersichtlich war, bestätigt der bivariate Vergleich die Annahme, dass eine Verschiebung der erhobenen Plaque-Index Werte vorliegt. Die Übereinstimmung zwischen P1 oder P2 mit der APP liegt bei über 50 Prozent. Jedoch kommt es bei beiden Auswertungspersonen in über 40 Prozent der Fälle zu einer negativen Verschiebung gegenüber der APP. Das heißt, dass die APP in über 40 Prozent der Beobachtungen einen höheren Wert erhoben hat als die Auswertungspersonen (P1,P2).

Tabelle 5.11.: Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,53	0,17	0,08
Median	0	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	4,42	<0,01	ja	2,69	<0,01	ja	0,502
P1 vs. APP	-13,56	<0,01	ja	10,63	<0,01	ja	< 0
P2 vs. APP	-17,68	<0,01	ja	13,19	<0,01	ja	0,003

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=800. t: zweiseitiger Standard-t-Test des Mittelwertes. W: zweiseitiger WILCOXON-Test des Medians. prob(Test): p-Wert des ermittelten Testwertes. sign. (p=0,05)=ja: die Nullhypothese eines gleichen Mittelwertes/Medians der untersuchten Datenreihen kann zugunsten der Alternativhypothese eines voneinander verschiedenen Wertes bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5 % abgelehnt werden.

Bei insgesamt sehr hoher Reinigungsleistung der Zahnbürste bewertet die APP die verbleibende Plaque signifikant höher als die Beobachter P1 und P2. Im Unterschied zur Zahnbürste INTERDENTAL (siehe Anlage), gibt es jedoch bei Zahnbürste SENSITIVE nochmals einen signifikanten Unterschied zwischen der Indexierung der Beobachter P1 und P2. P1 vergibt im Mittel signifikant höhere Indexwerte als P2. Der Kappa-Koeffizient für die Vergleiche mit der APP schwankt um den Nullpunkt, bei P1 vs. APP erreicht er einen Wert kleiner Null.

5.2.2 Bukkale Zahnfelder

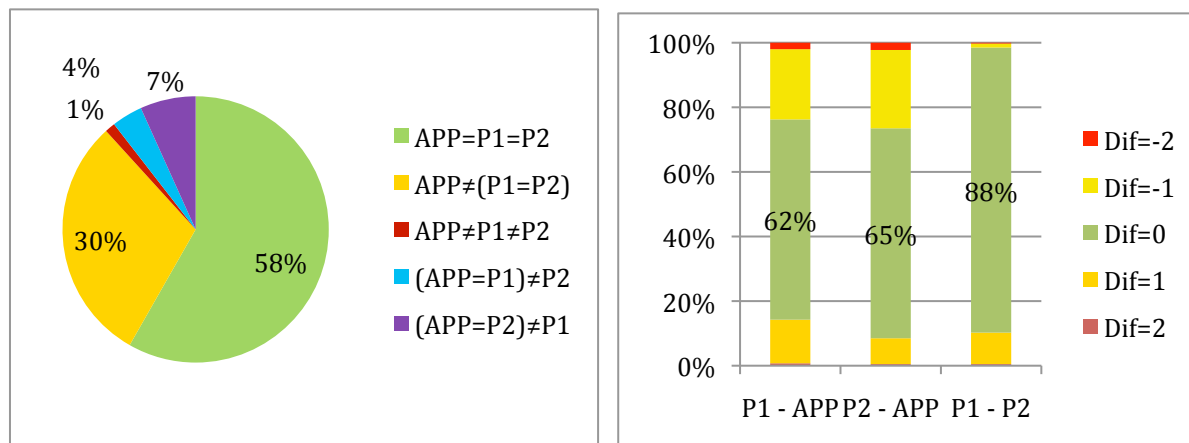


Abb. 5.9.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Beobachtungen der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=400. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.1 und 5.2.

In Abbildung 5.9. zeigen die bukkalen Zahnfelder im bivariaten Vergleich zwischen P1 bzw. P2 und APP eine nicht so ausgeprägte negative Verschiebung (Dif=-1/Dif=-2) wie bei dem Vergleich der Gesamtheit der Felder. In unter 30 Prozent der Beobachtungen vergibt die APP höhere Index-Werte als die Auswertungspersonen. P2 vergibt im Vergleich zu P1 in ca. 10 Prozent der Stichproben einen geringeren Wert (P1-P2 Dif=1).

Der Übereinstimmungsgrad zwischen den Auswertern P1 und P2 ist mit einem Wert von 88 Prozent als hoch anzusehen.

Tabelle 5.12. : Grad der Übereinstimmung der bukkalen Beobachtungen der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,34	0,24	0,15
Median	0	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	2,85	<0,01	ja	2,10	0,036	ja	0,592
P1 vs. APP	-3,01	<0,01	ja	2,52	0,012	ja	0,062
P2 vs. APP	-5,88	<0,01	ja	4,62	<0,01	ja	0,053

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=400. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

Aus Tabelle 5.12. wird ersichtlich, dass es sich auch bei dem bukkalen Situs bei der Zahnbürste SENSITIVE um eine Zahnbürste mit einer hohen Reinigungsleistung handelt. Im Mittelwert liegen die Auswerter ungefähr 0,1 Index-Werte auseinander. Die statistischen Tests zeigen, dass die Unterschiede hinsichtlich der zentralen Tendenzen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 Prozent signifikant sind. Bei P1 vs. P2 weist der Kappa-Koeffizient mit einem Wert annähernd 0,6 darauf hin, dass es sich hierbei um eine gute Übereinstimmung handelt.

5.2.3 Linguale Zahnfelder

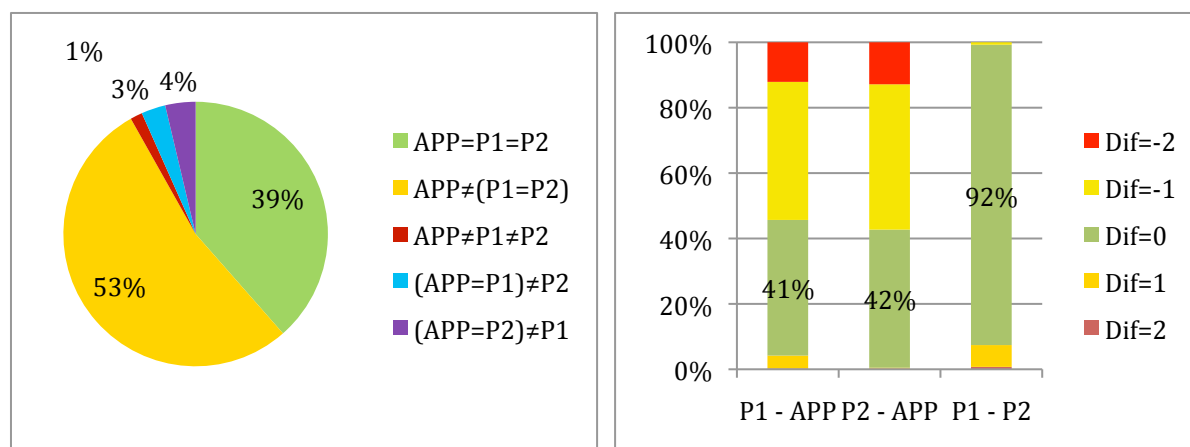


Abb. 5.10.: Grad der Übereinstimmung der linguale Beobachtungen der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=405. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.1 und 5.2..

Da die bukkalen Felder im bivariaten Vergleich (Abb. 5.9.) eine homogene Verteilung aufzeigen, jedoch in dem gesamten Vergleich eine Verschiebung feststellbar ist, stellt sich bei den linguale Zahnfeldern eine umso deutlichere Verschiebung dar (Abb. 5.10.). Über 50 Prozent der Stichproben wurden von der APP mit einem höheren Plaque-Indexwert bewertet.

Auch der Grad der Übereinstimmung zwischen APP, P1 und P2 ist mit 39 Prozent als gering zu bewerten. Wohingegen die zwei Auswertungspersonen P1 und P2 in 92 Prozent der Stichproben zu dem gleichen Ergebnis kamen. In den übrigen 8 Prozent der nicht gleich bewerteten Stichproben hat sich P1 für einen höheren Plaque-Indexwert entschieden. Mehr als 50 Prozent der Bewertungen bestehen aus übereinstimmenden Indizes von P1 bzw. P2, bei denen die APP-Bewertung einen höheren Index vergibt (in 12 Prozent der Fälle sogar einen um 2 Punkte höheren Indexwert).

Tabelle 5.13.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Beobachtungen der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,72	0,10	0,02
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	4,00	<0,01	ja	1,70	0,090	nein	0,195
P1 vs. APP	-16,40	<0,01	ja	12,37	<0,01	ja	< 0
P2 vs. APP	-19,69	<0,01	ja	13,91	<0,01	ja	0,011

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=405. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

Tabelle 5.13. zeigt, dass die Mittelwerte der Auswertungspersonen P1 und P2 mit Werten von 0,10 und 0,02 sehr gering und annähernd bei Null sind. Hingegen bewertet die APP mit einem Mittelwert gegen 1 (0,72) bedeutend höher.

Die Signifikanzanalysen zeigen, dass es bei P1 vs. APP und P2 vs. APP zu signifikanten Tendenzen in der Abweichung gekommen ist. Auch der Kappa-Koeffizient zeigt bei den drei Konstellationen keine guten Übereinstimmungen.

5.2.4 Bukkale Risiko-Zahnfelder ABCDF

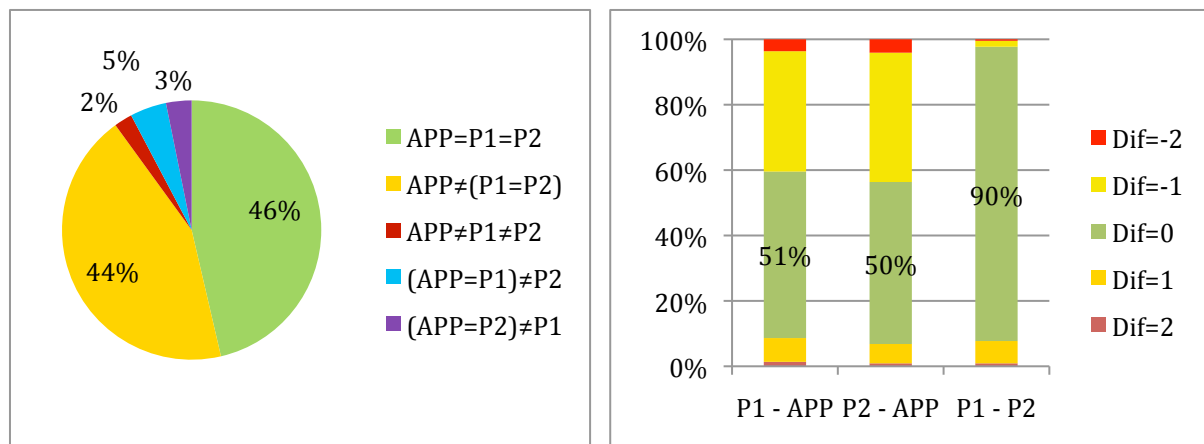


Abb. 5.11.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent)

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=220. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.1 und 5.2.

Mit einer Übereinstimmung von 46 Prozent aller drei Auswerter ist die Übereinstimmung geringer als bei den gesamten bukkalen Feldern (A-I).

Jedoch stimmen 90 Prozent der durch beide Auswertungspersonen P1 und P2 beobachteten Felder überein. Dieser Übereinstimmungsgrad ist um 2 Prozentpunkte höher als bei den gesamten bukkalen Zahnfeldern. Im bivariaten Vergleich (Abb. 5.11. [rechts]) lässt sich erkennen, dass es zwischen P1-APP und P2-APP zu einem Übereinstimmungsgrad von ca. 50 Prozent gekommen ist. Tendenziell bewerten die Auswertungspersonen P1 und P2 jedoch in mindestens 40 Prozent der Beobachtungen die Zahnfelder mit einem geringeren Index-Wert als es bei der APP der Fall ist.

Tabelle 5.14.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,54	0,20	0,14
Median	0	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	1,31	0,192	nein	0,96	0,339	nein	0,553
P1 vs. APP	-6,53	<0,01	ja	5,84	<0,01	ja	0,048
P2 vs. APP	-7,99	<0,01	ja	6,82	<0,01	ja	0,010

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=220. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

5.2.5 Linguale Risiko-Zahnfelder ABCDF

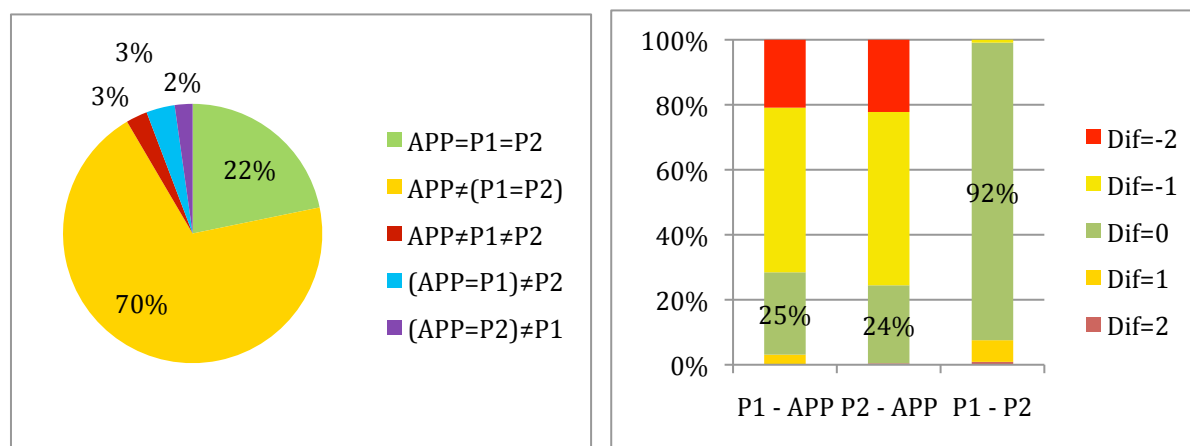


Abb. 5.12.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=225. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.1 und 5.2.

Tabelle 5.15.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste SENSITIVE, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,996	0,102	0,027
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	2,81	<0,01	ja	1,29	0,196	nein	0,190
P1 vs. APP	-17,48	<0,01	ja	12,59	<0,01	ja	< 0
P2 vs. APP	-20,30	<0,01	ja	13,65	<0,01	ja	0,002

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=225. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.3.

Für die linguale Risikozahnfelder der Zahnbürste SENSITIVE gibt es den extremen Befund, dass mehr als zwei Drittel der Bewertungen von P1 und P2 übereinstimmen, bei der Bewertung der APP hingegen nur 24 Prozent bzw. 25 Prozent denen der Auswertungspersonen entsprechen.

5.2.6 Stark unterschiedlich bewertete Zahnfelder

Bei der Zahnbürste SENSITIVE kommt es in 71 von 805 bewerteten Zahnfeldern zu Abweichungen von 2 Indexwerten zwischen zwei Beobachtern (dies entspricht 8,82 Prozent der Bewertungen). 68 dieser 71 Zahnfelder fallen auf die Risiko-Zahnfelder ABCDF bzw. 64 von 71 auf die mesialen/distalen Felder ACDF.

Tabelle 5.16.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-I) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Zahnbürste SENSITIVE.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	0	0	47B	C	1
2	0	0	47B	F	1
2	0	0	41B	C	1
2	0	0	47L	C	1
2	0	0	47L	F	1
2	0	0	47L	G	1
2	0	0	47L	H	1
2	0	0	43L	A	1
0	1	2	43L	B	1
1	2	0	43L	C	1
2	1	0	42L	A	1
2	0	0	42L	C	1
2	0	0	42L	D	1
2	0	0	42L	F	1
2	0	0	41L	A	1
2	0	0	41L	D	1
2	0	0	41B	C	2
1	2	0	47L	C	2
0	2	0	47L	I	2
2	0	0	45L	F	2
2	0	0	43L	A	2
2	1	0	41L	A	2
2	0	0	41L	D	2
2	0	0	41B	C	3
2	0	0	45L	F	3
2	0	0	44L	A	3
2	0	0	43L	A	3
2	0	0	43L	D	3
2	0	0	42L	A	3
2	0	0	42L	B	3
2	0	0	42L	F	3
2	0	0	41L	A	3
2	0	0	32L	A	3

2	0	1	46B	C	4
1	0	2	43B	A	4
2	2	0	42B	A	4
0	2	1	32B	A	4
2	0	0	45L	F	4
2	0	0	44L	A	4
2	0	0	44L	D	4
2	0	0	44L	F	4
2	0	0	43L	A	4
2	0	0	43L	C	4
2	0	0	43L	D	4
2	0	0	42L	A	4
2	0	0	42L	D	4
2	0	0	42L	F	4
2	0	0	41L	C	4
2	0	0	41L	F	4
2	0	0	31L	C	4
2	0	0	32L	A	4
2	0	0	32L	C	4
2	2	0	46B	C	5
0	2	1	44B	A	5
2	0	0	42B	A	5
2	0	0	41B	C	5
0	2	2	31B	A	5
0	1	2	31B	B	5
2	0	0	45L	F	5
2	0	0	44L	D	5
2	0	0	44L	F	5
2	0	0	43L	A	5
2	0	0	43L	D	5
2	1	0	42L	A	5
2	0	0	42L	B	5
2	0	0	42L	C	5
2	0	0	42L	F	5
2	0	0	41L	A	5
2	0	0	41L	D	5
2	0	0	32L	A	5
2	0	0	32L	C	5

5.3 Zahnbürste STAGE 3

Bei der Zahnbürste STAGE 3 handelt es sich um eine handelsübliche Kinderzahnbürste für das Milch-/ frühe Wechselgebiss, welche mit einer durchschnittlichen Index-Bewertung von 0,74 (P2) bis 0,96 (APP) eine mäßige Reinigungsleistung aufweist.

5.3.1 Gesamte Zahnfelder

Tabelle 5.17. zeigt die Häufigkeitsverteilungen des Plaque-Index (PI) für alle bewerteten Zahnfelder der Zahnbürste STAGE 3 bei den drei Auswertern (APP, P1 und P2). In 182 Fällen haben sich alle drei Auswerter für einen Plaque-Indexwert von 1 entschieden. Die APP hat insgesamt in 328 Fällen diesen Indexwert vergeben.

Tabelle 5.17.: Häufigkeitsverteilung der Plaque-Index-Grade (0,1,2) für alle bewerteten Zahnfelder der Zahnbürste STAGE 3 bei den drei Auswertern (APP, P1 und P2).

APP=0	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	26	2	0	28
P1=1	20	37	0	57
P1=2	1	2	3	6
Summe	47	41	3	91

APP=1	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	46	4	0	50
P1=1	62	182	9	253
P1=2	1	8	16	25
Summe	109	194	25	328

APP=2	P2=0	P2=1	P2=2	Summe
P1=0	10	3	0	13
P1=1	7	29	3	39
P1=2	0	4	15	19
Summe	17	36	18	71

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=490.

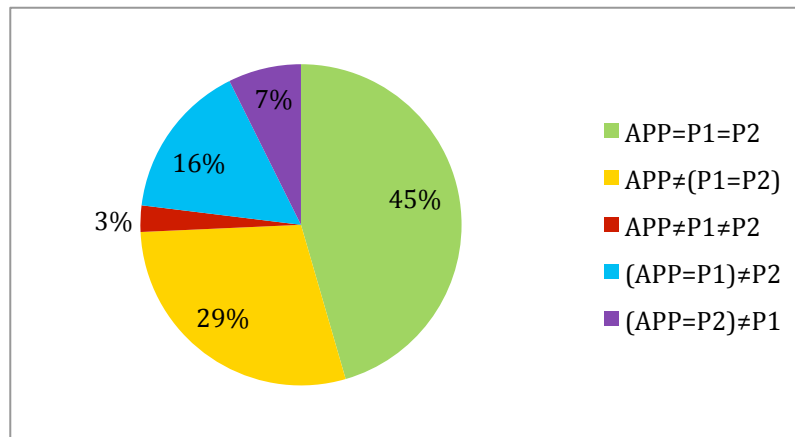


Abb. 5.13: Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) in fünf differenten Konstellationen, angegeben in Prozent.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=490. APP: aus dem Prozentsatz der APP abgeleiteter Indexwert. P1, P2: von Beobachter P1 bzw. Beobachter P2 festgelegter Indexwert.

Die Abbildung 5.13. zeigt eine deutlich höhere Übereinstimmung zwischen APP und P1 (ca. 61%) als zwischen APP und P2 (ca. 52%). Bei knapp 3 von 4 Beobachtungen haben P1 und P2 eine identische Bewertung vorgenommen, weshalb man den Übereinstimmungsgrad als gut ansehen kann. Nur in 3 Prozent der Fälle kommen alle drei Auswerter zu einem anderen Ergebnis.

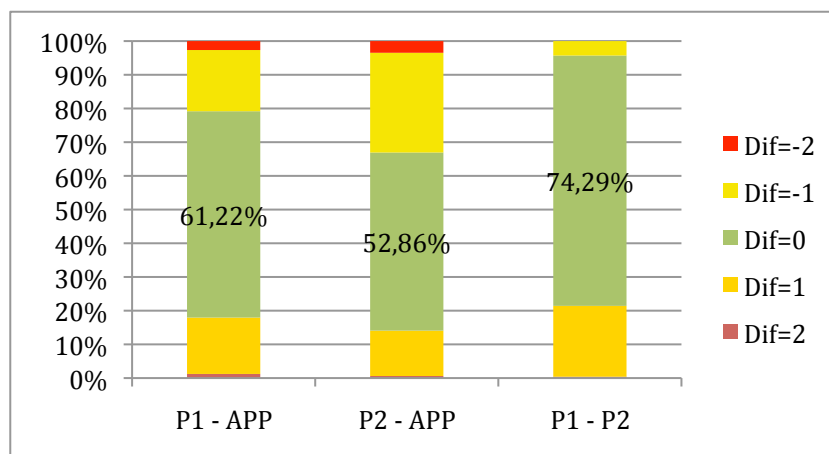


Abb. 5.14.: Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste STAGE 3 im bivariaten Vergleich, angegeben in Prozent.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=490. APP: aus dem Prozentsatz der APP abgeleiteter Indexwert. P1, P2: von Beobachter P1 bzw. Beobachter P2 festgelegter Indexwert. Dif: Differenz zwischen Indexwert des erst- und des zweitgenannten Beobachters.

Der bivariate Vergleich (vgl. Abb. 5.14.) zeigt, dass zwischen P1 und APP eine gleichmäßige Abweichungsverteilung vorliegt. Bei einigen Auswertungen (< 5%), hat sowohl P2 als auch P1 einen um 2 geringeren Indexwert vergeben als die APP (vgl. Tabelle 5.23.). Bei der Verteilung zwischen P2 und APP ist eine eindeutige Tendenz zu erkennen, denn P2 bewertet die Zahnfelder in über 30 Prozent der Fälle mit einem kleineren Indexwert, wohingegen es nur in ca. 15 Prozent der Fälle zu einer höheren Bewertung gekommen ist. Dahingegen ist bei dem bivariaten Vergleich zwischen P1 und P2 eine deutliche Verschiebung zu erkennen. P1 erhebt bedeutend häufiger (>20%) einen höheren Indexwert (Dif=1) als die Auswertungsperson P2 (ca. 5%).

Tabelle 5.18.: Grad der Übereinstimmung aller Beobachtungen der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,96	0,92	0,74
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	4,78	<0,01	ja	4,25	<0,01	ja	0,516
P1 vs. APP	-1,21	0,225	nein	0,95	0,344	nein	0,182
P2 vs. APP	-5,74	<0,01	ja	5,00	<0,01	ja	0,144

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=800. t: zweiseitiger Standard-t-Test des Mittelwertes. W: zweiseitiger WILCOXON-Test des Medians. prob(Test): p-Wert des ermittelten Testwertes. sign. (p=0,05)=ja: die Nullhypothese eines gleichen Mittelwertes/Medians der untersuchten Datenreihen kann zugunsten der Alternativhypothese eines voneinander verschiedenen Wertes bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5 % abgelehnt werden.

Bei der Zahnbürste STAGE 3 unterscheiden sich die Beobachter P1 und P2 hinsichtlich ihrer Übereinstimmungsgrade mit der APP recht stark. Mit einem mittleren Planimetrie-Index von 0.96 bzw. 0,92 liegen P1 und APP nah beieinander. Die statistischen Tests zeigen, dass die Unterschiede hinsichtlich der zentralen Tendenzen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 Prozent nicht signifikant sind. P2 fällt mit einem durchschnittlichen Index von 0,74 hinter die anderen Bewerter zurück. Zwar gibt es zwischen P1 und P2 einen höheren Prozentsatz exakter Übereinstimmungen (vgl. Abbildung 5.14.), dem steht jedoch eine hohe Zahl von Bewertungen gegenüber, bei denen P1 einen höheren Indexwert setzt als P2. Da dies umgekehrt kaum vorkommt, erklärt sich so das schlechtere Abschneiden dieser bivariaten Kombination hinsichtlich der zentralen Tendenz.

5.3.2 Bukkale Zahnfelder

Die Abb. 5.15. zeigt für die bukkalen Zahnfelder sowohl bei dem allgemeinen Grad der Übereinstimmung, als auch bei dem bivariaten Vergleich eine ähnliche Verteilung wie bei den gesamten Zahnfeldern.

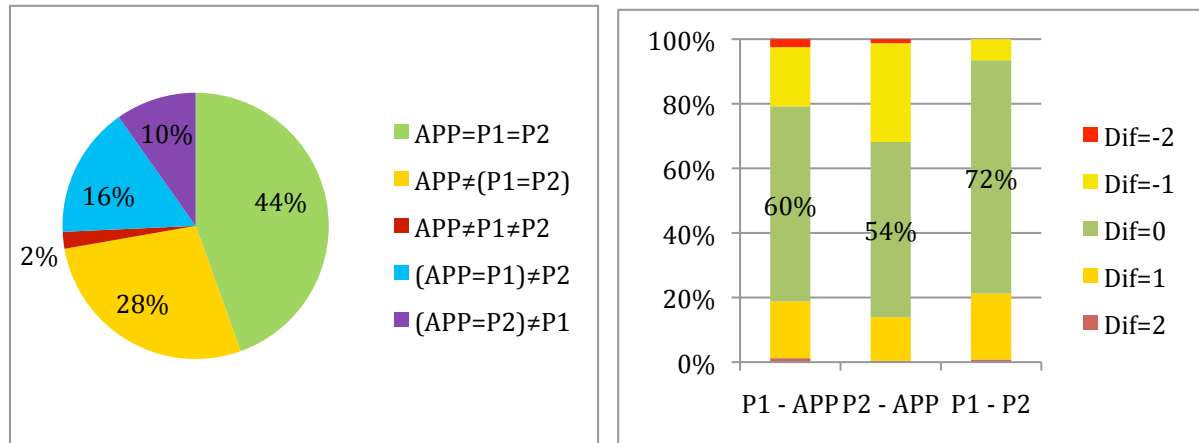


Abb. 5.15.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Beobachtungen der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent)

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=245. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.13. und 5.14.

Tabelle 5.19.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Beobachtungen der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,94	0,91	0,75
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	2,94	<0,01	ja	2,64	<0,01	ja	0,481
P1 vs. APP	-0,64	0,522	nein	0,50	0,617	nein	0,186
P2 vs. APP	-3,46	<0,01	ja	3,05	<0,01	ja	0,169

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=245. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.18.

Die in Tabelle 6.3.2. gezeigten Mittelwerte und Ergebnisse der Signifikanzanalysen für die bukkalen Zahnfelder entsprechen weitestgehend denen, die bei der Betrachtung der gesamten Zahnfelder vorkamen.

Auch hier liegen die Mittelwerte von APP und P1 sehr nah beieinander (APP= 0,94 und P1=0,91) und die statistischen Tests zeigen, dass die Unterschiede hinsichtlich der zentralen Tendenzen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 Prozent nicht signifikant sind.

5.3.3 Linguale Zahnfelder

Analog zu den Ergebnissen der bukkalen Zahnfelder finden sich auch bei den lingualen Feldern sehr ähnliche Verhältnisse.

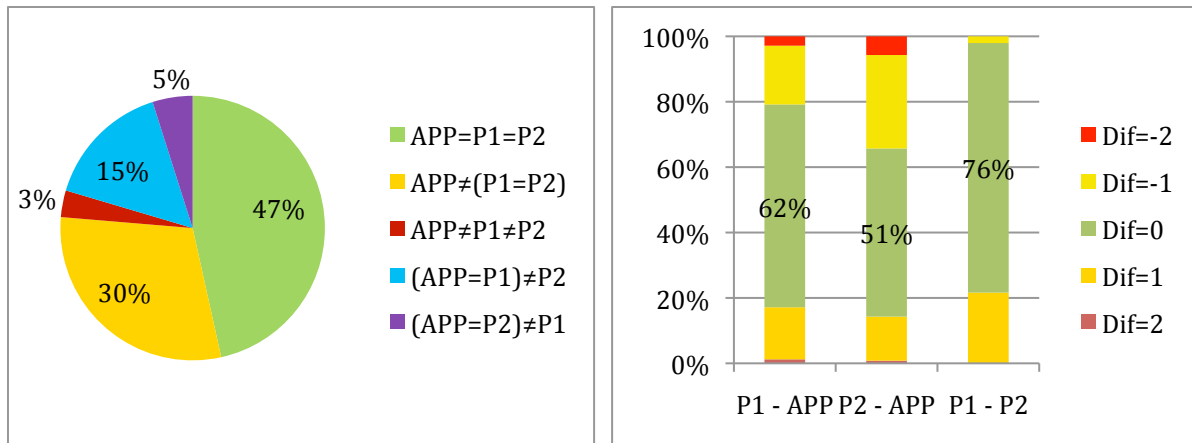


Abb. 5.16.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Beobachtungen der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent)

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=245. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.13. und 5.14.

Tabelle 5.20.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Beobachtungen der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,98	0,93	0,73
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	3,82	<0,01	ja	3,37	<0,01	ja	0,551
P1 vs. APP	-1,08	0,280	nein	0,84	0,400	nein	0,176
P2 vs. APP	-4,65	<0,01	ja	4,02	<0,01	ja	0,119

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=402. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.18.

Auch bei den statistischen Tests zeigt sich bei der Betrachtung der lingualen Zahnfelder das gleiche Ergebnis wie bei der Betrachtung der bukkalen - oder gesamten Zahnfelder.

5.3.4 Bukkale Risiko-Zahnfelder ABC

Auch die Übereinstimmungsgrade der bukkalen Risiko-Zahnfelder gleichen in ihrer Verteilung denen der anderen Analysen für diese Zahnbürste.

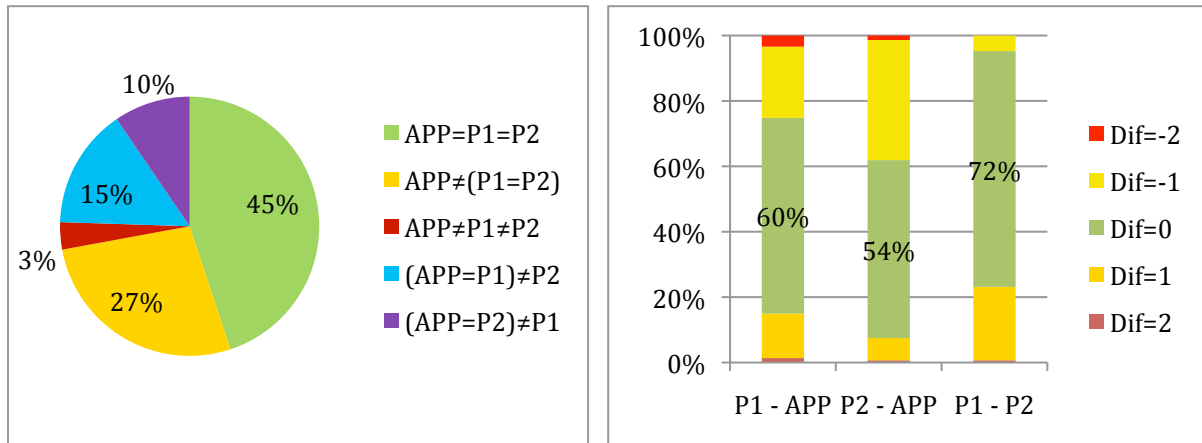


Abb. 5.17.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=147. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.13. und 5.14.

Tabelle 5.21.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,97	0,85	0,66
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	2,79	<0,01	ja	2,49	0,013	ja	0,491
P1 vs. APP	-1,83	0,069	nein	1,51	0,132	nein	0,205
P2 vs. APP	-4,52	<0,01	ja	3,88	<0,01	ja	0,199

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=147. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.18.

Die statistischen Tests kommen zu den gleichen Ergebnissen, wie sie bei der Betrachtung der Gesamtheit aller Zahnfelder für diese Zahnbürste vorliegen.

5.3.5 Linguale Risiko-Zahnfelder ABC

Die Verteilung der lingualen Risiko-Zahnfelder zeigt eine leicht differenziertere Bewertung von P1 bzw. P2 gegenüber der APP, als es bei den bukkalen Feldern der Fall ist. Im bivariaten Vergleich der APP mit P2 treten noch deutlicherer Differenzen bei den ermittelten Werten auf (Dif=-2), als es bei dem bivariaten Vergleich zwischen P1 und APP der Fall ist.

Hinsichtlich der bivariaten Analyse zwischen den Auswertungspersonen bewertet P1 gegenüber P2 in über 20 Prozent der Beobachtungen mit einem höheren Indexwert (Dif=1), hingegen fast nie mit einem kleineren Indexwert.

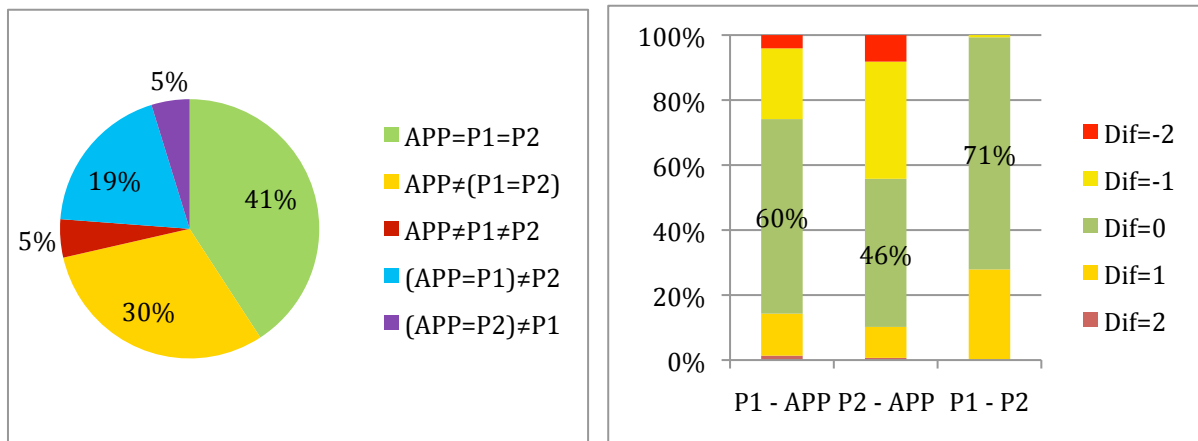


Abb. 5.18.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Risiko-Zahnfelder (ABCD) der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=147. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 5.13. und 5.14.

Tabelle 5.22.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste STAGE 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane, sowie deren Signifikanztest

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,99	0,85	0,58
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	4,28	<0,01	ja	3,76	<0,01	ja	0,477
P1 vs. APP	-2,37	0,018	ja	1,82	0,069	nein	0,081
P2 vs. APP	-6,38	<0,01	ja	5,30	<0,01	ja	0,059

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=147. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.18.

Die durchschnittliche Bewertung von P1 entfernt sich bei den linguale Risikofeldern etwas von den Bewertungen der APP. Nach den festgesetzten Gütekriterien muss jedoch auch hier davon ausgegangen werden, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen APP und P1 hinsichtlich der zentralen Tendenz gibt.

5.3.6 Stark unterschiedlich bewertete Zahfelder

Bei der Zahnbürste STAGE 3 kommt es in 27 von 490 bewerteten Zahfeldern zu Abweichungen von 2 Indexwerten zwischen zwei Beobachtern. (dies entspricht 5,51 Prozent der Bewertungen). Von diesen 27 stark unterschiedlichen Zahfeldern fallen 22 auf die Risikozahfelder ABC.

Tabelle 5.23.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-E) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Kinderzahnbürste STAGE 3.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	1	0	81L	A	1
2	0	0	81L	C	1
2	0	0	81L	D	1
2	0	0	81L	A	2
2	0	0	71L	A	2
2	0	0	72L	A	2
2	1	0	71L	C	4
2	1	0	81L	A	5
2	0	0	81L	C	5
1	2	0	72B	C	5
0	2	0	72B	E	5
0	2	1	84L	B	6
0	2	2	82L	B	6
0	2	2	82L	E	6
0	2	1	84B	B	6
2	0	1	81B	A	6
0	2	2	72B	C	6
2	0	0	82L	A	7
2	1	0	82L	B	7
2	1	0	81L	A	7
2	1	0	81L	C	7
2	1	0	71L	E	7
2	0	1	83B	A	7
2	0	0	83B	B	7
2	0	1	81B	A	7
2	0	0	72B	B	7
2	0	0	72B	E	7

5.4 Analyse einzelner Risikozahnfelder

In diesem Kapitel soll untersucht werden, ob es bei einzelnen Risikozahnfeldern zu Unterschieden in der Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen APP und Beobachter in Abhängigkeit vom Reinigungsergebnis des gesamten relevanten Situs kommt. Hierzu werden die Daten für den gesamten Situs in Kategorien eingeteilt. Mithilfe des χ^2 -Test wird überprüft, ob es bei einem einzelnen Risikozahnfeld (untersucht werden Zahnfeld A, B und F bei den Erwachsenenbürsten EXPER S und SENSITIVE sowie Zahnfeld B und E bei der Kinderzahnbürste JUNIOR) hinsichtlich der Differenzen zwischen APP und Beobachter zu signifikanten Abweichungen zwischen der Häufigkeitsverteilung insgesamt im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung in der betrachteten Kategorie kommt. Die Ergebnisse des χ^2 -Tests zeigen an, ob die Häufigkeitsverteilung der Bewertungen in der jeweiligen Reinigungskategorie der nach den Ergebnissen der Gesamtbetrachtung zu erwartenden Verteilung entspricht, oder ob es signifikante Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Übereinstimmungsgraden gibt. Voraussetzung zur Durchführung eines χ^2 -Tests ist es, dass die verwendeten Merkmalsausprägungen eine nicht geringe Häufigkeit aufweisen. Als Mindestgröße wird in der Literatur ein Wert von 5 bei den erwarteten Häufigkeiten genannt (Bortz 2005). Diese Mindestanzahl macht es in vielen Fällen erforderlich, die Anzahl der verwendeten Kategorien stark einzuschränken. Hierauf wird an der entsprechenden Stelle gesondert hingewiesen.

Die Analyse umfasst 3 Zahnbürsten:

- Zahnbürste EXPER S: ein elektrischer rotierend-oszillierender Erwachsenenzahnbürsten-Prototyp, bei der die Reinigungsleistung pro Situs im Mittel bei 50 Prozent liegt.
- Zahnbürste SENSITIVE: eine Erwachsenen Handzahnbürste bei der die Reinigungsleistung pro Situs im Mittel bei 93 Prozent liegt.

- Zahnbürste JUNIOR: eine Kinderzahnbürste mit einer durchschnittlichen Reinigungsleistung pro Situs von 68 Prozent.

Für diese Analyse wurden bei den Erwachsenenzahnbürsten EXPER S sowie SENSITIVE die Planimetriefelder A, B und F verwendet. Die Planimetriefelder befinden sich definitionsgemäß (vgl. Kapitel 3.5.11.) sowohl am zervikalen Anteil des Zahnes (A und B) sowie am approximalnahen Bereich (F). So konnten exemplarisch drei von insgesamt neun Planimetriefeldern Verwendung finden, .

Bei der Kinderzahnbürste JUNIOR wurde ein zervikales (B) und ein approximalnahes (E) Planimetriefeld verwendet, da diese aus klinischer Sicht besonders beachtenswert sind.

Diese Planimetriefelder stellen Prädilektionsstellen für die Entstehung einer Gingivitis oder Karies dar und wurden aus diesen Gründen in der Analyse der einzelnen Risikozahnfelder berücksichtigt.

5.4.1 Zahnbürste EXPER S

Für die Zahnbürste EXPER S liegen die Daten für jeweils 9 Zähne mit je 2 Situs (lingual und bukkal) und 7 Durchläufen vor. Der maximale Stichprobenumfang beträgt somit $n=126$. Abbildung 5.4.1.(a) zeigt die Häufigkeitsverteilung für die Reinigungsleistung pro Situs.

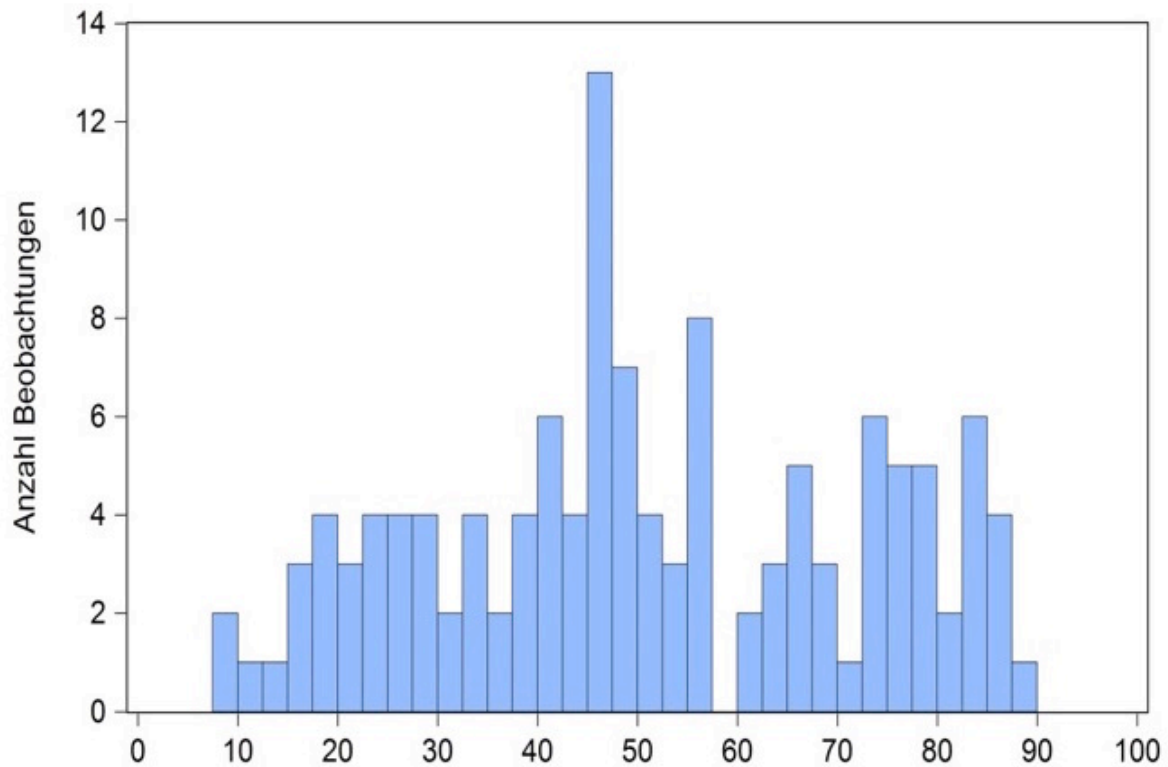


Abb. 5.19.: Häufigkeitsverteilung der prozentualen Reinigungsleistung pro Situs für die Zahnbürste EXPER S.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: n=126. Abszisse: Reinigungsleistung in %. Ordinate: Anzahl Beobachtungen. Der Mittelwert für diese Datenreihe liegt bei 50,78 und der Median bei 47,67.

Die Abbildung 5.19. zeigt zunächst die Differenzen zwischen der Bewertung der einzelnen Zahnfelder durch den Beobachter P1 und der APP für die einzelnen Risikozahnfelder ABCDF und stellt diesen die Abweichungen bei Betrachtung aller Zahnfelder gegenüber. Diese Darstellung erfolgt zunächst ohne Bezug zur Reinigungsleistung pro Situs.

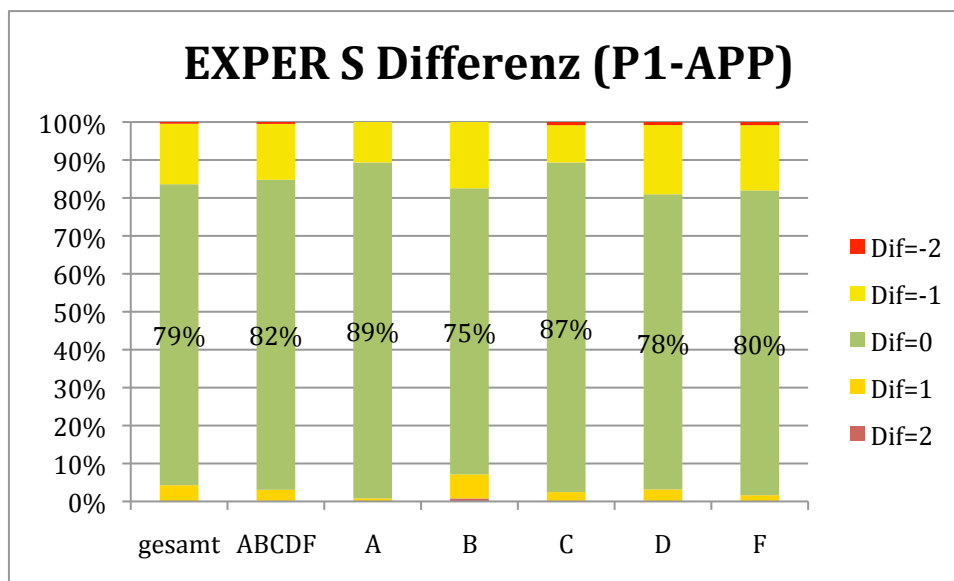


Abb. 5.20.: Prozentual dargestellte Differenzen in der Bewertung von P1 und APP bei Zahnbürste EXPER S für alle Felder, die Risiko-Zahnfelder ABCDF und jedes Risiko-Zahnfeld singular betrachtet.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: gesamt: n=1122, ABCDF: n=618, A, C, F: n=122. B, D: n=126.

Abbildung 5.20. zeigt hinsichtlich des Grades der Übereinstimmung zwischen P1 und APP ein sehr homogenes Bild. Die Übereinstimmung zwischen den Bewertern liegt beim Risikozahnfeld A mit 89 Prozent höher als bei der Gesamtheit aller Zahnfelder, bei Zahnfeld B etwas niedriger und die Bewertungsdifferenzen für das Zahnfeld F entsprechen in etwa derjenigen bei Betrachtung aller Zahnfelder.

Im Folgenden soll nun für die Risikozahnfelder A, B und F untersucht werden, ob sich dieser Übereinstimmungsgrad in Abhängigkeit von der erzielten Gesamtreinigungsleistung am entsprechenden Situs verändert, oder ob dieser Reinigungsgrad ohne Bedeutung für die Genauigkeit der Bewertung durch den Beobachter P1 ist.

5.4.1.1 Risikozahnfeld A (EXPER S)

Die Datenreihe mit den Reinigungsleistungen pro Situs wurde in 5 Kategorien aufgeteilt, die der Tabelle 5.24. zu entnehmen sind. Hinsichtlich der Differenzen (P1-APP) ergeben sich in diesen Kategorien folgende Häufigkeitsverteilungen:

Tabelle 5.24.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in fünf Kategorien bei Zahnbürste EXPER S für das Zahnfeld A mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

EXPER S	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. (p=0,05)
(0 - 20)	11	0	0	9	2	0	n.m.	
(21 - 40)	25	0	0	24	1	0	n.m.	
(41 - 60)	43	0	0	42	1	0	n.m.	
(61 - 80)	30	0	1	23	6	0	3,62	nein
(81 - 100)	13	0	0	10	3	0	n.m.	
gesamt	122	0	1	108	13	0		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb 5.19.: Reinigungsleistung Situs in %. χ^2 -Tests der Nullhypothese „Verteilung der Merkmalsfrequenzen in der Kategorie von EXPER S entspricht derjenigen in der Gesamtheit“ gegen die Alternativhypothese „Ungleiche Verteilung der Häufigkeiten“. sign. (p=0,05)=ja: Ablehnung der Nullhypothese „Gleiche Verteilung der Häufigkeiten“ bei p=0,05 möglich. χ^2 = n.m.: Ermittlung des Testwertes nicht möglich. Kritischer Wert der χ^2 -Verteilung (p=0,05, df=1)=3,84.

EXPER S - Differenz (P1-APP) bei Planimetriefeld A

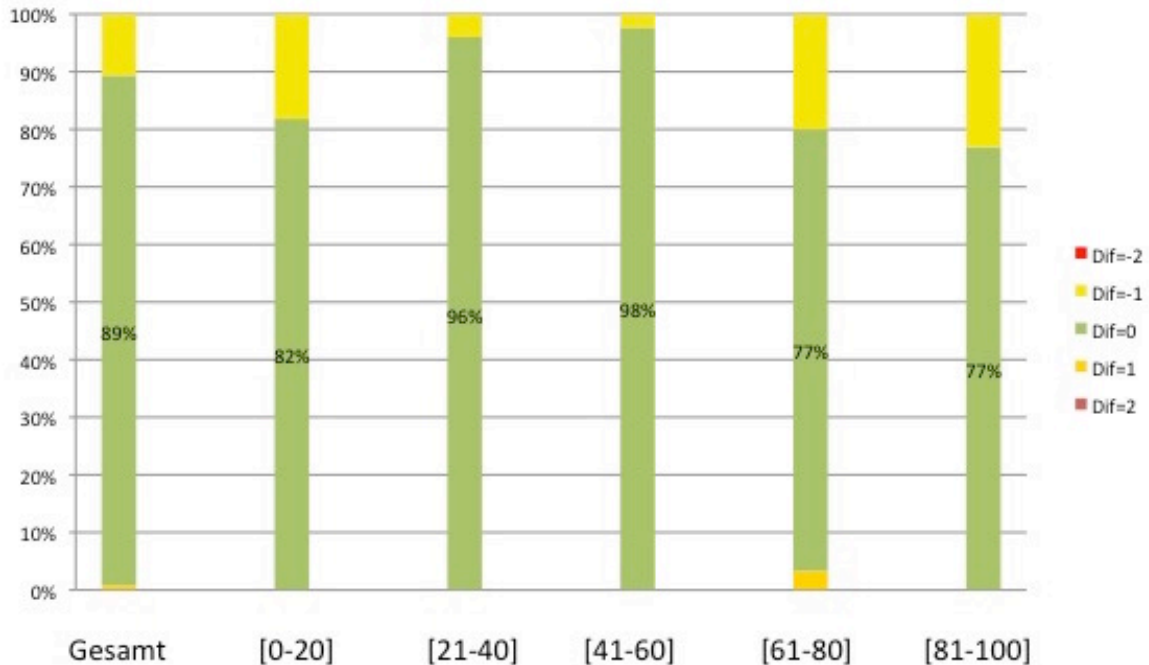


Abb. 5.21.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in sechs Kategorien bei Zahnbürste EXPER S für das Zahnfeld A.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.24.

Im Bereich um die 50-Prozent-Grenze der Situs-Reinigungsleistung ist der Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und APP besonders hoch. Bei hoher Reinigungsleistung (81-100) des gesamten Situs fällt der Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und APP mit 77 Prozent unterdurchschnittlich aus. Insgesamt wurde beim Zahnfeld A eine Übereinstimmung von 89 Prozent erzielt. Leider lassen sich diese Zusammenhänge nicht statistisch absichern: Dem χ^2 -Test liegt die Mindestanforderung von 5 Beobachtungen bei den zu erwartenden Häufigkeiten in der jeweiligen Kategorie nicht vor. Dies ist lediglich in der Kategorie der Reinigungsleistung von 60 bis 80 Prozent gegeben. Dort kommt der Test zu dem Ergebnis, dass bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 Prozent nicht

ausgeschlossen werden kann, dass es sich bei dem Übereinstimmungsgrad von 77 Prozent (gegenüber dem Wert von 89 Prozent bei der Gesamtheit) um eine zufällig entstandene Abweichung handeln könnte ($\chi^2=3,62$. kritischer Wert ($p=0,05$, $df=1$): 3,84). Die anderen Beobachtungen sind aufgrund der geringen Schwankungsbreite der Beobachtungen statistisch nicht abzusichern.

5.4.1.2 Risikozahnfeld B (EXPER S)

Hinsichtlich der Differenzen (P1-APP) ergeben sich für das Risikozahnfeld B in den Kategorien der Reinigungsleistung pro Situs die folgenden Häufigkeitsverteilungen:

Tabelle 5.25.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in fünf Kategorien, bei Zahnbürste EXPER S für das Zahnfeld B mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

EXPER S	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. ($p=0,05$)
(0 - 20)	11	0	1	7	3	0	n.m.	
(21 - 40)	27	0	2	20	5	0	0,00	nein
(41 - 60)	45	0	2	35	8	0	0,12 ¹	nein
(61 - 80)	30	1	2	25	2	0	0,75 ¹	nein
(81 - 100)	13	0	1	8	4	0	1,73 ¹	nein
gesamt	122	1	8	95	22	0		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb. 5.19.. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.24.

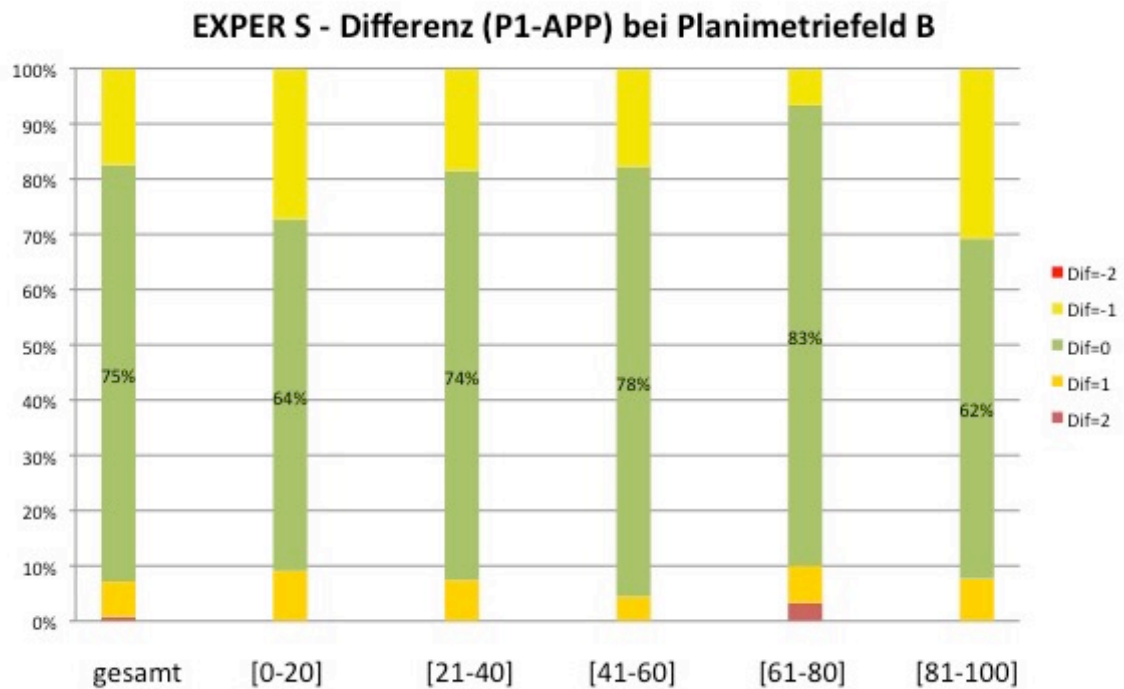


Abb. 5.22.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in sechs Kategorien bei Zahnbürste EXPER S für das Zahnfeld B.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.25.

Der Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und APP unterscheidet sich in keiner getesteten Kategorie signifikant von derjenigen bei Gesamtbetrachtung aller Situs.

5.4.1.3 Risikozahnfeld F (EXPER S)

Tabelle 5.26.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in fünf Kategorien, bei Zahnbürste EXPER S für das Zahnfeld F mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

EXPER S	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. (p=0,05)
(0 - 20)	11	0	0	11	0	0	n.m.	
(21 - 40)	27	0	0	26	1	0	3,93	ja
(41 - 60)	44	0	0	37	6	1	0,56 ¹	nein
(61 - 80)	29	0	1	17	11	0	8,77	ja
(81 - 100)	11	0	1	7	3	0	n.m.	
gesamt	122	0	2	98	21	1		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb. 5.19.. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.24.

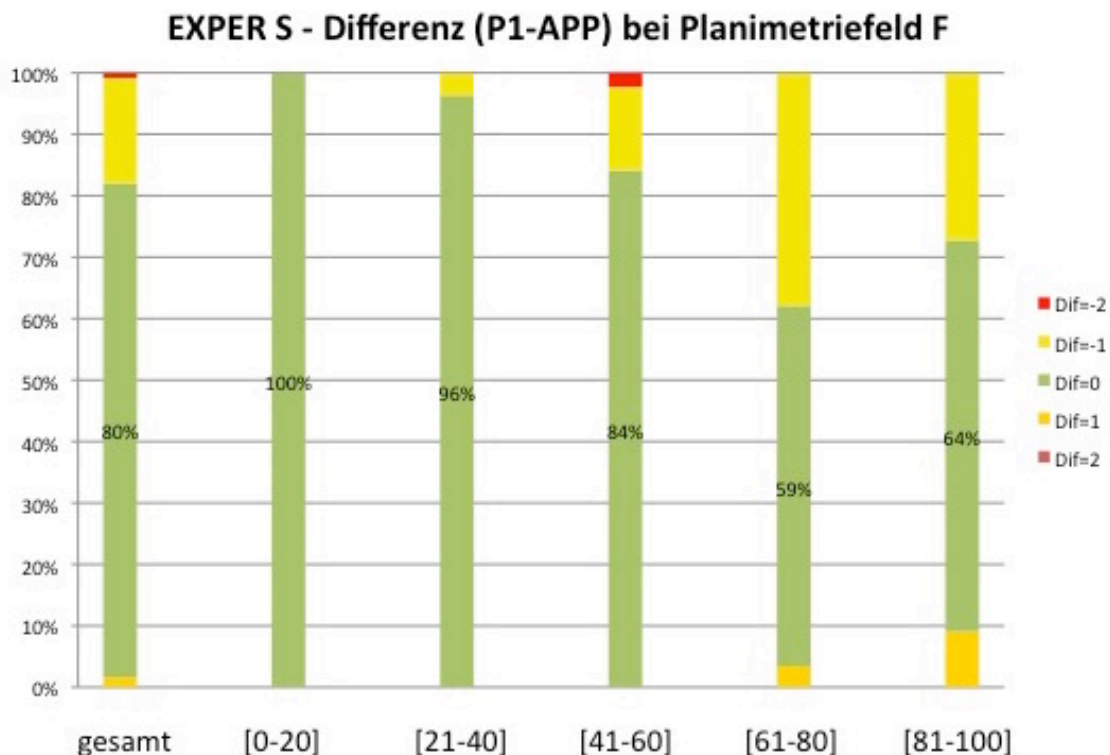


Abb. 5.23.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in sechs Kategorien bei Zahnbürste EXPER S für das Zahnfeld F.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.24.

In der Kategorie [21 - 40], 21 Prozent < EXPER S < 40 Prozent, ist der Grad der Übereinstimmung von P1 und APP signifikant höher als in der Gesamtbetrachtung und in der Kategorie [61 - 80], 61 Prozent < EXPER S < 80 Prozent, dagegen signifikant niedriger. Bei zwei Kategorien kann aufgrund der geringen Beobachtungszahl keine statistisch abgesicherte Aussage getroffen werden.

Insgesamt lässt sich für die Zahnbürste EXPER S beobachten, dass der Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und APP an den Risikozahnfeldern mit steigender Reinigungsleistung am entsprechenden Situs abnimmt. Da jedoch aufgrund der geringen Schwankungsbreiten in der Häufigkeitsverteilung nur wenige statistische Tests zur Absicherung dieser These durchführbar waren, sollte dieses Ergebnis entsprechend vorsichtig interpretiert werden.

5.4.2 Zahnbürste SENSITIVE

Für die Zahnbürste SENSITIVE liegen die Daten für jeweils 9 Zähne mit je 2 Situs (lingual und bukkal) und 5 Durchläufen vor. Der maximale Stichprobenumfang beträgt $n=90$. Abbildung 5.26. zeigt die Häufigkeitsverteilung für die Reinigungsleistung pro Situs.

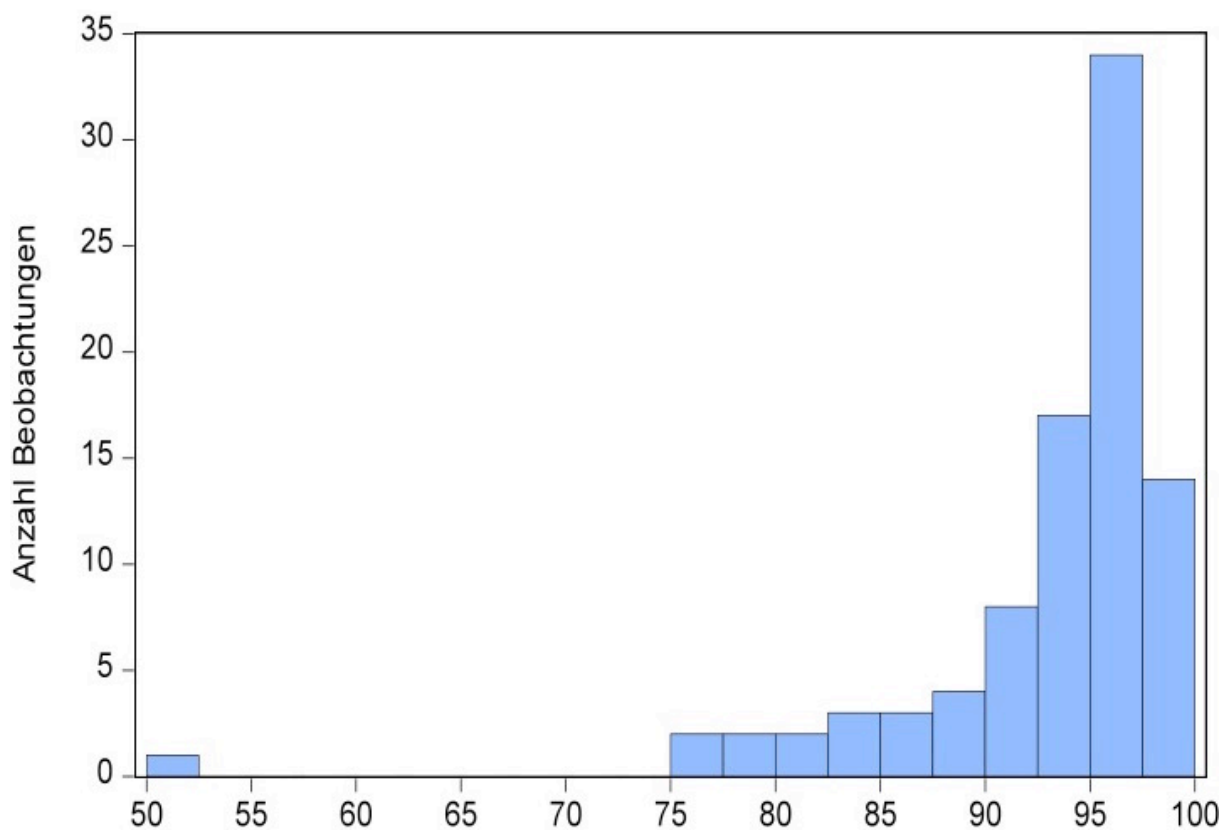


Abb. 5.26.: Häufigkeitsverteilung der prozentualen Reinigungsleistung pro Situs für die Zahnbürste SENSITIVE.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: $n=90$. Abszisse: Reinigungsleistung in %. Ordinate: Anzahl Beobachtungen.

Die Zahnbürste SENSITIVE zeichnet sich durch eine extrem hohe Reinigungsleistung aus, was sich in den Zahlen für die Reinigungsleistung pro Situs widerspiegelt: Der Mittelwert für diese Datenreihe liegt bei 92,99 und der Median bei 95,19. An keinem Situs liegt die Reinigungsleistung unter 50 Prozent, nur eine Beobachtung ist geringer als 75 Prozent. Aufgrund dieser extremen Verteilung ist eine Kategorisierung der Daten in mehr als 2 Kategorien (größer 90 Prozent (n=17) bzw. kleiner 90 Prozent (n=73)) nicht sinnvoll.

Die Differenzen zwischen der Bewertung der einzelnen Zahnfelder durch den Beobachter P1 und der APP für die einzelnen Risikozahnfelder A bis D und F werden in Abbildung 5.27. dokumentiert.

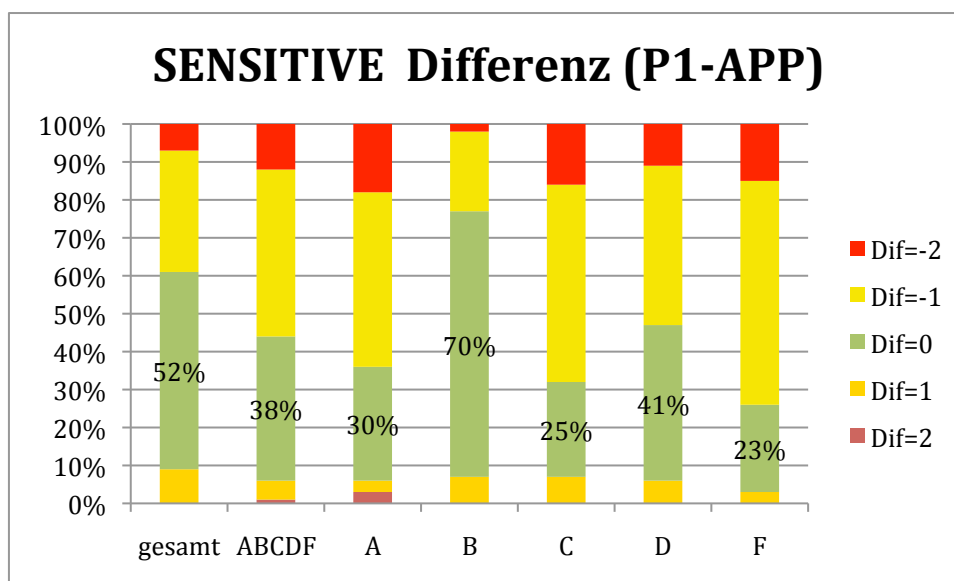


Abb. 5.27.: Prozentual dargestellte Differenzen in der Bewertung von P1 und APP bei Zahnbürste SENSITIVE für alle Felder, die Risiko-Zahnfelder ABCDF und jedes Risiko-Zahnfeld singular betrachtet.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: gesamt: n=805, ABCDF: n=445, A, B, D, F: n=90. C: n=85.

Im Gegensatz zur Zahnbürste EXPER S, bei der sich ein sehr homogenes Bild ergab, gibt es bei der Zahnbürste SENSITIVE deutliche Schwankungen im Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und APP in Abhängigkeit vom jeweils betrachteten Risikozahnfeld. Es fällt ebenfalls auf, dass bei der Zahnbürste SENSITIVE mit sehr hoher Reinigungsleistung der Grad an Übereinstimmung generell deutlich unter demjenigen der Zahnbürste EXPER S mit einem niedrigeren Reinigungsgrad liegt. Die folgende Analyse soll klären, ob der Grad an Übereinstimmung sich mit wechselnder Reinigungsleistung des entsprechenden Situs signifikant verändert.

5.4.2.1 Risikozahnfeld A (SENSITIVE)

Die Datenreihe mit den Reinigungsleistungen pro Situs wurde in 2 Kategorien aufgeteilt, die der Tabelle 5.27. zu entnehmen sind. Hinsichtlich der Differenzen (P1-APP) ergeben sich in diesen Kategorien folgende Häufigkeitsverteilungen:

Tabelle 5.27.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in zwei Kategorien, bei Zahnbürste SENSITIVE für das Zahnfeld A mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

SENSITIVE	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. (p=0,05)
(50 - 90)	17	0	0	0	9	8	7,08 ¹	ja
(91 - 100)	73	3	3	27	32	8	1,63 ¹	nein
gesamt	90	3	3	27	41	16		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb 5.26.: Reinigungsleistung Situs in %. χ^2 -Tests der Nullhypothese „Verteilung der Merkmalshäufigkeiten in der Kategorie von SENSITIVE entspricht derjenigen in der Gesamtheit“ gegen die Alternativhypothese „Ungleiche Verteilung der Häufigkeiten“. sign. (p=0,05)=ja: Ablehnung der Nullhypothese „Gleiche Verteilung der Häufigkeiten“ bei p=0,05 möglich. $\chi^2 = n.m.$: Ermittlung des Testwertes nicht möglich. Testwert¹ : Die Differenzen ungleich 0 wurden für den Test zu einer Kategorie zusammengefasst. Kritischer Wert der χ^2 -Verteilung (p=0,05, df=1)=3,84.

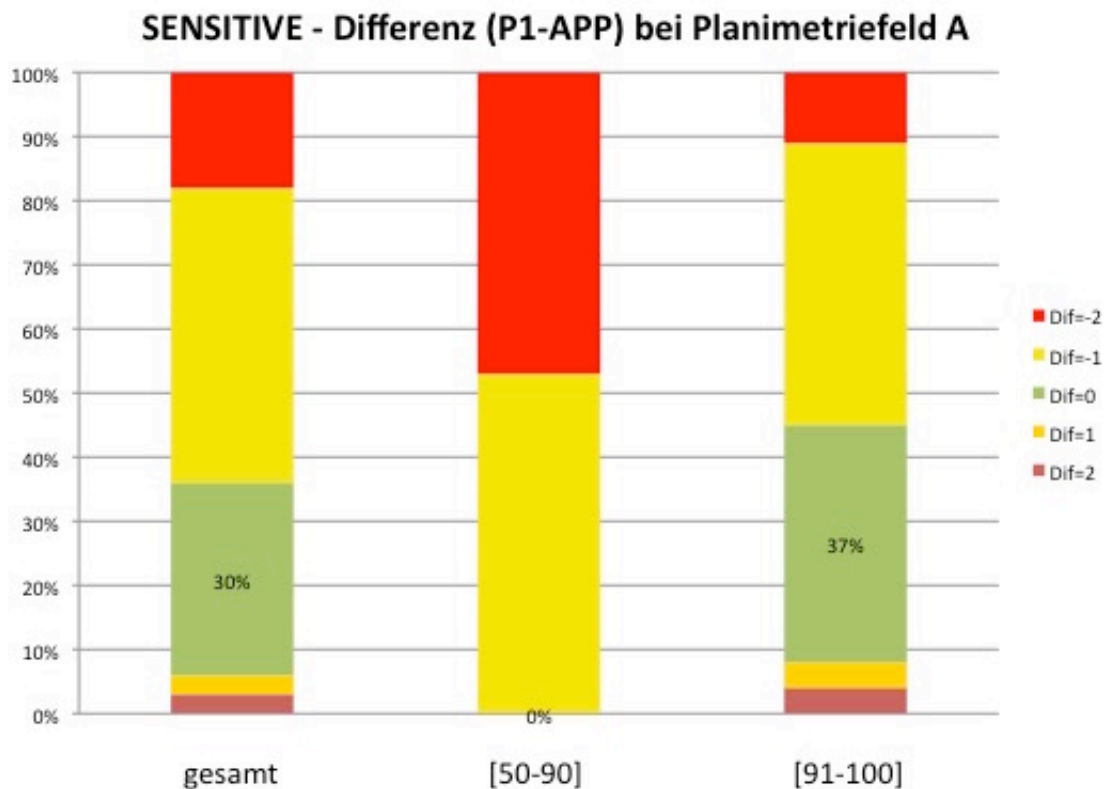


Abb. 5.28.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in drei Kategorien bei Zahnbürste SENSITIVE für das Zahnfeld A.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.27.

Für die Reinigungsleistung pro Situs von mehr als 90 Prozent ergibt sich für das Risikozahnfeld A eine Übereinstimmung zwischen P1 und APP, die leicht höher liegt als in der Gesamtbetrachtung (30 vs. 37 Prozent). Der χ^2 -Test bewertet diesen Unterschied bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 Prozent allerdings als nicht signifikant. Bei den Zahnflächen, bei denen eine Reinigungsleistung von weniger als 90 Prozent vorliegt, kommt es jedoch zu einer signifikanten Abweichung vom Gesamtergebnis. In keinem der 17 Fälle gibt es für das Zahnfeld A eine Übereinstimmung zwischen P1 und APP. Der Beobachter P1 vergab in allen Fällen einen niedrigeren Planimetrie-Index für das Zahnfeld A als die APP (in fast der Hälfte der Beobachtungen lag dieser sogar um zwei Indexwerte niedriger).

5.4.2.2 Risikozahnfeld B (SENSITIVE)

Hinsichtlich der Differenzen (P1-APP) ergeben sich für das Risikozahnfeld B in den Kategorien der Reinigungsleistung pro Situs folgende Häufigkeitsverteilungen:

Tabelle 5.28.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in zwei Kategorien, bei Zahnbürste SENSITIVE für das Zahnfeld B mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

SENSITIVE	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. (p=0,05)
(50 - 90)	17	0	0	8	7	2	4,53 ¹	ja
(91 - 100)	73	0	6	55	12	0	1,04 ¹	nein
gesamt	90	0	6	63	19	2		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb 5.26.. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.27.

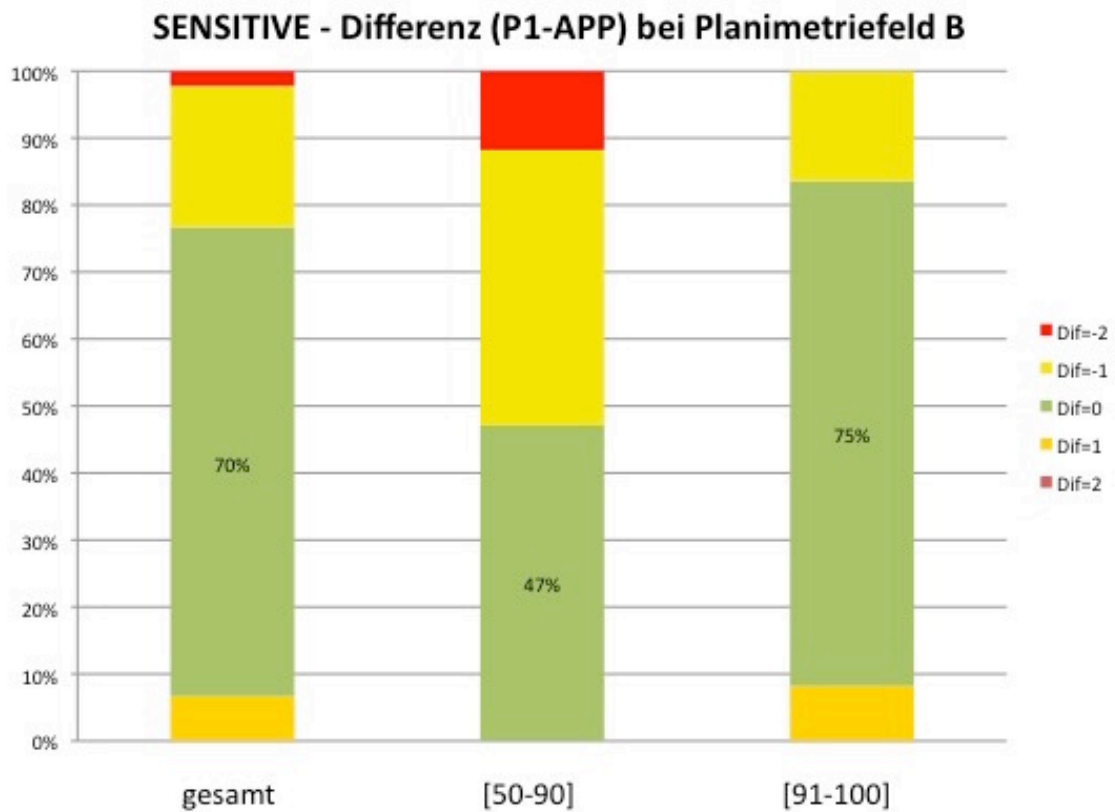


Abb. 5.29.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in drei Kategorien bei Zahnbürste SENSITIVE für das Zahnfeld B.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.28.

Auch für Zahnfeld B gilt, dass der Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und APP signifikant vermindert ist, wenn die Reinigungsleistung auf der gesamten untersuchten Zahnfläche geringer als 90 Prozent ist.

5.4.2.3 Risikozahnfeld F (SENSITIVE)

Tabelle 5.29.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in zwei Kategorien, bei Zahnbürste SENSITIVE für das Zahnfeld F mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

SENSITIVE	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. (p=0,05)
(50 - 90)	17	0	0	2	4	11	n.m.	
(91 - 100)	73	0	3	19	49	2	0,31 ¹	nein
gesamt	90	0	3	21	53	13		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb 5.26.. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.27.

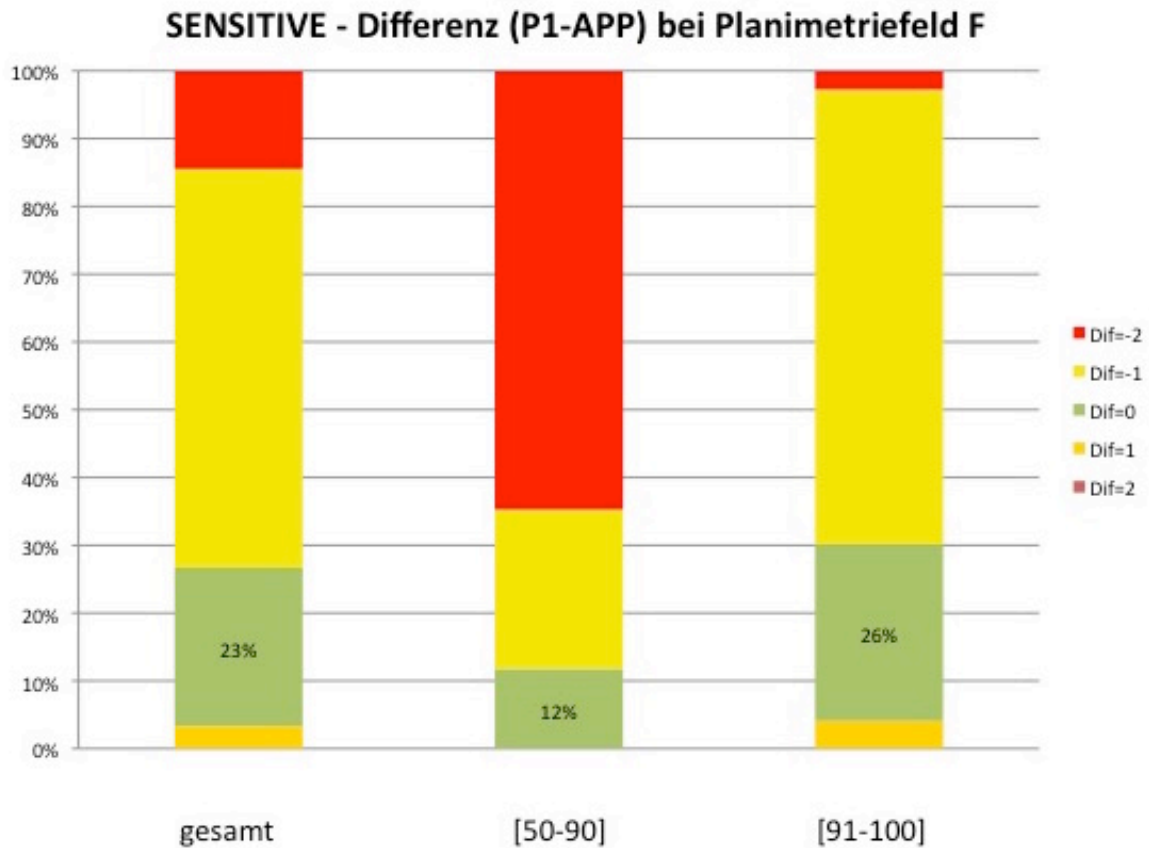


Abb. 5.30.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in drei Kategorien bei Zahnbürste SENSITIVE für das Zahnfeld F.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.29.

Der Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und APP ist beim Risikozahnfeld F insgesamt sehr niedrig. Aufgrund der geringen Beobachtungszahl ist für die niedrige Kategorie der Reinigungsleistung pro Situs kein statistisch abgesicherter Unterschied zum Gesamtbefund auszumachen.

Insgesamt lässt sich für die Zahnfelder A, B und F der Zahnbürste SENSITIVE festhalten, dass eine übereinstimmende Bewertung von P1 und APP besser an den Situs gelingt, die eine hohe Reinigungsleistung aufweisen. Bei Situs mit geringerer Reinigungsleistung vergibt Auswertungsperson P1 im Vergleich zur APP kleinere Indexwerte

5.4.3 Kinderzahnbürste JUNIOR

Für die Zahnbürste JUNIOR liegen die Daten für jeweils 7 Zähne mit je 2 Situs (lingual und bukkal) und 7 Durchläufen vor. Der maximale Stichprobenumfang beträgt $n=98$. Abbildung 5.31. zeigt die Häufigkeitsverteilung für die Reinigungsleistung pro Situs.

Auf Grund des neuen Planimetrischen Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) wurden die zwei Risikofelder B und E festgelegt.

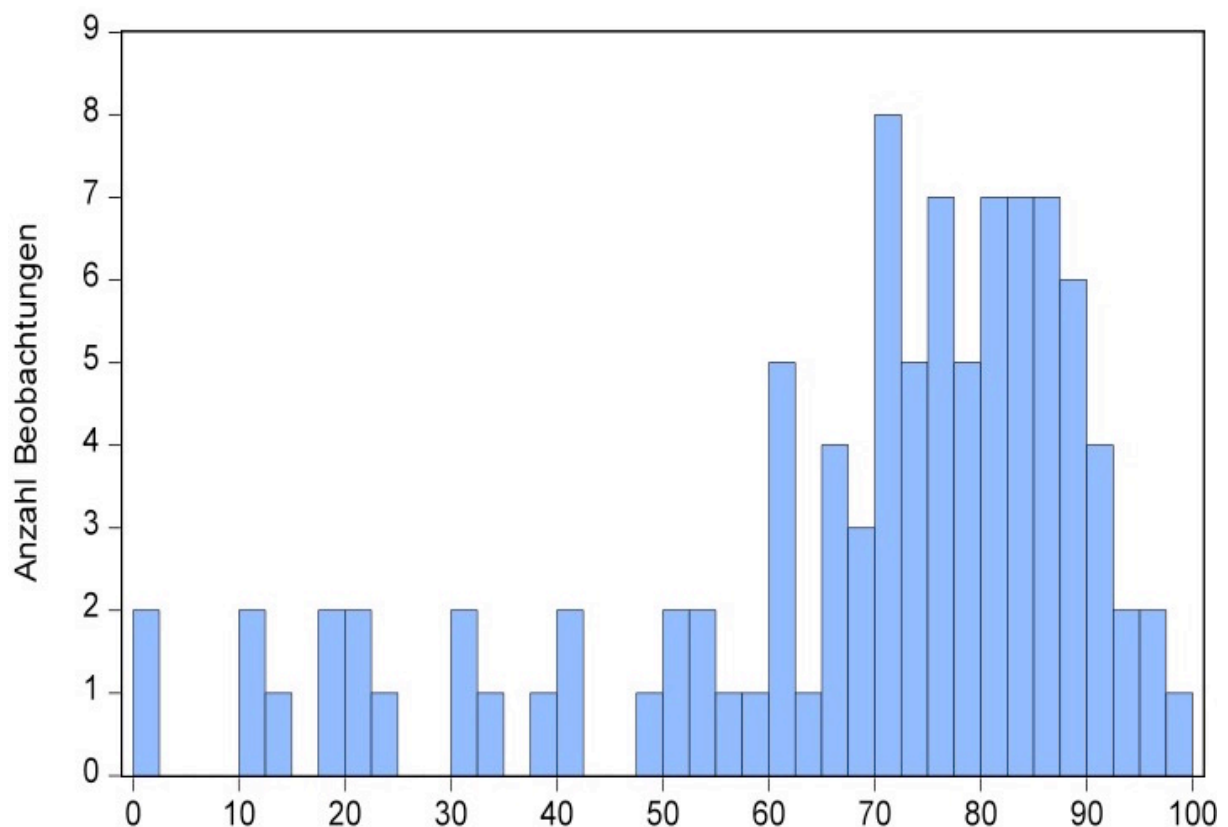


Abb. 5.31.: Häufigkeitsverteilung der Reinigungsleistung in Prozent pro Situs für die Zahnbürste JUNIOR.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: $n=97$. Abszisse: Reinigungsleistung in %. Ordinate: Anzahl Beobachtungen.

Der Mittelwert für die Reinigungsleistung pro Situs liegt bei 67,80 Prozent, der Median hat den Wert 74,12.

Die Differenzen zwischen der Bewertung der einzelnen Zahnfelder durch den Beobachter P1 und der APP für die einzelnen Zahnfelder A bis E werden in Abbildung 5.32. dokumentiert.

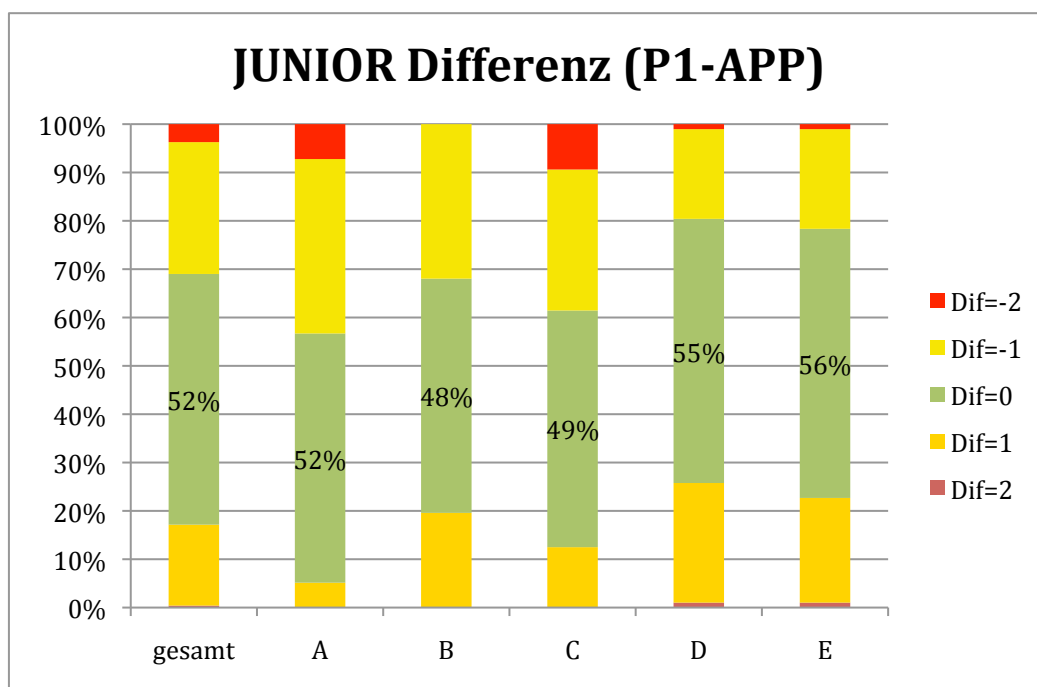


Abb. 5.32.: Prozentual dargestellte Differenzen in der Bewertung von P1 und APP bei Zahnbürste JUNIOR für alle Felder und jedes Zahnfeld singular betrachtet.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: gesamt: n=484, ABDE: n=97, C: n=96.

Der Grad der Übereinstimmung zwischen dem Beobachter P1 und der APP variiert zwischen den einzelnen Zahnfeldern nur leicht. Die folgende Analyse soll klären, ob es bei den Risikozahnfeldern B und E der Kinderzahnbürste JUNIOR zu Schwankungen im Grad der Übereinstimmung in Abhängigkeit von der Reinigungsleistung am gesamten Situs kommt

5.4.3.1 Risikozahnfeld B (JUNIOR)

Die Kategorisierung der Reinigungsleistung pro Situs für die Kinderzahnbürste JUNIOR kann wie bei der Zahnbürste EXPER S vorgenommen werden. Die Gesamtbeobachtungen teilen sich in 5 Kategorien in Abständen von jeweils 20 Prozent auf. Hinsichtlich der Differenzen (P1-APP) ergeben sich in diesen Kategorien folgende Häufigkeitsverteilungen:

Tabelle 5.30.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in fünf Kategorien, bei Zahnbürste JUNIOR für das Zahnfeld B mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

JUNIOR	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. (p=0,05)
(0 - 20)	7	0	0	5	2	0	n.m.	
(21 - 40)	7	0	1	3	3	0	n.m.	
(41 - 60)	9	0	3	4	2	0	n.m.	
(61 - 80)	38	0	4	19	15	0	2,09	nein
(81 - 100)	36	0	11	16	9	0	3,09	nein
gesamt	97	0	19	47	31	0		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb. 5.31.: Reinigungsleistung Situs in %. χ^2 -Tests der Nullhypothese „Verteilung der Merkmalshäufigkeiten in der Kategorie von JUNIOR entspricht derjenigen in der Gesamtheit“ gegen die Alternativhypothese „Ungleiche Verteilung der Häufigkeiten“. sign. (p=0,05)=ja: Ablehnung der Nullhypothese „Gleiche Verteilung der Häufigkeiten“ bei p=0,05 möglich. χ^2 = n.m.: Ermittlung des Testwertes nicht möglich. Testwert¹ : Die Differenzen ungleich 0 wurden für den Test zu einer Kategorie zusammengefasst. Kritischer Wert der χ^2 -Verteilung (p=0,05, df=1)=3,84, (p=0,05, df=2)=5,99.

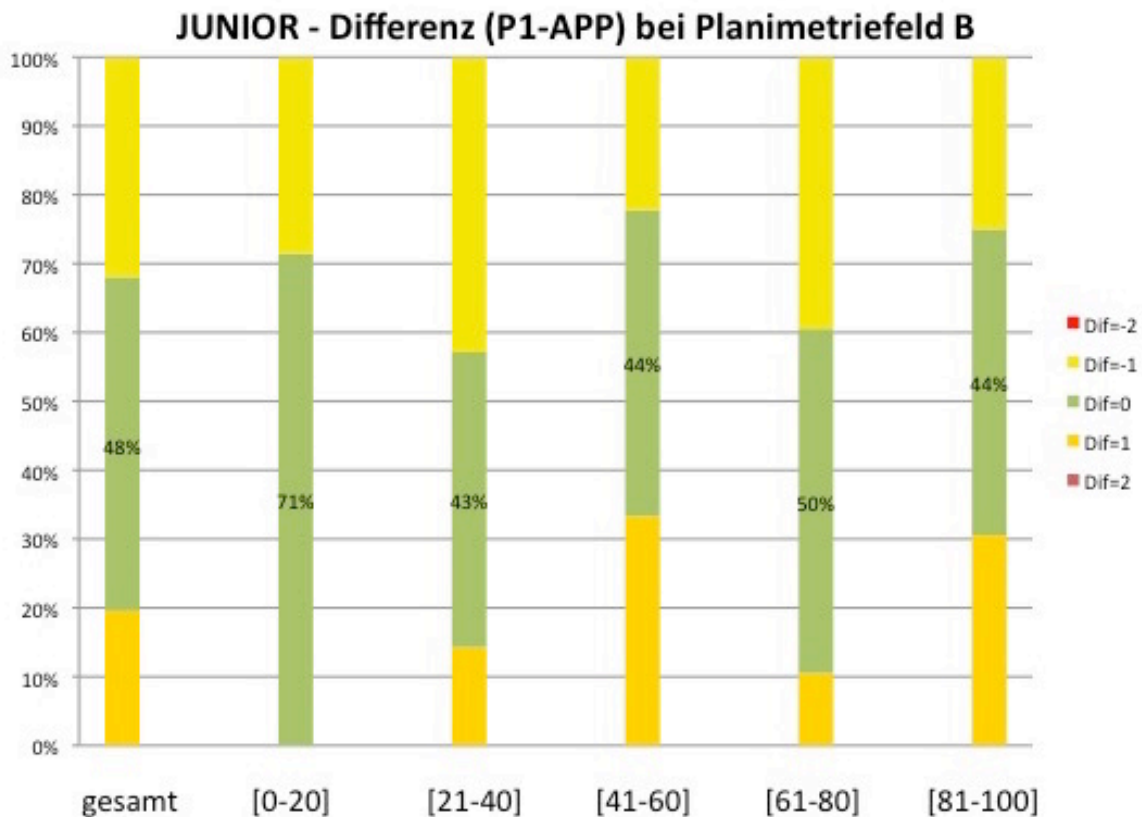


Abb. 5.33.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in sechs Kategorien bei Zahnbürste JUNIOR für das Zahnfeld B.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.30.

Ein Test auf signifikante Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung der Differenzen (P1-APP) ist nur für die beiden Kategorien mit einer hohen Reinigungsleistung pro relevantem Situs möglich. Hier kommt der Test zu dem Ergebnis, dass bei einem Signifikanzniveau von 5 Prozent die Nullhypothese einer gleichen Häufigkeitsverteilung in der untersuchten Kategorie und in der Gesamtheit nicht abgelehnt werden kann. Für die Bewertung des Risikozahnfeldes B spielt es also keine Rolle, ob der Situs gut oder schlecht gereinigt ist.

5.4.3.2 Risikozahnfeld E (JUNIOR)

Hinsichtlich der Differenzen (P1-APP) ergeben sich für das Risikozahnfeld E in den Kategorien der Reinigungsleistung pro Situs folgende Häufigkeitsverteilungen:

Tabelle 5.31.: Häufigkeitsverteilungen der durch die APP ermittelten prozentualen Reinigungsleistung in zwei Kategorien, bei Zahnbürste JUNIOR für das Zahnfeld E mit Berücksichtigung der Differenzen und des Signifikanztests zwischen P1 und APP.

JUNIOR	n	Dif=2	Dif=1	Dif=0	Dif=-1	Dif=-2	χ^2	sign. (p=0,05)
(0 - 20)	7	0	0	5	2	0	n.m.	
(21 - 40)	7	0	0	5	2	0	n.m.	
(41 - 60)	9	0	1	7	0	1	n.m.	
(61 - 80)	38	0	5	19	14	0	5,82	nein
(81 - 100)	36	1	15	18	2	0	9,90	ja
gesamt	97	1	21	54	20	1		

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Abb 5.31.. Weitere Erläuterungen siehe Tabelle 5.30.

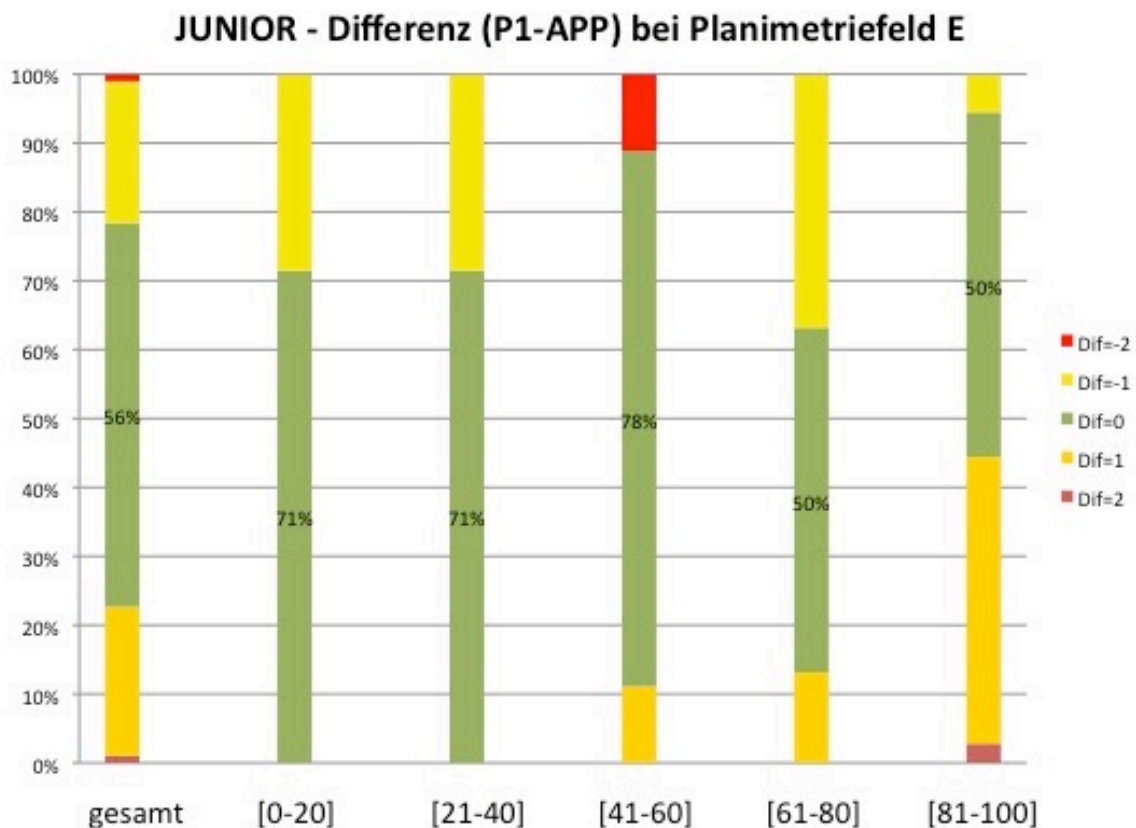


Abb. 5.34.: Prozentual dargestellte Differenzen von P1 und APP in sechs Kategorien bei Zahnbürste JUNIOR für das Zahnfeld E.

Erläuterungen: Stichprobenumfang: siehe Tabelle 5.31.

Auch für Zahnfeld E können χ^2 -Tests lediglich für die beiden höchsten Kategorien durchgeführt werden. Fasst man die ersten beiden Kategorien zusammen (JUNIOR [0-20] und [21-40]), so sagt der zugehörige χ^2 -Testwert aus, dass sich diese Kategorie hinsichtlich der Bewertungsunterschiede nicht signifikant von der gesamten Datenmenge unterscheidet.

Für die Kategorie [61-80] kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um zufällig entstandene Bewertungsunterschiede im Vergleich zur Gesamtheit handelt. Bei den Situs, bei denen eine Reinigungsleistung von mehr als 80 Prozent erreicht

wurde, kommt der Test allerdings zu dem Ergebnis, dass die vorliegenden Bewertungsunterschiede zu groß sind, als dass sie zufällig entstanden sein könnten. Für Zahnfeld E existiert somit ein signifikanter Unterschied zwischen dem gesamten Bewertungsunterschieden und denjenigen, die bei einer hohen Reinigungsleistung am relevanten Situs resultieren. Wie die Abbildung 5.34. zeigt, kommt es bei einer Reinigungsleistung pro Situs von mehr als 80 Prozent signifikant häufiger zu Bewertungen der Auswertungsperson P1, die höher als die Indizes der APP ausfallen.

6 Diskussion

Mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie wurde beabsichtigt, ein Verfahren unter quasi-klinischen Verhältnissen zu evaluieren, mit welchem man durch standardisierte Voraussetzungen die Putzeffektivität von Mundhygieneprodukten bzw. Zahnbürsten unter *in-vitro* Bedingungen beurteilen und vergleichen kann.

Mit der sogenannten Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) wurde sowohl an permanenten Zähnen als auch an Milchzähnen eine Untersuchung durchgeführt, um die Vergleichbarkeit mit der quasi-klinischen Beobachtung zu evaluieren.

Um die quasi-klinische Validierung für Hand-, Kinder- und elektrische Zahnbürsten durchzuführen, wurden die Zähne 33 bis 48 am künstlichen Kiefermodell für das permanente Gebiss, sowie 73 bis 46 am künstlichen Kiefermodell für das Wechselgebiss verwendet.

In der gesamten Studie wurden 3 Zahnbürstentypen mit 9 Zahnbürstenmodellen (4 elektrische Erwachsenenzahnbürsten, 3 Handzahnbürsten und 2 Kinderzahnbürsten) an insgesamt 53 künstlichen Kiefermodellen getestet. Beispielhaft wurden im Ergebnistext dieser Arbeit jeweils ein Zahnbürstentypen dargestellt, die restlichen Analysen folgen im Anhang.

Die Validierung des Putzroboters wurde bereits von Staufer (2011) und Fleuter (2015) durchgeführt. Um eine quasi-klinische Validierung der APP zu gewährleisten, musste der umgekehrte Beweis gebracht werden.

Vor dem Einspannen der verwendeten Kunststoffzähne in die APP wurden diese mit Hilfe klinisch-intraoraler Fotografie bewertet. Diese Bewertung erfolgte blind und durch zwei voneinander unabhängige Auswertungspersonen, welche ebenfalls verblindet waren.

Die Daten der APP, welche grundsätzlich in Pixelprozent angegeben werden, wurden korrekterweise in einen Klinikwert (0, 1 oder 2) übersetzt und somit entstanden drei voneinander unabhängig erhobene Datensätze, welche für die Statistik formatiert und in Datentabellen geordnet wurden.

Die Übereinstimmung bzw. Nichtübereinstimmung der Analysen für die gesamten -, bukkalen -, lingualen - und Risikozahnfelder (ABCDF/ABC) war hinreichend genau, um die Bestimmungsgenauigkeit von subjektiven und nichtsubjektiven (d.h. computergenerierten) Daten zu vergleichen.

6.1 Methodik

Um die quasi-klinische Validierung der APP unter einem möglichst differenzierten Reinigungsspektrum durchführen zu können, wurden in dieser Studie insgesamt 9 unterschiedliche Zahnbürsten verwendet (4 elektrische, 3 Handzahnbürsten und 2 Kinderzahnbürsten).

Die vorgestellte Methode ermöglicht es, die permanenten Zähne 33 bis 48 sowie die Milchzähne 73 bis 85 hinsichtlich ihres Reinigungsgrades zu beurteilen. Dabei ist es in diesem Versuchsaufbau (Materialien, Putzroboter und Auswertung) gelungen, zahlreiche Parameter zu standardisieren, die unter klinischen Verhältnissen nicht ausnahmslos möglich sind.

Dies betrifft unter anderem folgende Parameter:

- industriell hergestellte anatomische Kunststoffzähne
- gleichmäßiger Plaquefilm auf den Kunststoffzähnen
- regulierbarer und gleichmäßiger Anpressdruck
- definierte vorprogrammierte Putzzyklen
- reproduzierbare Reinigung der Kunststoffzähne durch den Putzroboter
- individuelle Zahnträger für KAVO- und Frasaco Kunststoffzähne
- homogene Lichtverhältnisse in der Dunkelkammer
- identischer Fokus der Kamera
- nahezu identische Position der Zähne im Fokus der Kamera
- reproduzierbare Bewertung der Pixelpunkte auf den Zahnflächen

Im Gegensatz zu der menschlichen interindividuellen anatomischen Varianz der Zahnkronenmorphologie kann man bei den industriell hergestellten anatomischen

Kunststoffzähnen der Firma KaVo (Biberach/Riß, Deutschland) und Frasaco (Tettngang, Deutschland) von nahezu identischen Voraussetzungen ausgehen. Somit sind die Kunststoffzähne für die durchgeführte Evaluation sehr gut geeignet. Die Trocknungsapparatur gewährleistet auf Grund der immer gleichen Eindringtiefe in die Plaquesimulations-Substanz sowie der exakten Trocknungszeit von 300 Sekunden einen in Konsistenz sowie Dicke gleichmäßigen "*Plaquefilm*" auf dem Zahnbogen.

Durch den Drucksensor des Putzroboters ließ sich auch der Anpressdruck mit Hilfe des Anstellwinkels und der -tiefe auf einen stets gleichen Wert einstellen.

In der Literatur lassen sich unterschiedliche Angaben bezüglich des Anpressdrucks finden. Die dort angegebenen Werte schwanken dabei erheblich und liegen häufig zwischen 1,0 N und 5,0 N (Jaeggi et al. 1999). Untersuchungen konnten zeigen, dass keine bedeutsame Beziehung zwischen Anpresskraft und Reinigungswirkung bei unterschiedlichen Handzahnbürsten festzustellen ist (Van der Weijden et al. 1998).

Die in der vorliegenden Studie verwendeten Anpresskräfte entsprechen auch denen in der Literatur häufig erwähnten, von 92 bis 175 g bei elektrisch betriebenen Zahnbürsten und 318 bis 471 g bei Handzahnbürsten (Phaneuf et al. 1962, Fraleigh et al. 1967).

Auf Grund dieser Angaben, wurde der Anpresskraft bei den elektrischen Zahnbürsten mit 1,5 N, bei Handzahnbürsten mit 3,0 N und bei Kinderzahnbürsten mit 1,5 N bzw 6,0 N festgelegt.

Auf Grund des konkaven Bürstenfeldes der Kinderzahnbürste (STAGE 3) haben unter *in-vitro* Bedingungen bei einer Anpresskraft von 1,5 N nur ca. 25 Prozent der Borstenfilamente Kontakt zum Kraftmesser. Der vom Hersteller sogenannte *Powertip* (verlängerte Borstenfilamente am Kopf des Borstenfeldes) der STAGE 3 Zahnbürste verhindert diesen flächigen Kontakt. Durch eine Vervierfachung der Anpresskraft auf 6,0 N konnte ein flächiger Kontakt es Borstenfeldes realisiert werden. Somit ist die Reinigungseffektivität der beiden Kinderzahnbürsten unter diesen Bedingungen nicht direkt vergleichbar, jedoch ist dies auch nicht das primäre Ziel dieser Arbeit.

Zudem sprechen einige Studien der Anpresskraft einen geringeren Stellenwert zu. Nach McCracken et al. (2003) ist die Reinigungseffektivität ab einer Auflagekraft von mehr als 150 g relativ unabhängig von der Anpresskraft.

Van der Weijden et al. (1998) ordnet der Anpresskraft ebenfalls eine untergeordnete Rolle bei der Putzeffektivität zu.

Durch den Roboter, welcher einen fest definierten Putzbewegungsablauf für alle 3 Zahnbürstentypen durchführen kann, ist ein reproduzierbares Putzergebnis zu erwarten. Durch die definierte Programmierung des Roboters auf den Unterkiefer wurden in dieser Studie nur die Zähne 32-47 bzw. 72-85 und 46 verwendet. Das Unterkiefermodell, an dem die Validierung stattfindet, hat sich in vorangegangenen Arbeiten (wie in den Studien von Staufer 2011 oder Fleuter 2015) als geeignet erwiesen.

Im Wechselgebiss dauert der Putzzyklus exakt 15 Sekunden für die vestibulären - und 15 Sekunden für die lingualen Zahnflächen des vierten Quadranten. Hochgerechnet könnte somit die allgemein angestrebte Gesamtputzdauer von mind. 2 Minuten für das gesamte Gebiss erreicht werden (Zimmer et al. 2011). Am permanenten Modell dauert jeder Putzzyklus exakt 15 Sekunden für die vestibulären - und 15 Sekunden für die lingualen Zahnflächen.

Für die permanenten Zähne folgt die Fotodokumentation der Zahnbögen durch den Beobachter aus insgesamt 6 Perspektiven (3 lingual und 3 vestibulär) unter Zuhilfenahme einer handelsüblichen, auflösungsstarken Spiegelreflexkamera (Modell D70) der Firma Nikon (Düsseldorf, Deutschland), wie sie auch bei der klinischen intraoralen Dokumentation standardmäßig Verwendung findet. Bei den Milchzähnen wird mit Hilfe der Intraoralkamera SporoLife (Acteon, Mettmann, Deutschland) jeder Zahn sowohl von bukkal als auch von lingual im Zahnbogen fotodokumentiert.

Nach Einrichtung der APP wurde jeder Zahn einzeln mit Spezialhalterungen in einer vorgeschriebenen Ausgangsposition in der Einheit befestigt. Die darauffolgende Dokumentation und Analyse der Zahnflächen durch die APP erfolgt komplett automatisiert. Sowohl die quasi-klinische als auch die automatisierte Auswertung basiert bei Zähnen der permanenten Dentition auf dem modifizierten Navy-Plaque-Index nach Claydon and Addy (1995), der von Lang et al. (2011) verfeinert wurde,

und bei Zähnen des Milch- bzw. Wechselgebisses findet die neu entwickelte Erweiterung des Navy-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) Anwendung.

Die Auswertung der beiden quasi-klinischen Aufnahmentypen erfolgt zeitlich versetzt am Notebook mit der entsprechenden Software. Für die Auswertung der Intraoralkameraaufnahmen stellte freundlicherweise Acteon (Mettmann, Deutschland) eine spezielle Software zur Verfügung.

Um eine klinische Fotodokumentation zu simulieren, findet weder bei den Spiegelreflex- noch bei den Intraoraltaufnahmen eine standardisierte Methode Anwendung. Bei den Aufnahmen mit der Spiegelreflexkamera war dies ohnehin nicht möglich, da jeweils nur Aufnahmen aus drei Perspektiven für den vestibulären und aus drei Perspektiven für den lingualen Situs angefertigt wurden und aus diesem Grund nicht jeder Zahn orthoradial zu seiner Achse bildlich erfasst werden kann. Jedoch stellt sich dies auch im Milchgebiss unter Verwendung der Intraoralkamera als äußerst schwierig dar, weil die fehlende Übersicht während des Aufnahmevorgangs eine orthoradiale Aufnahme nicht immer ermöglicht.

So wird lediglich versucht, jeden Zahn bzw. jeden Zahnbogenabschnitt optimal für eine spätere Auswertung zu erfassen, wie bei einem klinischen Vorgehen auch verfahren wird. In dem hier beschriebenen Versuchsaufbau wurden lediglich die Zähne 47, 44, 41 und 31 sowohl von bukkal als auch von lingual orthoradial erfasst. Die Zähne 32, 42, 43 und 45 werden auf Grund der gebogenen Form des Zahnbogens zumeist leicht exzentrisch aufgenommen.

Weil durch die variierenden Aufnahmewinkel nicht jeder Zahn orthoradial zu betrachten ist, stellt sich die darauffolgende klinische Indexerhebung durch die Auswertungspersonen als kompliziert dar. Dies führt dazu, dass die Auswertungspersonen die imaginäre Planimetrieschablone unterschiedlich auf die Bilder projizieren, weil nicht jede Zahnfläche gleich gut einsehbar ist oder die anatomischen Bezugspunkte different interpretiert werden können.

Dies spiegelt sich auch in der Analyse der stark unterschiedlich bewerteten Zahnfelder wider. Dort sind die Zähne 42, 43 und 45 gehäuft aufgeführt (vgl. Tabelle 5.9. und Tabelle 5.16.)

Die APP hingegen gewährleistet durch die individuellen, für die jeweiligen Frasco- bzw. KaVo-Kunststoffzähne angefertigten Zahnträger, jeweils immer die gleiche Position dieser. Die Zahnträger sind auf dem Schlitten befestigt, wodurch sich eine reproduzierbare Bewegung der Zähne im Fokus der Kamera durchführen lässt und im Anschluss wird eine reproduzierbare Beurteilung der Putzeffektivität durch die APP ermöglicht (Gängler et al. 2013). Neben den vestibulären und oralen Zahnflächen gelingt es der APP zudem, die mesialen und distalen Flächen zu bewerten. Diese sind in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht berücksichtigt worden.

Bezüglich der wiederkehrenden, gleichmäßigen Erfassung der Zahnflächen ist eine exaktere Projektion der Schablone auf die Zähne möglich und die APP kann gegenüber der klinischen Fotodokumentation als überlegen angesehen werden. Jedoch müssen dafür alle Schritte, wie in Kapitel 3 beschrieben, durchgeführt und eingehalten werden. Wurde der Zahn nicht korrekt in dem Zahnträger befestigt, war der Zahn oder Zahnträger leicht rotiert oder sogar in falscher Position in der APP befestigt, werden falsche Werte erhoben und die Daten der Auswertung wären nicht verwertbar.

Vor der klinischen Indexerhebung am Computer wurden beide Auswertungspersonen (P1 und P2) durch eine dritte Person kalibriert. Diese dritte Person hatte durch bereits viele durchgeführte Studien bei der Verwendung des Navy-Plaque-Index auf künstlichen Zähnen eine hohe Expertise, darüber hinaus auch mit der Modifikation nach Lang et al. (2011). In einer zweiten Kalibrierungsstufe wurden die beiden Auswertungspersonen von Prof. Dr. Dr. h.c. Gängler kalibriert. Während des gesamten Auswertungszeitraums kalibrierten sich die Auswertungspersonen P1 und P2 in regelmäßigen Abständen gegenseitig. Dass die Kalibrierung am permanenten Gebiss erfolgreich verlaufen ist, zeigen im besonderen Maße die bivariaten Vergleiche der Zahnbürsten PRECISSION CLEAN - WHITENING (gesamt), bei denen eine Übereinstimmung zwischen 79 und 90 Prozent erzielt werden konnte. Bei den lingualen Werten der Zahnbürsten INTERDENTAL - WHITENING ließ sich sogar eine Übereinstimmung von 90 bis 95 Prozent statistisch nachweisen. Bei den permanenten Zähnen wurden im Mittelwert 85 Prozent der Gesamtanzahl der

Zahnfelder von beiden quasi-klinischen Auswertungspersonen identisch bewertet. Das entspricht unter anderem den Resultaten aus den Untersuchungen über die intraindividuelle Varianz von Shaloub und Addy (2000).

Bei dem Wechselgebiss war die Übereinstimmung der beiden Auswertungspersonen nicht ganz so hoch. Sie lag bei 74 (STAGE 3) und 76 Prozent (JUNIOR) der Gesamtbeobachtungen. Durch die fehlende Übersicht während der Aufnahme wurde eine wiederkehrend axiale Erfassung der Zahnoberfläche erschwert. Dieser Umstand könnte bei der quasi-klinischen Auswertung der beiden Kinderzahnbürsten auch die erhöhte Abweichung zwischen den zwei menschlichen Auswertungspersonen erklären.

Die allgemeine Schwierigkeit bei der quasi-klinischen Auswertung am Notebook ist jedoch nicht nur auf die sich unterscheidende Einsicht der Zahnoberflächen zurückzuführen, sondern vielmehr auf die abweichende Interpretation der anatomischen Bezugspunkte (Zahnachse, Kontaktpunkte, Schmelzzementgrenze etc.) durch die zwei Auswertungspersonen P1 und P2. Trotz der gemeinsamen Kalibrierung ergibt sich für P1 und P2 weiterhin die Möglichkeit, die Zahnoberflächen unterschiedlich zu interpretieren und somit die Planimetrieschablone nicht kongruent darauf zu projizieren.

Aus diesem Grund haben die menschlichen Auswertungspersonen im Gegensatz zur APP die Dimensionen und Begrenzungen besonders der gingivalen - und approximalen Felder unterschiedlich ausgelegt. Dieses Phänomen war besonders bei den permanenten Zähnen zu beobachten, da hier die gingivalen und approximalen Planimetriefelder (ABCDF) definitionsgemäß besonders klein ausfallen.

Bei der Analyse durch die APP hingegen ist diese Möglichkeit der Fehlinterpretation der Strukturen ausgeschlossen.

Die Pixel-Zähl-Funktion der APP nach Gängler et al. (2013) und Lang et al. (2014) zur Auswertung der erfassten digitalen Fotos lässt das Reinigungsergebnis der einzelnen Putzzyklen dokumentieren. Auf diese Weise erhält man eine genaue

prozentuale Angabe über die gereinigte Zahnfläche. Die APP hat im Gegensatz zum menschlichen Betrachter nicht die Möglichkeit, die definierte Planimetriefelder an die Zahnmorphologie anzupassen, womit die APP gegenüber dem quasi-klinischen Auswertungsperson den Vorteil hat, dass eine Täuschung durch die Kronenmorphologie ausgeschlossen ist, denn jeder Zahn wird wiederkehrend mit der für ihn entsprechenden Schablone eingeteilt und ausgewertet. Dies birgt jedoch gleichzeitig den Nachteil, dass durch minimale Differenzen in der Positionierung des Zahnes in der APP die Schablone nicht mehr deckungsgleich auf die Zahnoberfläche projiziert werden kann.

Das bedeutet, dass wenn ein Zahn nicht richtig in der APP positioniert ist, kein exaktes Ergebnis zu erwarten ist, da die Schablone nicht deckungsgleich auf den Zahn projiziert werden kann.

Der menschliche Betrachter versucht hingegen kleine Differenzen des Aufnahmewinkels durch eine subjektive Interpretation auszugleichen, um somit eine Bewertung vornehmen zu können.

Die Subjektivität der menschlichen Beobachtung hat somit bei einer quasi-klinischen Auswertung einen Vorteil, jedoch muss sie unter standardisierten und exakten Bedingungen der objektiven Erhebung der APP unterliegen.

Die beschriebene Milchzahnplanimetrie der APP und der dabei verwendete Planimetrische Kinder-Plaque-Index für das Milch-/Wechselgebiss nach Lang und Gängler (2012) wurde bereits von Fleuter (2015) im Rahmen einer klinischen, randomisierten, verblindeten, crossover Studie eingesetzt und erweist sich als aussagekräftig, um die Reinigungsleistung von Kinderzahnbürsten zu beurteilen.

In der vorliegenden Studie wird dieser Index für das Milch- bzw. Wechselgebiss erstmalig im quasi-klinischen Vergleich evaluiert.

Durch die hohe Standardisierung des gesamten Vorgehens, bestehend aus Putzroboter und objektiver Auswertung durch die APP, kann dieses im Bezug auf eine klinische Plaque-Index-Methode als überlegen angesehen werden.

6.2 Planimetrischer Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012)

Es gibt eine Vielzahl von Plaqueindizes. Damit stellt sich die Frage, warum der Planimetrische Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) eingeführt werden sollte und inwiefern dieses sinnvoll ist. Bei der hier zu Grunde liegenden Kinderzahnbürstenstudie fiel auf, dass in der Literatur kein expliziter Plaqueindex für das Milch- bzw frühe Wechselgebiss Erwähnung findet. Folglich gibt es auch keinen favorisierten Index, welcher eine vergleichende Bewertung der Reinigungseffektivität von Mundhygieneprodukten im Milchgebiss ermöglicht.

Bis auf den von Lang und Gängler (2012) entwickelten Planimetrischen Kinder-Plaque-Index für das Milch-/Wechselgebiss finden alle in Kapitel 3.5. beschriebenen Indizes in der Literatur Verwendung, sind jedoch nicht ausschließlich bzw. explizit für das Milchgebiss konzipiert worden.

Der Planimetrische Kinder-Plaque-Index wurde in dieser quasi-klinischen Validierungsstudie erstmalig am Milch-/Wechselgebiss zur Effektivitätsbewertung von unterschiedlichen Kinderzahnbürsten verwendet.

Die gebräuchlichsten Plaqueindizes bei Kindern sind relativ einfach gehalten, wie zum Beispiel der häufig verwendete Visual Plaque Index (VPI). Vorteilhaft sind seine schnelle Erhebung sowie die Schmerzfreiheit. Ein Zahn wird lediglich mit einem dichotomen Entscheid bewertet und so auf die Mundhygiene des Patienten geschlossen. Für eine vergleichende Evaluation von Mundhygieneprodukten ist eine solche Einteilung aber eher ungeeignet. Auch wenn es zu einer Plaquereduktion kommt, so ist die Putzleistung nur bedingt vergleichbar, denn durch den "JA/NEIN - Entscheid" lässt sich zwar die Anwesenheit von Plaque, jedoch nicht der Grad der Verbesserung pro Zahnfläche bestimmen.

Ein kurzes Beispiel soll dies verdeutlichen:

Wäre ein Zahn nach Benutzung der Zahnbürste "X" komplett plaqueakkumuliert und nach Benutzung der Zahnbürste "Y" mit einer kleinen Plaqueinsel behaftet, so würden beide Zähne unverändert mit der Bewertung - "JA" - (Plaque vorhanden)

beurteilt und gingen jeweils mit 10% in die Gesamtbewertung ein. Zwar ist der Erfolg von Zahnbürste Y offensichtlich, jedoch gibt der Index durch seine geringe Sensibilität keine Auskunft darüber.

Der modifizierte Navy-Plaque-Index nach Rustogi et al. (1992) ist ein sehr empfindlicher und aussagekräftiger Plaqueindex, welcher sich in seinen Bewertungszonen auf die Bereiche unterhalb des Zahnäquators konzentriert.

In der Studie von Borutta (1997) wurden die definierten 9 Planimetriefelder des Navy Plaque-Index auf die im Vergleich zu der permanenten Dentition kleinen Milchzähne angewandt. Bei dem 2. Milchmolar ist eine Aufteilung der 9 Planimetriefelder unter Umständen möglich, jedoch erscheint dies bei einem Milchfrontzahn fast unmöglich.

Der von Lang und Gängler (2012) entwickelte Index lehnt an den NPI Index an und konzentriert sich ebenfalls auf den klinisch wichtigen gingivalen Bereich. Hinsichtlich der Tatsache, dass die Milchzähne im Schnitt bedeutend kleiner sind und eine Einteilung von 9 Feldern schwer umsetzbar ist, wurde der Index auf 5 Zahnfelder begrenzt.

Die Drittelung unterhalb des Zahnäquators ermöglicht es zudem, durch die Felder A und C den Approximalbereich mit in die Bewertung einfließen zu lassen. Durch die Einteilung in 3 Grade (0, 1 und 2) lassen sich auch mäßige Reinigungserfolge in einem Zahnfeld verfeinert darstellen.

Auf Grund dieser Einteilung ist diese entwickelte Modifikation des Indexes nach Lang und Gängler (2012) bedeutend empfindlicher und aussagekräftiger als die meisten anderen bei Kindern verwendeten Indizes. In der Studie von Fleuter (2015) zeigt sich zudem die gute klinische Durchführbarkeit dieses Index.

Auf Grund dessen kann der Planimetrische Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) für das Milch-/Wechselgebiss zur Effektivitätsbewertung von Mundhygieneprodukten als geeignet angesehen werden.

6.3 Ergebnisse

Bei der Analyse der Ergebnisse fällt auf, dass mit steigender Reinigungsleistung die Übereinstimmung zwischen den beiden quasi-klinischen Auswertungspersonen (P1 und P2) tendenziell zunimmt, gleichzeitig jedoch auch die Übereinstimmung der beiden quasi-klinischen Auswertungspersonen mit denen der APP tendenziell abnimmt.

Es stellt sich die Frage, wie ein solcher Zusammenhang entstehen kann.

Dabei soll zunächst der interindividuelle Vergleich erklärt werden.

Man kann drei mögliche Szenarien unterscheiden, die für die Auswertungsperson auftreten können, wovon die beiden ersten Szenarien relativ einfach zu bewerten sind.

- Szenario 1: Das Planimetriefeld ist komplett mit Plaque behaftet
⇒ es resultiert die Bewertung mit 2.

- Szenario 2: Das Planimetriefeld ist komplett gereinigte
⇒ es resultiert die Bewertung mit 0.

- Szenario 3: Das Planimetriefeld ist nur teilweise gereinigt
⇒ es stellen sich für die Auswertungsperson daraufhin 2 Fragen:
 1. Handelt es sich um Plaque oder um Reinigungsartefakte (diese fließen nicht in die Bewertung mit ein)?
 2. Sind mehr als 50% des Planimetriefeldes von Plaque bedeckt? ⇒ Es resultiert die Bewertung mit 2
Oder sind weniger als 50% des Planimetriefeldes von Plaque bedeckt? ⇒ Es resultiert die Bewertung mit 1

Jede dieser Fragen kann von einer Auswertungsperson unterschiedlich beantwortet werden, und infolgedessen kann auch die Auswertung abweichend ausfallen.

Folglich ist die Wahrscheinlichkeit bedeutend höher, dass bei einem sehr gut gesäuberten Situs (Mittelwert von unter 0,1 vergleiche SENSITIVE) die Übereinstimmung der beiden klinischen Auswertungspersonen (P1 und P2) größer ist als bei einem mäßig bis schlecht gereinigten Situs (Mittelwert bis 1,7 vergleiche PRECISSION CLEAN). Dadurch kann die zunehmende Übereinstimmung bei steigender Reinigungsleistung erklärt werden. Die Signifikanzanalysen kommen bei den gut gereinigten Situs der Zahnbürsten INTERDENTAL - WHITENING fast ausschließlich zu dem Ergebnis, dass die Nullhypothese bei dem Vergleich zwischen P1 vs. P2 nicht abgelehnt werden kann. Zudem zeigt auch der Cohen-Koeffizient eine gute (>0,6) bis sehr gute (>0,8) Übereinstimmung.

Dem gegenüber stehen jedoch die Analysen der Kinderzahnbürsten STAGE 3 und JUNIOR, die ergaben, dass bei schlechter gereinigtem Situs die Übereinstimmung zwischen P1 und P2 besser war. Jedoch sind die hier ermittelten Mittelwertdifferenzen der gesamten Zahnfelder zwischen den beiden Zahnbürsten nur sehr klein (STAGE 3 = 0,96 und JUNIOR = 1,13), sodass es sich um einen Zufallsbefund handeln kann.

Im Folgenden soll diskutiert werden, warum die Übereinstimmung der zwei Auswertungspersonen P1 und P2 mit der dritten Beobachtung der APP bei steigender Putzleistung tendenziell abnimmt.

Wie in Kapitel 3 beschrieben, funktioniert die APP mit einem Pixel-Zählmechanismus, sodass selbst kleinste Partikel von der Optik bzw. der Analysesoftware erfasst und erkannt werden können.

Bei den vorbereitenden Versuchen wurden zunächst neue, nicht mit Plaquesimulations-Substanz benetzte Zähne durch die APP analysiert. Trotz der unbehandelten Oberfläche wurden Schwankungen der Reinigungsleistung zwischen 94 und 100 Prozent festgestellt.

Auf Grund von kleinsten Reflektionen oder einer minimalen Abweichung des Zahnes aus dem Kamerafokus respektive der Planimetrieschablone müssen Fehlinterpretationen aufgetreten sein. Deshalb wurde der APP bei der Formatierung in die Graduierung nach Lang et al. (2011) eine 6%-ige Varianz eingeräumt, um die

Bewertung 0 überhaupt gewährleisten zu können. Natürlich stellt sich die Frage, ob es sich bei der gegebenen Varianz nach dem Putzvorgang auch um Plaque handeln könnte. Dieser Zweifel ist zulässig, denn es war nicht nachweisbar, ob es sich bei der Analyse um eine Fehlinterpretation oder um Plaque handelt. Jedoch wären lediglich 6% Verschmutzung so marginal zu bewerten, dass diese "Kulanz" ohne Bedenken in der Analyse angewendet werden konnte.

Als zweites soll im Folgenden diskutiert werden, warum mit steigender Reinigungsleistung die Übereinstimmung der quasi-klinischen Auswertungspersonen mit denen der APP abnimmt.

Wie bereits erwähnt, ergeben sich für die Auswertungsperson bei der Analyse mäßig gereinigter Situs mehrere Probleme. Diese können bei einer computerassistierten Analysesoftware ausgeblendet werden. Für die APP stellt sich lediglich die Problematik, dass Putzartefakte von Plaqueinseln unterschieden werden müssen und des Weiteren die Planimetrieschablone kongruent auf die Zahnoberfläche projiziert werden muss.

Sobald die Kongruenz der Planimetrieschablone nicht gewährleistet ist, kann es zu Fehlinterpretationen kommen. Besonders bei kleinen Planimetriefeldern können große Abweichungen entstehen, wenn zuvor keine Deckungsgleichheit erreicht wurde. Das Phänomen wird besonders bei der Analyse der Risikofelder ABCDF der permanenten Zähne deutlich. Diese Felder sind durch den von Rustogie et al. (1992) bzw. Claydon und Addy (1995) modifizierten Navy-Plaque-Index definitionsgemäß im Verhältnis zu den anderen Planimetriefeldern sehr klein.

Im beispielhaften Vergleich zwischen EXPER 2 (mäßig gereinigter Situs) und SENSITIVE (gut gereinigter Situs) soll dieses Phänomen erläutert werden.

Bei EXPER 2 (ABCDF lingual) liegen die Mittelwerte der drei Beobachtungen zwischen 1,78 und 1,91 (P1=1,78, P2=1,83 und APP=1,91), also sehr nahe beieinander und auch nahe am Maximalwert 2. Die bivariate Analyse ergibt, dass der Grad der Übereinstimmung zwischen 83 und 85 Prozent liegt.

Im Gegensatz dazu liegen bei SENSITIVE (ABCDF lingual) die Mittelwerte der drei Beobachtungen weit auseinander (P1=0,102, P2=0,027 und APP=0,996).

Demzufolge sagen die quasi-klinischen Auswertungen aus, dass der Situs sehr gut gesäubert wurde, wohingegen die APP lediglich den Reinigungserfolg im Mittelwert mit ca. 1 bewertet hat. Es müssen entweder Plaquepartikel auf der Zahnoberfläche gewesen sein, die für das klinische Auge nicht ersichtlich waren, oder eine Fehlinterpretation der APP war der Grund für diese Diskrepanz. Es kann davon ausgegangen werden, dass es eine Kumulation beider Möglichkeiten sein muss. Im bivariaten Vergleich liegt die Übereinstimmung für die quasi-klinische Auswertung versus APP bei 24 bzw. 25 Prozent, wohingegen der Grad der Übereinstimmung zwischen P1 und P2 92 Prozent beträgt.

Dies wird unterstützt durch die Analyse der stark abweichenden Zahnfelder. Diese Analyse der stark abweichenden Zahnfelder beinhaltet diejenigen, bei welchen es zu deutlichen Abweichungen (2 Grade) zwischen zwei der drei Beobachtungen (P1, P2 oder APP) gekommen ist. Bei den mäßig gereinigten Situs der Zahnbürsten PRECISION CLEAN - EXPER 3 sind diese Abweichungen im Gegensatz zu den gut gereinigten der Zahnbürsten INTERDENTAL - WHITENING häufiger aufgetreten. Beispielhaft soll hier Zahnbürste SENSITIVE genannt werden.

Hier kommt es bei 71 aus 805 Bewertungen zu einer solch deutlichen Abweichung. 68 der Bewertungen beschränken sich dabei auf die Felder ABCDF. Geht man der Hypothese nach, dass die Differenz durch die nicht kongruente Projektion der Planimetrieschablone verursacht wurde, so müssten die Felder ACDF vornehmlich betroffen sein. Mit 64 von 805 Bewertungen kann diese Hypothese auch unterstrichen werden.

Dieses Phänomen ist bei der Zahnbürste WHITENING noch deutlicher zu erkennen. 88 von 89 der stark unterschiedlich bewerteten Feldern sind in den Feldern ACDF aufgetreten.

Die Analyse der Risikozahnfelder unterstreicht diese Aussage ebenfalls.

Durch die definierte kleine Felderkonfiguration der Felder ABCDF ist es für die APP schwieriger, feine Abstimmungen zu erkennen und darzustellen.

Bei der bereits vorgestellten Felderaufteilung an Milchzähnen nach Lang und Gängler (2012) sind die Felder nicht so klein unterteilt wie die Modifikation nach

Rustogi et al. (1992) oder Claydon und Addy (1995), was die Anfälligkeit gegenüber Fehlinterpretationen durch die APP minimiert.

Im Gegensatz zu den permanenten Zähnen fiel jedoch auf, dass es bedeutend häufiger zu Putzartefakten gekommen ist. Durch das Festhaften der Plaque an den kleinen Borstenfeldern der Kinderzahnbürsten wurde diese an anderer Stelle wieder "draufgeputzt" bzw. verwischt. Das könnte zu der signifikant höheren Bewertung durch die APP geführt haben, da die klinischen Auswertungspersonen diese akkumulierten Plaquehaufen als Putzartefakte interpretiert und nicht mitgewertet haben. Putzartefakte werden in der Klinik auch als solche interpretiert und gehen nicht in die Gesamtbewertung mit ein, weshalb auch in der quasi-klinischen Untersuchung so verfahren wurde. Da es sich bei den Zähnen des Milch-/Wechselgebisses (Frasaco) um einen anderen Hersteller handelt als bei den permanenten Zähnen (KaVo), könnte zudem die Oberflächenbeschaffenheit für die Putzartefakte verantwortlich sein.

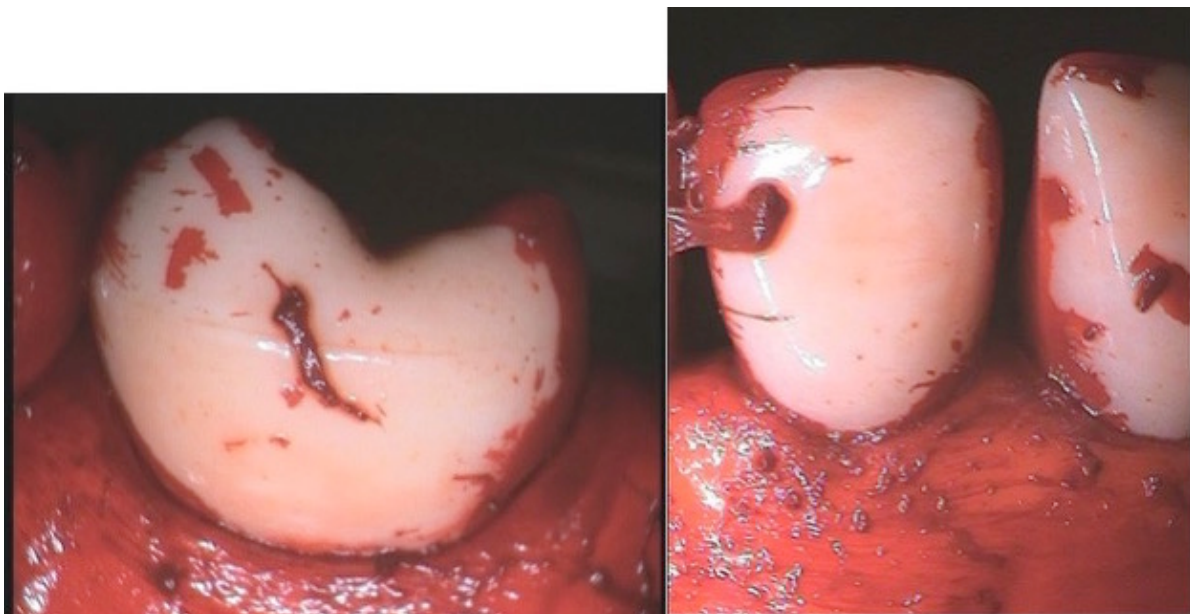


Abb. 6.1.: Exemplarische Darstellung von Frasaccozähnen mit Putzartefakten nach der Zahnreinigung durch den Putzroboter. (F.A.)

Aus den Grafiken wird ersichtlich, dass eine sehr regelmäßige Bewertungsverteilung zwischen den drei Beobachtungen aufgetreten und somit eine Vergleichbarkeit gegeben ist.

Obwohl bei keiner der durchgeführten Analysen in der vorliegenden Untersuchung eine 100%ige Übereinstimmung der quasi-klinischen Auswertung mit den computergenerierten Indexwerten der APP gezeigt werden konnte, so sind die Ergebnisse aus klinischer Sicht dennoch als gut zu bewerten, denn die APP stimmt bezüglich der Graduierung der Reinigungseffektivität der Zahnbürsten mit mindestens einem quasi-klinischen Beobachter überein.

Dass es grundsätzlich zu signifikanten Unterschieden zwischen lingualen und bukkalen Situs gekommen ist, bestätigt sich nicht. Jedoch zeigen die Analysen der Handzahnbürsten, dass es am lingualen Situs zu einer erhöhten Diskrepanz zwischen Auswertungspersonen und der APP gekommen ist.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die APP strenger bewertet und demnach höhere Indexwerte vergibt als eine Auswertungsperson. Die statistischen Analysen lassen den Schluss zu, dass die Qualität der Übereinstimmung aller drei Auswerter bei den unterschiedlichen Bürstentypen variiert. Nichtsdestotrotz ist die Übereinstimmung klinisch akzeptabel und korreliert mit den Ergebnissen von Fleuter (2015) und Staufer (2011). Demnach ist die Konsistenz der APP gegeben.

Trotz der teilweise signifikanten Abweichungen zwischen den Auswertungspersonen und der APP kann auf Grund der verhältnismäßigen Übereinstimmung der Reinigungseffektivität und einem daraus resultierenden Ranking der Zahnbürsten davon ausgegangen werden, dass die nicht manipulierbare, objektive, reproduzierbare, zeit- und kostengünstige Methode der APP sehr gut zur Effektivitätsbewertung von Zahnbürsten und anderen Mundhygieneprodukten eingesetzt werden kann.

7 Ausblick

Der in dieser Studie verwendete Planimeterische Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) ließ sich sehr gut reproduzieren und konnte von den Auswertungspersonen problemlos angewendet werden, sodass von einer weiteren Modifikation abgesehen werden kann. Gerade die Aufteilung in 5 Zahnfelder bereitete den Beobachtern subjektiv bedeutend weniger Probleme, als es bei der 9 Felderaufteilung des NPI nach Rustogi et al. (1992) bzw. Claydon und Addy (1995) der Fall war.

Bei der Evaluation waren vornehmlich die häufig aufgetretenen Putzartefakte irritierend. Auch bei den Untersuchungen am permanenten Gebiss gab es häufig farbige Putzrückstände. In klinischen Untersuchungen dürfen die Probanden den Mund ausspülen, wodurch die Anwesenheit von gelöster Plaque auf den Zahnflächen minimiert wird. Diese gelösten Beläge werden durch die Spülung ausgespült und würden nicht zu Fehlinterpretationen führen.

Eine Möglichkeit, die Putzartefakte zu entfernen, wäre der Einsatz eines Luftstrahls. Somit könnten die durch den Putzvorgang gelösten Bestandteile, die auf den Zahnflächen persistieren, auf ein Minimum reduziert werden.

Resultierend aus den Ergebnissen, liegt nahe, dass es auf Grund von Kongruenzproblemen zwischen Planimetrieschablone und Zahnoberfläche zu Fehlinterpretationen der APP gekommen ist.

Es könnten zwei Ansätze zur Verbesserung verfolgt werden:

- Ein verbesserter Rotfilter, der nur die roten Bestandteile eines Bildes wertet und somit die Berechnung des Hintergrundes nicht zulassen würde.

- Die Kongruenz der Schablone mit der Zahnfläche könnte durch eine softwarebasierte Eigeninterpretation des Zahnumrisses verbessert werden. Würde eine Software zunächst den Umriss des Zahnes erkennen und die definierte Felderaufteilung auf die erkannte Form anwenden, wäre eine nahezu 100%-ige Deckungsgleichheit möglich.

Durch eine weitere Verbesserung der Bildbearbeitung kann davon ausgegangen werden, dass eine objektive standardisierte Methode, wie es bei der APP der Fall ist, den subjektiven menschlichen Beobachter übertrifft und Vergleiche zwischen Mundhygieneprodukten verschiedener Hersteller optimiert und dadurch auf aufwändige *in-vivo* Untersuchungen verzichtet werden kann.

8 Zusammenfassung

Im Laufe der letzten Jahrzehnte entstanden viele Ansätze, um die Reinigungseffektivität von Mundhygieneprodukten unter *in-vitro* Bedingungen zu testen. Eine objektive und reproduzierbare Auswertung sowie Darstellung der Ergebnisse wäre eine zukunftssträchtige Erweiterung zu einem standardisierten Reinigungsprozess.

Gegenstand der vorliegenden *in-vitro* Studie war es, zu prüfen, ob und in welchem Maße sich die computergenerierten Werte der Automatisierten Plaque-Planimetrie (APP) mit denen der menschlichen Auswertungspersonen vergleichen lassen, bzw. inwieweit die APP die klinische Indexerhebung simulieren kann.

Im versuchstechnischen Teil wurden insgesamt 53 künstliche Unterkiefermodelle, davon 39 mit permanenter Bezahnung und 14 mit Milch-/Wechselgebissbezahnung, zunächst mit künstlicher Plaque beschichtet und im Anschluss von einem standardisierten 6-Achs-Putzroboter gereinigt. Dabei kamen 4 elektrische -, 3 Hand- und 2 Kinderzahnbürsten zum Einsatz.

Um den dentalen Status zeitlich unabhängig auszuwerten, wurden im Folgenden die permanentbezahnten Kiefermodelle mit einer Spiegelreflex- und die Milch-/Wechselgebissmodelle mit einer Intraoralkamera manuell unter quasi-klinischen Verhältnissen fotodokumentiert. Die darauffolgende Fotodokumentation und Indexierung der einzelnen Zahnflächen durch die APP erfolgte komplett automatisiert. Die quasi-klinischen Aufnahmen der künstlichen Zähne wurden an einem Computer von zwei kalibrierten und verblindeten Auswertungspersonen (P1 und P2) indexiert.

Sowohl die quasi-klinische Bewertung der Auswertungspersonen als auch die automatisierte Auswertung basiert bei Zähnen der permanenten Dentition auf dem modifizierten Navy-Plaque-Index nach Claydon and Addy (1995), der von Lang et al. (2011) verfeinert wurde, und bei Zähnen des Milch- bzw. Wechselgebisses findet der

neu entwickelte Planimetrische Kinder-Plaque-Index nach Lang und Gängler (2012) Anwendung.

Die erhobenen Daten der drei Beobachtungen (P1, P2 und APP) sind durch den t-Test, den Wilcoxon-Test, den Kappa-Koeffizienten nach Cohen sowie durch den Chi-Quadrat-Test statistisch ausgewertet worden.

Die statistischen Analysen lassen den Schluss zu, dass die prozentuale Übereinstimmung zwischen gut und schlecht gereinigtem Situs bzw. den unterschiedlichen Zahnbürstentypen, variiert. Die vergleichende Übereinstimmung der erhobenen Werte ist zwischen den beiden Auswertungspersonen (P1 und P2) tendenziell höher ausgefallen als zwischen den Auswertungspersonen und der APP. Aus den Analysen geht zudem hervor, dass die APP höhere Indexwerte vergibt als P1 oder P2 und demzufolge die Reinigungsleistung negativer bewertet.

Bezüglich der vergleichenden Reinigungseffektivität zwischen allen Zahnbürsten und einem daraus resultierenden Produktranking stimmt die APP bei der Analyse der Gesamtfelder mit mindestens einer Auswertungsperson überein. Bei den vier elektrischen Zahnbürsten stimmen alle drei Auswerter für ein identisches Produktranking. Sowohl bei den Handzahnbürsten als auch bei den Kinderzahnbürsten stimmt bei allen Analysen mindestens eine Auswertungsperson mit dem Ranking der APP überein.

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Validierung der Automatisierten Plaque-Planimetrie als Erweiterung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von Hand-, Kinder- und elektrischen Zahnbürsten als Erfolg zu bewerten ist. Um noch präzisere Werte der einzelnen Planimetriefelder zu erhalten, wäre eine weitere Feinabstimmung der Foto- sowie der Analyseeinheit als vorteilhaft anzusehen.

Diese Methode ist für eine nicht manipulierbare, objektive, reproduzierbare, zeit- und kostengünstige Auswertung von Kunststoffzähnen und der daraus resultierenden Bewertung von Mundhygieneprodukten geeignet.

Für Herstellerfirmen, welche die Reinigungseffektivität ihrer Mundhygieneprodukte mit anderen vergleichen möchten, stellt die hier verwendete Versuchseinheit eine äußerst aussagekräftige sowie objektive Methode dar und kann empfohlen werden.

9 Summary

During the past decade, many approaches have emerged for testing the cleaning efficacy of oral hygiene products *in-vitro*. An objective and reproducible assessment and presentation of the results would be an advancement towards a standardised cleaning process offering promise for the future.

The purpose of the present *in-vitro* study was to test whether and to what extent the computer-generated values of automated plaque planimetry (APP) could be compared with the values obtained by human examiners, and to what extent the APP would be able to simulate clinical indexing.

During the technical part of the trial, a total of 53 dentures, 39 with permanent dentition and 14 with deciduous dentition, were coated with artificial plaque and subsequently cleaned by a standardised 6-axis robotic brushing device. Four electric, three manual and two child toothbrushes were employed.

For chronologically independent assessment of dental status, the dentures were subsequently photo-documented manually under quasi-clinical conditions, using an SLR camera for the permanent dentitions and an intra-oral camera for deciduous dentitions. The resulting photo-documentation and indexing of individual tooth surfaces was performed fully automatically by the APP. The quasi-clinical recording of artificial teeth was calibrated and indexed on one of two computers by blinded examiners (P1 and P2).

For teeth in the permanent dentition, both the quasi-clinical assessment by examiners and the automated assessment were based on the modified Navy Plaque Index by Claydon and Addy (1995) refined by Lang et al. (2011). For teeth in the deciduous dentitions, the newly developed Planimetric Child Plaque Index (PCPI) by Lang and Gängler (2012) was used.

Data gathered from the three observations (P1, P2 and APP) was statistically analysed with the t-test, the Wilcoxon test, Cohen's kappa coefficients and the Chi-squared test.

The statistical analyses point to a variable percentage match between well and poorly-cleaned sites and between different types of toothbrush. The values obtained by the two examiners (P1 and P2) tend to match each other more closely than the values obtained by the examiners and the APP. The analyses also indicated that the APP produced higher index values compared to P1 or P2, resulting in a more negative rating of cleaning performance.

In regard to the comparison of cleaning efficacy among all toothbrushes and the resultant product ranking, the APP agreed with at least one examiner in the analysis of all fields. For the four electric toothbrushes, all three examiners agreed on an identical product ranking. In all analyses of both manual toothbrushes and child toothbrushes, the ranking assigned by at least one examiner matched that of the APP.

The present study indicates that the validation of automated plaque planimetry for advancement of a robot-assisted method for assessment of the cleaning efficacy of manual, child and electric toothbrushes should be judged as successful. To obtain more precise values of individual planimetric fields, further fine-tuning of the photographs and analysis units would be considered beneficial.

This method is suitable for a manipulation-proof, objective, reproducible, time and cost-saving analysis of artificial teeth and the resulting evaluation of oral hygiene products. The experimental unit employed here offer an extraordinarily robust and objective method for manufacturing firms who wish to compare the cleaning efficacy of their oral hygiene products with those of other companies and can be recommended.

10 Verzeichnis

- Ainamo J, und Bay I. 1975. Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *International Dental Journal* 25:229-235.
- Axelsson P, Nystrom B, und Lindhe J. 2004. The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *Journal of Clinical Periodontology* 31:749-757.
- Azrak B, Callaway A, Willershausen B, Ebadi S, und Gleissner C. 2008. Comparison of a new chairside test for caries risk assessment with established methods in children. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 118:702-708.
- Bekiroglu N, Acar N, und Kargul B. 2012. Caries experience and oral hygiene status of a group of visually impaired children in Istanbul, Turkey. *Oral Health & Preventive Dentistry* 10:75-80.
- Biesbrock AR, Walters PA, und Bartizek RD. 2003. Initial impact of a national dental education program on the oral health and dental knowledge of children. *The Journal of Contemporary Dental Practice* 4:1-10.
- Biesbrock AR, Walters PA, und Bartizek RD. 2004. Short-term impact of a national dental education program on children's oral health and knowledge. *Journal of Clinical Dentistry* 15:93-97.
- Bortz J. 2005. *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer-Medizin-Verlag.
- Bortz J, Döring, N. 2006. *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer-Medizin-Verlag.
- Borutta A. 1997. Plaque removal efficacy of a newly developed powered toothbrush in the primary dentition of pre-school children. *The Journal of Clinical Dentistry* 8:151-155.
- Bretz MJ. 2010. *Vergleichende Plaque-Planimetrie am Beispiel der Reinigungswirkung eines Kauschaums*. Universität Witten/Herdecke: Zahnmedizinische Dissertation. Witten.
- Brightman LJ, Terezhalmay GT, Greenwell H, Jacobs M, und Enlow DH. 1991. The effects of a 0.12% chlorhexidine gluconate mouthrinse on orthodontic patients aged 11 through 17 with established gingivitis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 100:324-329.

- Burt B. 2005. Position paper: epidemiology of periodontal diseases. *Journal of Periodontology* 76:1406-1419.
- Chainani SH, Siddana S, Reddy C, Manjunathappa TH, Manjunath M, and Rudraswamy S. 2014. Antiplaque and antigingivitis efficacy of triphala and chlorhexidine mouthrinse among schoolchildren - a cross-over, double-blind, randomised controlled trial. *Oral Health & Preventive Dentistry* 12:209-217.
- Claydon N, and Addy M. 1995. The use of planimetry to record and score the modified Navy index and other area-based plaque indices. A comparative toothbrush study. *Journal of Clinical Periodontology* 22:670-673.
- Claydon N, and Addy M. 1996. Comparative single-use plaque removal by toothbrushes of different designs. *Journal of Clinical Periodontology* 23:1112-1116.
- Cortelli Jé R, Fernandes CB, Costa FO, Cortelli SC, Kajiya M, Howell SC, and Kawai T. 2012. Detection of Periodontal Pathogens in Newborns and Children with Mixed Dentition. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases* 31:1041-1050.
- D'Cruz AM, and Aradhya S. 2013. Impact of oral health education on oral hygiene knowledge, practices, plaque control and gingival health of 13- to 15-year-old school children in Bangalore city. *International Journal of Dental Hygiene* 11:126-133.
- Damle SG, Patil A, Jain S, Damle D, and Chopal N. 2014. Effectiveness of supervised toothbrushing and oral health education in improving oral hygiene status and practices of urban and rural school children: A comparative study. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry* 4:175-181.
- Dogan MC, Alacam A, Asici N, Odabas M, and Seydaoglu G. 2004. Clinical evaluation of the plaque-removing ability of three different toothbrushes in a mentally disabled group. *Acta Odontologica Scandinavica* 62:350-354.
- Dolinska E, and Stokowska W. 2006. Short time effect of elmex and Listerine mouthrinses on plaque in 12-year-old children. *Advances in Medical Sciences* 51 Suppl 1:73-76.
- Dudgeon DJ, and Berg J. 2002. Dental plaque as a biofilm and new research on biofilm removal by power toothbrushes. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 23:3-6; quiz 15.
- EI-Qaderi SS, and Quteish Ta'ani D. 2006. Dental plaque, caries prevalence and gingival conditions of 14-15-year-old schoolchildren in Jerash District, Jordan. *International Journal of Dental Hygiene* 4:150-153.

- Elliot JR, Bowers GM, Clemmer BA, und Rovelstad GH. 1972. Evaluation of an oral physiotherapy center in the reduction of bacterial plaque and periodontal disease. *Journal of Periodontology* 43:221-224.
- Ernst CP, Willershausen B, Driesen G, Warren PR, und Hilfinger P. 1997. A robot system for evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro. *Quintessence International* 28:441-445.
- Esfahanizadeh N. 2011. Dental health education programme for 6-year-olds: a cluster randomised controlled trial. *European Journal of Paediatric Dentistry* 12:167-170.
- Fejerskov O, Nyvad B. und Kidd E. 2015. *Dental Caries - The Disease and its Clinical Management*. Ames: Wiley-Blackwell.
- Ferrazzano GF, Cantile T, Sangianantoni G, und Ingenito A. 2008. Effectiveness of a motivation method on the oral hygiene of children. *European Journal of Paediatric Dentistry* 9:183-187.
- Fischman SL. 1986. Current status of indices of plaque. *Journal of Clinical Periodontology* 13:371-374, 379-380.
- Fleuter M. 2015. *Klinische Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der Reinigungseffizienz von Kinderzahnbürsten*. Universität Witten/Herdecke: Zahnmedizinische Dissertation. Witten.
- Fraleigh CM, Mc Elhaney JH, und Heiser RA. 1967. Toothbrushing force study. *Journal of Dental Research* 46:209-214.
- Gaengler P, Lang T, Jennes B. 2013. Computer-assisted Planimetric Plaque Assessment of Robot Tested Toothbrushing. *Journal of Dental Research* 92:Abstract No. 3326.
- Gängler P. 1985. Die Pathogenese der Zahnkaries und Periodontalerkrankungen – das Konzept von Progression und Stagnation. *Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde mit Zentralblatt* 73:477-483.
- Gängler P. (Hrsg). 1995. *Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde*. Berlin: Ulstein Mosby.
- Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M. 2010. *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Ghassemi A, Vorwerk L, Hooper W, Patel V, Sharma N, und Qaqish J. 2013. Comparative plaque removal efficacy of a new children's powered toothbrush and a manual toothbrush. *The Journal of Clinical Dentistry* 24:1-4.

- Golding PS. 1982. The development of the toothbrush. A short history of tooth cleaning. Part 1. *Dental Health* 21:25-27.
- Greene JC, Vermilion J R. 1964. The Simplified Oral Hygiene Index. *Journal of the American Dental Association* 68:7-13.
- Greene JC, Vermilion J R. 1960. The oral hygiene index: a method for classifying oral hygiene status. *Journal of the American Dental Association* 61:172-179.
- Gujarati DN. 2003. *Basic econometrics*. Boston: McGraw-Hill.
- Gustafsson BE, Quensel CE, Lanke LS, Lundqvist C, Grahnen H, Bonow BE, und Krasse B. 1954. The Vipeholm dental caries study; the effect of different levels of carbohydrate intake on caries activity in 436 individuals observed for five years. *Acta Odontologica Scandinavica* 11:232-264.
- Hellwig E, Klimek J, Attin Th. 2009. *Einführung in die Zahnerhaltung*. Köln: Deutscher Zahnärzterverlag.
- Holtkamp P. 1965. From the "simple toothbrush" to the electric toothbrush. *Dental Dienst* 17:10-11.
- Jaeggi T, und Lussi A. 1999. Toothbrush abrasion of erosively altered enamel after intraoral exposure to saliva: an in situ study. *Caries Research* 33:455-461.
- Jaeggi T, Schaffner M, Burgin W, Lussi A. 1999. Erosions and wedge-shaped defects in Swiss Army recruits. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin* 109:1170-1182.
- John MT, Miglioretti DL, LeResche L, Koepsell TD, Hujoel P, und Micheelis W. 2006. German short forms of the Oral Health Impact Profile. *Community Dentistry and Oral Epidemiology* 34:277-288.
- Juarez-Lopez ML, und Villa-Ramos A. 2010. Prevalencia de caries en preescolares con sobrepeso y obesidad. *Revista de Investigacion Clinica* 62:115-120.
- Kaplis N, Drolette M, Boffa J, und Kress G. 1979. A longitudinal study of multiple approaches to dental health education. *Community Dentistry and Oral Epidemiology* 7:133-141.
- Keyes PH. 1962. Bacteriological findings and biologic implications. *International Dental Journal* 12:443-464.
- Klein MI, Hwang G, Santos PH, Campanella OH, und Koo H. 2015. Streptococcus mutans-derived extracellular matrix in cariogenic oral biofilms. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 5:10.

- König KG, und Navia JM. 1995. Nutritional role of sugars in oral health. *The American Journal of Clinical Nutrition* 62:275-282
- König KG. 1971. *Karies und Kariesprophylaxe*. München: Goldman.
- König KG. 1987. *Karies und Parodontopathien*. Stuttgart: Thieme.
- Lang NP, Schätzle MA, und Loe H. 2009. Gingivitis as a risk factor in periodontal disease. *Journal of Clinical Periodontology* 36 Suppl 10:3-8.
- Lang T, Staufer S, Jennes B, Gaengler P. 2010. Assessment of Plaque Removal Efficiency by Robot Simulation of Tooth Brushing. *Journal of Dental Research* 89:Abstract No. 2514.
- Lang T, Bretz M, Jennes B, Gaengler P. 2011. Planimetric plaque assessment of in-between oral hygiene products. *Journal of Dental Research* 90:Abstract No. 713.
- Lang T, Jennes B, Gaengler P. 2014a. Clinical validation of robot tested toothbrushing of deciduous dentition. *Journal of Dental Research* 93:Abstract No. 494.
- Lang T, Staufer S, Jennes B, Gaengler P. 2014b. Clinical validation of robot simulation of toothbrushing--comparative plaque removal efficacy. *BMC Oral Health* 4:82.
- Lange DE, Plagmann HC, Eenboom A, und Promesberger A. 1977. Clinical methods for the objective evaluation of oral hygiene. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 32:44-47.
- Lazarescu D, Boccaneala S, Illiescu A, und De Boever JA. 2003. Efficacy of plaque removal and learning effect of a powered and a manual toothbrush. *Journal of Clinical Periodontology* 30:726-731.
- Listgarten MA. 1986. Pathogenesis of periodontitis. *Journal of Clinical Periodontology* 13:418-430.
- Loe H, Theilade E, Jensen S B. 1965. Experimental Gingivitis in Man. *Journal of Periodontology* 36:177-187.
- Macpherson LM, und Dawes C. 1991. Effects of salivary film velocity on pH changes in an artificial plaque containing *Streptococcus oralis*, after exposure to sucrose. *Journal of Dental Research* 70:1230-1234.

- Malekafzali B, Biria M, Tadayon N, und Abbasi H. 2011. Comparison of plaque removal efficacy of new and 3-month-old toothbrushes in children. *Eastern Mediterranean Health Journal* 17:115-120.
- Marcenes W, Kassebaum NJ, Bernabe E, Flaxman A, Naghavi M, Lopez A, und Murray CJ. 2013. Global burden of oral conditions in 1990-2010: a systematic analysis. *Journal of Dental Research* 92:592-597.
- Marsh PD. 2003. Are dental diseases examples of ecological catastrophes? *Microbiology* 149:279-294.
- Marsh PD. 2004. Dental plaque as a microbial biofilm. *Caries Research* 38:204-211.
- Marsh PD. 2005. Dental plaque: biological significance of a biofilm and community life-style. *Journal of Clinical Periodontology* 32 Suppl 6:7-15.
- Marsh PD, Moter A, Devine D A. 2011. Dental plaque biofilms: communities, conflict and control. *Periodontology* 2000 55:16-35.
- Martens LV, Frazier PJ, Hirt KJ, Meskin LH, und Proshek J. 1973. Developing brushing performance in second graders through behavior modification. *Health Services Reports* 88:818-823.
- McCracken GI, Janssen J, Swan M, Steen N, de Jager M, und Heasman PA. 2003. Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush. *Journal of Clinical Periodontology* 30:409-413.
- McLean JS. 2014. Advancements toward a systems level understanding of the human oral microbiome. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 4:98.
- Micheelis W, Schiffner W. 2006. Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Nyvad B, und Kilian M. 1990. Comparison of the initial streptococcal microflora on dental enamel in caries-active and in caries-inactive individuals. *Caries Research* 24:267-272.
- O'Leary T. 1967. The periodontal screening examination. *Journal of Periodontology* 38:617-624.
- O'Leary TJ, Drake RB, und Naylor JE. 1972. The plaque control record. *Journal of Periodontology* 43:38.

- Othman NA, Sockalingam SN, und Mahyuddin A. 2015. Oral health status in children and adolescents with haemophilia. *Haemophilia. The Official Journal of the World Federation of Hemophilia*.
- Phaneuf EA, Harrington JH, Dale PP, und Shklar G. 1962. Automatic toothbrush: a new reciprocating action. *Journal of the American Dental Association* 65:12-25.
- Podshadley AG, und Haley JV. 1968. A method for evaluating oral hygiene performance. *Public Health Reports* 83:259-264.
- Quigley GA, und Hein JW. 1962. Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. *Journal of the American Dental Association* 65:26-29.
- Quirynen M, Dekeyser C, und van Steenberghe D. 1991. Discriminating power of five plaque indices. *Journal of Periodontology* 62:100-105.
- Ramfjord SP. 1959. Indices for prevalence and indices of periodontal disease. *Journal of Periodontology* 30:51-59.
- Rateitschak KH, Wolf H F. 1989. *Farbatlanten der Zahnmedizin*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Rinne H. 2003. *Taschenbuch der Statistik*. Frankfurt am Main: Harri Deutsch Verlag.
- Rodrigues CR, Ando T, und Guimaraes LO. 1990. Simplified oral hygiene index for ages 4 to 6 and 7 to 10 (deciduous and mixed dentition). *Revista de Odontologia da Universidade de Sao Paulo* 4:20-24.
- Rohen JW. 1994. *Anatomie für Zahnmediziner*. Stuttgart: Schattauer.
- Roulet J-F, und Zimmer S. 2003. *Prophylaxe und Präventivzahnmedizin*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Russell RR. 2008. How has genomics altered our view of caries microbiology? *Caries Research* 42:319-327.
- Rustogi KN, Curtis JP, Volpe AR, Kemp JH, McCool JJ, und Korn LR. 1992. Refinement of the Modified Navy Plaque Index to increase plaque scoring efficiency in gumline and interproximal tooth areas. *The Journal of Clinical Dentistry* 3:C9-12.
- Sadeghi M, und Alizadeh F. 2007. Association between Dental Caries and Body Mass Index-For-Age among 6-11-Year-Old Children in Isfahan in 2007. *Journal of Dental Research* 1:119-124.

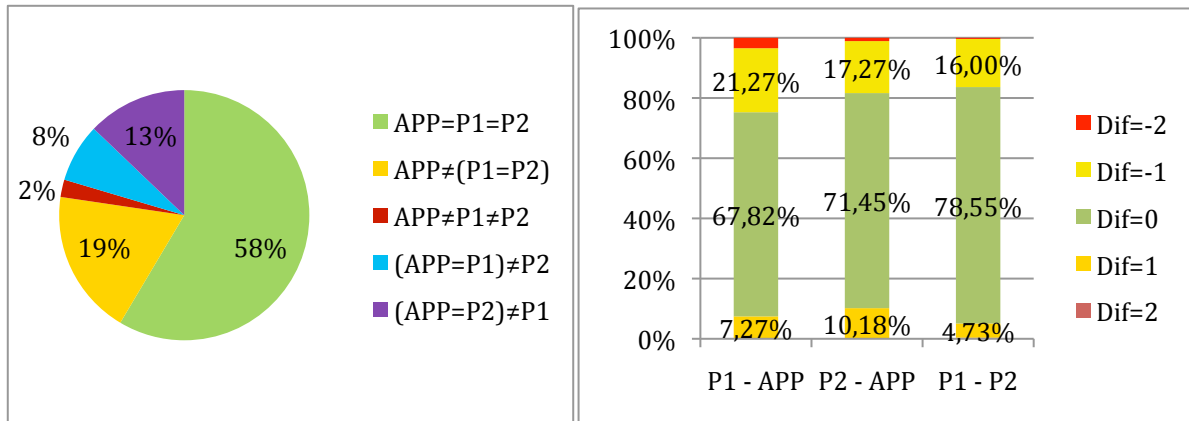
- Saxer UP, und Yankell SL. 1997a. Impact of improved toothbrushes on dental diseases. I. Quintessence International 28:513-525.
- Saxer UP, und Yankell SL. 1997b. Impact of improved toothbrushes on dental diseases. II. Quintessence International 28:573-593.
- Schweisheimer W. 1969. Before the toothbrush was discovered. Die Quintessenz 20:149-150.
- Selwitz RH, Ismail AI, und Pitts NB. 2007. Dental caries. The Lancet 369:51-59.
- Silness J, und Løe H. 1964. Periodontal Disease in Pregnancy. II. Correlation between Oral Hygiene and Periodontal Condition. Acta Odontologica Scandinavica 22:121-135.
- Staufer S. 2011. Validierung einer robotergestützten Methode zur Beurteilung der klinischen Reinigungseffizienz von Handzahnbürsten. Universität Witten/Herdecke: Zahnmedizinische Dissertation. Witten.
- Siudikiene J, Maciulskiene V, Dobrovolskiene R, und Nedzelskiene I. 2005. Oral hygiene in children with type I diabetes mellitus. Stomatologija 7:24-27.
- Sripriya N, und Shaik Hyder Ali KH. 2007. A comparative study of the efficacy of four different bristle designs of tooth brushes in plaque removal. Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry 25:76-81.
- Taani DS. 1996. Dental health of 13-14-year-old Jordanian school children and its relationship with socio-economic status. International Journal of Paediatric Dentistry 6:183-186.
- Taschner M, Rumi K, Master AS, Wei J, Strate J, und Pelka M. 2012. Comparing efficacy of plaque removal using professionally applied manual and power toothbrushes in 4- to 7-year-old children. Pediatric Dentistry 34:61-65.
- Ten Cate JM. 2006. Biofilms, a new approach to the microbiology of dental plaque. Odontology / the Society of the Nippon Dental University 94:1-9.
- Ten Cate JM, und Arends J. 1977. Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. Caries Research 11:277-286.
- Turesky S, Gilmore ND, und Glickman I. 1970. Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue of vitamin C. Journal of Periodontology 41:41-43.
- Van der Weijden F, Slot DE, Rosema M, und Timmerman M. 2008. ITT in respect to GCP: a matter of diligence. Journal of Clinical Periodontology 35:681-682.

- Van der Weijden GA, Timmerman MF, Danser MM, and Van der Velden U. 1998. Relationship between the plaque removal efficacy of a manual toothbrush and brushing force. *Journal of Clinical Periodontology* 25:413-416.
- Van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Snoek CM, and Van der Velden U. 1996. Toothbrushing force in relation to plaque removal. *Journal of Clinical Periodontology* 23:724-729.
- Van Palenstein Helderma WH, Kyaing MM, Aung MT, Soe W, Rosema NA, Van der Weijden GA, and Van 't Hof MA. 2006. Plaque removal by young children using old and new toothbrushes. *Journal of Dental Research* 85:1138-1142.
- Villalobos-Rodelo JJ, Medina-Solis CE, Maupome G, Vallejos-Sanchez AA, Lau-Rojo L, and de Leon-Viedas MV. 2007. Socioeconomic and sociodemographic variables associated with oral hygiene status in Mexican schoolchildren aged 6 to 12 years. *Journal of Periodontology* 78:816-822.
- Volpenhein DW, Walsh ME, Dellerman PA, and Burkett TA. 1994. A new method for in vitro evaluation of the interproximal penetration of manual toothbrushes. *The Journal of Clinical Dentistry* 5:27-33.
- Von der Fehr FR, L oe H, and Theilade E. 1970. Experimental caries in man. *Caries Research* 4:131-148.
- Weiß C. 2010. *Basiswissen Medizinische Statistik*. Berlin: Springer-Verlag.
- Yaacob M, Worthington Helen V, Deacon Scott A, Deery C, Walmsley AD, Robinson Peter G, and Glennly A-M. 2014. Powered versus manual toothbrushing for oral health. *Cochrane Database of Systematic Reviews*: John Wiley & Sons, Ltd.
- Yamada T, Takahashi-Abbe S, and Abbe K. 1985. Effects of oxygen on pyruvate formate-lyase in situ and sugar metabolism of *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguis*. *Infection and Immunity* 47:129-134
- Zaura E, and Mira A. 2015. Editorial: the oral microbiome in an ecological perspective. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 5:39.
- Zenkner JEA, Alves LS, de Oliveira RS, Bica RH, Wagner MB, and Maltz M. 2013. Influence of Eruption Stage and Biofilm Accumulation on Occlusal Caries in Permanent Molars: A Generalized Estimating Equations Logistic Approach. *Caries Research* 47:177-182.
- Zhang S, Liu J, Lo EC, and Chu CH. 2013. Dental caries status of Dai preschool children in Yunnan Province, China. *BMC Oral Health* 13:68.

- Zhang S, Liu J, Lo ECM, und Chu CH. 2014. Dental caries status of Bulang preschool children in Southwest China. BMC Oral Health 14:16.
- Zhou Y, Lin HC, Lo ECM, und Wong MCM. 2011. Risk indicators for early childhood caries in 2-year-old children in southern China. Australian Dental Journal 56:33-39.
- Zimmer S, Jordan AR, Fresmann S. 2011. Die Einführung der Prophylaxe in die Zahnarztpraxis Herne: Zahnärztlicher Fach-Verlag.
- Zimmer S, Liedling L. 2014. Gewohnheiten und Kenntnisse zur Mundhygiene in Deutschland - Ergebnisse einer bevölkerungsrepräsentativen Befragung. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 69:584.

11 Anhang

A 1 Zahnbürste Oral-B Precision Clean (Stichprobenumfang n=1112)

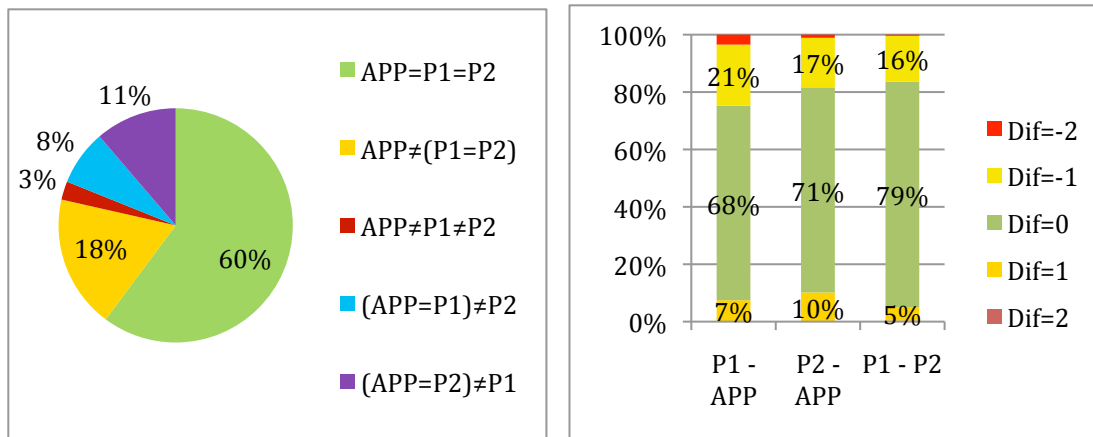


A 1.1.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 1.2.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,52	1,27	1,39
Median	2	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-4,01	<0,01	ja	3,51	<0,01	ja	0,625
P1 vs. APP	-8,50	<0,01	ja	7,45	<0,01	ja	0,431
P2 vs. APP	-4,46	<0,01	ja	4,11	<0,01	ja	0,494

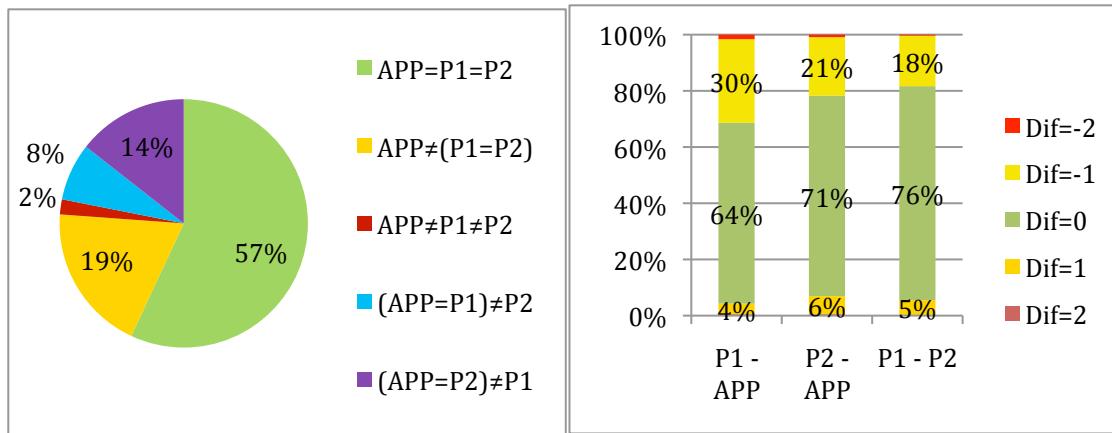


A 1.3.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 1.4.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,38	1,18	1,29
Median	2	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-2,60	<0,01	ja	2,26	0,024	ja	0,658
P1 vs. APP	-4,75	<0,01	ja	4,29	<0,01	ja	0,487
P2 vs. APP	-2,22	0,027	ja	2,14	0,032	ja	0,528

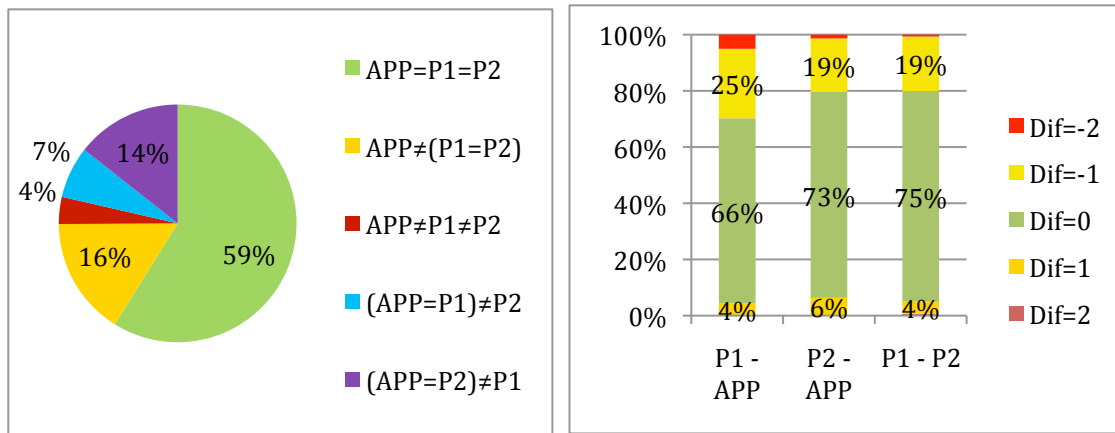


A 1.5.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 1.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,65	1,36	1,49
Median	2	1	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-3,37	<0,01	ja	2,75	<0,01	ja	0,583
P1 vs. APP	-7,68	<0,01	ja	6,31	<0,01	ja	0,357
P2 vs. APP	-4,41	<0,01	ja	3,69	<0,01	ja	0,438

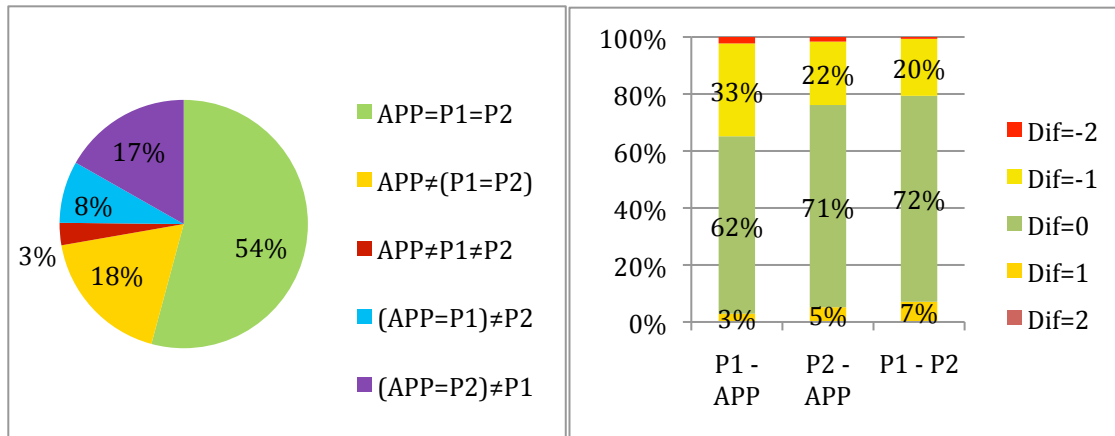


A 1.7.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 1.8.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,75	1,45	1,60
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-2,71	<0,01	ja	1,98	0,047	ja	0,522
P1 vs. APP	-5,97	<0,01	ja	4,32	<0,01	ja	0,294
P2 vs. APP	-3,39	<0,01	ja	2,43	0,015	ja	0,373



A 1.9.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 1.10.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Oral-B Precision Clean, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

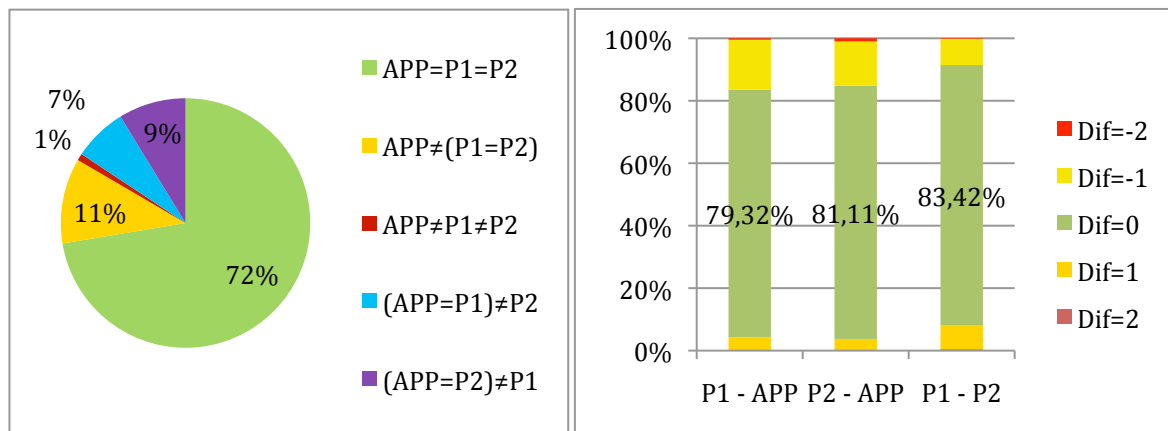
	APP	P1	P2
Mittelwert	1,80	1,46	1,60
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-2,79	<0,01	ja	2,31	0,021	ja	0,478
P1 vs. APP	-7,39	<0,01	ja	6,03	<0,01	ja	0,233
P2 vs. APP	-4,71	<0,01	ja	3,85	<0,01	ja	0,311

A 1.11.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-I) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Zahnbürste Oral-B Precision Clean.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	0	2	43B	A	1
2	0	2	42B	C	1
1	0	2	45L	B	1
2	0	2	43L	C	1
2	0	1	43L	F	1
2	1	0	42L	B	1
2	0	1	44L	E	2
2	0	1	43L	F	2
2	0	0	42L	A	2
2	0	0	42L	D	2
2	0	1	43B	A	3
2	0	0	42B	C	3
1	2	0	42B	D	3
2	0	0	41B	G	3
2	0	0	41B	H	3
2	0	1	41B	I	3
2	0	0	31B	C	3
2	0	1	43L	D	3
2	1	0	43L	F	3
2	0	1	42L	B	3
0	1	2	41L	C	3
0	2	2	41L	E	3
0	2	2	41L	G	3
2	0	1	46B	E	4
2	2	0	45B	F	4
2	0	1	43B	A	4
0	2	1	43B	I	4
2	0	1	41B	A	4
2	0	1	41B	C	4
2	0	1	41B	F	4
2	0	1	43B	B	5
2	0	1	43B	D	5
2	0	1	44L	E	5
2	1	0	42L	A	5
2	0	1	43B	A	6
0	2	0	46L	B	6
2	0	1	43B	A	7
2	0	1	43B	B	7
2	0	0	41B	F	7

A2 Zahnbürste Experimental Standard (Stichprobenumfang n=1122)

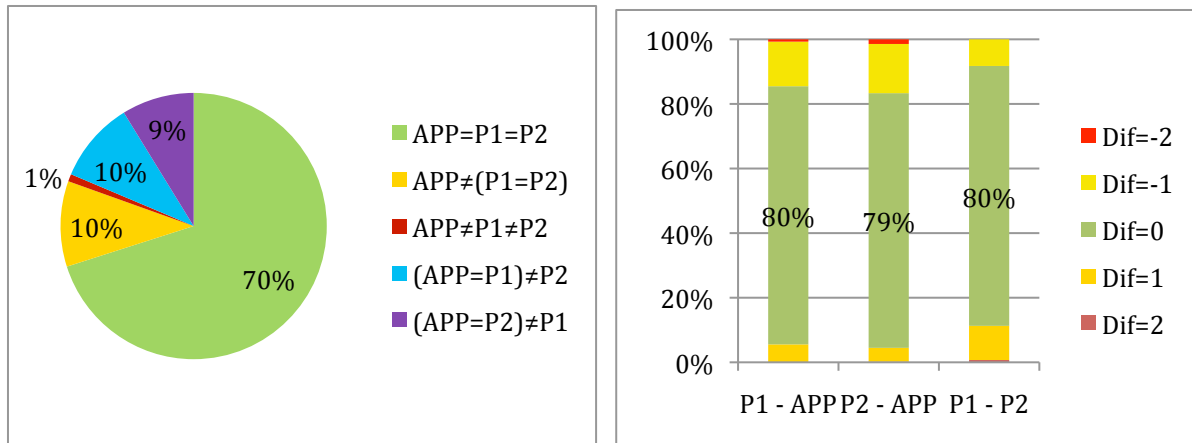


A 2.1.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 2.2.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,61	1,49	1,49
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-0,07	0,947	nein	0,66	0,512	nein	0,698
P1 vs. APP	-4,96	<0,01	ja	4,55	<0,01	ja	0,604
P2 vs. APP	-4,70	<0,01	ja	3,75	<0,01	ja	0,635

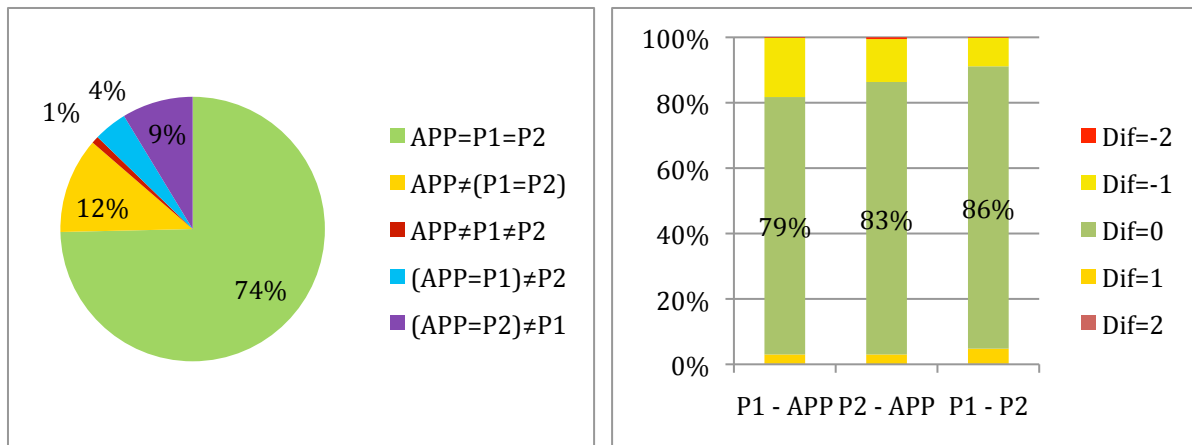


A 2.3.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 2.4.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,47	1,38	1,34
Median	2	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,92	0,355	nein	0,27	0,785	nein	0,673
P1 vs. APP	-2,53	0,012	ja	2,57	0,010	ja	0,649
P2 vs. APP	-3,28	<0,01	ja	2,66	<0,01	ja	0,638

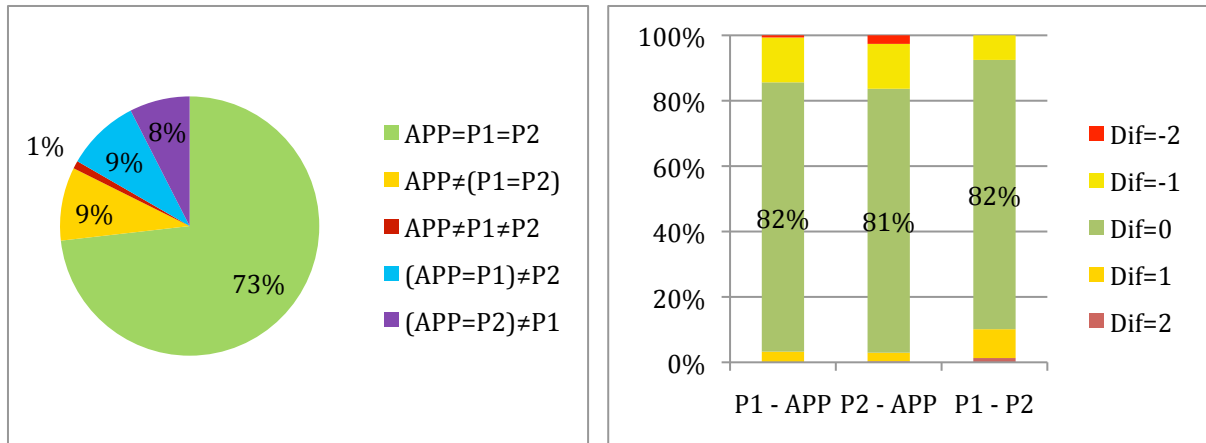


A 2.5.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 2.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,75	1,59	1,75
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,23	0,220	nein	1,01	0,310	nein	0,714
P1 vs. APP	-4,91	<0,01	ja	3,82	<0,01	ja	0,520
P2 vs. APP	-3,67	<0,01	ja	2,81	<0,01	ja	0,607

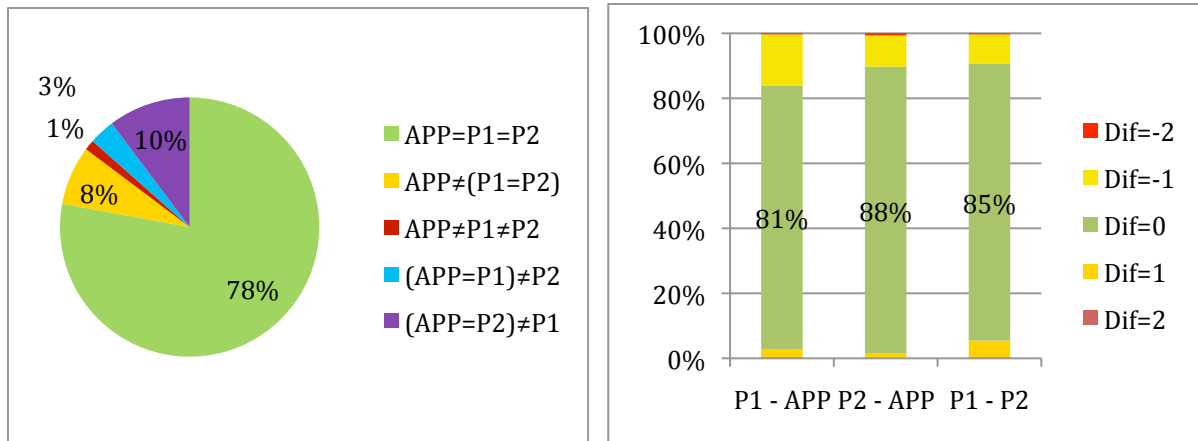


A 2.7.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 2.8.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,82	1,70	1,66
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,81	0,419	nein	0,12	0,902	nein	0,562
P1 vs. APP	-2,99	<0,01	ja	2,08	0,037	ja	0,496
P2 vs. APP	-3,51	<0,01	ja	1,82	0,069	nein	0,438



A 2.9.: Grad der Übereinstimmung der lingualem Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 2.10.: Grad der Übereinstimmung der lingualem Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental Standard, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

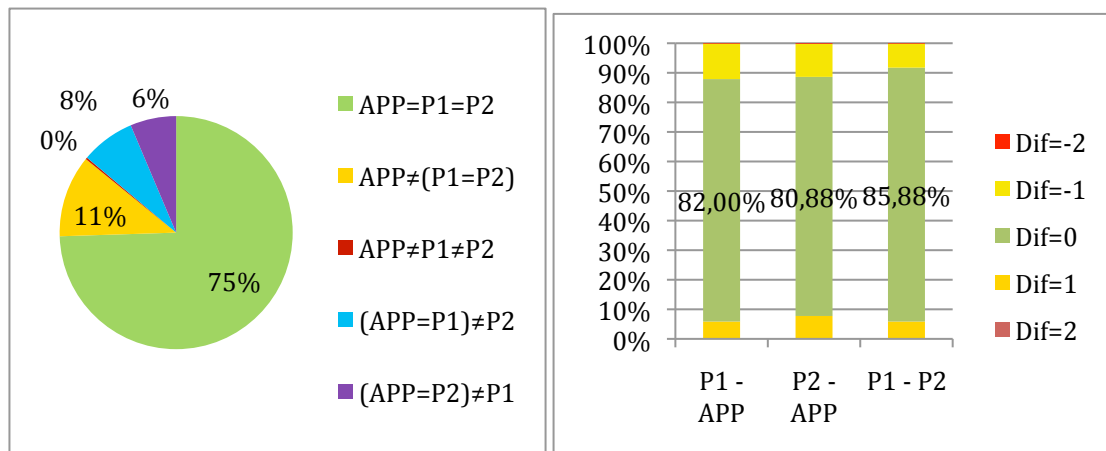
	APP	P1	P2
Mittelwert	1,91	1,78	1,82
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,00	0,316	nein	0,75	0,455	nein	0,491
P1 vs. APP	-3,85	<0,01	ja	2,47	0,014	ja	0,194
P2 vs. APP	-2,84	<0,01	ja	1,72	0,086	nein	0,418

A 2.11.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-I) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Zahnbürste Experimental Standard.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	2	0	42B	D	1
2	2	0	41B	F	1
2	0	0	43B	D	2
2	0	1	43B	E	2
2	1	0	42B	C	2
1	0	2	45L	B	2
2	1	0	42B	F	3
2	0	1	43L	F	3
2	0	1	43B	E	4
0	1	2	42B	C	4
2	2	0	42B	D	4
2	0	0	42B	C	5
0	2	0	46L	B	5
2	2	0	42B	D	6
2	1	0	43L	D	6
2	1	0	42L	F	6
2	1	0	44L	E	7

A3 Zahnbürste Experimental 3 (Stichprobenumfang n=800)

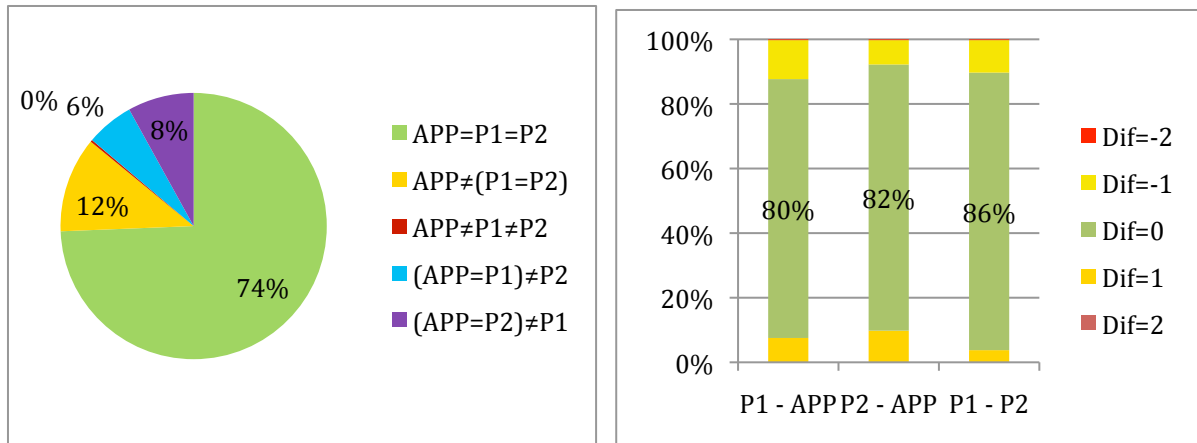


A 3.1.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 3.2.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,75	1,69	1,72
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-0,91	0,362	nein	0,91	0,359	nein	0,643
P1 vs. APP	-2,43	0,015	ja	1,81	0,070	nein	0,528
P2 vs. APP	-1,48	0,139	nein	0,88	0,381	nein	0,476

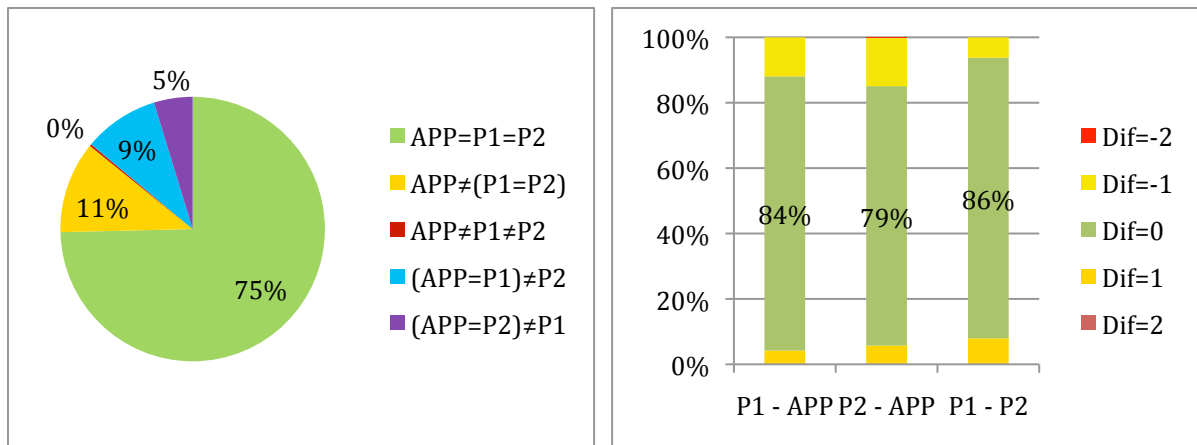


A 3.3.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 3.4.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,71	1,66	1,73
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,74	0,082	nein	1,58	0,113	nein	0,652
P1 vs. APP	-1,30	0,194	nein	1,05	0,294	nein	0,521
P2 vs. APP	0,47	0,642	nein	0,54	0,586	nein	0,534

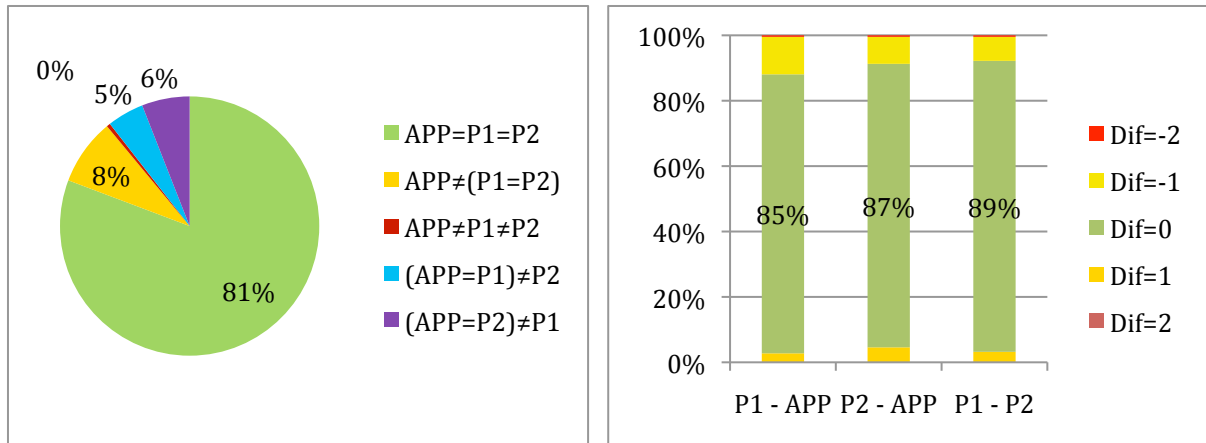


A 3.5.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 3.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,79	1,72	1,70
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,45	0,652	nein	0,28	0,781	nein	0,636
P1 vs. APP	-2,18	0,030	ja	1,51	0,132	nein	0,534
P2 vs. APP	-2,62	<0,01	ja	1,78	0,076	nein	0,417

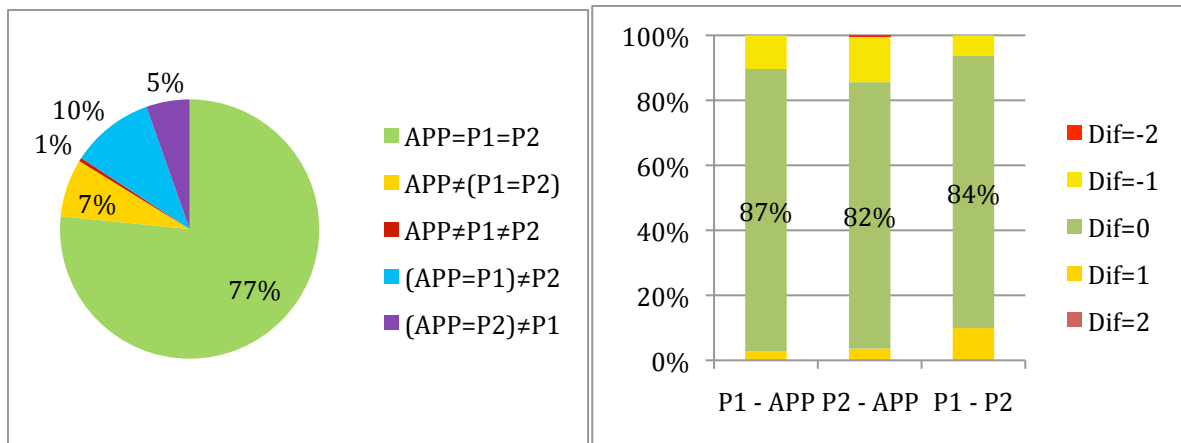


A 3.7.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 3.8.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,92	1,82	1,87
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,22	0,222	nein	0,89	0,376	nein	0,515
P1 vs. APP	-2,65	<0,01	ja	1,35	0,177	nein	0,295
P2 vs. APP	-1,35	0,179	nein	0,44	0,657	nein	0,196



A 3.9.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 3.10.: Grad der Übereinstimmung der linguale Risiko-Zahfelder (ABCDF) der Zahnbürste Experimental 3, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

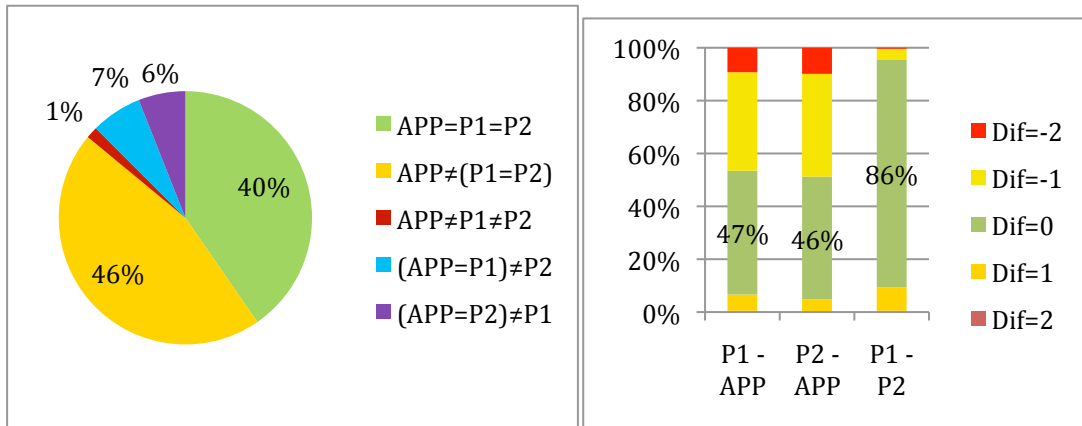
	APP	P1	P2
Mittelwert	1,90	1,82	1,78
Median	2	2	2

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,83	0,407	nein	0,57	0,566	nein	0,449
P1 vs. APP	-1,95	0,051	nein	1,43	0,152	nein	0,392
P2 vs. APP	-2,75	<0,01	ja	2,00	0,046	ja	0,257

A 3.11.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-I) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Zahnbürste Experimental 3.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	1	0	41L	D	2
2	0	2	43B	D	4
2	1	0	43B	D	5

A4 Zahnbürste Interdental (Stichprobenumfang n=800)

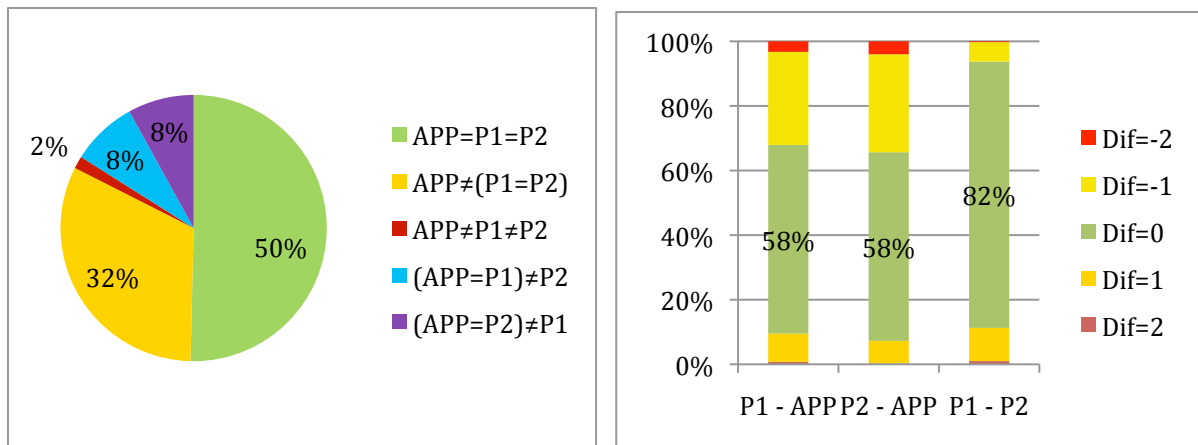


A 4.1.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 4.2.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,67	0,18	0,13
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	2,41	0,016	ja	1,70	0,089	nein	0,439
P1 vs. APP	-17,24	<0,01	ja	13,68	<0,01	ja	0,049
P2 vs. APP	-19,44	<0,01	ja	15,19	<0,01	ja	0,039

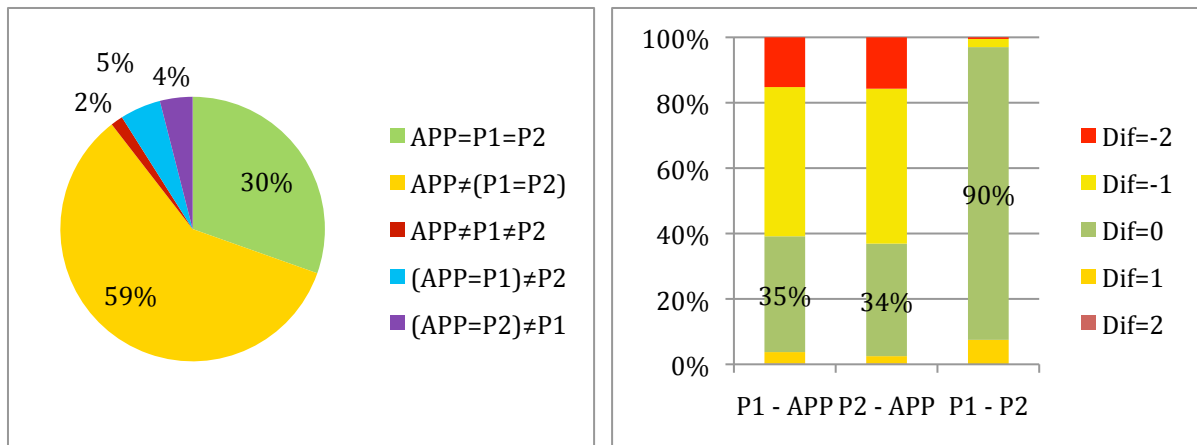


A 4.3.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 4.4.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,48	0,23	0,17
Median	0	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	1,82	0,070	nein	1,28	0,200	nein	0,425
P1 vs. APP	-6,52	<0,01	ja	5,33	<0,01	ja	0,123
P2 vs. APP	-8,34	<0,01	ja	6,59	<0,01	ja	0,099

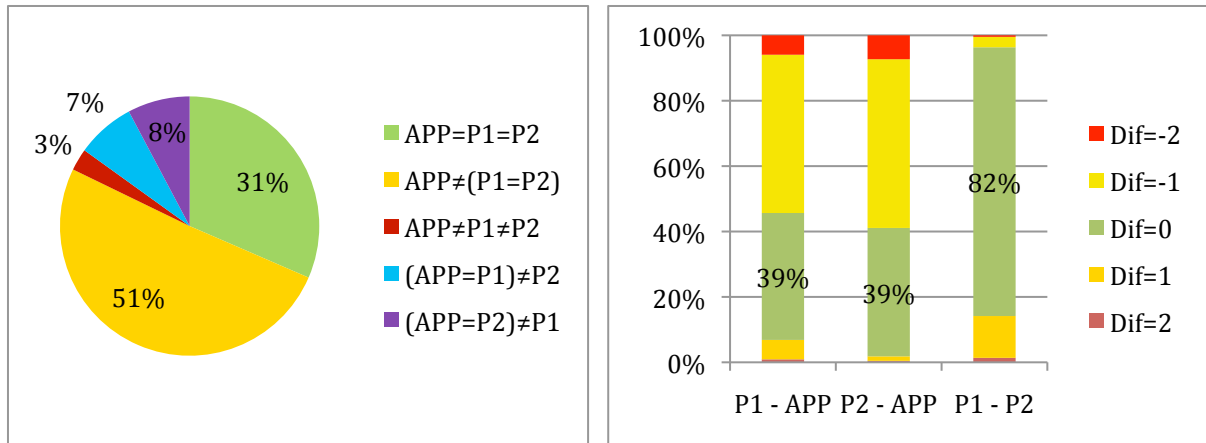


A 4.5.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 4.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,85	0,14	0,10
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	1,60	0,109	nein	1,30	0,259	nein	0,446
P1 vs. APP	-18,47	<0,01	ja	13,94	<0,01	ja	0,018
P2 vs. APP	-19,75	<0,01	ja	14,77	<0,01	ja	0,019

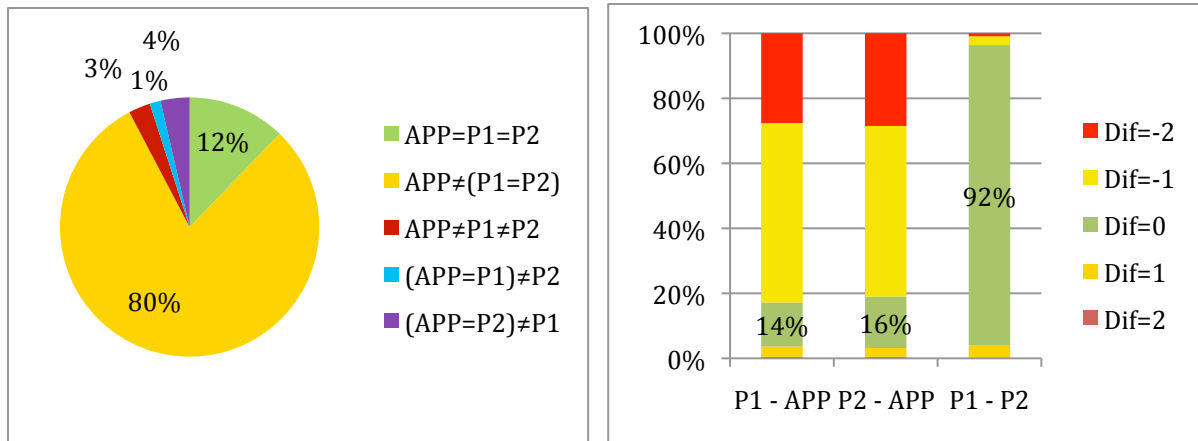


A 4.7.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 4.8.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,76	0,24	0,12
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	2,58	0,010	ja	1,93	0,054	nein	0,323
P1 vs. APP	-9,65	<0,01	ja	8,21	<0,01	ja	0,031
P2 vs. APP	-12,58	<0,01	ja	10,04	<0,01	ja	0,069



A 4.9.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 4.10.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Interdental, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,18	0,12	0,12
Median	1	0	0

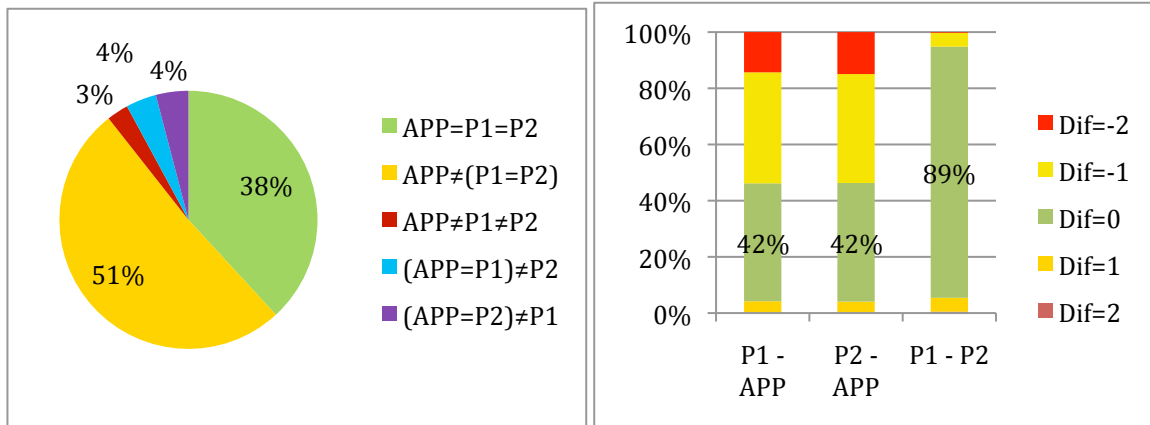
Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-0,12	0,901	nein	0,14	0,892	nein	0,579
P1 vs. APP	-21,08	<0,01	ja	14,14	<0,01	ja	<0
P2 vs. APP	-20,44	<0,01	ja	14,04	<0,01	ja	<0

A 4.11.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-I) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Zahnbürste Interdental.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	0	0	43B	A	1
2	0	0	41B	C	1
2	0	0	45L	F	1
2	0	0	43L	A	1
2	0	0	42L	A	1
2	0	0	42L	D	1
2	0	0	41L	A	1
2	0	0	41L	D	1
2	0	0	31L	C	1
2	0	0	32L	C	1
2	0	0	46B	A	2
2	1	0	46B	C	2
2	1	0	42B	A	2
2	0	0	41B	C	2
2	1	0	32B	A	2
2	0	0	45L	A	2
2	0	0	45L	F	2
2	0	0	44L	D	2
2	0	0	43L	A	2
2	0	0	43L	D	2
2	0	0	42L	A	2
2	0	0	42L	D	2
2	1	0	41L	A	2
2	0	0	41L	D	2
2	1	0	32L	C	2
2	0	0	46B	A	3
2	0	0	43B	C	3
2	0	0	42B	A	3
2	0	0	41B	C	3
2	0	0	47L	C	3
2	0	0	47L	D	3
2	0	0	45L	A	3
2	0	0	45L	C	3
2	0	0	45L	D	3
2	0	0	45L	F	3
2	0	0	44L	A	3
2	0	0	44L	D	3
2	0	0	44L	F	3
2	0	0	43L	A	3
2	0	0	43L	D	3
2	0	0	42L	A	3
2	0	0	42L	D	3
2	0	2	41L	A	3
2	0	0	41L	D	3
2	0	0	32L	A	3

0	0	2	44B	A	4
2	0	0	41B	C	4
0	2	0	31B	A	4
0	2	0	32B	A	4
2	0	0	47L	C	4
2	1	0	45L	A	4
2	0	0	45L	C	4
2	0	0	45L	D	4
2	0	0	45L	F	4
2	0	0	44L	A	4
2	0	0	44L	D	4
2	0	0	44L	F	4
2	0	0	43L	A	4
2	0	1	43L	D	4
2	0	0	43L	F	4
2	0	0	42L	A	4
2	0	0	42L	D	4
0	2	2	41L	C	4
2	0	0	31L	C	4
2	1	0	47B	A	5
2	0	1	45B	C	5
2	0	1	45B	F	5
0	2	0	44B	E	5
2	2	0	43B	A	5
2	0	0	43B	C	5
2	0	0	41B	C	5
2	0	0	47L	C	5
2	0	0	47L	F	5
2	0	0	45L	A	5
2	0	0	45L	D	5
2	0	0	45L	F	5
2	1	0	44L	A	5
2	0	0	44L	D	5
2	0	0	44L	F	5
2	0	0	43L	A	5
2	0	0	43L	C	5
2	0	0	43L	D	5
2	0	0	43L	F	5
2	0	0	42L	A	5
2	0	0	42L	D	5
2	0	0	42L	F	5
2	0	0	41L	D	5
2	1	0	31L	C	5
2	0	2	32L	C	5

A5 Zahnbürste Whitening (Stichprobenumfang n=810)

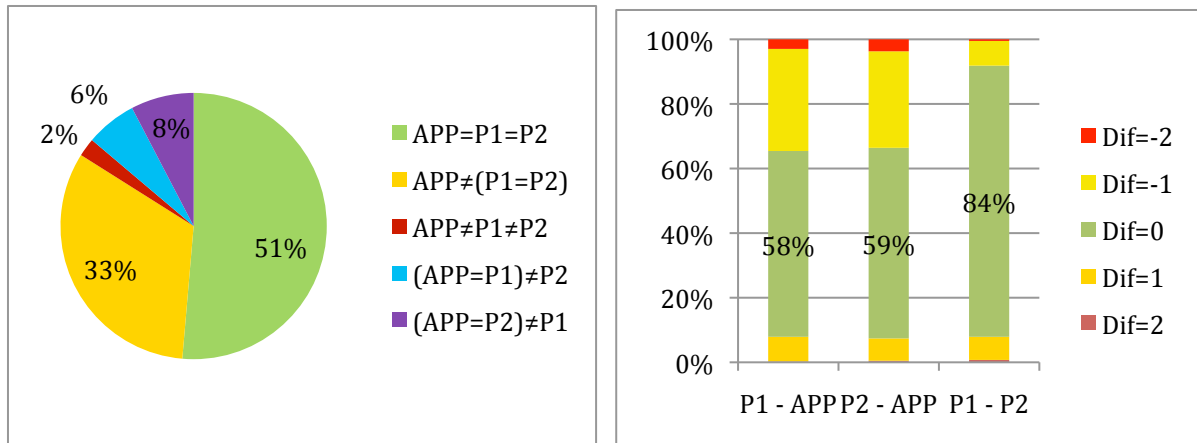


A 5.1.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 5.2.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,79	0,16	0,15
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,24	0,814	nein	0,35	0,726	nein	0,538
P1 vs. APP	-21,74	<0,01	ja	17,09	<0,01	ja	0,053
P2 vs. APP	-21,77	<0,01	ja	17,27	<0,01	ja	0,060

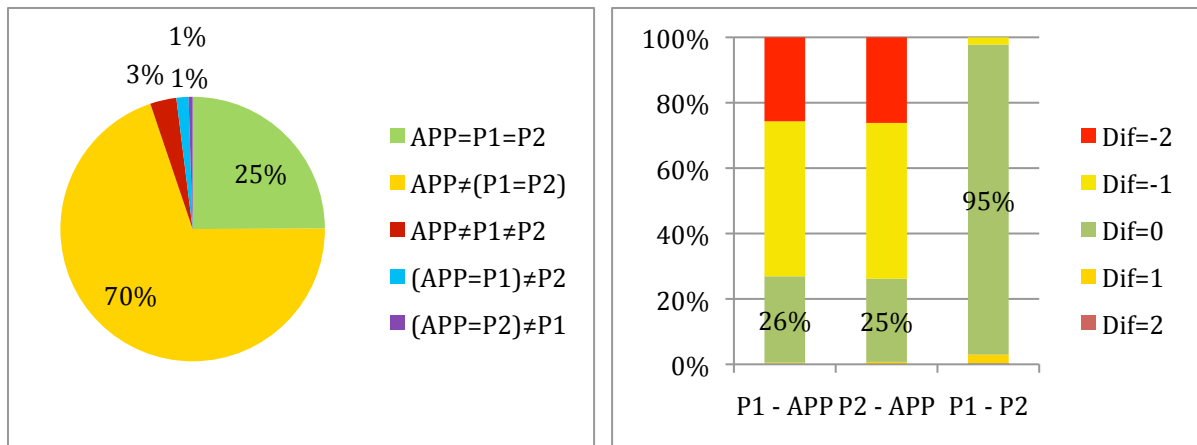


A 5.3.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 5.4.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,54	0,25	0,25
Median	0	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0	1,00	nein	0,32	0,749	nein	0,526
P1 vs. APP	-7,29	<0,01	ja	6,21	<0,01	ja	0,161
P2 vs. APP	-7,10	<0,01	ja	6,40	<0,01	ja	0,195

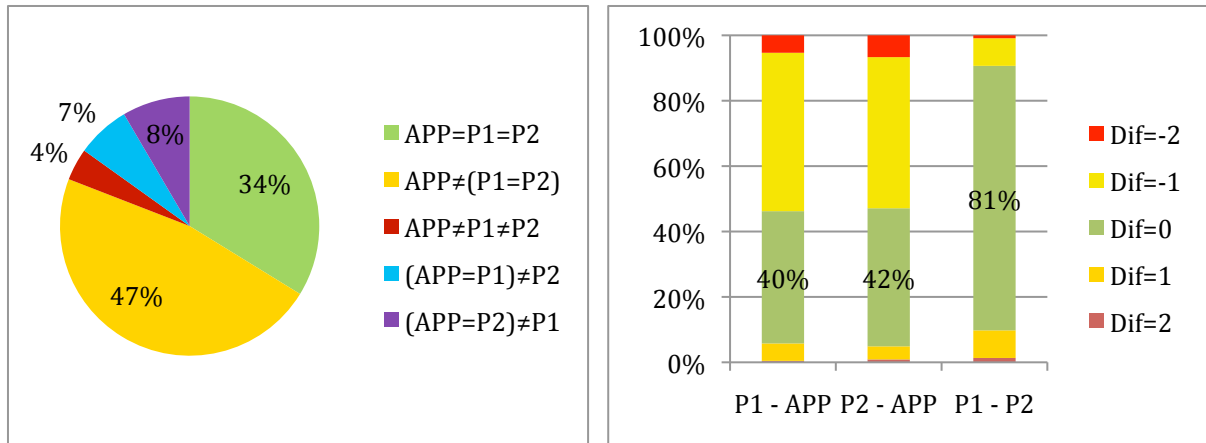


A 5.5.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 5.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,05	0,06	0,05
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,55	0,584	nein	0,13	0,899	nein	0,498
P1 vs. APP	-25,64	<0,01	ja	17,65	<0,01	ja	0,020
P2 vs. APP	-26,31	<0,01	ja	17,83	<0,01	ja	0,007

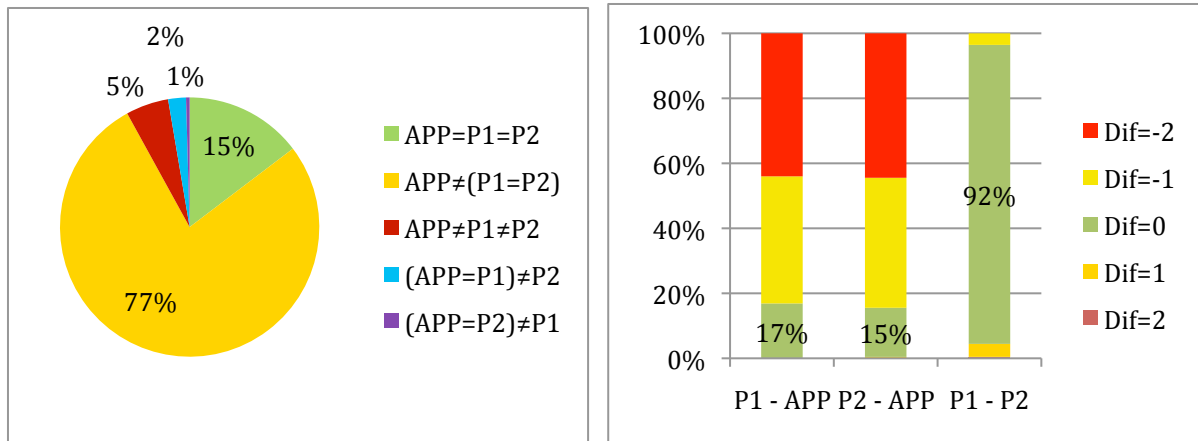


A 5.7.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 5.8.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	0,82	0,29	0,28
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,16	0,875	nein	0,56	0,576	nein	0,454
P1 vs. APP	-9,11	<0,01	ja	8,12	<0,01	ja	0,090
P2 vs. APP	-8,93	<0,01	ja	8,36	<0,01	ja	0,146



A 5.9.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 5.10.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Risiko-Zahnfelder (ABCDF) der Zahnbürste Whitening, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,34	0,07	0,05
Median	1	0	0

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	0,52	0,605	nein	0,09	0,929	nein	0,182
P1 vs. APP	-24,62	<0,01	ja	15,02	<0,01	ja	0,015
P2 vs. APP	-25,52	<0,01	ja	15,20	<0,01	ja	< 0

A 5.11.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-I) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Zahnbürste Whitening.

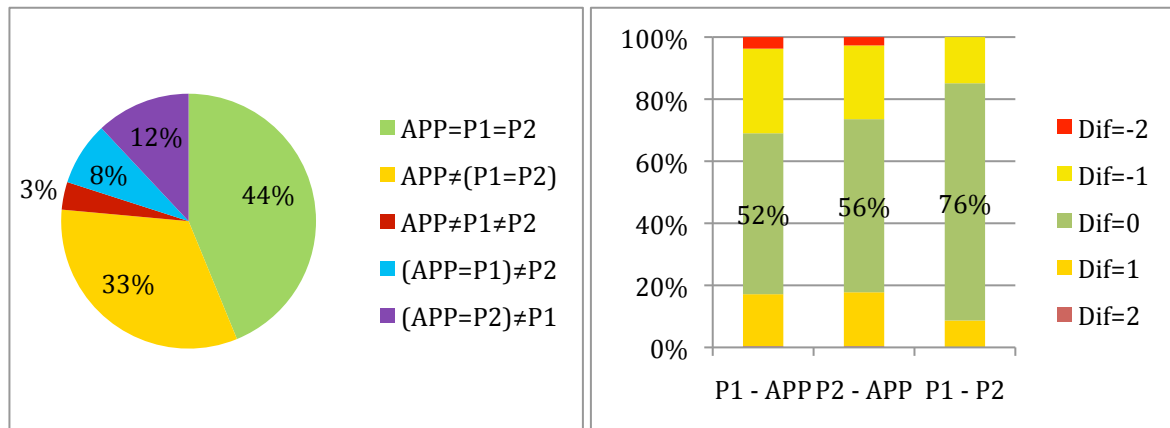
APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	0	0	41B	C	1
2	0	0	47L	C	1
2	0	0	47L	F	1
2	0	0	45L	A	1
2	0	0	45L	F	1
2	0	0	43L	A	1
2	0	0	43L	D	1
2	0	0	42L	A	1
2	0	0	42L	C	1
2	0	0	42L	F	1
2	0	0	41L	A	1
2	0	0	41L	D	1
2	0	0	32L	A	1
2	0	2	44B	C	2
1	2	0	42B	A	2
2	1	0	41B	C	2
0	1	2	32B	A	2
2	0	0	47L	C	2
2	0	0	47L	F	2
2	0	0	45L	A	2
2	0	0	45L	C	2
2	0	0	45L	D	2
2	0	0	45L	F	2
2	0	0	44L	A	2
2	0	0	44L	D	2
2	0	0	44L	F	2
2	0	0	43L	A	2
2	0	0	43L	C	2
2	0	0	43L	D	2
2	0	0	43L	F	2
2	0	1	42L	A	2
2	0	1	42L	B	2

2	0	0	42L	C	2
2	0	0	42L	D	2
2	0	0	42L	F	2
2	0	0	41L	A	2
2	0	0	41L	D	2
2	0	0	31L	A	2
2	0	0	31L	C	2
2	0	0	31L	F	2
2	0	0	32L	A	2
2	0	0	32L	C	2
2	0	0	46B	A	3
1	2	0	45B	A	3
2	0	0	43B	C	3
2	0	0	42B	C	3
2	1	0	41B	C	3
2	0	0	47L	C	3
2	0	0	47L	F	3
2	0	0	45L	A	3
2	0	0	45L	C	3
2	0	1	45L	D	3
2	1	0	45L	F	3
2	0	0	45L	H	3
2	0	0	44L	D	3
2	0	0	44L	F	3
2	0	0	43L	A	3
2	0	0	43L	D	3
2	1	0	43L	F	3
2	0	0	42L	A	3
2	0	0	42L	B	3
2	0	0	42L	D	3
2	1	0	42L	F	3
2	0	0	41L	A	3
2	0	0	41L	D	3
2	0	0	31L	C	3
2	0	0	32L	A	3
2	0	0	32L	B	3
2	0	0	32L	C	3
2	0	0	32L	D	3
1	0	2	43B	C	4
2	1	0	42B	A	4
2	1	0	42B	D	4
2	0	0	41B	C	4
0	1	2	32B	A	4
2	0	0	47L	C	4

2	0	0	47L	F	4
2	0	0	45L	A	4
2	0	0	45L	C	4
2	0	0	45L	D	4
2	0	0	45L	F	4
2	0	0	45L	G	4
2	0	0	45L	H	4
2	0	0	44L	A	4
2	0	0	44L	D	4
2	0	0	44L	F	4
2	0	0	43L	A	4
2	1	0	43L	C	4
2	0	0	43L	D	4
2	1	0	43L	F	4
2	0	0	42L	A	4
2	0	1	42L	B	4
2	0	1	42L	C	4
2	0	0	42L	D	4
2	0	1	42L	F	4
2	0	0	41L	A	4
2	0	0	41L	D	4
2	0	0	31L	A	4
2	0	0	31L	C	4
2	0	0	31L	D	4
2	0	0	31L	F	4
2	1	0	32L	A	4
2	0	0	32L	C	4
2	0	0	47B	C	5
2	0	0	46B	A	5
2	0	0	45B	F	5
2	0	0	43B	A	5
2	0	0	43B	C	5
2	0	0	41B	C	5
0	2	0	32B	A	5
2	0	0	47L	C	5
2	0	0	47L	F	5
2	0	0	47L	G	5
2	1	0	47L	H	5
2	0	0	45L	A	5
2	0	0	45L	C	5
2	0	0	45L	D	5
2	0	0	45L	F	5
2	0	0	44L	A	5
2	0	0	44L	D	5

2	0	0	44L	E	5
2	0	0	44L	F	5
2	0	0	43L	A	5
2	0	0	43L	C	5
2	0	0	43L	D	5
2	0	0	43L	F	5
2	0	0	42L	A	5
2	0	0	42L	B	5
2	0	0	42L	D	5
2	2	0	42L	F	5
2	0	0	41L	A	5
2	0	0	41L	D	5
2	0	0	32L	A	5
2	0	0	32L	C	5

A 6 Kinderzahnbürste Junior (Stichprobenumfang n=484)

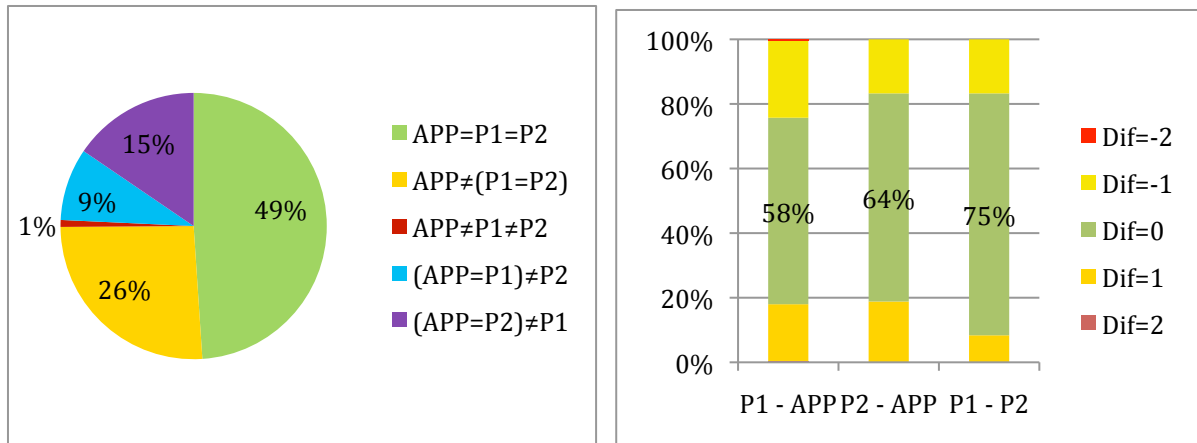


A 6.1.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 6.2.: Grad der Übereinstimmung der gesamten Zahnfelder der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,13	0,96	1,02
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,51	0,132	nein	1,33	0,185	nein	0,585
P1 vs. APP	-4,17	<0,01	ja	3,67	<0,01	ja	0,166
P2 vs. APP	-2,64	<0,01	ja	2,34	0,019	ja	0,235

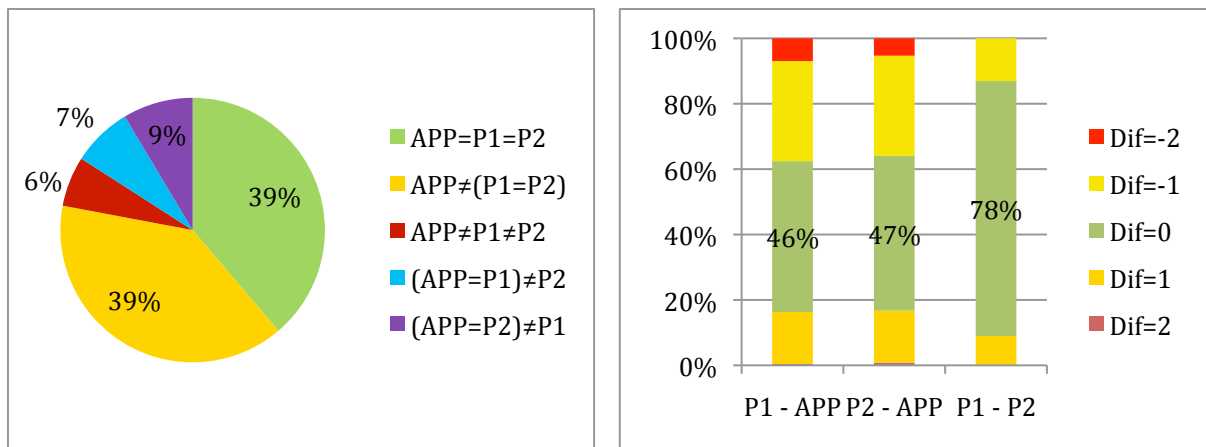


A 6.3.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 6.4.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Zahnfelder der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,25	1,19	1,27
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,38	0,169	nein	1,28	0,199	nein	0,579
P1 vs. APP	-1,02	0,306	nein	0,99	0,323	nein	0,296
P2 vs. APP	0,34	0,733	nein	0,28	0,777	nein	0,406

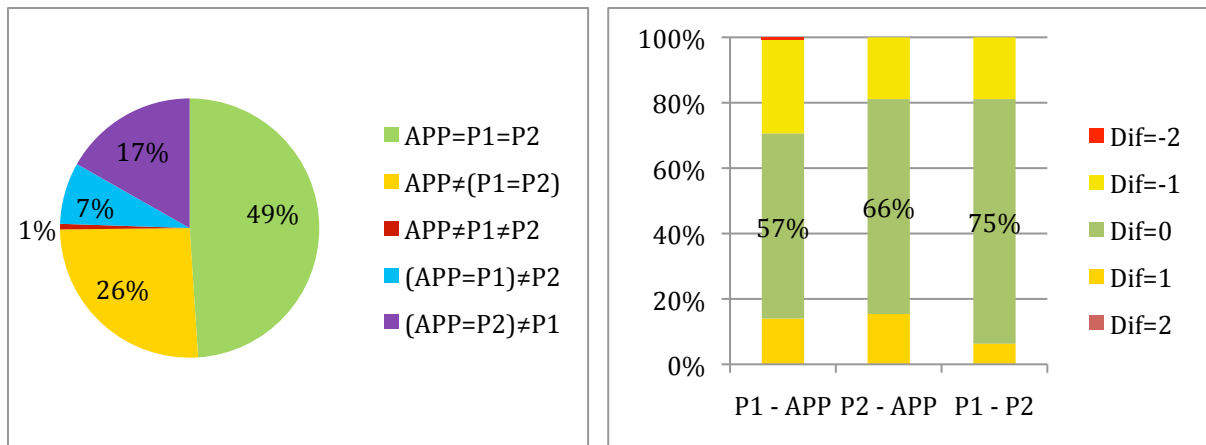


A 6.5.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 6.6.: Grad der Übereinstimmung der lingualen Zahnfelder der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,01	0,73	0,77
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-0,88	0,381	nein	0,69	0,489	nein	0,523
P1 vs. APP	-5,54	<0,01	ja	4,38	<0,01	ja	<0
P2 vs. APP	-4,71	<0,01	ja	3,74	<0,01	ja	<0

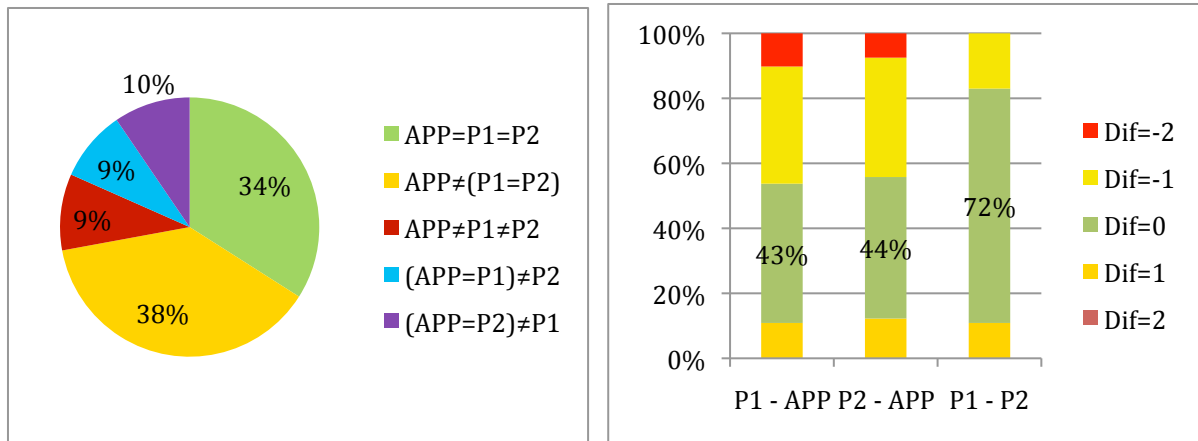


A 6.7.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABC) der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 6.8.: Grad der Übereinstimmung der bukkalen Risiko-Zahnfelder (ABC) der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest.

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,29	1,13	1,26
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,59	0,114	nein	1,45	0,147	nein	0,582
P1 vs. APP	-2,07	0,039	ja	1,82	0,069	nein	0,271
P2 vs. APP	-0,45	0,651	nein	0,34	0,734	nein	0,416



A 6.9.: Grad der Übereinstimmung der linguales Risiko-Zahnfelder (ABC) der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2) - (links: fünf differente Konstellationen, angegeben in Prozent; rechts: bivariater Vergleich, angegeben in Prozent).

A 6.10.: Grad der Übereinstimmung der linguales Risiko-Zahnfelder (ABC) der Kinderzahnbürste Junior, für alle drei Auswerter (APP, P1 und P2), unter Berücksichtigung der Mittelwerte und Mediane sowie deren Signifikanztest

	APP	P1	P2
Mittelwert	1,16	0,70	0,76
Median	1	1	1

Bivariate Tests	t	prob(t)	sign. (p=0,05)	W	prob(W)	sign. (p=0,05)	κ
P1 vs. P2	-1,08	0,283	nein	0,89	0,374	nein	0,368
P1 vs. APP	-7,11	<0,01	ja	5,53	<0,01	ja	<0
P2 vs. APP	-6,30	<0,01	ja	4,86	<0,01	ja	<0

A 6.11.: Auflistung der durch die APP (Automatisierte Plaque-Planimetrie), P1 (Auswertungsperson 1) und P2 (Auswertungsperson 2) stark unterschiedlich bewerteten Planimetriefelder (A-E) der lingualen (L) und bukkalen (B) Situs bei der Kinderzahnbürste Junior.

APP	P1	P2	Situs	Planimetriefeld	Durchlauf
2	0	0	81l	A	1
2	0	1	81l	C	1
2	0	1	71l	C	1
2	0	1	72l	C	1
2	0	1	82l	A	2
2	0	1	81l	C	2
0	2	1	71b	E	2
2	0	1	81l	A	3
2	0	0	71l	C	3
2	0	0	72l	A	3
2	0	1	72l	C	3
2	0	1	71b	A	3
2	1	0	85l	A	5
2	0	1	83l	C	5
2	0	0	82l	A	5
2	0	0	81l	A	5
2	0	0	81l	C	5
2	0	0	81l	E	5
2	1	0	81l	C	6
2	1	0	71l	C	6
2	1	0	72l	A	6
2	1	0	72l	C	6
2	0	0	72l	D	6
2	0	1	81l	C	7
0	2	2	72l	D	7
0	1	2	72l	E	7