

Können Plaqueindizes die tatsächliche Plaquemenge abbilden?

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Eilert, Franziska, geb. Armbrecht

aus Gifhorn

Gießen 2025

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde

Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

der Universität Gießen

Gutachter/in: Prof. Dr. Carolina Ganß

Gutachter/in: PD Dr. Niko Christian Bock

Tag der Disputation: 18.11.2025

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Zielsetzung | 5 |
| 3 | Theoretische Grundlagen | 6 |
| 3.1 | Die dentale Plaque | 6 |
| 3.1.1 | Die Rolle der oralen Mikroorganismen | 7 |
| 3.1.2 | Stadien der Plaqueentwicklung | 8 |
| 3.1.3 | Klinische Konsequenz..... | 10 |
| 3.2 | Diagnostik der Zahnbeläge..... | 12 |
| 3.2.1 | Plaquerevelatoren..... | 12 |
| 3.2.2 | Repräsentanz der Ramfjord-Zähne..... | 13 |
| 3.3 | Methoden der Beurteilung von Plaque | 15 |
| 3.3.1 | Plaqueindizes | 15 |
| 3.3.1.1 | Plaqueindex nach Silness und Løe | 16 |
| 3.3.1.2 | Turesky modifizierter Plaqueindex nach Quigley und Hein (T-QHI)..... | 16 |
| 3.3.1.3 | Rustogi modifizierter Navy-Plaque-Index (RMNPI)..... | 18 |
| 3.3.1.4 | Marginaler Plaqueindex..... | 22 |
| 3.3.1.5 | Plaqueindex nach O'Leary et al..... | 22 |
| 3.3.1.6 | Approximalraum-Plaqueindex (API) nach Lange | 23 |
| 3.3.2 | Planimetrisches Verfahren | 24 |
| 3.3.2.1 | Vorteile der Planimetrie | 24 |
| 3.3.2.2 | Nachteile und Voraussetzungen der Planimetrie | 25 |
| 3.3.2.3 | Anwendung von intraoralen Fotografien zur planimetrischen Auswertung | 26 |
| 3.3.2.4 | Anwendung von Intraoralscannern zur planimetrischen Auswertung | 29 |
| 3.3.3 | Beurteilung durch quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz-Bilder (QLF). | 30 |
| 3.3.4 | Gravimetrisches Verfahren..... | 31 |
| 4 | Material und Methoden | 32 |
| 4.1 | Planung der Studie..... | 32 |
| 4.1.1 | Fallzahlplanung..... | 32 |
| 4.1.2 | Ein- und Ausschlusskriterien der untersuchten Personengruppe..... | 33 |
| 4.1.3 | Pseudonymisierung der Probanden | 33 |
| 4.2 | Ablauf der Studie..... | 34 |
| 4.2.1 | Flowchart | 34 |
| 4.2.2 | Erste Sitzung | 35 |
| 4.2.3 | Zweite Sitzung | 36 |
| 4.3 | Auswertung der Intraoralscans..... | 37 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.1 | Erstellung der standardisierten Screenshots | 37 |
| 4.3.2 | Bestimmung der Indizes..... | 39 |
| 4.3.3 | Ablauf der planimetrischen Auswertung | 41 |
| 4.4 | Training und Kalibrierung | 43 |
| 4.5 | Statistische Auswertung | 45 |
| 5 | Ergebnisse..... | 46 |
| 5.1 | Betrachtung der aggregierten Daten | 46 |
| 5.2 | Zusammenhang Indexwerte und planimetrisch bestimmte Plaquemenge | 52 |
| 5.3 | Betrachtung der Plaquebedeckungswerte nach Fläche..... | 56 |
| 5.4 | Zusammenhang von P% und Indexwerten nach Zahn und Fläche | 57 |
| 5.5 | Berechnete Effekte aus Literaturdaten | 62 |
| 6 | Diskussion..... | 69 |
| 6.1 | Verwendung von Plaqueindizes in wissenschaftlichen Studien | 69 |
| 6.1.1 | Eingeschränkte Aussagekraft des MPIs | 69 |
| 6.1.2 | Studienlage zum Umgang mit Plaqueindizes in wissenschaftlichen Untersuchungen | 70 |
| 6.2 | Kritische Betrachtung der Studienmethodik..... | 72 |
| 6.2.1 | Allgemeines | 72 |
| 6.2.2 | Auswahl des Intraoralscanners | 73 |
| 6.2.3 | Standardisiertes Ausrichten der zu untersuchenden Bilddateien | 74 |
| 6.2.4 | Anwendung eines Grids..... | 75 |
| 6.2.5 | Reproduzierbarkeit der Ergebnisse | 76 |
| 6.3 | Interpretation der Ergebnisse | 78 |
| 6.3.1 | Plaquebedeckung nach Plaqueakkumulation und -reduktion | 78 |
| 6.3.2 | Verteilungsmuster der prozentualen Plaquebedeckung | 78 |
| 6.3.3 | Wie repräsentieren die Plaqueindizes die Plaqueveränderungen?..... | 79 |
| 6.3.4 | Beziehung Planimetrie – Indexwerte | 80 |
| 6.3.5 | Einfluss der Zahnmorphologie auf die Untersuchungsergebnisse | 81 |
| 6.4 | Einflussnahme auf die Ergebnisse anderer Publikationen | 82 |
| 6.4.1 | Ausgewählte Publikationen - Plaquebeurteilung mit dem T-QHI..... | 83 |
| 6.4.2 | Ausgewählte Publikationen - Plaquebeurteilung mit dem RMNPI..... | 88 |
| 6.4.3 | Ursachen für mögliche Abweichungen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Plaquestudien | 91 |
| 6.4.4 | Schlussfolgerung hinsichtlich der Ergebnisse der Vergleichsstudien..... | 92 |
| 6.4.5 | Plausibilität der durch die Vergleichsstudien publizierten Plaquewerte... | 93 |
| 6.5 | Limitationen und Ausblick..... | 96 |
| 6.6 | Schlussfolgerung..... | 97 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7 | Zusammenfassung | 99 |
| 8 | Summary | 100 |
| 9 | Abkürzungs-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | 101 |
| 9.1 | Abkürzungsverzeichnis | 101 |
| 9.2 | Abbildungsverzeichnis..... | 102 |
| 9.3 | Tabellenverzeichnis | 104 |
| 10 | Literaturverzeichnis | 105 |
| 11 | Anhang | 116 |
| 11.1 | Alle erstellten Screenshots am Beispiel von P01 (T1, T2, T3) | 116 |
| 11.2 | Beispiel eines probandenspezifischen CRF-Bogens | 119 |
| 11.3 | Tabellarische Gegenüberstellung ausgewählter Artikel..... | 122 |
| 12 | Publikationsverzeichnis | 125 |
| 13 | Ehrenwörtliche Erklärung | 126 |
| 14 | Danksagung | 127 |

1 Einleitung

„Vorbeugen ist besser als Heilen“. Mit diesem Satz formulierte der deutsche Arzt Christoph Wilhelm Hufeland bereits vor etwa 160 Jahren einen wichtigen Grundsatz für alle Fachdisziplinen in der Medizin (Höffken, 2022).

In der Zahnheilkunde gilt der schwedische Zahnmediziner Per Axelsson als Wegbereiter und Mitbegründer der zahnmedizinischen Prophylaxe (Axelsson und Lindhe, 1978; Axelsson und Lindhe, 1981; Axelsson et al., 1991). Er entwickelte in den Jahren 1971 und 1972 gemeinsam mit Jan Lindhe ein individuelles Prophylaxeprogramm, bestehend aus bedarfsorientierten Mundhygieneinstruktionen in Verbindung mit der Durchführung von regelmäßigen professionellen Zahnreinigungen. Insgesamt wurden über 550 Probanden¹ in die Studie eingeschlossen. Untersucht wurde die langfristige Wirkung einer effizienten Mundhygiene mit sorgfältiger Plaquekontrolle auf die Kariesentstehung, den Zahnverlust und die Parodontitis. Die Untersuchungen erstreckten sich dabei über einen Zeitraum von 30 Jahren (Axelsson et al., 2004).

Die Testgruppe umfasste 375 Probanden drei verschiedener Altersgruppen (I: unter 35 Jahre, II: 36-50 Jahre, III: über 50 Jahre), die nach initial saniertem Gebiss in ein Prophylaxeprogramm aufgenommen wurden. Bei den Prophylaxesitzungen wurde die Plaque angefärbt, die Patienten erhielten eine individuelle Mundhygieneinstruktion (Putztechnik nach Bass, Interdentalraumhygiene mit Zahnstocher oder Zahnseide) sowie eine abschließende Zahnreinigung mit fluoridhaltiger Zahnpasta. In den ersten zwei Jahren wurden die Patienten dafür alle zwei Monate vorstellig. Ab dem dritten Jahr wurde das Recallintervall auf drei Monate verlängert. Nach sechs Jahren erfolgten die beschriebenen Prophylaxesitzungen nur noch bedarfsorientiert (Intervalle von drei bis 12 Monaten). Die Kontrollgruppe hingegen erhielt keine Anleitung hinsichtlich einer Verbesserung ihrer Mundhygiene und wurde über den Untersuchungszeitraum lediglich symptomatisch behandelt (Axelsson und Lindhe, 1978; Axelsson und Lindhe, 1981; Axelsson et al., 1991; Axelsson et al., 2004). Jährlich wurden bei allen Testpersonen die Parameter Kariesbefall, Gingivitis und Sondierungstiefen dokumentiert. Nach drei, sechs, 15 und 30 Jahren erfolgten zudem umfassende Befunderhebungen, die zusätzlich auch die Plaquemenge und den Parodontalstatus erfassten.

Die Probanden der Testgruppe zeigten bereits sechs Jahre nach Studienbeginn vernachlässigbare Anzeichen von Zahnfleischentzündungen, keinen Verlust der parodonta-

¹ *Gender-Hinweis:*

In dieser Dissertation wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Die verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich (sofern nicht anders kenntlich gemacht) auf alle Geschlechter.

len Gewebehaftung und praktisch keine neuen kariösen Läsionen (Axelsson und Lindhe, 1978). Die altersgleichen Probanden in der Kontrollgruppe zeigten am Ende des gleichen Beobachtungszeitraumes vermehrt Gingivitis, erhöhte Sondierungstiefen, Attachmentverlust und neue kariöse Läsionen (Axelsson und Lindhe, 1978). Aus ethischen Gründen wurde die Kontrollgruppe nach sechs Jahren aufgelöst. Die positiven Effekte des Prophylaxeprogramms zeigten sich über den gesamten Beobachtungszeitraum von 30 Jahren. Die Erkenntnisse führten zu einem internationalen Paradigmenwechsel in der klinischen Praxis: von einer primär kurativen zahnärztlichen Tätigkeit hin zu einer präventiv orientierten Patientenbehandlung. Nichtsdestotrotz weisen plaqueassoziierte Erkrankungen wie Karies und Parodontitis weltweit eine weiterhin hohe Prävalenz auf (Bernabe et al., 2020). Ursächlich dafür ist der multifaktoriell bedingte Biofilm auf der Zahnoberfläche und auf der Mundschleimhaut. Maßnahmen, die den Biofilm und damit die bakterielle Besiedlung im Mund reduzieren, sind von zentraler Bedeutung für die zahnmedizinische Gesundheit der Gesamtbevölkerung. Eine gute, regelmäßige und individuell angepasste Mundhygiene ist dafür unabdingbar.

Sowohl zu wissenschaftlichen Zwecken als auch im klinischen Praxisalltag werden Methoden eingesetzt, um die vorhandene Plaquemenge zu quantifizieren und diese dem Patienten zur individuellen Beratung zu visualisieren. Das etablierte klinische Standard-Verfahren zur Erfassung der Plaquemenge ist das Erheben von sogenannten Plaqueindizes (Fischman, 1986). Hierzu wird der vorhandene Biofilm in der Regel angefärbt. Anschließend wird die Zahnoberfläche in verschiedene Bereiche eingeteilt. Die entsprechenden Felder werden dann als plaque-positiv oder plaque-negativ bewertet und als Gesamtwert zusammengefasst. Dadurch erhält der Untersucher einen Anhalt auf die Gesamtplaquemenge bzw. auf das Mundhygieneverhalten des Patienten. Der Index orientiert sich häufig an den Kariesprädispositionsstellen, sodass eine vermehrte Plaqueanhäufung in diesen Bereichen zu differenzierten Aussagen befähigt und eine Risikoabschätzung ermöglicht. Inzwischen befinden sich zahlreiche Plaqueindizes in der Anwendung, die sich unter anderem in der Felderanzahl der unterteilten Zahnoberfläche unterscheiden. Manche Indizes bedienen sich einer dichotomen Auswertung, bei anderen können pro Feld Werte von 0 bis 2 angegeben werden. Damit wird der indexindividuelle Maximalwert unterschiedlich schnell erreicht. Weiterhin beurteilen die meisten Indizes die gesamte Zahnoberfläche, wohingegen andere nur den Bereich am Zahnfleischrand betrachten. Es liegt nahe, dass die Anwendung verschiedener Indizes darin resultiert, dass die Plaquemenge auch in ihrer zeitlichen Entwicklung unterschiedlich abgebildet wird (Quirynen et al., 1991). Ergebnisse verschiedener Studien lassen sich somit nur eingeschränkt vergleichen.

In einer aktuellen systematischen Übersichtsarbeit zur Effektivität von elektrischen Zahnbürsten wurde dokumentiert, inwiefern sich die Wahl des Plaqueindex auf die Studienergebnisse auswirkt (van der Sluijs et al., 2021). Mithilfe des nach Turesky modifizierten Plaqueindex nach Quigley und Hein (T-QHI) (Turesky et al., 1970) zeigte sich, dass bei Verwendung von oszillierend-rotierenden Zahnbürsten keine Unterschiede zu den Putzergebnissen durch Schallzahnbürsten bestehen würden. Nach Auswertung derselben Zahnoberflächen mit dem durch Rustogi modifizierten Navy-Plaque-Index (RMNPI) (Rustogi et al., 1992), konnten jedoch signifikante Unterschiede in den Effekten der beiden Bürstentypen beobachtet werden (van der Sluijs et al., 2021). Schlussfolgernd resultiert, dass die Aussage der Studienergebnisse vom gewählten Index abhängt.

Mittlerweile stehen als Alternative zu den Plaqueindizes auch planimetrische Verfahren zur Verfügung, mit denen die Plaquemenge quantifiziert werden kann (Pretty et al., 2005). Hierbei wird der prozentuale Anteil der mit Plaque bedeckten Fläche zu der Gesamtzahnfläche bestimmt. Es handelt sich um eine Möglichkeit die Ergebnisse EDV-basiert und damit objektiv zu ermitteln. Ein Vorteil ist, dass die für indexbasierte Studien notwendigen, aber zeitaufwendigen Trainings- und Kalibrierungsmaßnahmen entfallen. Die Planimetrie hat bislang die Anfertigung von intraoralen Fotos erfordert (Pretty et al., 2005). Dies ist zeitaufwändig, technisch anspruchsvoll und schwierig standardisierbar. Aufgrund der Zahnwölbung und den eingeschränkten Platzverhältnissen in der Mundhöhle ist es zudem oft schwierig, Bereiche wie die oral und distal gelegenen Zahnflächen gut darzustellen. Zudem besteht bei ungleichmäßiger Beleuchtung das Problem Pixel von plaquefreier zu plaquebedeckter Zahnoberfläche abzugrenzen.

Durch den Einsatz von Intraoralscannern stehen heutzutage Verfahren zur Verfügung, die das gesamte Gebiss innerhalb kurzer Zeit dreidimensional und in guter Bildqualität abbilden können. Durch den schmalen Scanneraufsatz können alle Bereiche des Zahnbogens gut und gleichmäßig ausgeleuchtet und dargestellt werden. Dies gilt auch für schwer zugängliche Bereiche wie bei Zahneng- oder -schiefstand. Besonders in der restaurativen Zahnheilkunde erfreuen sich die Intraoralscanner zur digitalen Abformung großer Beliebtheit (Aswani et al., 2020; Schmidt et al., 2022). Mit ihrer Hilfe können außerdem Behandlungsergebnisse visualisiert und dokumentiert werden. Sie ermöglichen ein Monitoring der Zahnhartsubstanz (Schlenz et al., 2023) und werden als Hilfsmittel für die Kariesdiagnostik eingesetzt (Schlenz et al., 2022). Neben diesen Anwendungsgebieten ergeben sich aber auch für die zahnmedizinische Prävention einige Vorteile.

Das Anfärben der vorhandenen Zahnbeläge mit einem Plaquerevelator dient häufig als Motivations- und Beratungsinstrument bei der zahnmedizinischen Prophylaxe. Aufgrund

der technischen Möglichkeit auch die Intraoralscans farblich abzubilden, kann die aktuelle Mundhygiene digitalisiert, dreidimensional dargestellt und hinsichtlich ihrer zeitlichen Entwicklung dokumentiert werden (Doi et al., 2021). In der erzeugten 3D-Ansicht der gescannten Zahnbögen sind jetzt auch Bereiche anschaulich abgebildet, die ansonsten für den Patienten aufgrund limitierender Faktoren wie Mundöffnung, Lichtverhältnisse, Zunge oder Wangenschleimhaut nicht einsehbar wären. Die hohe Bildqualität der erzeugten Intraoralscans ermöglicht dabei auch eine gute Darstellung selbst kleiner Plaquemengen (Giese-Kraft et al., 2022). Durch eine wiederholte Durchführung kann der Erfolg von Mundhygieneinstruktionen beurteilt werden, sodass im Falle einer Stagnation oder Verschlechterung der Mundhygiene frühzeitig Maßnahmen zur Remotivation ergriffen werden können. Durch die Intraoralscanner besteht weiterhin die Möglichkeit eine Vielzahl von Plaqueindizes untereinander, aber auch mit planimetrischen Messungen zu vergleichen (Jung et al., 2022). Bisher konnte sich die Planimetrie aber, vor allem aufgrund des Zeitaufwandes gegenüber der klinischen Erhebung von Plaqueindizes, nicht durchsetzen.

Die Arbeitsgruppe hat bereits in einer aktuellen klinischen Studie (Votum 142/19) die Ergebnisse der Plaqueplanimetrie mit denen des RMNPI-Indexes verglichen. Beide konnten zwar signifikante Unterschiede zwischen unterschiedlichen Mundhygienezuständen zeigen, jedoch wurde der Zusammenhang zwischen der gemessenen Plaquemenge und den indexpositiven Arealen nicht linear, sondern eher in einer Exponentialfunktion dargestellt. Je größer die Plaquebedeckung war, desto größer wurden die Abweichungen zwischen den Ergebnissen der beiden Untersuchungsmethoden (Jung et al., 2022a). Eine Erklärung hierfür ist die dichotome Bewertung der RMNPI-Areale. Hierbei wird kein Unterschied zwischen kleinen Plaqueinseln und vollständiger Plaquebedeckung gemacht. Wenn laut Planimetrie die prozentuale Plaquemenge nach Mundhygienemaßnahmen verringert war, konnte dies durch den weitaus weniger sensitiven Index nicht erfasst werden. Die tatsächliche Plaquereduktion ließ sich demnach durch den Index schlechter repräsentieren (Jung et al., 2022a).

Es ist unbestritten, dass sich der in Studien eingesetzte Index an der individuellen Fragestellung orientieren sollte (Quirynen et al., 1991), deshalb ist eine gewisse Auswahl an verschiedenen Indizes gerechtfertigt. Trotzdem sollte eine kritische Analyse dahingehend erfolgen, inwieweit sich der subjektiv erhobene Indexwert von der tatsächlichen Plaquemenge unterscheidet und ob sich diese Zusammenhänge auf alle Indizes übertragen lassen (Fischman, 1986). Gibt es einen Index, der die Realität am besten wider-

spiegelt und kann man bei diesem von einem möglichst linearen Zusammenhang zwischen tatsächlicher und ermittelter Plaquemenge, auch über den zeitlichen Verlauf unterschiedlicher Mundhygienezustände, sprechen?

2 Zielsetzung

In der vorliegenden Studie wurde zur Beantwortung dieser Fragestellung die Plaque von 30 Probanden zu jeweils drei unterschiedlichen Zeitpunkten der Mundhygiene untersucht. Das Ziel hierbei war, darstellen zu können, inwieweit die verschiedenen Plaqueindizes in der Lage sind, die durch planimetrische Methoden erhobene, tatsächliche Plaquemenge widerzuspiegeln. Außerdem sollte aufgezeigt werden, inwiefern sich insbesondere Veränderungen der Plaquequantität zu verschiedenen Zeitpunkten der Mundhygiene abhängig vom verwendeten Index unterscheiden. Die vorliegende Arbeit baut dabei auf den Ergebnissen der Vorgängerstudie auf, soll aber den Zusammenhang von Plaqueindizes und planimetrisch ermittelter Plaquemenge vertiefend analysieren. Dazu wird ein neuer Intraoralscanner verwendet, der eine deutlich bessere Bildqualität liefert als der in der vorherigen Studie verwendete Scanner.

Zusammengefasst wird die vorliegende Arbeit drei konkrete Fragestellungen beleuchten:

- Welchen Bezug weisen die eher abstrakten Plaqueindexwerte zur tatsächlichen Plaquebedeckung auf?
- Welche klinische Relevanz haben die Plaqueindexwerte aus klinischen Studien zu Mundhygieneverfahren, wenn diese in Bezug zur tatsächlichen (planimetrischen) Plaquebedeckung gesetzt werden?
- Kann eine Aussage darüber getroffen werden, welcher der geeignetste Index für die Darstellung von Plaquemengen ist, bzw. welcher spiegelt die Realität am objektivsten wider?

Insgesamt soll der Erkenntnisgewinn zu einer verbesserten Methodik von Mundhygienestudien beitragen.

In vielen bisherigen Studien wurde die Planimetrie zur Erfassung der Plaquequantität vorwiegend an intraoralen Fotografien durchgeführt (Pretty et al., 2005). Die vorliegende Arbeit soll neben den wissenschaftlichen Aspekten auch dazu beitragen, die Planimetrie an 3D-Scans als Methode zur Plaqueerfassung zu etablieren.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Die dentale Plaque

Der gebräuchliche Begriff „dentale Plaque“ wurde im 19. Jahrhundert durch G. W. Black definiert und beschreibt in der Zahnmedizin klinisch sichtbare Ansammlungen von Mikroorganismen auf den Zähnen (Meyer-Lückel, 2012). Gegenwärtig wird zudem auch der Begriff „dentaler Biofilm“ verwendet. Er beschreibt im Prinzip die dentale Plaque, aber unter dem histologischen Aspekt als „strukturierten, zähen, verfilzten Zahnbelag aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Bakterienzellen“ (Hellwig et al., 2018). Marsh definiert einen Biofilm als „dreidimensionale Ansammlung interagierender Mikroorganismen, die an einer Oberfläche haften und in eine Matrix extrazellulärer polymerer Substanzen eingebettet sind“ (Marsh, 1994).

Insgesamt besteht die ausgereifte Plaque zu 60 bis 70 Volumenprozent aus Bakterien, die in einer komplexen mikrobiellen Gemeinschaft leben (Marsh et al., 2003; Hellwig et al., 2018). Eingebettet sind sie in der sogenannten Plaquematrix. Hierbei handelt es sich um ein amorphes Material, welches einerseits den Zusammenhalt der Bakterien unterstützt, andererseits auch die Anhaftung des Biofilms an der Zahnoberfläche ermöglicht. Die Matrix besteht aus Proteinen, Polysacchariden, Lipiden und Nukleinsäuren. Sie ist von der Speichelzusammensetzung, der Ernährung und der Syntheseleistung verschiedener Plaquebakterien abhängig (Hellwig et al., 2018). Die Polymere der Matrix können entweder direkt aus dem Speichel stammen oder von Bakterien produziert werden (Marsh et al., 2003).

Bedingung für das Entstehen von Plaque ist das Ausbleiben von mechanischen und chemischen Störeinflüssen (Marsh, 1994; Marsh et al., 2003; Carvalho et al., 1989; Thylstrup et al., 1994). Die habituell unsauberen Bereiche der Zähne sind demnach Plaque- und damit Kariesprädispositionsstellen. Durch die Zungen- und Lippenbewegungen sowie den Speichelfluss und die Abrasion beim Kauen unterliegen einige Bereiche der Zahnreihe der funktionalen Selbstreinigung. Bereiche, die dieser nur unzureichend ausgesetzt und zudem bei der häuslichen Mundhygiene schwieriger zu erreichen sind, weisen demnach ein besonders hohes Plaque- und Kariesrisiko auf. Zu den kariesprädisponierten Stellen gehören die Zahnfissuren und -grübchen, freiliegende Wurzeloberflächen, das zervikale Drittel der sichtbaren Zahnkronen im Bereich der marginalen Gingiva (Zahnfleischregion) und die Approximalflächen der Zähne bzw. vor allem der Bereich unterhalb des Kontaktpunktes (Thylstrup et al., 1994; Carvalho et al., 1989).

3.1.1 Die Rolle der oralen Mikroorganismen

Das intraorale Milieu eines Neugeborenen ist bei der Geburt in der Regel noch steril. Insbesondere durch die Mutter-Kind-Übertragung (Li und Caufield, 1995), aber auch durch Nahrung, Wasser oder Milch, findet relativ schnell eine Kolonisierung durch Mikroorganismen statt. Diese ersten Mikroorganismen werden dabei als „Pioniere“ bezeichnet (Marsh, 1994). Abhängig von den ökologischen Bedingungen, wie z.B. dem Ernährungsverhalten und dem oralen pH-Wert, etabliert sich im Laufe des Lebens eine Vielzahl von unterschiedlichen Mikroorganismen (Hellwig et al., 2018). Dabei ist zu beachten, dass nicht alle Bakterien im Mund von Nachteil und keinesfalls grundsätzlich die Ursache für orale und systemische Erkrankungen sind. Die in der Mundhöhle vorkommenden Mikroorganismen übernehmen im Wesentlichen Schutzfunktionen. Sie stellen ein Reservoir für die Besiedlung des Magen-Darm-Trakts dar, können Immunreaktionen des Wirts auslösen und stimulieren die Wundheilung. Zudem bilden sie eine Kolonisationsbarriere gegenüber potenziell oder obligat pathogenen Keimen, indem sie Retentionsstellen besetzen, das vorhandene Substrat verbrauchen und Biofilmbedingungen schaffen, die das Wachstum von Fremdorganismen verhindern. Dies geschieht unter anderem durch die Produktion von Hemmstoffen wie Wasserstoffperoxid, Säuren und Bakteriziden (Arnold, 2010).

Nichtsdestotrotz ist der direkte Zusammenhang zwischen dem Biofilmvorkommen und dem Auftreten von oralen Erkrankungen wissenschaftlich unumstritten. Dabei sind einige der bekannten Bakterienspezies ursächlich für Karies, Gingivitis und Parodontitis (Aas et al., 2005). Man spricht von einer Verschiebung des Gleichgewichts von Seiten physiologischer Besiedlung hin zu dentalpathogenen Keimen. Es kommt also zu einer (lokal) veränderten Bakterienbesiedlung im oralen Milieu.

Erstmals wurde die bakterielle Ätiologie der Zahnkaries im Jahr 1847 durch Robert Ficius mikroskopisch nachgewiesen. Er beschrieb die Karies als „Fäulnisprozess“ und bezeichnete die vor allem durch kokkenförmige Keime besiedelte Oberflächenschicht der Zähne als „Denticola hominis“ (Arnold, 2010).

Willoughby Dayton Miller entwickelte 1889 die Kariesätiologie weiter und veröffentlichte seine Untersuchungen hierzu in seiner Monographie *„Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Die örtlichen und allgemeinen Erkrankungen, welche durch dieselben hervorgerufen werden“* (Miller, 1889). Mit seinem Postulat „keine Caries ohne Säure“, legte er den Grundstein für die chemisch-parasitäre Theorie, die vor allem den Zusammenhang zur Milchsäuregärung herstellt. Er beschrieb die Kariespathogenese durch zwei Stadien: Zu-

nächst erfolge der bakterielle Säureangriff, der an der Zahnoberfläche zur Demineralisation führe, daraufhin erfolge im „zweiten Stadium der Zahncaries, die Auflösung des erweichten Zahnbeins“. Laut Miller seien drei Faktoren für die Entstehung von Karies und Parodontalerkrankungen verantwortlich: „1. Prädisponierende Umstände, 2. Locale Reize, 3. Bakterien“ (Miller, 1889).

Williams entwickelte das Konzept weiter und seit den Erkenntnissen durch Black im Jahr 1914 werden diese bakteriellen Oberflächenschichten als „Zahnplaque“ bezeichnet (Arnold, 2010).

Allgemein beziehen die intraoralen Mikroorganismen ihre Nährstoffe bei Nahrungskarenz aus den Glykoproteinen des Speichels. Diese werden fermentiert und als Stoffwechselnebenprodukte freigesetzt. Beginnt die Nahrungsaufnahme steht den Mikroorganismen ein großes Angebot an fermentierbaren Kohlenhydraten zur Verfügung (Meyer-Lückel, 2012). Zudem sind die Bakterien selbst Produzenten von intra- und extrazellulären Polysacchariden (Marsh, 1994). Die Eigenschaft der Plaquebakterien extrazelluläre Polysaccharide zu bilden, ermöglicht einerseits die feste Anhaftung an die Zahnoberfläche, andererseits die Etablierung einer hochgradig kariogenen Plaque. Durch die Bildung intrazellulärer Polysaccharide entstehen Speicherkohlenhydrate, die bei verringertem Substratangebot den Stoffwechsel der Bakterien aufrecht erhalten können (Hellwig et al., 2018).

Die typischen Mikroorganismen in einer kariogenen Plaque sind laut Marsh anaerob oder fakultativ anaerob, azidogen (säurebildend) und azidophil (säuretolerant) (Marsh, 1994). Die Fähigkeit der Bakterien Säuren zu produzieren, hat zur Folge, dass der pH-Wert in und um die Plaque und damit im Bereich der Zahnoberfläche sinkt. Aufgrund des entstehenden sauren Milieus finden Demineralisationsvorgänge der Zahnhartsubstanz statt. Da die Demineralisation durch Plaquesäuren als primärer Prozess der Karies verstanden wird, spricht man hier von einem „kariogenen Säureangriff“ (Meyer-Lückel, 2012). Aufgrund der Säuretoleranz der kariogenen Mikroorganismen können diese in der Plaque weiterhin aktiv bleiben und die Demineralisationsvorgänge in Richtung des klinischen Bildes einer etablierten Karies verstärken (Loesche, 1986).

3.1.2 Stadien der Plaqueentwicklung

Die Plaqueentwicklung lässt sich in mehrere Phasen einteilen. Auf der gereinigten Zahnoberfläche entsteht bereits innerhalb von Sekunden das sekundäre Zahnoberhäutchen, welches auch „acquired pellicle“ (sog. erworbenes Pellikel) genannt wird (Dawes,

1963). Dieser erste bakterienfreie Film ist noch unstrukturiert, ca. 0,1 bis 1 μm dick und vorwiegend aus Speichelproteinen zusammengesetzt (Hellwig et al., 2018; Meyer-Lückel, 2012). Der Grund für die rasche Bindung ist die positive Eigenladung der Speichelproteine (Enzyme, Immunglobuline, Glyko- und Serumproteine), die eine hohe Affinität zu den negativ geladenen Kalzium- und Phosphatgruppen des Hydroxylapatits der Zahnhartsubstanzen aufweist (Lendenmann et al., 2000). Es kommt zu einer elektrostatischen Bindung (Van-der-Waals-Kräfte) (Gibbons, 1989). Die Entstehung des Pellikels ist durchaus vorteilhaft, so stellt es z.B. eine mechanische Schutzfunktion des Zahnes vor Abrasion und vor chemischen Angriffen dar. Zudem kann es auch die Austauschvorgänge zwischen dem Mundhöhlenniveau, der Plaque und der Zahnhartsubstanz steuern (Zahradnik et al., 1976).

Innerhalb von wenigen Stunden heften sich an diese erste Membran die bakteriellen „Frühbesiedler“ an. Hierzu zählen Aktinomyzeten und grampositive Kokken (*Streptococcus salivarius*, *Streptococcus sanguinis*, *Streptococcus oralis*, *Streptococcus mitis*). Der genaue Mechanismus, wie die Mikroorganismen am Pellikel haften, ist komplex und noch nicht vollumfassend verstanden (Meyer-Lückel, 2012). Man geht davon aus, dass die Bakterien in ihrer Membran ein Erkennungssystem besitzen, welches spezifische Rezeptoren im Pellikel erkennen kann (Gibbons, 1989). In den Zahnfissuren und bei Zahnhartsubstanzdefekten können sich die Bakterien auch ohne physikalische Kräfte ansiedeln (Fejerskov et al., 1984; Ekstrand et al., 1999), wodurch das Entstehen einer Karies begünstigt wird. Nach drei bis sechs Stunden hat sich auf den Zähnen eine einschichtige Zelllage gebildet. Es handelt sich überwiegend um Aerobier, deren Endprodukte Kohlenstoffdioxid und Wasser sind und die somit keine Gefahr für die Zahnhartgewebe darstellen (Meyer-Lückel, 2012).

Im zeitlichen Verlauf verändert sich die bakterielle Besiedlung. Über Adhäsions- und Kohäsionsphänomene (Adhäsion-Rezeptor-Interaktionen) können weitere Bakterien akkumulieren (Kolenbrander, 2000). Dies ist durch direkten Zellkontakt oder durch Plaque-matrixkomponenten möglich. Des Weiteren finden auch innerhalb der Plaque zahlreiche Teilungsvorgänge statt, sodass die Plaque an Größe und Ausdehnung zunimmt. Es handelt sich nun um eine mehrschichtige Ansammlung von verschiedenen Mikroorganismen (Nyvad und Kilian, 1987). Zu den „Spätbesiedlern“ werden *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Treponema denticola*, *Porphyromonas gingivalis* und *Prevotella intermedia* gezählt. In einer reifen Plaque überwiegt der Anteil an Actinomyceten (Ritz, 1967; Syed und Loesche, 1978). Von Bedeutung ist hierbei, dass die Spätbesiedler kaum untereinander aggregieren können. Außerdem koaggregieren auch die Früh- nicht mit den Spätbesiedlern. Es wäre demnach zu erwarten, dass die Geschwindigkeit des Plaquewachstums mit der Zeit abnimmt, bzw. die Plaque eine instabilere Form annimmt. Dies

ist aber nicht der Fall, da das vorkommende *Fusobacterium nucleatum* die Mikroorganismen untereinander verknüpfen kann. Es wird auch als „Brückenbakterium“ bezeichnet und nimmt eine wichtige Funktion bei der Plaqueentstehung ein. Insgesamt handelt es sich bei diesem Fusobakterium um die häufigste orale gramnegative Spezies (Hellwig et al., 2018).

Die Früh- und Spätbesiedler unterscheiden sich unter anderem auch in ihrer Stoffwechselaktivität und in ihrer Anordnung in der Plaque. Die aeroben Mikroorganismen auf der Plaqueoberfläche sind sehr stoffwechselaktiv, da ihnen hier Sauerstoff und Nährsubstrat zur Verfügung stehen. Die tiefergelegenen Bakterien (Anaerobier) haben ein reduziertes Nährstoffangebot und einen reduzierten Stoffwechsel. Sie sind meist kleiner und zeigen eine geringe Teilungsrate (Hellwig et al., 2018).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Anteil der Aerobier mit fortschreitender Entwicklung der Plaque abnimmt und die Menge der Anaerobier zunimmt. Dies ist allerdings von den lokalen ökologischen Gegebenheiten abhängig, sodass hemmende oder fördernde Faktoren Einfluss nehmen können. Beispiele hierfür sind z.B. ein verminderter Speichelfluss, wachstumsfördernde Substanzen im Speichel und in der Nahrung (Saccharose, Kalzium) oder die Anwendung von antimikrobiellen Substanzen und die Mundhygiene (Hellwig et al., 2018). Anzumerken ist, dass die bakterielle Besiedlung und damit auch die Zusammensetzung und die Struktur in verschiedenen Bereichen der Mundhöhle und sogar an den unterschiedlichen Flächen eines Zahnes variiert (Nyvad und Kilian, 1987; Ekstrand et al., 1999).

3.1.3 Klinische Konsequenz

Durch die mechanische und chemische Reinigung der Zähne und der marginalen Gingiva bei entsprechenden Mundhygienemaßnahmen soll die Plaque bestmöglich entfernt werden. Daraufhin stellt sich die ursprüngliche, apathogene Bakterienflora wieder ein (Loe et al., 1965).

Durch die Anwendung fluoridhaltiger Zahnpasta, der Zunahme der Selbstwirksamkeitsleitung und der regelmäßigen Mundhygiene konnte die Kariesinzidenz seit 1970 deutlich gesenkt werden (Wright et al., 1977; Marthaler, 1990; Marinho, 2009).

Die Übersichtsarbeit von Kocher et al. untersuchte die Prävalenzentwicklung von Karies, Parodontitis und Zahnverlust über den Zeitraum von 1997 bis 2014. Dafür wurden Daten aus der *Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS) III, IV und V* und aus den *Studies of Health in Pomerania (SHIP-0 und SHIP-Trend-0)* herangezogen. Unter anderem wurde

eine kontinuierliche Zunahme von gesunden, füllungsreifen Zähnen in allen untersuchten Altersgruppen aufgezeigt. Zudem war ein Anstieg des Zahnerhalts und weniger Zahnlosigkeit zu verzeichnen (Kocher et al., 2021).

Nichtsdestotrotz ist vor allem die Parodontitis und die Wurzelkaries eine Erkrankung des Alters. Schätzungen, die auf Daten der *Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V)* basieren, nehmen an, dass in Deutschland mittlerweile ca. 10 Millionen Menschen an einer schweren Parodontitis erkrankt sind (Dannewitz et al., 2021; Jordan et al., 2014). „Bedingt durch den höheren Zahnerhalt und die Veränderung der Gesellschaft ist in Zukunft mit einer erhöhten parodontalen Behandlungslast zu rechnen“ schlussfolgert Kocher (Kocher et al., 2021). In Folge von Zahnfleischrückgang und Knochenabbau weisen viele ältere Patienten freiliegende Zahnhälse bzw. Wurzeloberflächen auf (Schwendicke, 2022). Aufgrund verschiedener Faktoren steigt zusammen mit dem parodontalen Attachmentverlust das Risiko für die Entstehung einer Wurzelkaries. Die raue Oberflächenstruktur der Wurzeln, zusammen mit einer reduzierten Mundhygiene und einer möglichen Medikamenteneinnahme durch das vermehrte Auftreten von Allgemeinerkrankungen im höheren Lebensalter, sind hier nur beispielhaft als prädisponierende Risikofaktoren für das Entstehen einer Wurzelkaries aufgeführt (Schwendicke, 2022).

Es steht also außer Frage, dass weiterhin eine bestmögliche Mundhygiene von Seiten des Patienten im Rahmen der zahnmedizinischen Prävention angestrebt werden muss. Eben deshalb sollte die medizinische Forschung hinsichtlich geeigneter Methoden zur Plaquemengenquantifizierung ausgeweitet werden. Dies ermöglicht nicht nur eine Einschätzung des Untersuchers bezüglich des Therapieverlaufs, sondern erlaubt auch eine patientenindividuellere und möglichst anschauliche Beratung über Stärken und Schwächen in der häuslichen Mundhygiene.

3.2 Diagnostik der Zahnbeläge

Der kausale Zusammenhang zwischen dem bakteriellen Biofilm der Mundhöhle und Erkrankungen wie Karies und Parodontopathien ist zweifelsfrei wissenschaftlich nachgewiesen. Im unangefärbten Zustand sind die meisten Beläge allerdings meist farblos bis zahnfarben und für den Laien schwer erkennbar (Hellwege, 2003; Eickholz, 2021). Im Rahmen der zahnmedizinischen Prophylaxe ist es daher sinnvoll, die Beläge sowohl für den Patienten als auch für den Behandler sichtbar zu machen. Die aktuelle Mundhygienesituation des Patienten ist so besser zu beurteilen und kann im folgenden Beratungsgespräch zu einer möglichst patientenindividuellen Mundhygieneinstruktion und -remotivation führen. Auch im Rahmen der professionellen Zahnreinigung ist eine Visualisierung der vorhandenen Beläge hilfreich. Neben dem klinischen Alltag ist die Diagnostik der Zahnbeläge, im engeren Sinne die Quantifizierung von Plaque, auch für epidemiologische und wissenschaftliche Studien von großer Bedeutung. Dies kann z.B. der Fall sein, um die Wirkung von antimikrobiell wirksamen Agenzien nachzuweisen, beispielsweise bei der Entwicklung von Zahnpasten und Mundspüllösungen. Ein anderes Beispiel ist der Nachweis der Plaquereduktion durch mechanische Hilfsmittel. Dies ist u.a. beim Vergleich von verschiedenen Bürstentypen von Interesse.

3.2.1 Plaquerevelatoren

Bei dem Begriff „Plaquerevelatoren“ handelt es sich um Färbemittel, die der Sichtbarmachung der Zahnbeläge dienen. Sie unterscheiden sich in der Art der Anwendung, ihrer Darreichungsform, ihrer Wirkungsweise und bezüglich ihres empfohlenen Einsatzgebietes (Dogan, 2020). Die Farbstoffe lagern sich nach der Applikation kurzzeitig in die vorhandene Plaque ein und nachdem der Patient die Überschüsse gründlich ausgespült hat, kann die Plaquemenge beurteilt werden.

Die Sichtbarmachung erfolgt beispielsweise direkt durch sichtbare Farbstoffe wie Erythrosin (E127) oder Phloxin B plus Patentblau bzw. Brillantblau (E133), die die vorhandene Plaque in den Farben rot, rosa, pink, lila oder blau visualisieren. Es läuft dabei eine Zweiphasenreaktion ab, die junge Plaque rosa (hell) und ältere Plaque lilafarben-blau darstellt (Dogan, 2020). Die Farbveränderung entsteht dabei durch eine Wechselwirkung, die auf den Polaritätsunterschieden zwischen den Plaquebestandteilen (Proteine und Polysaccharide) und der Färbelösung beruht (Doi et al., 2021). Das bekannteste Präparat für die professionelle Anwendung ist das *Mira-2-Ton*® (Dogan, 2020).

Alternativ zu den direkten Farbstoffen verwenden andere Revelatoren fluoreszierende Pigmente wie das Fluorescein. Hierbei wird nach der Präparatapplikation eine zusätzliche Lichtquelle (UV-Licht) benötigt. Ein gelb oder grün leuchtender Bereich kann dann als plaquebehaftet identifiziert werden (Dogan, 2020).

Während sich im klinischen Alltag Plaquiefärbemedien in Form einer Lösung zum Eintuschieren bewährt haben, sind für den häuslichen Gebrauch eher Färbetabletten (Kautabletten) empfohlen. Letztere dienen der Selbstkontrolle vor und/ oder nach der häuslichen Mundhygiene. Vor allem bei Kindern und Jugendlichen kann dies eine sinnvolle Methode sein, um die Motivation für das Zähneputzen aufrechtzuerhalten (Dogan, 2020; Hellwege, 2003).

Im Rahmen des Verbraucherschutzes sind Plaquerevelatoren europaweit in den Kosmetika-Richtlinien der Europäischen Wirtschaftsgesellschaft (76/768/EWG) geregelt. In Deutschland unterstehen sie zudem dem Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (LMBG). Hierzu zählt auch die Kosmetik Verordnung (Hellwege, 2003). Zusammenfassend müssen eingesetzte Revelatoren ungiftig sein, sollten ausschließlich bakterielle Zahnbeläge einfärben und keine sensibilisierende Wirkung haben. Weitere wünschenswerte Anforderungen an die Präparate sind die Abwaschbarkeit von Haut und Kleidung und kein Hinterlassen von bleibenden Verfärbungen oder Veränderungen an Füllmaterialien. Zur Zeit liegt noch kein ideales Färbemittel vor, welches alle Forderungen erfüllt (Hellwege, 2003).

Abschließend ist hervorzuheben, dass das Anfärben der Zahnbeläge einen guten Überblick über die Mundhygienesituation des Patienten liefert. Dies bedarf keinem großen Zeitaufwand und ist einfach und nahezu nebenwirkungsfrei durchzuführen, sodass sich die Anwendung von Plaquerevelatoren sowohl im klinischen als auch im wissenschaftlichen Kontext mittlerweile etabliert hat.

3.2.2 Repräsentanz der Ramfjord-Zähne

Für die Bestimmung der Plaquemenge zur Abschätzung der patientenindividuellen Mundhygiene werden meist alle Zähne eines Gebisses betrachtet. Zur Beantwortung von epidemiologischen oder wissenschaftlichen Fragestellungen werden hingegen auch häufig lediglich die sogenannten Ramfjord-Zähne beurteilt, die als repräsentativ für das gesamte Gebiss gelten (Goldberg et al., 1985; Relvas et al., 2013). Hierbei handelt es sich um die Zähne 16, 21, 24, 36, 41 und 44 (Ramfjord, 1959; Ramfjord, 1967). Sie

kommen vor allem im Fachbereich der Parodontologie vermehrt zur Anwendung. Historisch beruht dies auf dem durch Russel im Jahr 1956 für epidemiologische Studien entwickelten „Periodontal Index“ (Russell, 1956), auf dessen Grundlage Sigurd P. Ramfjord 1959 seinen „Periodontal Disease Index“ aufbaute und im Rahmen dessen die Zähne 16, 21, 24, 36, 41, 44 als Referenzzähne bestimmte (Ramfjord, 1959; Ramfjord, 1967).

Inzwischen haben sich bereits einige Arbeitsgruppen mit der Repräsentanz dieser sogenannten Referenzzähne beschäftigt:

Die Arbeitsgruppe um Fleiss et al. untersuchte die Aussagekraft der Ramfjord-Zähne im Vergleich zu der des Gesamtgebisses in Bezug auf Gingivitis und Parodontitis. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass „die Referenzzähne für epidemiologische Studien zur Gingivitis mehr als ausreichend repräsentativ für den Rest des Gebisses“ seien (Fleiss et al., 1987). Bezüglich der Parodontitis kam es allerdings zu einer „systematischen Unterschätzung der Prävalenz und Inzidenz tiefer parodontaler Taschen“ (Fleiss et al., 1987), sodass die genannte Arbeitsgruppe die Anwendbarkeit der Referenzzähne einschränkte. In der Querschnittsstudie von Di Murro et al. wurde untersucht, ob die genannten Zähne die Entwicklung der Taschentiefe bei parodontalen Erkrankungen effektiv im Vergleich zum Gesamtgebiss darstellen können. Aufgrund ihrer Ergebnisse konnten die Autoren die Annahme bestätigen und zeigten die epidemiologische Validität der Ramfjord-Zähne (Di Murro et al., 1990).

Auch Silness und Røynstrand schlussfolgerten nach ihrer Vergleichsstudie im Jahr 1988, dass es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Referenzzähne und denen des gesamten Gebisses gab. Sie untersuchten neben der Sondierungstiefe auch Parameter wie Plaque- und Gingivaindizes (Silness und Røynstrand, 1988).

3.3 Methoden der Beurteilung von Plaque

Inzwischen sind verschiedenen Verfahren im Umlauf um die individuelle Plaquemenge zu quantifizieren. Die Methoden unterscheiden sich hierbei deutlich hinsichtlich der Einfachheit der Anwendung, des Zeitaufwandes, der Bewertungsgrundlagen und der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse (Albino et al., 1978). Die Anwendung verschiedener Plaqueindizes gehört dabei noch zum klinischen Standardverfahren, da der technische und zeitliche Aufwand relativ gering ist. Es handelt sich hierbei allerdings um ein untersucherabhängiges und damit subjektives Verfahren. Dies erscheint für den Praxisalltag zunächst ausreichend. Zu wissenschaftlichen und epidemiologischen Zwecken kommen hingegen häufig andere Methoden der Plaquequantifizierung zum Einsatz, die als objektive Messmethoden gelten. Diese sind zwar zeitaufwändiger, zeichnen sich aber durch eine höhere Reproduzierbarkeit aus (Albino et al., 1978). Hierzu zählen die Plaqueplanimetrie, die gravimetrischen Verfahren und die Fluoreszenzmessung. Diese unterschiedlichen Methoden werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

3.3.1 *Plaqueindizes*

Mit dem Begriff „Index“ wird in der diagnostischen Medizin ein aus anderen Parametern abgeleiteter Rechenwert bezeichnet, der bestimmte Merkmale herausstellen und anzeigen soll. Qualitätsmerkmale eines praxistauglichen Indexes sind eine hohe Sensitivität und Spezifität, ein hoher positiver bzw. negativer Vorhersagewert sowie seine Einfachheit und Reproduzierbarkeit. Zudem sollte eine rasche, praktische Anwendung möglich sein, sodass die Handhabung auch durch nicht speziell geschultes Fachpersonal erfolgen kann. Indizes ermöglichen überwiegend quantitative, aber auch qualitative Aussagen (Hellwig et al., 2018).

Bei den Plaqueindizes handelt es sich um eine weitverbreitete und etablierte Methode die vorhandene Plaquemenge abzubilden, zu quantifizieren und numerisch darzustellen. Hierzu werden in der Regel alle Zähne eines Gebisses betrachtet. Unter Umständen kann die Untersuchung aber auch nur an den Ramfjord-Zähnen (16, 21, 24, 36, 41, 44) erfolgen (Ramfjord, 1959; Ramfjord, 1967).

Mithilfe der erhobenen Indizes kann ein Eindruck über die aktuelle Mundhygienesituation von Patienten gewonnen und die Kontrolle von Therapieerfolgen im klinischen Alltag ermöglicht werden. Des Weiteren berufen sich auch zahlreiche epidemiologische und wissenschaftliche Studien auf erhobene Plaqueindexwerte (Hellwig et al., 2018).

Viele Indizes sind so aufgebaut, dass sie sich an den Bereichen der Zahnoberfläche mit dem höchsten Plaqueakkumulationsrisiko orientieren und dementsprechend auch einen indirekten Anhalt auf das mögliche Kariesrisiko geben können. Beispielhaft sind hier die Gingivasaumlinie und die interproximalen Bereiche des Zahnes zu nennen. Diesen anatomischen Bereichen wird, aufgrund ihres Zusammenhangs mit dem Auftreten von Gingivitis und Parodontalerkrankungen, eine erhöhte Bedeutung zugewiesen (Carter et al., 2004). Einschränkend hierzu ist zu beachten, dass weder patientenindividuelle gesundheitliche Risikofaktoren, noch die Plaquequalität berücksichtigt werden. Die Indizes lassen also keine Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Biofilms (die individuellen Bakterienspezies oder deren Vitalität) zu (Eickholz, 2021).

Folgend werden exemplarisch einige der gebräuchlichen Plaqueindizes vorgestellt.

3.3.1.1 Plaqueindex nach Silness und Loe (1964)

Der Plaqueindex nach Silness und Loe wird mithilfe eines Spiegels und einer zahnärztlichen Sonde an der getrockneten Zahnoberfläche angewandt, ohne dass die Plaque vorab angefärbt wird. Es wird lediglich der Zahnhalsbereich mit Sulkus und Gingivarand untersucht. Dabei werden vier Schweregrade differenziert:

- Grad 0 Keine Plaque durch Inspektion und Sondierung zu erkennen
- Grad 1 Nicht sichtbarer, dünner Plaquefilm, der nur durch Abschaben mit der Sonde zu erkennen ist
- Grad 2 Mäßige Plaqueablagerung, die mit bloßem Auge zu erkennen ist; die Plaque füllt den Interdentalraum nicht aus
- Grad 3 Dicke Plaqueablagerung, die den Interdentalraum ausfüllt

Die Erhebung erfolgt dabei an jedem Zahn an je vier Messstellen (oral und vestibulär jeweils distal und mesial) (Silness und Loe, 1964; Arnold, 2010; Hellwig et al., 2018).

3.3.1.2 Turesky modifizierter Plaqueindex nach Quigley und Hein (T-QHI) (1970)

Die ursprüngliche Form dieses Plaqueindexes wurde erstmals im Jahr 1962 durch Gertrude Quigley und John Hein postuliert (QHI) (Quigley und Hein, 1962). Er entspricht

weitestgehend der später durch Turesky modifizierten Form, wie sie in *Abbildung 1* dargestellt ist. Lediglich Grad 2 wurde durch Turesky et al. im Jahr 1970 näher definiert: Während Grad 2 beim QHI noch als „deutliche Plaquelinie am Zahnfleischrand“ (Quigley und Hein, 1962) beschrieben wurde, definiert der T-QHI den Grad 2 als „ein dünnes durchgehendes Plaqueband (bis zu einem Millimeter) am Zahnhalsrand“ (Turesky et al., 1970). Restaurationen und dritte Molaren werden von der Beurteilung ausgeschlossen (Arnold, 2010).

Für die Bewertung nach dem T-QHI wird die Plaqueausdehnung in gedachten horizontalen Abschnitten vom Gingivarand aus nach koronal beurteilt. Die Orientierung erfolgt hierbei an der Drittelung der Zahnoberfläche (Turesky et al., 1970; Quigley und Hein, 1962).



Abbildung 1: Gradeinteilung des T-QHIs (eigene Darstellung)

Aus der Bewertung für jeden Zahn wird dann ein Gesamtindex für das Gebiss berechnet. Je nach Fragestellung kann aber auch ein Mittelwert für den Ober- oder Unterkiefer bzw. für die einzelnen Quadranten gebildet werden (Turesky et al., 1970).

3.3.1.3 Rustogi modifizierter Navy-Plaque-Index (RMNPI) (1992)

Der ursprüngliche Navy-Plaque-Index unterteilte die Zahnoberfläche in vier Bereiche. Bezeichnet wurden diese als „M“ (mesial), „G“ (gingival), „D“ (distal) und „R“ (übrig; *englisch: remaining*). Dabei wurde das Plaquevorkommen unterschiedlich stark gewichtet. Wenn Plaque auf den mesialen oder distalen Zahnoberflächen (im Bereich der Gingiva) detektiert werden konnte, wurde ein Wert von „3“ vergeben. Plaquevorkommen im Bereich „G“ wurde mit „2“ bewertet und bei Plaque auf der übrigen Zahnfläche (fazial bzw. lingual), welche keinen Bezug zur Gingiva aufwies, wurde ein Wert von „1“ addiert. So konnte für jeden der untersuchten Zähne sowie für jeden Probanden ein Gesamtwert berechnet werden (Hancock und Wirthlin, 1977).

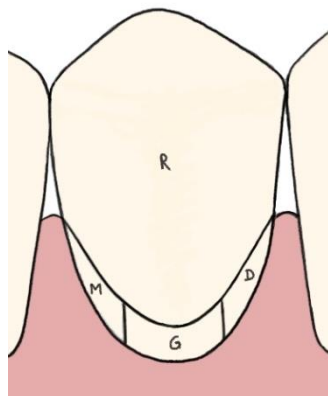


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Navy-Plaque-Indexes (eigene Darstellung)
(M: mesial, G: gingival, D: distal, R: übrige Fläche)

Der Navy-Plaque-Index wurde daraufhin mehrfach modifiziert.

Der im Jahr 1972 von Elliott et al. modifizierte Navy-Plaque-Index (MNPI) sah vor, die angefärbte Zahnoberfläche in neun gedachte Zonen zu unterteilen, um damit die vorhandene Plaque zu quantifizieren. Diese Zonen wurden jeweils mit 0 oder 1 bewertet, wobei „0“ die vollständige Abwesenheit von Plaque und „1“ das Vorhandensein von Plaque beschreibt. Dabei ist der Wert 1 unabhängig von der absoluten Plaquequantität. Dies hat zur Folge, dass sowohl eine einzige Plaqueinsel als auch eine vollständige Plaquebedeckung mit dem Wert 1 bewertet wurde.

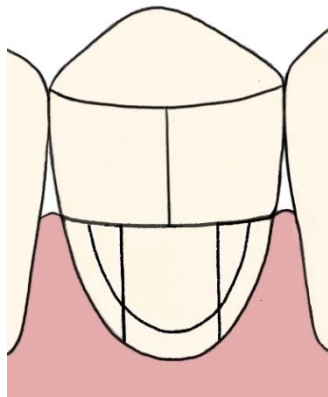


Abbildung 3: Schematische Darstellung des durch Elliott et al. modifizierten Navy-Plaque-Indexes (MNPI) (eigene Darstellung)

Die *Abbildung 3* verdeutlicht schematisch die Betrachtungsfelder, an denen sich der MNPI orientiert. Die Oberfläche des Zahnes wird in drei horizontale Hauptzonen unterteilt. Eine zervikale, eine mittlere und eine okklusale bzw. inzisale Zone.

Der zervikale Abschnitt, der sich an den Papillenspitzen orientiert, wird weiterhin in sechs Bereiche gegliedert. Dafür verläuft eine weitere Linie möglichst parallel zur marginalen Gingiva. Dieser gingivale Abschnitt nimmt über die gesamte Länge eine Ausdehnung von einem Millimeter über dem Gingivarand ein und ist damit deutlich schmäler als die Übrigen. Die zervikale Zone wird nochmals in einen mesialen, mittleren und distalen Bereich unterteilt. Die mittlere Zone wird lediglich in einen mesialen und distalen Abschnitt gegliedert, während die okklusale Zone nicht weiter unterteilt wird (Elliott et al., 1972).

Auch in der durch Rustogi et al. im Jahr 1992 modifizierten Variante wird die Zahnoberfläche in neun Zonen (A bis I) eingeteilt. Die Zone D und F bilden hierbei die Zone unter den approximalen Kontaktpunkten ab, während E als Übergangszone zwischen gingivalem und mittlerem Bereich angesehen werden kann. Die Bewertung erfolgt dann nach dem bekanntem Schema (Rustogi et al., 1992).

Mithilfe der Modifikation können vor allem die approximalen und marginalen Bereiche der Zahnoberfläche, und somit auch die Bereiche der höchsten Plaqueakkumulation, differenzierter betrachtet werden (Fischman, 1986).

Abbildung 4 veranschaulicht schematisch den durch Rustogi modifizierten Navy-Plaque-Index (RMNPI).

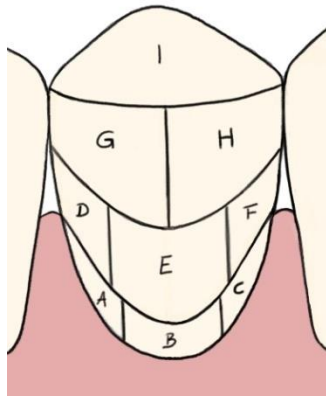


Abbildung 4: Schematische Darstellung des durch Rustogi modifizierten Navy-Plaque-Indexes (RMNPI) (eigene Darstellung)

Claydon und Addy modifizierten im Jahr 1995 weiterhin die Auswertung des Navy-Plaque-Indexes mithilfe von planimetrischen Verfahren zur Erfassung der Plaque. Hierfür fertigten sie Fotos der Zähne an und werteten diese anschließend mithilfe einer Schablone aus. Das Ziel war ein Verfahren zu finden, welches weniger Zeitaufwand am Patienten erforderte. Dieser ist nicht unerheblich, da bei einem vollbezahnten Gebiss, wenn sowohl fazial als auch oral Messwerte erhoben werden, mit einer Gesamtsumme von 576 Messwerten zu rechnen ist ($32 \text{ Zähne} \times 2 \text{ [fazial und oral]} \times 9 \text{ Messwerte}$) (Claydon und Addy, 1995; Claydon und Addy, 1996).

Wie bereits beschrieben hat die dichotome Auswertung (0 bzw. 1) den Nachteil, dass kleine Plaqueinseln, ebenso wie eine vollständige Plaquebedeckung, als plaque-positiv also mit „1“ bewertet werden. Eine Plaquereduktion, die nicht zur absoluten Plaquefreiheit geführt hat, wird demnach nicht abgebildet und die tatsächliche Plaquemenge wird überschätzt.

Aufgrund dessen entwickelte Markus J. Bretz in seiner Dissertation an der Universität Witten/ Herdecke 2010 eine weitere Modifikation, nach der die Felder nun mittels drei unterschiedlicher Kategorien bewertet werden:

- 0 plaquefrei
- 1 < 50 % plaquebedeckt
- 2 ≥ 50 % plaquebedeckt

Auch bei diesem Index (RMNPI nach Bretz; RMNPI-B) wird abschließend ein Summenscore pro Zahn gebildet, der dann weiterhin für das gesamte Gebiss berechnet werden kann.

Abbildung 5 verdeutlicht das neue Bewertungsschema.

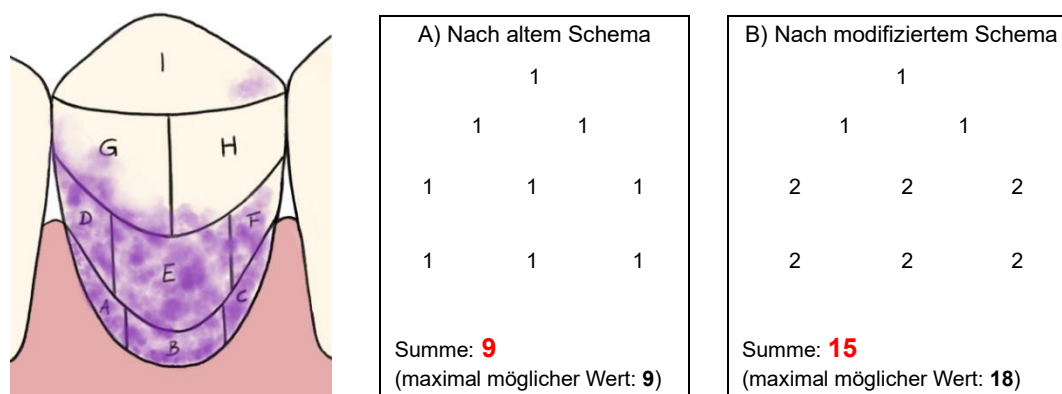


Abbildung 5: Schematische Darstellung der abweichenden Ergebnisse durch Auswertung nach A) dem alten Bewertungsschema und B) nach der durch Bretz modifizierten Variante (eigene Darstellung)

Nach dem alten Auswerteverfahren (RMNPI) ergibt sich ein Wert von 9. Hiermit wird eine Plaquemenge suggeriert, die dem maximal erreichbaren Wert entspricht. Schon am Schema lässt sich erkennen, dass es sich hierbei um falsch positive (zu hohe) Plaquewerte handelt. Durch die nach Bretz modifizierte Variante ergibt sich hingegen eine Summe von 15, womit auch ohne visuelles Bild offensichtlich ist, dass der Maximalwert von 18 noch nicht erreicht ist, es also noch plaquefreie Stellen geben muss.

Insgesamt bietet der Navi-Plaque-Index mit all seinen Modifikationen einige Vorteile: Er lässt sich sowohl inter- als auch intraindividuell sehr gut reproduzieren (Shaloub und Addy, 2000). Des Weiteren zeigt er nachgewiesenermaßen eine größere Objektivität gegenüber anderen Indexsystemen (Claydon und Addy, 1995). Von Nachteil ist hingegen der große Zeitaufwand, der sich, trotz der Modifikation von Claydon und Addy, nur eingeschränkt im klinischen Alltag umsetzen lässt. Außerdem ist es schwierig alle Werte zu erheben, da durch die Anatomie des Mundes die Einsehbarkeit, vor allem von den distalen Bereichen der letzten Molaren, sehr eingeschränkt ist.

Claydon und Addy konnten zeigen, dass durch das Anfertigen von Fotos verbesserte technische Verhältnisse geschaffen werden können, was zu einer höheren Sensitivität bei der Auswertung führte. Bei den Fotografien ist außerdem darauf zu achten, dass Parameter wie die Beleuchtung möglichst standardisiert werden müssen. Dies ist vor allem in den distalen Kieferabschnitten schlechter realisierbar als an anterioren Bereichen des Zahnbogens.

3.3.1.4 Marginaler Plaqueindex

Beim marginalen Plaqueindex wird der gingivanahe Bereich in vier Abschnitte unterteilt. Nach Anfärben der Plaque wird der prozentuale Anteil plaquefreier Areale angegeben. Auch hier kann wieder ein Mittelwert für das Gesamtgebiss erhoben werden (Deinzer et al., 2014).

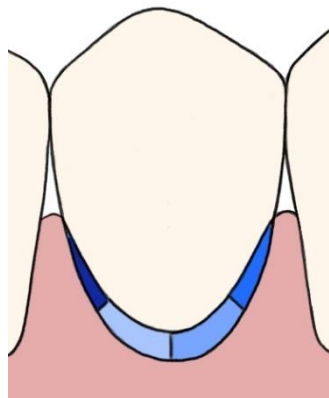


Abbildung 6: Schema zur Einteilung mittels MPI (Marginaler Plaqueindex) (eigene Darstellung)

3.3.1.5 Plaqueindex nach O'Leary et al. (1972)

Der Plaqueindex nach O'Leary et al. wird auch als Plaque-Control-Record-Index (PCR) bezeichnet. Hier erfolgt die Bewertung des Vorhandenseins von Plaque anhand einer einfachen dichotomen Ja-/ Nein-Bewertung. Zunächst werden die vorhandenen Beläge mit einem Revelator angefärbt, woraufhin der Index an jeweils vier bzw. sechs Stellen jedes Zahnes erhoben wird. Betrachtet werden hierzu die mesialen, bukkalen, distalen und oralen bzw. bei der detaillierteren Variante die mesio-bukkalen, bukkalen, disto-bukkalen, mesio-oralen, oralen und disto-oralen Anteile der Zähne.

Mithilfe der Formel:

$$\text{PCR} = \frac{\text{positive Plaquemessungen} \times 100}{\text{Zahnzahl} \times 6}$$

wird dann der Anteil der Messstellen die Plaque aufweisen, prozentual zur Gesamtzahl aller bewerteten Zahnflächen, angegeben (O'Leary et al., 1972; Hellwig et al., 2018).

3.3.1.6 Approximalraum-Plaqueindex (API) nach Lange (1986)

Nachdem die Plaque angefärbt wurde, erfolgt eine Beurteilung, ob in bestimmten Approximalräumen Plaque vorhanden ist. Diese Bewertung erfolgt wiederum dichotom, sprich anhand einer Ja-/ Nein-Entscheidung. Für den API werden im ersten und dritten Quadranten die oralen Approximalräume beurteilt und im zweiten und vierten Quadranten jeweils die Vestibulären. Ausgenommen sind die Interdentalräume zwischen den Zähnen 11 und 21 bzw. 31 und 41. Mithilfe folgender Formel wird der Index berechnet und in Prozent angegeben:

$$\text{API} = \frac{\text{positive Plaquemessungen} \times 100}{\text{Summe der Approximalraum-Messpunkte}}$$

Anschließend wird der Prozentwert anhand vier verschiedener Kategorien eingeteilt:

| | |
|------------|---|
| < 25 % | Entspricht einer optimalen Mundhygiene |
| 25 – 39 % | Entspricht einer guten Mundhygiene |
| 40 – 69 % | Entspricht einer mäßigen Mundhygiene |
| 70 – 100 % | Entspricht einer unzureichenden Mundhygiene |

3.3.2 *Planimetrisches Verfahren*

Die Anwendung der klinischen Plaqueindizes ist aufgrund ihrer großen Subjektivität, die mit visuellen Bewertungsmethoden einhergeht, vor allem im wissenschaftlichen Kontext eingeschränkt. Dies betrifft besonders niedrige oder hohe Plaquewerte und die Anwendung ist oft mühsam (Butler et al., 1996).

Eine Abhilfe konnte durch die Entwicklung der planimetrischen Messverfahren geschaffen werden. Hierbei wird der prozentuale Anteil der Zahnoberfläche angegeben, der von der (angefärbten) Plaque bedeckt ist (Söder et al., 1993). Die Ergebnisse können z.B. als prozentualer Plaqueindex (PPI) ausgedrückt werden (Pretty et al., 2004). Grundsätzlich ist hierfür eine Computersoftware notwendig.

3.3.2.1 Vorteile der Planimetrie

Da es sich um ein automatisiertes, softwaregestütztes Verfahren handelt, ist die Technik der planimetrischen Auswertung objektiver und weniger fehleranfällig als das menschliche Urteilsvermögen (Albino et al., 1978). Pretty et al. schlussfolgerten, dass „der Einsatz planimetrischer Verfahren [...] die Aussagekraft von Plaquestudien erhöhen und möglicherweise die Anzahl der Probanden und den Zeitaufwand [...] verringern (kann)“ (Pretty et al., 2005).

Zusammenfassend bietet die Nutzung der Planimetrie durch ihre hohe Objektivität (Smith et al., 2004; Albino et al., 1978; Verran und Roccliffe, 1986), ihre hohe Sensitivität (Söder et al., 1993) und die hohe Reliabilität (Zuverlässigkeit) der Messergebnisse (Verran und Roccliffe, 1986; Smith et al., 2001) bedeutende Vorteile gegenüber den subjektiv erhobenen Plaqueindizes. Durch die softwarevermittelte Auswertung liefern planimetrie-basierte Messverfahren zudem sehr präzise Ergebnisse (Smith et al., 2001). Dies ist auch auf die hohe Trennschärfe (engl.: „discriminating power“) zwischen Zahn- und Plaqueoberfläche, vor allem in den Anfangsstadien der Plaqueentwicklung, zurückzuführen (Smith et al., 2001; Smith et al., 2004).

Die planimetrische Methode ist im Vergleich zu den analogen Standardverfahren empfindlicher gegenüber „kleinen Veränderungen der Plaquefläche“ (Mensi et al., 2020). Aufgrund dessen können bereits kleinere Plaquemengen detektiert werden (Smith et al., 2001; Smith et al., 2004; Pretty et al., 2004; Mensi et al., 2020).

Laut Albino et al. ist mithilfe der Planimetrie auch eine verblindete Auswertung von Untersuchungsergebnissen möglich (Albino et al., 1978). Durch den Wegfall der Kalibrie-

rung können auch untrainierte Personen die Planimetrie durchführen, die für reliable Ergebnisse bei untersucherabhängigen Bewertungsmethoden erst angelernt werden müssten.

3.3.2.2 Nachteile und Voraussetzungen der Planimetrie

Damit die Plaqueverteilung von einem Computerprogramm ausgewertet werden kann, müssen vorab die zu untersuchenden Zahnoberflächen genau abgebildet werden. Diesbezüglich formulierten Quirynen et al. einen Nachteil der Plaqueplanimetrie: Aufgrund der Platzverhältnisse könne diese „nicht im distalen Molarenbereich angewendet werden“ und sie sei für die „lingualen Oberflächen schwierig“ umzusetzen (Quirynen et al., 1991).

Rugg-Gunn & MacGregor postulierten in vorangegangenen Untersuchungen, dass die Bukkalflächen und die Frontzähne bei der individuellen Mundhygiene am effektivsten geputzt würden, während vor allem die Reinigung der lingualen Bereiche der Unterkieferzähne nur unzureichend ausfalle (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978; Macgregor und Rugg-Gunn, 1979). Vor allem für Studien, die sich mit dem Plaquewachstum oder dessen Reduktion, z.B. im Rahmen eines Vergleiches verschiedener Zahnbürstentypen, beschäftigen, sind diese schwer zugänglichen Bereiche aber von hohem Aussagewert.

Es ist nachvollziehbar, dass die technischen Möglichkeiten der Bildgebung für den uneingeschränkten Einsatz der Planimetrie weiterentwickelt werden sollten. In den vergangenen Jahren wurden daher Methoden entwickelt, um die Widrigkeiten der oralen Platz- und Lichtverhältnisse zu umgehen. Smith et al. untersuchten beispielsweise in ihrer klinischen Studie im Jahr 2004 die Verwendung eines kieferorthopädischen Okklusionsspiegels, um die Darstellung der lingualen Oberflächen der Frontzähne für die intraorale Bildgebung zu erleichtern. Die Ergebnisse bewiesen, dass „das System bei Bedarf mit geringem klinischem Zeitaufwand sowohl linguale als auch labiale Plaquewerte liefern kann“ (Smith et al., 2004).

Da es sich bei den planimetrischen Verfahren um eine computerbasierte Bildanalysetechnik handelt, werden digitale Bilder benötigt. Hierzu werden entweder herkömmliche Fotografien digitalisiert oder direkt digital, z.B. über eine Intraoralkamera, erzeugt. Letzteres ist die bevorzugte Variante, da Parameter wie Filmentwicklung und Druck ausgeschlossen werden, die sich wiederum negativ auf die Vergleichbarkeit der Fotos auswirken könnten (Schwierigkeit der Standardisierung) (Smith et al., 2006).

Um die für die Software benötigten Bilddateien zu erstellen sind mittlerweile Fotografien oder Intraoralscans in der Anwendung. Die Komponenten des angefertigten Bildes setzen sich aus plaquefreien Zahnoberflächen, plaquebedeckten Stellen und der Gingiva zusammen (Pretty et al., 2004). Laut Pretty et al. sei die Voraussetzung der Methode, dass die Software die unterschiedlichen Bildkomponenten leicht unterscheiden kann, sodass auch nur die plaquebedeckten Stellen als plaque-positiv erkannt werden. Um den Kontrast zwischen den anatomischen Strukturen und der zu messenden Plaque zu erhöhen, stehen wiederum Plaquerevelatoren (direkte Färbemittel oder Fluoreszenzfarbstoffe) zur Verfügung (Pretty et al., 2004).

In den folgenden Kapiteln wird die zeitliche Entwicklung der Planimetrie, über die Verwendung von Fotografien bis hin zum Einsatz von modernen Intraoralscannern, genauer dargestellt.

3.3.2.3 Anwendung von intraoralen Fotografien zur planimetrischen Auswertung

Einer der ersten Anwender der planimetrischen Messverfahren, im Bereich der zahnmedizinischen Forschung, war der amerikanische Zahnarzt Sumter S. Arnim. Seine Veröffentlichung erschien im Jahr 1963, bei der er die Anwendung von Agenzien untersuchte, die das dentale Plaquevorkommen aufzeigen sollten (Arnim, 1963). Arnim nutze hierzu Fotografien, um die Plaqueverteilung nach Anfärben darstellen und messen zu können und lieferte damit einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung der heutigen Plaquerevelatoren.

Quiryne et al. nutzten in ihrer Studie im Jahr 1985 ebenso das Konzept der Planimetrie. Es erfolgte eine Messung des Plaquewachstums auf in-vivo Zähnen innerhalb von 24 Stunden. Damals verwendete die Arbeitsgruppe allerdings noch Farbdias, die sie mit Neutralrot (0,5 %) anfertigten. Anschließend erfolgte eine 25-fache Vergrößerung, um dann die Zahn- und Plaque-Umriss auf Papier manuell aufzeichnen zu können. Erst dann konnte die Auswertung mittels eines Planimeters erfolgen (Quiryne et al., 1985). Der große technische und zeitliche Aufwand ist hierbei einleuchtend.

Verran und Roccliffe bedienten sich für ihre planimetrische Auswertung einem Bildanalyse-System für Schwarz-Weiß-Fotografien. Dieses grenzte Graustufenwerte voneinander ab und erleichterte die Arbeit dahingehend nicht, dass ebenso wie bei Quiryne et al. ein manuelles Nachzeichnen der anatomischen Strukturen (Konturen der Zähne, von

plaquebedeckten Oberflächen, Papillen und Gingivalrand) notwendig war (Verran und Roccliffe, 1986).

Die Vergleichsstudie von Söder et al. bediente sich im Jahr 1993 ebenso den planimetrischen Verfahren. Hierzu wurden die plaque-positive Zahnoberfläche sowie der „Zahnbereich“ mithilfe eines computergestützten Bildanalyse-Systems (CIAS) auf Farbdias digitalisiert. Anschließend erfolgte eine automatische Zählung der Pixel, welche den P%-Index ergab. Ziel der Studie war einerseits die Untersuchung der Reproduzierbarkeit von planimetrischen Methoden, andererseits sollte der Einfluss der Fototechnik (Einstellung des Betrachtungswinkel) auf die Untersuchungsergebnisse analysiert werden. Für die P%-Index-Werte konnte eine intrarater-Variation von nur 0,28 % und ein intrarater-Korrelationskoeffizient von 0,99 ermittelt werden, sodass die Methode der Planimetrie als hochreproduzierbar einzustufen ist. Wenn die Fotos unter standardisierten Bedingungen der Einstelltechnik aufgenommen wurden, zeigten sich Fehler von weniger als drei Prozent (Söder et al. 1993).

In einer klinischen Studie von Albino et al. wurde die Zuverlässigkeit von sechs Plaque-Bewertungsmethoden an Schülern der siebten Klasse untersucht. Hierfür wurden Fotos der Frontzähne angefertigt, an denen unter anderem eine planimetrische Auswertung der acht Zahnoberflächen vorgenommen wurde. Schlussfolgernd kam die Arbeitsgruppe zu dem Ergebnis, dass „obwohl davon ausgegangen werden kann, dass die Planimetrie-technik die objektivere ist und weniger vom menschlichen Urteilsvermögen abhängt [...], kann diese Methode in keiner Situation empfohlen werden, in der Zeit ein Faktor ist“ (Albino et al., 1978).

Die Publikation von Carter et al. beschäftigte sich mit der „automatischen Quantifizierung von Zahnbelag durch digitale Bildgebung“ (Carter et al., 2004). Das Ziel der hierfür zugrunde liegenden Studie war es, „ein reproduzierbares, quantitatives und automatisiertes Verfahren zur Messung der Plaqueakkumulation mit Hilfe der digitalen Bildgebung zu entwickeln“ (Carter et al., 2004). Hierzu wurden intraorale digitale Fotografien von durch Methylenblau (1 %) eingefärbten, plaquebedeckten Zahnoberflächen angefertigt. Ursprünglich wurden Fotos anhand des RGB-Farbraumes ausgewertet (rot, grün, blau Komponenten) (Sagel et al., 2000). Hierbei kam es aufgrund der rötlich pigmentierten Gingiva häufig zu fehlerhaften Messergebnissen. Im Rahmen der Studie von Carter et al. wurde die Anwendung des HSI-Farbraumes zur Plaquemengenbestimmung untersucht. Dieser beruht neben dem Farbton (H, Wellenlänge) auch auf der Sättigung des digitalen Bildes (S, Farbanteil) und der Intensität (I, Lichtenergie). Ein großer Vorteil der

Fotografien bestand darin, die Bilder archivieren zu können, um sie auch für spätere Vergleiche in Längsschnittstudien nutzbar zu machen. Carter kritisierte an der Methodik allerdings, dass die zweidimensionalen Bilder nicht in der Lage seien, das dreidimensionale orale Gewebe darzustellen, sodass die Beurteilung der interproximalen Plaqueansammlung verhindert sei (Carter et al., 2004).

Die Schwierigkeit, die linguale Zahnflächen für die Planimetrie möglichst unter standardisierten Bedingungen darzustellen (Smith et al., 2004; Quirynen et al., 1991), ebenso wie die distalen Bereiche der Molaren (Quirynen et al., 1991), wurde bereits im vorangegangenen Abschnitt erläutert. Das Ziel der Studie von Staudt et al. war es demnach, die computergestützte Bildanalyse unter Verwendung einer intraoralen Kamera und einem neu entwickelten Positionierer zu unterstützen. Es wurde angestrebt möglichst reproduzierbare und standardisierte Bilder von linguale Zahnoberflächen zu erheben, die dem Vergleich der Putzwirkung von drei Handzahnbürsten dienen sollten (Staudt et al., 2001). Laut Staudt et al. lieferte die Verwendung einer intraoralen Kamera mit einem Positionierer „einen reproduzierbaren und relativ bequemen Zugang zu den linguale Oberflächen der Unterkieferzähne und sorgte für eine Erhöhung der Objektivität“ (Staudt et al., 2001). Nichtsdestotrotz kritisierte Staudt die zeitaufwendige Technik und die Kostenintensität, die mit einer Anfertigung eines probandenindividuellen Positionierers (Schiene) durch den Zahntechniker einhergehen würde.

Die klinische Studie von Smith et al. aus dem Jahr 2006 beschäftigte sich mit der Fragestellung, ob für das Auswerten durch ein Bildanalyse-System bevorzugt Bilder einer digitalen Spiegelreflexkamera oder einer Intraoralkamera verwendet werden sollten (Smith et al., 2006). Intraorale Kameras, wie sie in Zahnarztpraxen eingesetzt werden, bestehen aus einem flexiblen Stab, einem Objektiv und einer integrierten Beleuchtungsquelle (Smith et al., 2006). Der Vorteil besteht dabei in der Einfachheit der Anwendung. Aufgrund der begrenzten Brennweite weisen Intraoralkameras im Allgemeinen aber eine schlechtere Bildqualität als Spiegelreflexkameras auf. Die Autoren schlussfolgerten, dass „die digitale Spiegelreflexkamera [...] eine zuverlässigere Messung der Zahnbelagsoberfläche [ermöglichte] als die Bilder einer herkömmlichen Intraoralkamera. Die digitale Spiegelreflexkamera erwies sich als einfacher zu bedienen und [...] die resultierenden Bilder waren viel leichter zu analysieren“ (Smith et al., 2006). Aufgrund der Abhängigkeit des Analyse-Systems von der Bildqualität empfahlen Smith et al. den Einsatz der qualitativ hochwertigen Spiegelreflexkameras für die Anwendung in klinischen Studien.

3.3.2.4 Anwendung von Intraoralscannern zur planimetrischen Auswertung

Mit der Entwicklung der Intraoralscanner steht nun die Möglichkeit zur Verfügung Intraoralbilder auch ohne Anwendung von Kameras anzufertigen. Diese Bilder sind leichter zu standardisieren, weniger zeitaufwendig und ermöglichen trotzdem die Archivierung der erhobenen klinischen Parameter. Somit ist unter anderem ein besserer Überblick über den zeitlichen Therapieverlauf bzw. die Entwicklung der Mundhygiene-Compliance des Patienten nach intensiver (Re-) Motivation in den Prophylaxesitzungen möglich.

Die Studie von Doi et al. sollte untersuchen, inwieweit Intraoralscanner für die Beurteilung der Mundhygiene geeignet sind. Hierzu wurde die Plaque von acht Probanden angefärbt und anschließend anhand des Plaque-Control-Records (PCR, Index nach O'Leary, siehe Kapitel 3.3.1.5) klinisch bestimmt, sowie im Anschluss anhand der Scanbilder ausgewertet. Insgesamt zeigten sich bei den Intraoralscans höhere Werte als bei der direkten Beobachtung, zudem war der größte Unterschied an den lingualeen Zahnflächen der Unterkiefer-Frontzähne zu verzeichnen (Doi et al., 2021).

Kritisch betrachtet ist die Fallzahl bei dieser Studie sehr gering und die Aussagekraft der Studie demnach fraglich. Zudem wurden nur die Ergebnisse eines einzigen Plaqueindex untersucht. Des Weiteren ist unklar, ob die höheren Ergebniswerte bei den Intraoralbildern für eine höhere Sensitivität der Messbedingungen sprechen, oder ob bei den klinisch erhobenen Werten vermehrt falsch negative Plaquestellen beurteilt wurden. Laut Doi et al. kann eine Bewertung der 3D-Bilder „zur Entwicklung einer neuen Methode zur Bewertung der Mundhygiene führen“ (Doi et al., 2021).

Abschließend soll im Hinblick auf die Anwendung von Intraoralscannern in klinischen Studien noch auf die Vorgängerstudien eingegangen werden, die der vorliegenden Arbeit zugrunde liegen.

Ziel der Studie um Jung et al. war es zu untersuchen, ob Bilder von 3D-Intraoralscans für eine valide planimetrische Plaquemessung und -überwachung geeignet sind (Jung et al., 2022). Als Referenz dienten dabei Bilder, die mithilfe einer Intraoralkamera erzeugt wurden. Die klinische Studie schloss 20 Probanden ein, bei denen die Plaque jeweils zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten der Mundhygiene ermittelt und anschließend softwarebasiert quantifiziert wurde. Bestimmt wurde dabei der prozentuale Anteil der plaquebedeckten Oberfläche an der Gesamtoberfläche (P%) und untersucht wurden die oralen und vestibulären Oberflächen der Ramfjord-Zähne (16, 21, 24, 36, 41, 44). Es zeigte sich zusammenfassend eine sehr gute Korrelation der P%-Werte zwischen den

Bildern der 3D-Intraoralscans und denen der Intraoralkamera. Die Autoren schlussfolgerten, dass „die Planimetrie auf 3D-Intraoralscans ein valides und vielversprechendes Instrument zur Plaqueerkennung und -überwachung zu sein scheint“ (Jung et al., 2022). Zudem wurde ein deutlicher Vorteil der Intraoralscanbilder herausgearbeitet. Dieser beruhe auf der sehr schnellen und effektiven Auswertung der Bilddateien, welcher technisch aufgrund der „homogenen Ausleuchtung“ der Scanbilder möglich sei. Zudem würden „anatomische Faktoren eliminiert“ werden, sodass eine „gleichbleibend gute planimetrische Auswertung [...] im gesamten Gebiss“ ermöglicht werden könne (Jung et al., 2022).

Eine weitere Vorgängerstudie dieser Arbeitsgruppe untersuchte „ob Plaque auf Bildern, die mit beiden intraoralen Bildgebungsverfahren gewonnen wurden, zuverlässig erkannt, quantifiziert und überwacht werden kann“ (Giese-Kraft et al., 2022). Im Unterschied zur Studie von Jung et al. diente hierzu die klinische Untersuchung als Referenz, bei der die Zahnoberflächen anhand des RMNPIs bewertet wurden. Auch diese Arbeit konnte zeigen, dass „Intraoralscanner [...] den gesamten Zahnbogen in relativ kurzer Zeit abbilden und alle Bereiche [...] durch das Drehen des 3D-Objekts leicht beurteilt werden [können]“ (Giese-Kraft et al., 2022). Die Autoren kritisierten hierbei allerdings die verringerte Bildqualität der Intraoralscanbilder im Vergleich zu denen der Intraoralkamera. Nichtsdestotrotz „scheinen Intraoralscanner zuverlässig genug zu sein, um Plaque in Forschung und klinischer Praxis zu erkennen und zu überwachen [...]“ (Giese-Kraft et al., 2022).

3.3.3 Beurteilung durch quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz-Bilder (QLF)

Bisher wurde auch die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF) als Instrument zur Beurteilung von Zahnbelag eingesetzt. Diese beruht auf der Autofluoreszenz mehrerer Bakterienarten und ermöglicht eine zerstörungsfreie Messung, ohne den notwendigen Einsatz zusätzlicher Färbe- oder Fluorenmittel (Coulthwaite et al., 2009; Han et al., 2015; Han et al., 2016; Kim et al., 2014; Ganss et al., 2020).

In der Studie von Sagel et al. wurde „die automatische Messung der Plaquebedeckung mithilfe einer digitalen Bildanalysetechnik“ (Sagel et al., 2000) (Planimetrie) untersucht. Nachdem der Zahnbelag mit Fluorescein markiert wurde, wurde langwelliges ultraviolettes Licht appliziert. Hierunter konnte ein digitales Bild ermittelt werden. Sagel et al. teilten die entstandenen Pixel anhand ihrer Farbe in fünf Klassen ein: Zähne, Zahnfleisch, Plaque, Plaque auf dem Zahnfleisch und Lippenabdrücke. Um nun die Plaquemenge

bestimmen zu können, wurden die „Plaquepixel“ summiert und der prozentuale Anteil zu den „Zahnpixel“ errechnet (Sagel et al., 2000).

Unter QLF-Bedingungen zeigt sich die Plaque als orangefarbene Fläche, die Zähne sind grün und das Zahnfleisch wird schwarz oder braun abgebildet (Pretty et al., 2004).

„Die Einführung der quantitativen lichtinduzierten Fluoreszenz (QLF) zur Erkennung verschiedener Läsionen im Frühstadium hat eine neue Möglichkeit eröffnet, Bilder zu erhalten, die sich für eine planimetrische Analyse eignen“ (Pretty et al., 2004).

In einer Vergleichsstudie konnte allerdings gezeigt werden, dass die rote Fluoreszenz von Zahnbelag je nach Standort und Reifestadium sehr unterschiedlich ist. Zudem besitzt sie eine hohe interindividuelle Komponente (Ganss et al., 2020). Es ist naheliegend, dass sich hierdurch die inter- und intraindividuelle Vergleichbarkeit der Plaque einschränkt.

3.3.4 Gravimetrisches Verfahren

Eine weitere Möglichkeit die bakteriellen Beläge der Zahnoberfläche mess- und vergleichbar zu machen, ist das gravimetrische Verfahren (Hellwig et al., 2018; Glanz, 2018). Hierbei wird nach dem Entfernen der Plaque dessen Trockengewicht bestimmt. Die Einordnung der Menge erfolgt dann über eine definierte Skala (Bretz, 2010; Glanz, 2018; Mander und Mainwaring, 1980). Die Übersichtsarbeit von Mander und Mainwaring aus dem Jahr 1980 bewies dahingehend eine signifikante statistische Korrelation zwischen dem gemessenen Plaque-Trockengewicht und den Ergebnissen, die durch Auswertung mittels zweier Plaqueindizes erhoben worden sind (Mander und Mainwaring, 1980). Ein großer Nachteil dieses Verfahrens ist der enorme technische, wie auch zeitliche Aufwand, um die Plaque aus der Mundhöhle zu entfernen, aufzubereiten und zu untersuchen (Bretz, 2010).

4 Material und Methoden

Die der Dissertation zugrunde liegende klinische Studie wurde in der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Gießen durchgeführt (Votum AZ 61/22 der Ethik-Kommission, DRKS-ID: DRKS00033908). Es handelte sich um eine Methodenstudie an gesunden Probanden, wobei sich die klinische Phase der Datenerhebung und die vorab erfolgte orientierende zahnärztliche Untersuchung nach den Grundsätzen der „Guten Klinischen Praxis“ (ICH Harmonised Tripartite Guideline E6: Note for Guidance on Good Clinical Practice, CPMP/ICH/135/95 Step5) und der Deklaration von Helsinki richtete.

Da die klinische Studie, auf die sich die vorliegende Arbeit stützt, als Aufbaustudie zu verstehen ist, orientierte sich das Studiendesign wesentlich an dem der Vorgängerstudien der Arbeitsgruppe um Frau Prof. Dr. Carolina Ganß (Giese-Kraft et al., 2022; Ganss et al., 2020; Schlueter et al., 2021).

4.1 Planung der Studie

4.1.1 Fallzahlplanung

Eine Verbesserung einer planimetrisch gemessenen prozentualen Plaquebedeckung (P%) bzw. eines Plaqueindexwertes wird erst ab 25 % als klinisch relevant eingestuft. Für die Kalkulation der benötigten Fallzahl wurde von $\alpha = 0,05$ und $\beta = 0,8$ ausgegangen. Die Datengrundlage für die Fallzahlberechnung für P% und den RMNPI entstammt aus den Vorarbeiten der Arbeitsgruppe um Frau Prof. Dr. Carolina Ganß (Votum 142/19) und für den T-QHI und den MPI aus einer Publikation der Arbeitsgruppe um Renate Deinzer (Deinzer et al., 2014). Die Berechnung der notwendigen Fallzahl erfolgte mit SPSS Version 27 und ergab anhand der vier zu vergleichenden Parameter:

| | | | | | |
|--------------|------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------|
| | bei habitueller Mundhygiene: | | klinisch relevante Differenz | | Erforderliche Fallzahl |
| P% | 10,2 ± 3,8 | → | 2,55 | → | n=28 |
| RMNPI | 62,1 ± 10,6 | | 10,6 | | n=15 |
| TQHI | 1,4 ± 0,4 | | 0,35 | | n=18 |
| MPI | 43,9 ± 13,4 | | 11,0 | | n=20 |

Abbildung 7: Fallzahlberechnung mithilfe der Bonferroni-Methode

Unter Berücksichtigung von Drop Outs wurde eine Fallzahl von 30 festgelegt.

4.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien der untersuchten Personengruppe

Die Grundvoraussetzung für den Einschluss in die Studie war die Volljährigkeit der Probanden, sowie deren schriftliche Zustimmung zur Teilnahme nach einer ausführlichen Aufklärung zu Beginn der ersten Sitzung.

Als Einschlusskriterium wurde zudem das Vorhandensein eines vollständigen Gebisses (ausgenommen der Weisheitszähne) festgelegt. Dieses durfte keine ausgedehnten Restaurationen auf den vestibulären und oralen Glattflächen aufweisen. Dazu wurde vor der Aufnahme in die Studie bei jedem Probanden eine orientierende eingehende Untersuchung durchgeführt.

Ausschlusskriterien waren Unverträglichkeiten gegenüber den verwendeten Materialien (*Mira-2-Ton*®-Lösung: Natriumbenzoat, Kaliumsorbat, C. 45410, C.42090; Lippenretraktor *OptraGate*: Styrol-Ethylen-Butylen-Styrol), sowie körperliche oder geistige Einschränkungen jeglicher Art, die die Durchführung von Mundhygienemaßnahmen beeinflussen könnten. Zudem wurden Probanden von der Studie ausgeschlossen, die eine kavitierte Karies, Füllungen mit Defekten oder festsitzende kieferorthopädische Apparaturen aufwiesen (Retainer waren erlaubt). Grund für den Ausschluss ist die an diesen Stellen begünstigte Plaqueretention und die damit einhergehende verringerte inter- und intraindividuelle Vergleichbarkeit, bzw. der negative Einfluss auf die Ergebnisse durch statistische Ausreißer. Zuletzt waren weitere Ausschlusskriterien eine lückige Zahnstellung, gingivale Rezessionen von mehr als einem Drittel der Wurzellänge und das Vorhandensein von Zahnfehlbildungen.

4.1.3 Pseudonymisierung der Probanden

Mithilfe des Programms *Research Randomizer 3.0* wurde vor Beginn der Studie eine Zufallsliste von zweistelligen Zahlen (von 01 bis 30) erstellt. Den Probanden wurde daraufhin eine dieser Nummern zugewiesen. Die in der klinischen Phase erhobenen Intraoralscans wurden ausschließlich unter dem jeweilig zugeteilten Code abgespeichert. Dies konnte eine anschließende pseudonymisierte Auswertung der gewonnenen Datensätze gewährleisten. Die Auswerter hatten bei der weiteren Datenverarbeitung der Intraoralscans (Erstellung der Screenshots und Erhebung der Indizes) keine Kenntnis darüber, um wessen Intraoralscan es sich handelte. Lediglich der Untersuchungszeitpunkt konnte anhand der Datensätze eruiert werden, damit die verschiedenen Intraoralscans dem jeweiligen Zeitpunkt der Mundhygiene (T1, T2 oder T3) zugeordnet werden konnten.

4.2 Ablauf der Studie

Die Teilnehmer der Studie wurden mündlich und über Medien der Universität Gießen rekrutiert. In die Studie eingeschlossen wurden 30 Probanden im Alter von 24 ± 4 Jahren. 19 davon weiblich und 11 männlich. Die Datenerhebung umfasste insgesamt 90 durchgeführte Intraoralscans. Dafür wurden bei jedem der 30 Probanden jeweils drei zeitversetzte Scans durchgeführt. Diese fanden nach festgelegten Intervallen statt und zeigten jeweils drei unterschiedliche Phasen der Mundhygiene. Somit konnten verschiedene, aber interindividuell vergleichbare Plaqueakkumulationsstadien widergespiegelt und dargestellt werden. Vor dem dritten Intraoralscan wurde jeder Proband dazu aufgefordert, seine Zähne nach eigener Einschätzung bestmöglich zu putzen. Eine festgelegte Zeitangabe oder vorgegebene Putztechnik gab es nicht. Alle Intraoralscans wurden mit dem Intraoralscanner CS 3800 der Firma *Carestream Dental LLC, Atlanta, USA und Stuttgart, Deutschland* durchgeführt. Nach Beendigung der klinischen Phase erfolgte die Auswertung der Scans hinsichtlich der Plaqueindizes. Erst nachdem alle Indizes erhoben worden waren, erfolgte auch die automatisierte planimetrische Auswertung (vgl. dazu Kapitel 4.3.3).

4.2.1 Flowchart

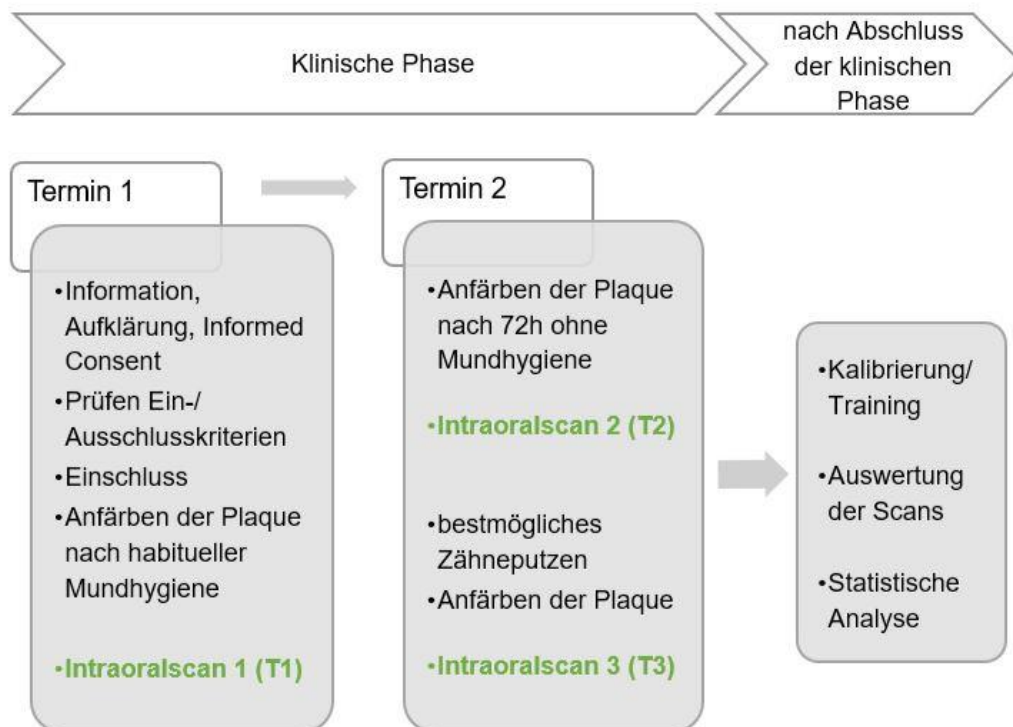


Abbildung 8: Studienablauf

4.2.2 Erste Sitzung

Freiwillige, die sich zur Teilnahme an der Studie bereit erklärten, wurden in der ersten Sitzung zunächst über den Hintergrund der Studie, den Studienablauf, Nutzen und Risiken sowie über die Teilnahmebedingungen aufgeklärt. Diese Aufklärung erfolgte sowohl mündlich als auch schriftlich. Ein vorab erstellter Informationsbogen wurde ausgehändigt und der „informed consent“ (unterschiedene Einverständniserklärung zwecks Studienteilnahme und Datenschutz-Grundverordnung) eingeholt.

Nach einer kurzen orientierenden zahnärztlichen Untersuchung, die dem Prüfen der festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien dienen sollte, wurden die Probanden in die Studie eingeschlossen und erhielten den randomisiert zugeteilten Code für die Pseudonymisierung der Studie (vgl. dazu Kapitel 4.1.3).

Noch in derselben Sitzung (erster Termin) wurde der erste Intraoralscan angefertigt (**T1**), der darauf abzielte, die habituelle Mundhygiene abzubilden. Dafür wurde der Biofilm mit einer *Mira-2-Ton®*-Lösung (*Hager & Werken GmbH & Co KG, Duisburg, Deutschland*) angefärbt.

Vor dem Hintergrund standardisierte Bedingungen für die Datenerhebung und deren Darstellung zu schaffen, richtete sich die Durchführung der Intraoralscans nach bestimmten Kautelen: Das Färbemittel wurde vor jedem Scandurchgang zweimalig mit einem gesättigten Schaumstoffpellet tupfend aufgetragen. Die Probanden sollten anschließend für jeweils zehn Sekunden mit klarem Wasser ausspülen. Bei jedem Scandurchgang wurde stets ein Lippenretraktor verwendet (*OptraGate; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein*). Dadurch konnte das zu scannende Feld möglichst gut und gleichmäßig für den Scanneraufsatz zugänglich gemacht werden. Das Raumlicht blieb über den gesamten Scanzeitraum ausgeschaltet. Um Darstellungsartefakte zu vermeiden wurden die Zahnreihen mit Speichelsauger und Luftpüster möglichst trocken gehalten. Es wurde ein besonderes Augenmerk auf die Vollständigkeit der 3D-Darstellung gelegt und Scanlöcher vermieden. Dargestellt wurden sowohl der Ober- als auch der Unterkiefer, wobei in jedem Quadranten die Zähne bis distal des zweiten Molaren dargestellt werden sollten, um möglichst den gesamten Zahnbogen abzubilden.

Im Anschluss an T1 wurde jedem Probanden die Möglichkeit gegeben, die angefärbte Plaque selbstständig mit einer Zahnbürste und bei Bedarf mit Hilfsmitteln zur Interdentalraumhygiene zu entfernen.

4.2.3 Zweite Sitzung

Die zweite Sitzung erfolgte dann für jeden Probanden nach 72 Stunden ohne Mundhygiene (**T2**). Genau wie in der ersten Sitzung wurde die vorhandene Plaque angefärbt und ein Intraoralscan durchgeführt. Die Kautelen blieben identisch zu denen in der ersten Sitzung. Nachdem die Scandateien erfolgreich erhoben und abgespeichert waren, wurden die Probanden aufgefordert sich bestmöglich die Zähne zu putzen. Hierbei stand ihnen so viel Zeit zur Verfügung, wie jeder Proband individuell zu benötigen glaubte. Danach erfolgte wiederum das Anfärben der nun gereinigten Zahnoberflächen mit *Mira-2-Ton®*. Abschließend schloss sich der dritte Intraoralscan an (**T3**).

Auch nach T3 hatte jeder Proband die Möglichkeit, die noch vorhandenen, angefärbten Plaquereste mithilfe von Zahnputzwerkzeugen im Untersuchungszentrum zu entfernen.

Die *Abbildung 8: Studienablauf* unter Kapitel 4.2.1 veranschaulicht die unterschiedlichen Phasen der durchgeführten Studie.

4.3 Auswertung der Intraoralscans

4.3.1 Erstellung der standardisierten Screenshots

Die angefertigten Intraoralscans wurden als DICOM-Dateien gespeichert. Mit dem Programm *CS Mesh Viewer* (Carestream Dental, Deutschland) können diese geöffnet und dargestellt werden. Die erfassten Zahnreihen lassen sich hierbei in allen Raumrichtungen drehen (x-, y- und z-Achse), was den großen Vorteil bietet, mit nur einer Datei alle Bereiche, auch die schwer zugänglichen approximalen Anteile, gut beurteilen zu können.



Abbildung 9: Ansicht eines Intraoralscans im Mesh Viewer

Für die vorliegende Studie sollten die Zähne 16, 21, 24, 36, 41 und 44 beurteilt werden. Laut wissenschaftlichen Studien geben diese sogenannten Ramfjord-Zähne bereits einen guten Überblick über die gesamte Gebissituation (Ramfjord, 1959; Ramfjord, 1967; Di Murro et al., 1990; Silness und Røynstrand, 1988). Es wurden somit sowohl Molaren als auch Prämolaren und Inzisivi sowohl des Ober- als auch des Unterkiefers betrachtet und beurteilt.

In den Vorgängerstudien und auch in den zu Trainingszwecken ausgeführten Pretests wurde deutlich, wie wichtig eine Standardisierung bei der Betrachtung der Scandateien für die Auswertung ist. Dies gilt sowohl bei der Bestimmung der Indizes als auch für die planimetrisch erhobenen Messwerte. Abweichungen der Darstellung durch Kippungen in den x- und y-Achsen bzw. Rotationen in der z-Achse führen dazu, dass die dreidimensional gekrümmte Zahnoberfläche unterschiedlich abgebildet wird und im ungünstigsten Fall ganze Bereiche (vor allem approximal) nicht gut bzw. unterschiedlich eingesehen werden können. Es kommt folglich trotz identischer Datengrundlage zu abweichenden

Ergebnissen. Ebenso nimmt die Zoom-Einstellung des Bildes Einfluss auf die Messergebnisse. Diese Beobachtungen decken sich mit denen aus den Vorgängerstudien (Jung et al., 2022; Giese-Kraft et al., 2022).

Für die Erstellung der Screenshots wurden folgende Einstellungen vorgenommen:

Zoom:

Für die Darstellung der vestibulären Flächen wurde der Zahnbogen so gedreht, dass der entsprechende Quadrant auf einem 15,6-Zoll-Display formatfüllend eingestellt war. Mit dem Drehrad der Maus wurde so lange an den Zahnbogen herangezoomt, bis die letzte Stufe erreicht war, mit der noch alle Zähne (1-7) des jeweiligen Quadranten vollständig abgebildet werden konnten. Diese Zoomeinstellung wurde dann nicht mehr verändert, sondern blieb für alle Screenshots der vestibulären Flächen eines Kiefers identisch.

Für die Oralflächen des Ober- und Unterkiefers wurde die Zoom-Einstellung so gewählt, dass sie einen definierten Bereich formatfüllend zeigte:

OK: Für Zahn 16: Zoom bis Darstellung der Zähne 13 – 17
Für Zahn 21: Zoom bis Darstellung der Zähne 14 – 24
Für Zahn 24: Zoom bis Darstellung der Zähne 23 – 27

UK: Für Zahn 36: Zoom bis Darstellung der Zähne 34 – 37
Für Zahn 41: Zoom bis Darstellung der Zähne 34 – 44
Für Zahn 44: Zoom bis Darstellung der Zähne 44 – 47

Diese Werte ergaben sich durch mehrfache Testdurchläufe während der Trainingsphase mit dem Ziel vergleichbare Oberflächen auch vergleichbar darzustellen. Beispielsweise sollte die vestibuläre und die orale Fläche des Zahnes 21 nahezu gleich groß abgebildet werden. Dies ist anatomisch determiniert und nicht in Gänze möglich. Bekanntermaßen ist beispielsweise die orale Fläche des Zahnes 44 deutlich geringer als die der vestibulären Seite (Anatomie der Unterkiefer-Prämolaren). Auch weichen die Zahnformen und -größen interindividuell stark ab, sodass die vorgenommenen Einstellungen nur als Annäherungsversuche gesehen werden können, alle Zähne der Versuchsreihe absolut gleichmäßig groß darzustellen. Umso bedeutender ist es in diesem Zusammenhang zumindest die graphischen Einstellungen konstant zu halten.

Achseneinstellung:

Nachdem die Zoomeinstellung vorgenommen wurde, war das Ziel Abweichungen in der x- und y-Achse zu minimieren. Dafür wurde der zu untersuchende Zahn des Quadranten (entsprechend der Ramfjord-Zähne) mittig im Bild (x-Achse), sowie zwei Mausbreiten über dem unteren Bildrand positioniert. Für die Einstellung der y-Achse wurde der Zahnbogen des Quadranten an der Okklusionsebene ausgerichtet. Dabei war darauf zu achten, dass die Höcker der Gegenseite nicht zu irritierenden Überschneidungen führten. Für die Prämolaren und Molaren wurde, nach dem Einstellen der Okklusionsebene, der Zahnbogen zudem so weit in Richtung der y-Achse geneigt, dass die vestibulären und oralen Höcker desselben Zahnes auf gleicher Höhe positioniert waren (ausgenommen der Zahn 44 aufgrund seiner Anatomie).

Durch Drehen der z-Achse wurde der Ramfjord-Zahn dann so im Bild positioniert, dass seine gesamte mesiodistale Ausdehnung bestmöglich dargestellt war. Eine gute Orientierung lieferte hierbei die gleichmäßige Abbildung der Papillen bzw. des Approximalbereiches.

Vergleiche zur Veranschaulichung die *Abbildungen 27-29* unter Kapitel 11.1 im Anhang.

Jeder erstellte Screenshot wurde anschließend unter einem individuellen Code abgespeichert. Dieser setzt sich aus vier Komponenten zusammen: dem Probanden-Code, dem Untersuchungszeitpunkt, dem zu untersuchenden Zahn und der abgebildeten Fläche (vestibulär oder oral). Ein Beispiel ist *P01.T3.44v*. Diese Bilddatei zeigt folglich die vestibuläre Fläche des Zahnes 44 von Proband 01 zum Zeitpunkt T3.

4.3.2 Bestimmung der Indizes

Die erstellten Screenshots wurden anschließend nach vier verschiedenen Plaqueindizes ausgewertet: nach dem durch Turesky modifizierten Plaqueindex nach Quigley und Hein (T-QHI), nach dem Marginalen Plaqueindex (MPI), nach dem durch Rustogi modifizierten Navy-Plaque-Index (RMNPI) und nach dem durch Bretz modifizierten RMNPI (RMNPI-B).

Da es sich, wie bereits beschrieben, bei der Indexerhebung um eine subjektive Methode der Plaquequantifizierung handelt, bietet es sich auch hier an, unter möglichst standardisierten Bedingungen zu arbeiten. Hierfür wurde eine Zahnvorlage erstellt (Grid bzw. Raster), die alle Kategorien bzw. Bewertungszonen der vier Indizes vereinte und abbildete.

Der marginale Plaueindex unterteilt den gingivanahen Bereich in vier Abschnitte. In der Vorlage ist diese Verteilung mit orangenen Strichen dargestellt.

Für die Bestimmung des T-QHIs ist vor allem die Drittelung der betrachteten Zahnfläche entscheidend, da so zwischen den Indexstufen 3 - 5 unterschieden wird (zur Wiederholung siehe Kapitel 3.3.1.2). Mithilfe der zwei grünen Linien in der Vorlage lassen sich die Drittel gut sichtbar voneinander abgrenzen.

Beim RMNPI und auch bei der von Bretz modifizierten Form ist der Index von neun abgegrenzten Arealen abhängig. Auch diese finden sich in der Vorlage wieder (grau gestrichelte Linien). Die Kennzeichnung mit den Buchstaben A - I, die der Definition der neun Felder dient, wurde anschließend manuell nachgetragen.

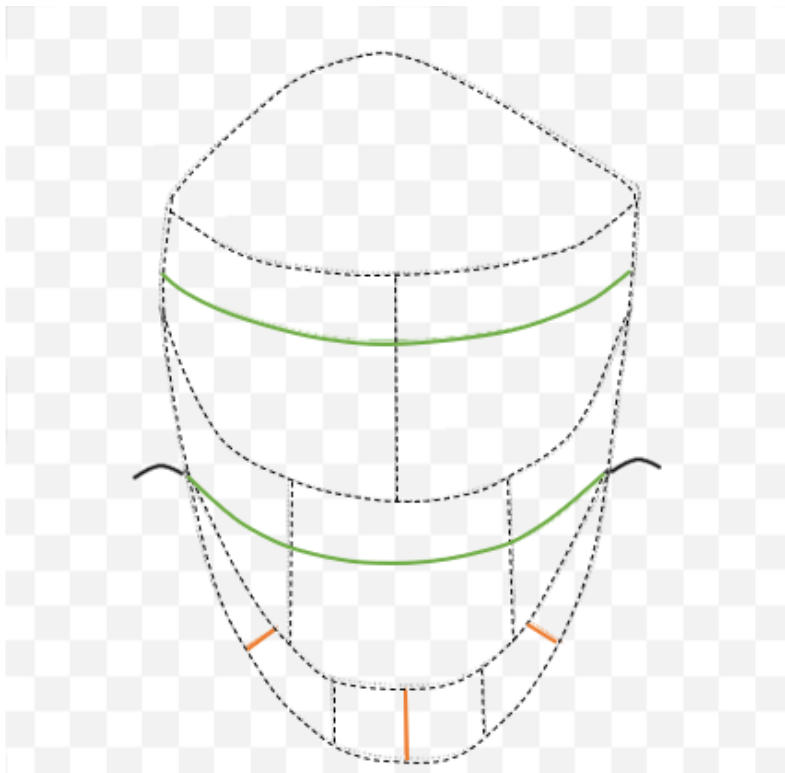


Abbildung 10: Vorlage (Grid) für die Bestimmung der Plaueindizes (grau gestrichelte Linie: Areale des RMNPIs; grüne Linien: Markierung der Zahntritteilung für die Auswertung durch den T-QHI; orangefarbene Linien: Viertelung des gingivanahen Abschnittes für die Auswertung durch den MPI)

Diese Vorlage konnte daraufhin ins Bildbearbeitungsprogramm *Photoshop CS5 extended, Version 12.0 x 64* importiert und über eine weitere Ebene auf jeden der erstellten Screenshots projiziert werden (vgl. Abb. 11). Über die Funktionen *Bild* → *Transformieren* → *Verkrümmen* wurde die Vorlage nun an den individuellen Zahn angepasst und abgespeichert. Die Grenzlinien, nach denen sich die Indizes richten, sind durch die Vorlage auf dem Zahn abgebildet und führen bei der Auswertung zu konstanteren Ergebnissen.

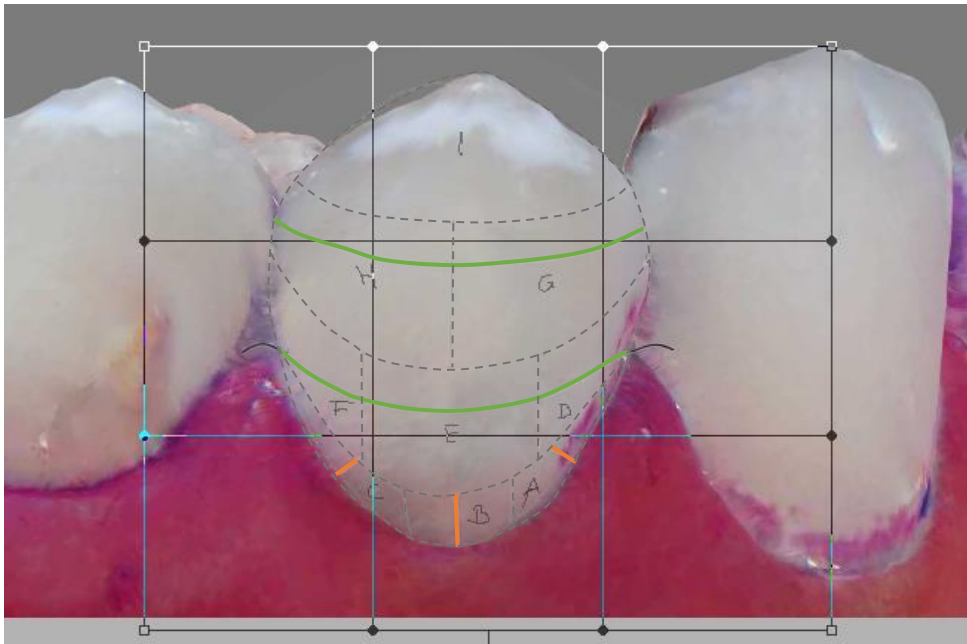


Abbildung 11: Ansicht im Bildbearbeitungsprogramm (grau gestrichelte Linie: Areale des RMNPIs; grüne Linien: Markierung der Zahndrittel für die Auswertung durch den T-QHI; orangefarbene Linien: Viertelung des gingivanahen Abschnittes für die Auswertung durch den MPI)

4.3.3 Ablauf der planimetrischen Auswertung

Die planimetrische Analyse erfolgte automatisch über eine Stapelverarbeitung. Dafür werden 2D-Bilder der 3D-Intraoralscans benötigt, die vor Beginn der Auswertung nach einem standardisierten Verfahren erstellt worden sind. Es handelt sich dabei um Screenshots der Vestibulär- und Oraflächen der zu untersuchenden Zähne (vgl. Kapitel 4.3.1).

Damit die Bilder vom Auswerteprogramm genutzt werden konnten, war es notwendig, die auszuwertenden Zähne auf einem schwarzen Hintergrund darzustellen. Hierzu wurden die erstellten Screenshots der Ramfjord-Zähne in ein Bildbearbeitungsprogramm (*Photoshop CS5 extended, Version 12.0 x 64*) importiert. Mit einem Stift-Display (*Cintiq 16 Display mit einem Wacom Pro Pen 2, Wacom Europe GmbH, Düsseldorf, Deutschland*) wurden die einzelnen Zähne ausgeschnitten und mithilfe der Ebenenfunktion auf einen schwarzen Hintergrund gelegt. Dies erfolgte für die Zähne 16, 21, 24, 36, 41, 44 für jeden Scan eines jeden Probanden separat. Jedes Bild wurde als JPG-Datei abgespeichert. Insgesamt wurden 1.080 Bilder der planimetrischen Auswertung zugeführt (90 Scans mit jeweils 12 zu untersuchenden Zahnoberflächen bei sechs zu untersuchenden Zähnen von jeweils oral und vestibulär).



Abbildung 12: Nutzbarmachung der 2D-Bilder für die Planimetrie

Das separate Auswerteprogramm wurde mit der Programmiersprache *Julia* und den Paketen „*ImageMagick*“ und „*Images*“ geschrieben (Jung et al., 2022).

Zunächst wurde das JPG-Bild durch das Programm in ein RGB-Bild umgewandelt. Die Farbwerte rot, grün und blau jedes Pixels wurden ermittelt, in ein Drei-Komponenten-Vektorsystem transformiert und separat gespeichert. Zur Berechnung der Plaquebedeckung wurden zwei Filter verwendet. Der erste Filter entfernte alle schwarzen Pixel des schwarzen Hintergrunds (RGB = 0,0,0). Der zweite Filter diente der Quantifizierung der Plaquebedeckung.

Da die Belichtung der 3D-Intraoralscans sehr konstant ist, konnten die Einstellungen standardisiert verwendet werden. Dies erlaubte eine Stapelverarbeitung. Durch die softwaregenerierte visuelle Darstellung der planimetrischen Auswertung (blau dargestellte plaquefreie Oberfläche gegenüber der magentafarbenen Plaque (vgl. zur Veranschaulichung z.B. *Abb. 14*) konnten am Ende alle Auswertungen auf Plausibilität überprüft und bei starken Abweichungen erneut mit einem angepassten Schwellenwert ausgewertet werden.

Der prozentuale Anteil der plaquebedeckten Flächen (P%) wurde aus dem Verhältnis aller Pixel zu den Pixeln berechnet, die unter den festgelegten Schwellenwerten lagen. Diese Ergebnisse wurden in einer separaten Exceltabelle ausgegeben.

4.4 Training und Kalibrierung

Zur Vorbereitung und Einübung des klinischen Ablaufs der Studie wurde zunächst ein Probedurchlauf mit einem Probanden zu den drei unterschiedlichen Zeitpunkten (T1/T2/T3) durchgeführt. Dies beinhaltete:

- das standardisierte Anfärben der Plaque
- das standardisierte Scannen und Abspeichern der Scans
- die Erstellung standardisierter Screenshots der zu untersuchenden Zahnflächen zur weiteren Bearbeitung
- das korrekte Applizieren des Grids auf die zu untersuchende Zahnfläche
- die Plaquequantifizierung mit den verschiedenen Indizes

Im Anschluss an die Vorbereitungsphase fand die Kalibrierungsphase statt. Diese wurde in zwei Abschnitte unterteilt, um die inter- und intrarater-Reliabilität sicherzustellen und zu verifizieren. Die Kalibrierung fand an drei Probanden zu allen drei Zeitpunkten (T1-T3) statt. Die Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen von einem erfahrenen Untersucher verglichen.

Die Kalibrierung der Planimetrie konzentrierte sich vor allem auf die standardisierte Darstellung der zu untersuchenden Zahnfläche. Dazu mussten zunächst 2D-Screenshots von den Rohdatensätzen (3D-Modelle) erstellt werden. Dies erforderte eine Standardisierung der Dimension bzw. dem Zoom und des Neigungswinkels der x-, y- und z-Achsen (siehe dazu Kapitel 4.3.1.). Nach der Erstellung der Screenshots wurde die zu untersuchende Zahnoberfläche ausgeschnitten, auf einen schwarzen Hintergrund gelegt und anschließend planimetrisch ausgewertet. Die Kappa-Werte waren $\kappa = 0,993$, $0,996$ bzw. $0,985$ für T1/T2/T3.

Die Kalibrierung der Indizes erfolgte mit den gleichen Screenshots. Hierfür wurde ein Grid auf die zu analysierenden Zahnoberflächen platziert und anschließend die verschiedenen Plaqueindizes erhoben (siehe Kapitel 4.3.2).

Die Ergebnisse der **Inter-Rater-Reliabilität** waren zu den jeweiligen Zeitpunkten T1/T2/T3:

- RMNPI nach Bretz: $\kappa = 0,859$, $0,916$ und $0,892$
- RMNPI: $\kappa = 0,77/0,80/0,83$
- T-QHI: $\kappa = 0,805/0,833/0,734$
- marginaler Plaqueindex $\kappa = 0,959/1,0/0,960$

Die **Intra-Rater-Reliabilität** an zwei weiteren Probanden zeigte ähnlich hohe Kappa-Werte zu den jeweiligen Zeitpunkten T1/T2/T3:

- RMNPI nach Bretz: $\kappa = 0,834/0,897/0,892$
- RMNPI: $\kappa = 0,822/0,879/9,916$
- T-QHI: $\kappa = 0,856/0,94/1$
- marginaler Plaqueindex $\kappa = 0,93/1,0/0,819$

4.5 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in Excel-Tabellen übertragen und auf Richtigkeit und Plausibilität geprüft. Ausgewertet wurden die Ramfjord-Zähne (Zähne 16, 21, 24, 36, 41, 44).

Die statistische Analyse erfolgte mit *SPSS Version 27*.

Zunächst wurden die Daten in Hinblick auf hinreichende Gauß-Verteilung geprüft. Für die nach Proband aggregierten Daten fanden sich für die Variablen RMNPI, RMNPI-B, TQHI und P% keine signifikanten Abweichungen von der Gauß-Verteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test). Lage- und Streuungsmaße dieser Daten werden als arithmetische Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben. Für die Variablen MPI T1 ($p = 0,031$), T2 ($p = 0,024$) und T3 ($p = 0,013$) fanden sich jedoch signifikante Abweichungen von der Gauß-Verteilung. Da sich arithmetische Mittelwerte und Median jedoch nur geringfügig unterscheiden und dieser Parameter ein Sekundärparameter ist, werden auch hier arithmetische Mittelwerte und Standardabweichung verwendet.

Zunächst erfolgte eine Basisanalyse, bei der analysiert werden sollte, ob die verschiedenen Plaqueerfassungsmethoden die Veränderung der Plaquemenge in Abhängigkeit vom Mundhygieneverhalten abbilden. Hierfür wurde mit dem t-Test für verbundene Stichproben geprüft, ob sich die habituelle Plaquebedeckung, die Plaquebedeckung nach Aussetzen der Mundhygiene und nach anschließendem habituellem Zähneputzen unterscheiden.

Anschließend wurde mit Regressionsanalysen geprüft, ob sich der Effekt des Zähneputzens mit der zuvor akkumulierten Plaquemenge vorhersagen lässt.

Kurvenanpassungen wurden durchgeführt, um den Zusammenhang von Indexwerten und P%-Werten zu beschreiben.

Bland-Altman-Analysen wurden verwendet, um zu untersuchen, inwieweit die mit den Indizes gemessenen Plaquereduktionen nach Plaqueakkumulation und anschließendem Zähneputzen mit den planimetrisch gemessenen Reduktionen übereinstimmen.

Die Plaquemenge und -verteilung ist in den verschiedenen Regionen des Gebisses sehr unterschiedlich. Ebenso unterschiedlich ist die anatomische Form der verschiedenen Zahntypen. Die genannten Analysen erfolgten abschließend auch dahingehend, ob der Zahntyp (Molaren, Prämolaren, Inzisivi) bzw. die Zahnfläche (oral/ vestibulär) einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Indexwert und planimetrisch gemessener Plaquemenge hat.

5 Ergebnisse

5.1 Betrachtung der aggregierten Daten

Die Probanden zeigten bei habitueller Mundhygiene eine große Spannweite von P%-Werten, die sich nach Aussetzen der Mundhygiene erwartungsgemäß erhöhten. Ebenso erwartungsgemäß reduzierten sich die P%-Werte nach habitueller Mundhygiene wieder deutlich, dabei blieb die Spannweite von Plaquebedeckungsgraden bestehen (Abb. 13).

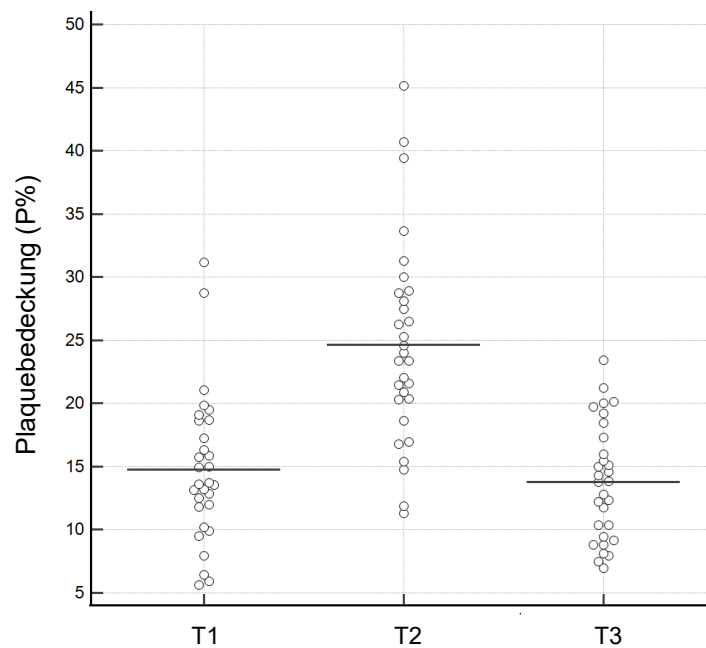


Abbildung 13: P%-Werte bei habitueller Mundhygiene und nach Aussetzen der Mundhygiene sowie nach habituellem Zähneputzen (die Linien bezeichnen den arithmetischen Mittelwert)

Die Daten für die verschiedenen Plaqueindizes sowie die P%-Werte zu den verschiedenen Zeitpunkten finden sich in Tabelle 1.

Ähnlich wie die Planimetrie konnten alle Indizes die Plaquezunahme nach Aussetzen der Mundhygiene und die anschließende Reduktion der Plaquemenge durch habituelles Zähneputzen statistisch signifikant darstellen. Allerdings bildeten die Indizes die prozentuale Reduktion, also die durch Zähneputzen erreichte Effektgröße, deutlich anders ab. Während sich der P%-Wert um etwa 42 % reduzierte, fand sich mit dem RMNPI nur eine Reduktion von etwas unter 20 %. Der RMNPI-B und der TQHI ergaben mit einer Reduktion von etwa 30 % ähnliche, jedoch ebenfalls niedrigere Werte als die planimetrische Messung.

Die Dimension der prozentualen Reduktion von P% ($r^2 = 0,178$; $p = 0,02$) und vom TQHI ($r^2 = 0,181$; $p = 0,019$) lässt sich zu einem kleinen Teil durch die Dimension der Plaque-menge erklären, die durch Aussetzen der Mundhygiene akkumuliert wurde. Dieser Zusammenhang bestand für RMNPI ($r^2 = 0,035$; $p = 0,946$) und RMNPI-B ($r^2 = 0,035$; $p = 0,319$) nicht.

Tabelle 1: Werte für die planimetrisch sowie mit den verschiedenen Indizes bestimmte Plaquebedeckung zu den drei Untersuchungszeitpunkten

p-Wert 1 bezieht sich auf den Vergleich der Werte zu den drei Zeitpunkten; p-Wert 2 auf den Vergleich der planimetrisch gemessenen prozentualen Plaquereduktion durch habituelle Mundhygiene nach Plaqueakkumulation mit der mit den Indizes gemessenen Plaquereduktion; p-Wert 3 bezieht sich auf den Vergleich der mit den Indizes gemessenen Plaquereduktion untereinander. Gleiche hochgestellte Buchstaben bezeichnen die verglichenen Parameter und den dazugehörigen p-Wert.

| | Plaquereduktion | p-Wert 1 | Prozentuale Plaquereduktion (T2 zu T3) | p-Wert 2 | p-Wert 3 |
|---------|--------------------------|------------------------|--|-----------|--|
| P% | | | | | |
| T1 | 14,8 ± 5,9 ^{ac} | p < 0,001 ^a | 42,1 ± 14,0 | | |
| T2 | 24,6 ± 8,0 ^{ab} | p < 0,001 ^b | | | |
| T3 | 13,8 ± 4,6 ^{bc} | p = 0,135 ^c | | | |
| RMNPI | | | | | |
| T1 | 6,3 ± 1,0 ^{ac} | p < 0,001 ^a | 19,7 ± 9,5 ^{de} | p < 0,001 | p < 0,001 ^d p < 0,001 ^e |
| T2 | 7,5 ± 0,7 ^{ab} | p < 0,001 ^b | | | |
| T3 | 6,0 ± 0,8 ^{bc} | p = 0,02 ^c | | | |
| RMNPI-B | | | | | |
| T1 | 8,7 ± 1,9 ^{ac} | p < 0,001 ^a | 30,2 ± 9,9 ^{df} | p < 0,001 | p = 0,061 ^f |
| T2 | 11,5 ± 1,6 ^{ab} | p < 0,001 ^b | | | |
| T3 | 8,0 ± 0,5 ^{bc} | p = 0,003 ^c | | | |
| TQHI | | | | | |
| T1 | 1,9 ± 0,5 ^{ac} | p < 0,001 ^a | 32,7 ± 9,5 ^{ef} | p < 0,001 | |
| T2 | 2,6 ± 0,5 ^{ab} | p < 0,001 ^b | | | |
| T3 | 1,8 ± 0,3 ^{bc} | p = 0,07 ^c | | | |
| MPI | | | | | |
| T1 | 13,1 ± 8,9 | p < 0,001 | | | |
| T2 | 4,7 ± 4,9 | p < 0,001 | | | |
| T3 | 14,2 ± 7,2 | p = 0,571 | | | |

Es ist erkennbar, dass der TQHI keine signifikant besseren Ergebnisse als der RMNPI nach Bretz lieferte (p-Wert > 0,05).

Anhand der P%-Werte in Tabelle 1 ist weiterhin erkennbar, dass zwischen den Zeitpunkten T1 und T3 keine statistisch signifikanten Plaqueveränderungen auftraten. Im Vergleich dazu zeigten allerdings der RMNPI und seine Modifikation nach Bretz (für die gleichen Zeiträume) signifikante Änderungen der Plaquemenge.

Die Aussagekraft des MPis ist in Bezug auf die Gesamtplaquemenge definitionsgemäß eingeschränkt, da lediglich die gingivanahen Bereiche der Zahnoberflächen bewertet werden. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels auf eine nähere Auseinandersetzung mit diesem Index verzichtet. Eine kritische Auseinandersetzung erfolgt dahingehend in Kapitel 6.1.1.

Zur Veranschaulichung der ermittelten durchschnittlichen Plaquewerte aus Tabelle 1 zeigt *Abbildung 14* Beispielbilder mit einer ähnlichen Plaquebedeckung, wie sie zum Zeitpunkt T2 und T3 durchschnittlich vorlag. Sie zeigt wie eine Reduktion um ca. 42 % (in diesem Beispiel von 24,4 P% auf 13,8 P%) aussehen könnte:

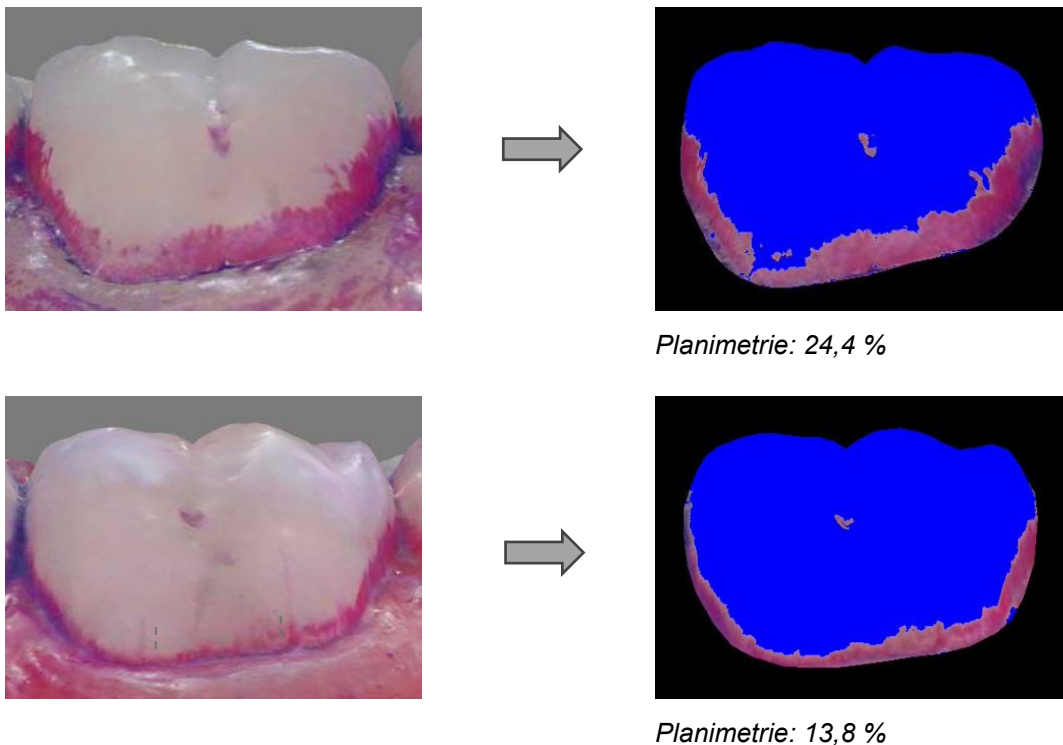
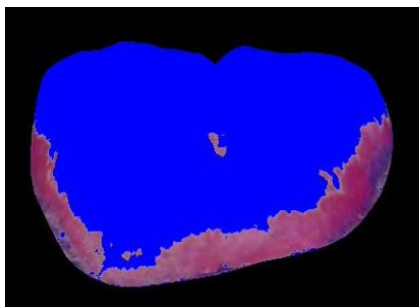
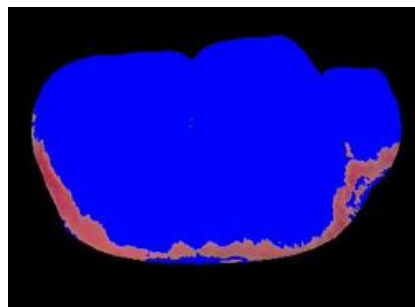


Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der Plaquebedeckung vor und nach dem Zähneputzen zur Veranschaulichung der durchschnittlich erreichten Plaquereduktion von ca. 42 % (oben: vor dem Putzen [T2]; unten: nach dem Putzen [T3])

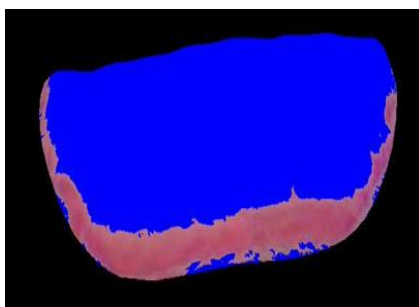
Die folgende *Abbildung 15* zeigt die jeweils durchschnittliche Plaquebedeckung zum Zeitpunkt T2, wie sie neben der Planimetrie auch durch die verschiedenen Indexsysteme erhoben worden ist (siehe Tabelle 1). Der Darstellung dienen erneut Beispielbilder aus den Intraoralscans, die einen vergleichbaren Indexwert zu dem aus Tabelle 1 zeigen. Aus Gründen einer möglichst guten Vergleichbarkeit wurden Beispielbilder gewählt, die die gleiche Zahnoberfläche (hier: Zahn 36 vestibulär) abbilden. Obwohl alle Bilder die durchschnittliche Plaquebedeckung bei T2 widerspiegeln, sind die Abweichungen in der Plaquebedeckung bereits optisch erkennbar.



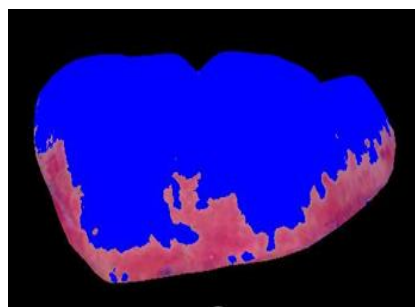
P%: 24,6 %



RMNPI: 8



T-QHI: 3

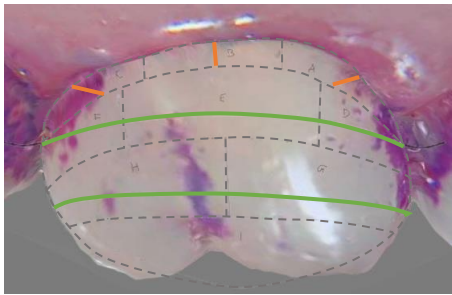


RMNPI-B: 12

Abbildung 15: Beispiele für die durchschnittliche Plaquebedeckung zum Zeitpunkt T2, dargestellt durch die verschiedenen Quantifizierungsmethoden (vgl. hierzu die Werte aus Tabelle 1)

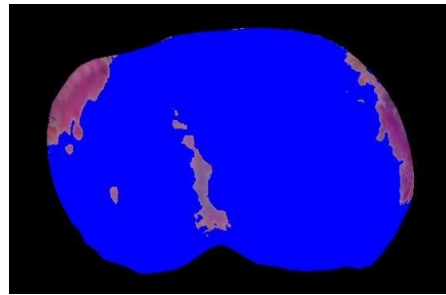
Zu bedenken ist hierbei immer, dass die gängigsten Indexsysteme auf einem dichotomen Bewertungsschema basieren. So kann ein RMNPI-Score von 8 aufgrund von verteilten einzelnen Plaqueinseln eine prozentuale Plaquebedeckung von ca. 10 % bedeuten, während der gleiche Score von 8 in einem anderen Beispiel einen P%-Wert von ca. 60 % beschreibt. *Abbildung 16* verdeutlicht dies. Für beide Beispiele dient hier die vestibuläre Fläche des Zahnes 16. Zwar handelt es sich nicht um identische Zähne, die Zahnform und -größe ist jedoch vergleichbar.

RMNPI: 8

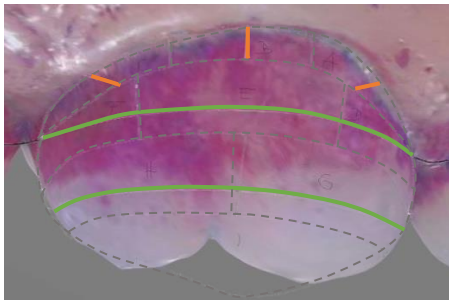


Bsp.: P09.T1.16v

P%: 9,9 %



RMNPI: 8



Bsp.: P18.T2.16v

P%: 59,9 %

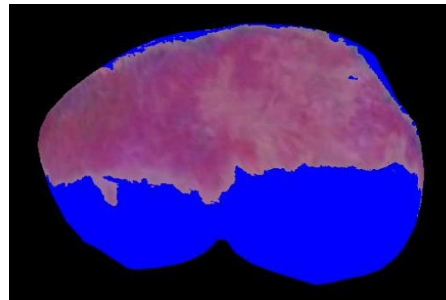


Abbildung 16: Problematik des dichotomen Bewertungsschemas (grau gestrichelte Linien: Areale des RMNPIs; grüne Linien: Markierung der Zahndrittel für die Auswertung durch den T-QHI; orangefarbene Linien: Viertelung des gingivanahen Abschnittes für die Auswertung durch den MPI)

Die folgende *Abbildung 17* zeigt die Bland-Altman-Analyse aus den aggregierten Werten der einzelnen Probanden. Die drei Diagramme repräsentieren dabei die drei verschiedenen Indizes hinsichtlich der Plaquereduktion von T2 zu T3.

Auf den x-Achsen ist jeweils die Reduktion des planimetrisch ermittelten P%-Wertes angegeben. Die y-Achsen zeigen die Differenz aus P%-Reduktion und prozentualer Reduktion des jeweiligen Indexes.

Die Bland-Altman-Analyse (*Abb. 17*) zeigt eine signifikante systematische Verzerrung, aber auch eine proportionale Verzerrung (p immer $> 0,001$). Dabei unterschätzen die durch die Plaquerindizes ermittelten Reduktionen die tatsächlichen Effekte bei kleineren Werten weniger als bei größeren Werten. Dieser Zusammenhang ist mit $r^2 = 0,549$ für den RMNPI, $r^2 = 0,498$ für RMNPI-B und $r^2 = 0,562$ für den TQHI deutlich. Der mediane absolute prozentuale Irrtum (95% Konfidenzintervall (CI)) beträgt für den RMNPI 52,3 % (43,1;64,2), den RMNPI-B 29,5 % (18,2;38,1) und für den TQHI 18,1 % (13,0;28,1).

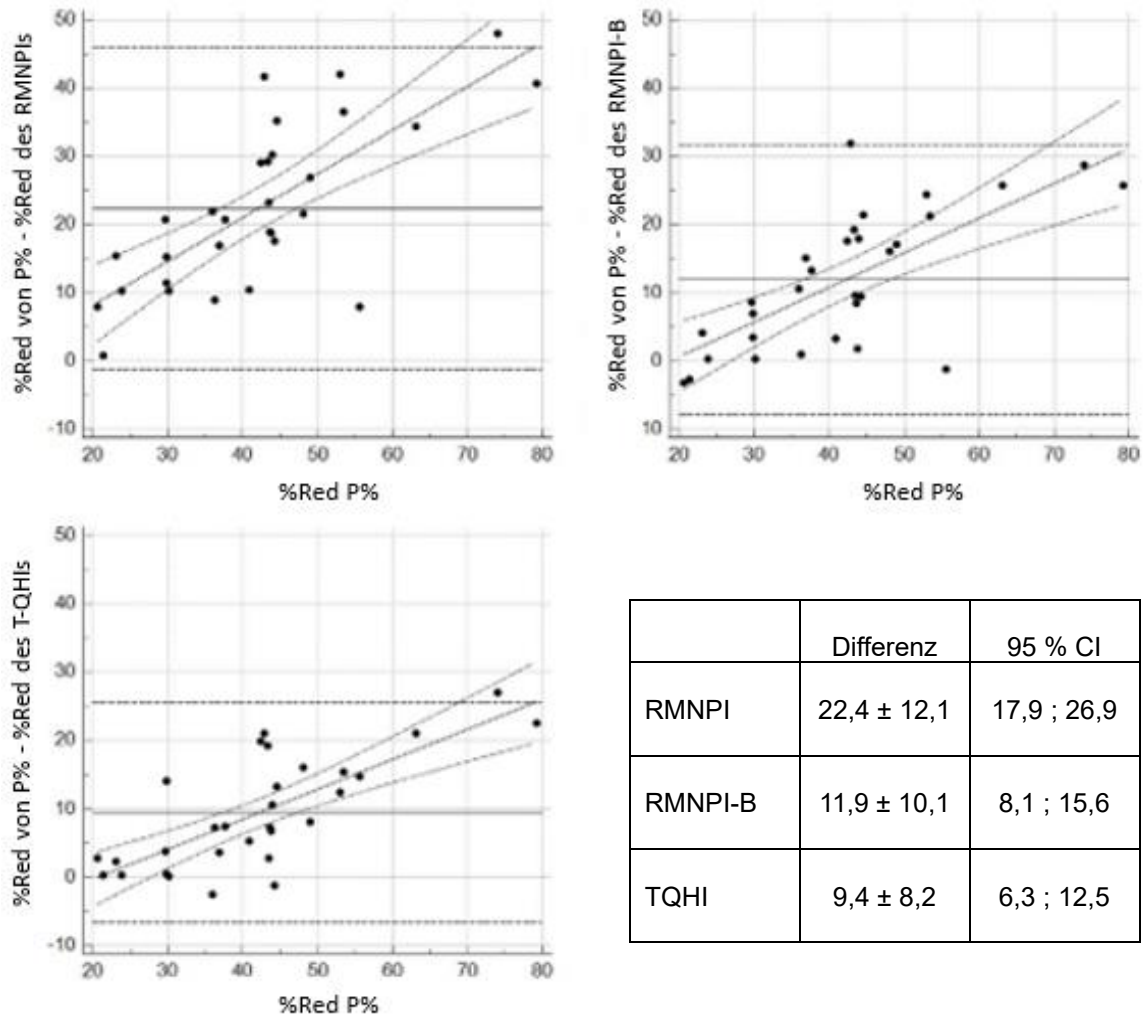


Abbildung 17: Bland-Altman Plots für den Vergleich der Reduktion der Plaquerbedeckung (Referenz = Planimetrie)

Die Tabelle zeigt die mittlere Differenz zur Referenz (arithmetischer Mittelwert ± SD) mit 95 % Konfidenzintervall.

Die Graphen stellen die mittlere Differenz (durchgezogene Linie) mit dem oberen und unteren Limit der Übereinstimmung (± 1,96 SD; gestrichelte Linien) sowie die Regressionsgerade (gepunktete Linie) mit 95 %-Konfidenzintervall (unterbrochene Linien) dar.

5.2 Zusammenhang von Indexwerten und planimetrisch bestimmter Plaquemenge

In *Abbildung 18* sind die Indexwerte gegenüber den planimetrisch errechneten P%-Werten aufgetragen und graphisch dargestellt. Es zeigt sich, dass die Indexwerte die tatsächliche Plaquemenge einer Zahnoberfläche nicht linear abbilden.

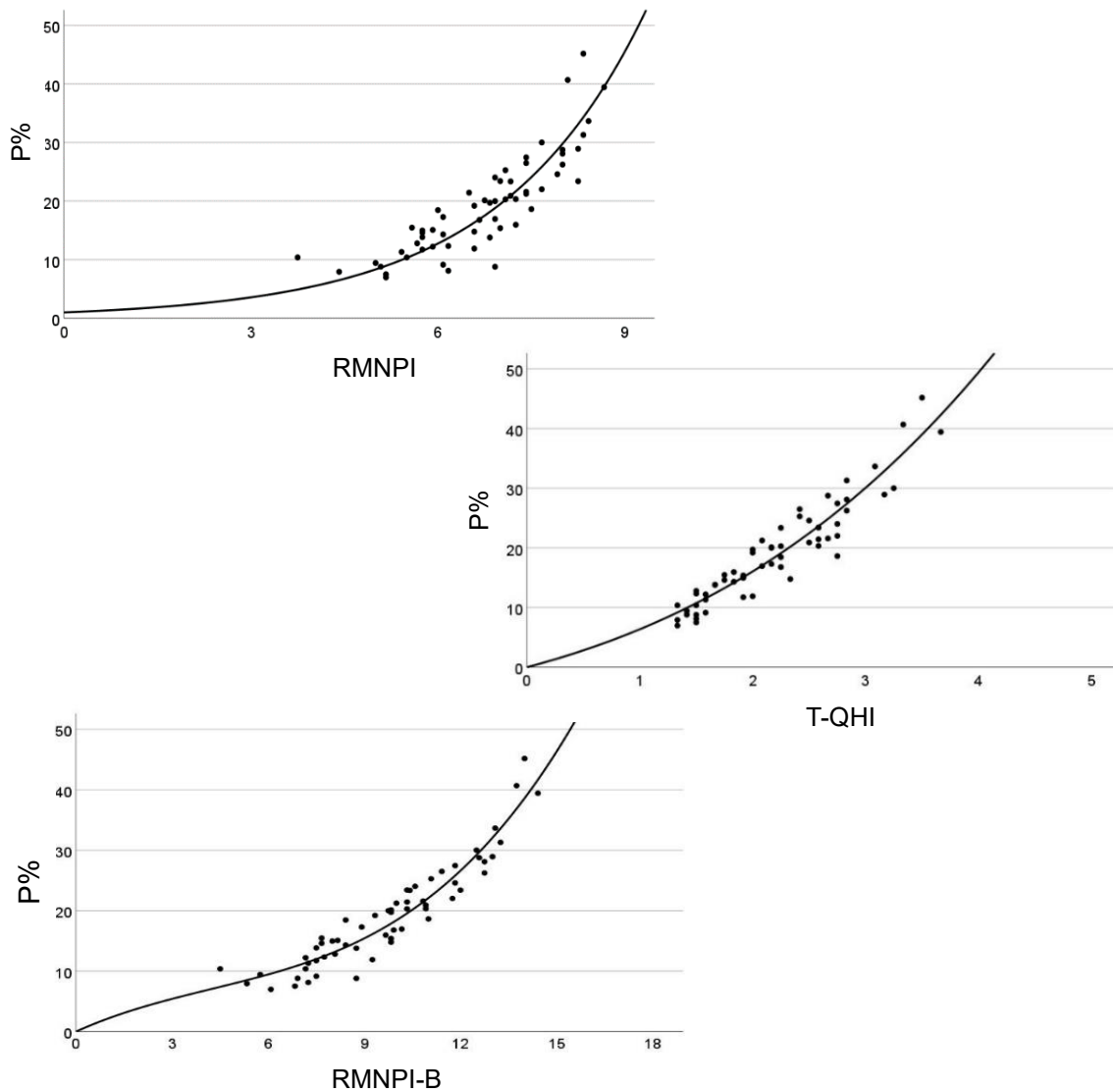


Abbildung 18: Zusammenhang von Indexwerten und P%

Während die RMNPI-Werte einen Funktionsgraphen in Form einer Exponentialfunktion annehmen, ähnelt der Graph aus den RMNPI-B-Werten eher einer kubischen Funktion. Die TQHI-Werte bilden einen nahezu linearen Funktionsgraphen, aber auch dies kann nur als Annäherung verstanden werden.

Der Zusammenhang von Indexwerten und P% lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$\text{RMNPI: } y = 1 * \exp(0,4242902063036896 * x)$$

$$\text{RMNPI-B: } y = 0 + 2,396829825152295 * x + -0,2588284468961335 * x^2 + 0,02032815731470526 * x^3$$

$$\text{TQHI: } y = 0 + 5,04232403198859 * x + 1,15957394708092 * x^2 + 0,1669167764640533 * x^3$$

Dabei ist y der P%-Wert und x der jeweilige Indexwert.

Tabelle 2 stellt die Werte nach Umrechnen der Indexwerte in P%-Werte (mit den entsprechenden Gleichungen) im Vergleich zu den beobachteten P%-Werten dar.

Dabei zeigen sich für alle Umrechnungen Werte, die sich nicht signifikant von den beobachteten Werten unterscheiden. Dies findet sich entsprechend auch für die prozentuale Reduktion der Plaquewerte durch das Zähneputzen.

Tabelle 2: Werte für die planimetrisch sowie mit den verschiedenen Indizes bestimmte Plaquebedeckung zu den drei Untersuchungszeitpunkten nach Umrechnung

p-Wert 1 bezieht sich auf den Vergleich der aus den Indexwerten berechneten Werten zu den planimetrisch beobachteten Werten zu T2, p-Wert 2 entsprechend zu T3. Der p-Wert 3 bezieht sich entsprechend auf den Vergleich der prozentualen Reduktionen. Gleiche hochgestellte Buchstaben bezeichnen die verglichenen Parameter und den dazugehörigen p-Wert.

| | T2 | p-Wert 1 | T3 | p-Wert 2 | Prozentuale Reduktion | p-Wert 3 |
|-----------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| P% | 24,6 ± 8,0 ^{abc} | | 13,8 ± 4,6 ^{def} | | 42,1 ± 14,0 ^{ghi} | |
| P%RMNPI | 24,7 ± 7,1 ^a | p= 0,941 ^a | 13,4 ± 4,5 ^d | p= 0,514 ^d | 44,2 ± 16,3 ^g | p= 0,455 ^g |
| P%RMNPI-B | 25,1 ± 7,2 ^b | p= 0,395 ^b | 13,4 ± 3,1 ^e | p= 0,342 ^e | 44,7 ± 12,0 ^h | p= 0,176 ^h |
| P%TQHI | 24,9 ± 7,0 ^c | p= 0,664 ^c | 13,5 ± 3,6 ^f | p= 0,470 ^f | 44,1 ± 11,7 ⁱ | p= 0,221 ⁱ |

Zusammenfassend ermöglichen die abgeleiteten Formeln eine Errechnung der prozentualen Plaquebedeckung auch ohne Planimetrie allein aus den Indexwerten. Dies gilt für alle Indizes und auch bei unterschiedlicher Plaqueausprägung.

Die Bland-Altman-Analyse (Abb. 19) zeigt im Gegensatz zu den unberechneten Werten für die Plaquereduktionen aus den berechneten Werten keine signifikante Verzerrung, es bleibt für RMNPI-B und TQHI eine proportionale Verzerrung bestehen (RMNPI-B: $p = 0,002$; TQHI: $p = 0,002$).

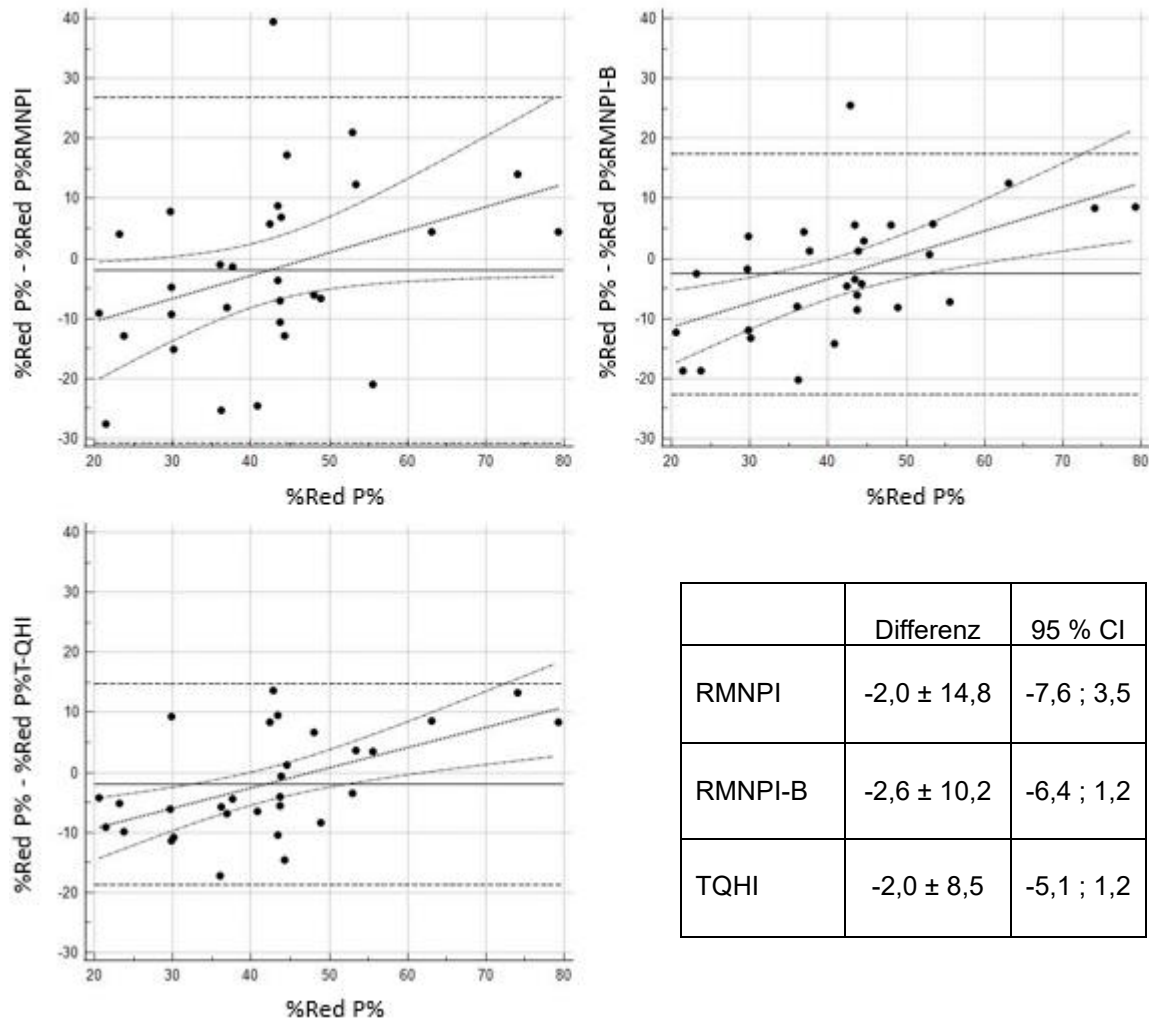


Abbildung 19: Bland-Altman Plots für den Vergleich der Reduktion der Plaquerbedeckung nach Umrechnung der Indexwerte (Referenz = Planimetrie)

Die Tabelle zeigt die mittlere Differenz zur Referenz (arithmetischer Mittelwert \pm SD) mit 95%-Konfidenzintervall.

Die Graphen stellen die mittlere Differenz (durchgezogene Linie) mit dem oberen und unteren Limit der Übereinstimmung ($\pm 1,96$ SD; gestrichelte Linien) sowie die Regressionsgerade (gepunktete Linie) mit 95 %-Konfidenzintervall (unterbrochene Linien) dar.

Insgesamt überschätzen die durch die Plaquerindizes ermittelten Reduktionen die tatsächlichen Effekte bei kleineren Werten und unterschätzen sie bei größeren Werten. Dieser Zusammenhang ist jedoch mit $r^2 = 0,302$ für RMNPI-B und $r^2 = 0,305$ für den

TQHI weniger deutlich als für die aus den Indizes berechneten Plaquereduktionen. Für den RMNPI fand sich keine signifikante proportionale Verzerrung ($p = 0,05$).

Die gemittelten Differenzwerte sind bei den drei Indizes nahezu gleich, nahe am Nullwert und dementsprechend nahezu identisch zu den planimetrischen P%-Werten. Die Kurven verlaufen außerdem flacher. Ähnlich wie in den vorangegangenen Bland-Altman-Plots zeigt sich, dass der TQHI weiterhin die wenigsten Ausreißer bei geringster Standardabweichung und kleinstem Konfidenzintervall aufweist.

Der mediane absolute prozentuale Irrtum (95% CI) beträgt für den RMNPI 21,2 % (12,8;33,6), den RMNPI-B 12,6 % (10,8;19,8) und für den TQHI 18,4 % (13,7;22,2).

Die *Abbildung 20* verdeutlicht, dass das Plaquewachstum durch die Indizes (hier: RMNPI) nicht linear beschrieben wird. Bereits visuell lässt sich erkennen, dass die Plaquezunahme zwischen Score 6 und 7 nicht gleichzusetzen ist mit der von Score 7 zu 8.

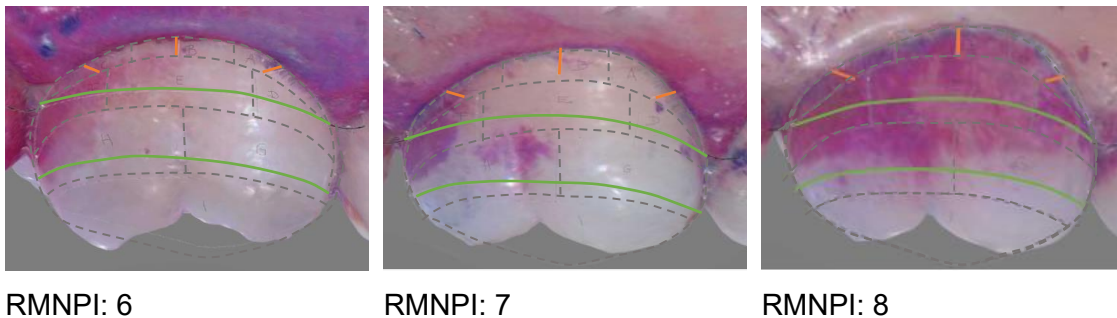


Abbildung 20: Nicht proportionale Plaqueränderung von Score 6 zu 8 beim RMNPI (grau gestrichelte Linien: Areale des RMNPIs; grüne Linien: Markierung der Zahndrittel für die Auswertung durch den T-QHI; orangefarbene Linien: Viertelung des gingivanahen Abschnittes für die Auswertung durch den MPI)

5.3 Betrachtung der Plaquebedeckungswerte nach Fläche

Tabelle 3 zeigt die Plaquebedeckungswerte nach Oral- und Vestibulärflächen.

Auf den Oralflächen zeigten die Plaquebedeckungswerte für die Indizes und für die Planimetrie zwar einen signifikanten Anstieg nach Plaqueakkumulation (p immer $< 0,001$, außer für RMNPI $p = 0,05$) und eine Abnahme nach Zähneputzen (p immer $< 0,001$, außer für RMNPI $p = 0,002$), allerdings waren die Plaquebedeckungsunterschiede jeweils gering.

Auf den Vestibulärflächen zeigten sich die Effekte von Plaqueakkumulation und Zähneputzen sehr viel deutlicher (p jeweils immer $< 0,001$). Dies bildete sich sowohl für die Planimetrie als auch für alle Indizes ab.

Die Differenzen zwischen Plaquebedeckung zu Beginn und Plaqueakkumulation sowie zwischen Plaqueakkumulation und Zähneputzen waren für P% und für alle Plaqueindizes auf den Vestibulärflächen immer signifikant größer als auf den Oralflächen (p immer $< 0,001$).

Tabelle 3: Plaquebedeckungswerte nach Zahnflächen für die planimetrischen Messungen (P%) sowie für die verschiedenen Indizes (arithmetischer Mittelwert \pm SD) zu Beginn (T1), nach Plaqueakkumulation für 72 Stunden (T2) und nach habituellem Zähneputzen (T3) mit deren jeweiligen Differenzen

| | T1 | T2 | T3 | Diff T2-T1 | Diff T2-T3 |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Oral | | | | | |
| P% | 19,2 \pm 16,4 | 22,0 \pm 18,2 | 19,4 \pm 15,1 | 2,8 \pm 10,1 | 2,6 \pm 10,2 |
| RMNPI | 6,9 \pm 1,9 | 7,2 \pm 1,9 | 6,8 \pm 1,8 | 0,2 \pm 1,5 | 0,3 \pm 1,4 |
| RMNPI-B | 10,1 \pm 3,8 | 10,8 \pm 3,8 | 9,7 \pm 3,6 | 0,7 \pm 2,5 | 1,1 \pm 2,6 |
| TQHI | 2,2 \pm 1,1 | 2,4 \pm 1,1 | 2,2 \pm 1,1 | 0,2 \pm 0,7 | 0,2 \pm 0,7 |
| Vestibulär | | | | | |
| P% | 10,3 \pm 10,6 | 27,3 \pm 19,7 | 8,2 \pm 7,4 | 16,9 \pm 15,3 | 19,1 \pm 17,4 |
| RMNPI | 5,7 \pm 2,1 | 7,8 \pm 1,3 | 5,1 \pm 2,0 | 2,1 \pm 1,8 | 2,6 \pm 1,8 |
| RMNPI-B | 7,2 \pm 3,6 | 12,1 \pm 3,3 | 6,2 \pm 2,9 | 4,8 \pm 3,2 | 5,9 \pm 3,0 |
| TQHI | 1,5 \pm 0,9 | 2,9 \pm 1,2 | 1,3 \pm 0,7 | 1,3 \pm 1,1 | 1,5 \pm 1,2 |

5.4 Zusammenhang von P% und Indexwerten nach Zahn und Fläche

Da sich sowohl die Plaqueverteilungsmuster als auch die Proportionen der Zahnkrone in Breite und Höhe bei den verschiedenen Zahngruppen und -flächen voneinander unterscheiden, soll untersucht werden, ob die Indizes die planimetrisch gemessenen Plaquebedeckungen möglicherweise unterschiedlich abbilden. Dazu wurde die Vestibulärfläche des Zahns 44 betrachtet, die deutlich höher als breit ist und als Schaubild und damit als Referenz für die Flächeneinteilung des RMNPI verwendet wird (Rustogi et al., 1992; Claydon und Addy, 1995; Claydon und Addy, 1996). Weiterhin wird die Oralfläche dieses Zahns betrachtet, die eine sehr geringe Höhe mit variabel ausgebildetem Höcker hat. Die Vestibulärfläche des Zahns 16 ist im Gegensatz zur Referenz deutlich breiter als hoch und zeigt variable Plaquebedeckungsmuster. Zuletzt wird noch die Vestibulärfläche des Zahns 21 analysiert, die in der Regel zervikal nur wenig Plaque aufweist, dafür jedoch häufig Plaqueansammlungen im approximalen Bereich zeigt.

In den folgenden *Abbildungen 21 bis 23* ist der Zusammenhang von Index-Scores und planimetrisch gemessener Plaquebedeckung nach Kurvenanpassung dargestellt. Dabei zeigen sich für den RMNPI und für den RMNPI-B deutlich nicht-lineare Zusammenhänge, die für jedes Zahnareal mit unterschiedlichen kubischen, exponentiellen oder logistischen Gleichungen beschrieben werden können. Für die Seitenzähne bleibt dabei die Kurve bei dem RMNPI bis etwa zu Score 6 flach, um dann deutlich anzusteigen. Dabei findet sich besonders für die höheren Scores eine erhebliche Spannweite von Plaquebedeckungswerten. Für die Vestibulärfläche des Zahns 21 steigt die Kurve erst ab Score 8 an und zeigt für Score 9 eine Spannweite von P%-Werten zwischen etwa 10 und 60 % (*Abb. 21*).

Für den RMNPI-B (*Abb. 22*) zeigt sich ein ähnliches Bild. Hier bleibt die Kurve bis zu den Scores unterhalb von 9 relativ flach, um danach deutlich anzusteigen. Im Gegensatz zum RMNPI finden sich beim RMNPI-B für die einzelnen Scores etwas geringere Spannweiten von P%-Werten. Aber auch dieser Index bildet die Plaquebedeckung auf der Vestibulärfläche des Zahns 21 anders als bei den Seitenzähnen ab. Bei etwa gleichen P%-Werten kann der RMNPI-B Werte bis zu Score 11 annehmen.

Der TQHI (*Abb. 23*) bildet planimetrisch gemessene Plaquebedeckungswerte zumindest für die Oralfläche des Zahns 44 linear ab. Bei den anderen Zahnflächen stellt sich der Zusammenhang von Index-Score und P%-Werten zwar auch nicht-linear dar, aber der Kurvenverlauf ist deutlich flacher als für den RMNPI und RMNPI-B. Auch finden sich für jeden Score wieder größere Spannweiten von P%-Werten. Ähnlich wie bei den beiden anderen Indizes unterscheidet sich die Erfassung der Plaquebedeckung bei der Vestibulärfläche von Zahn 21 von der bei den Seitenzähnen, allerdings waren aufgrund der

generell geringeren Plaquebedeckung im Frontzahnbereich die häufigsten Scores nur 1 und 2.

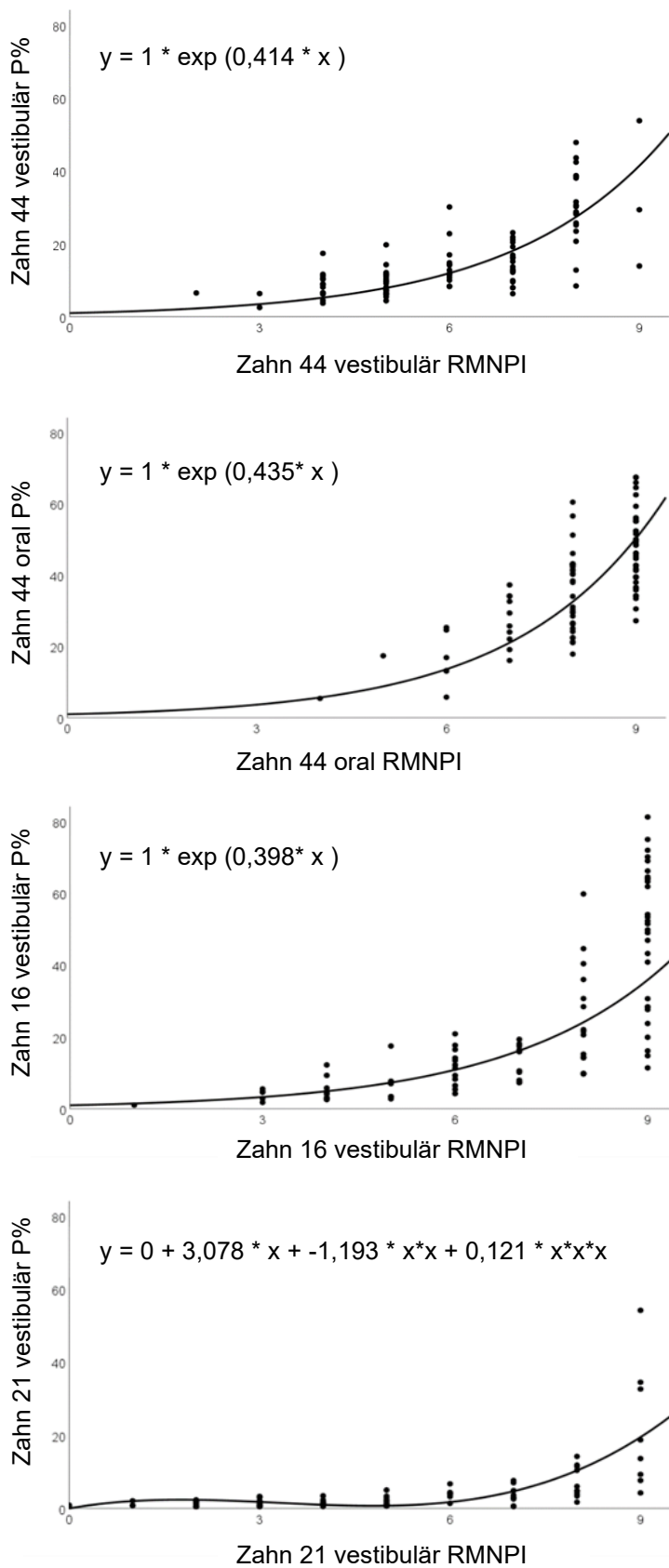


Abbildung 21: Zusammenhang von RMNPI-Scores und planimetrisch gemessener Plaquebedeckung (P%) auf den verschiedenen Zahnflächen mit Kurvengleichungen

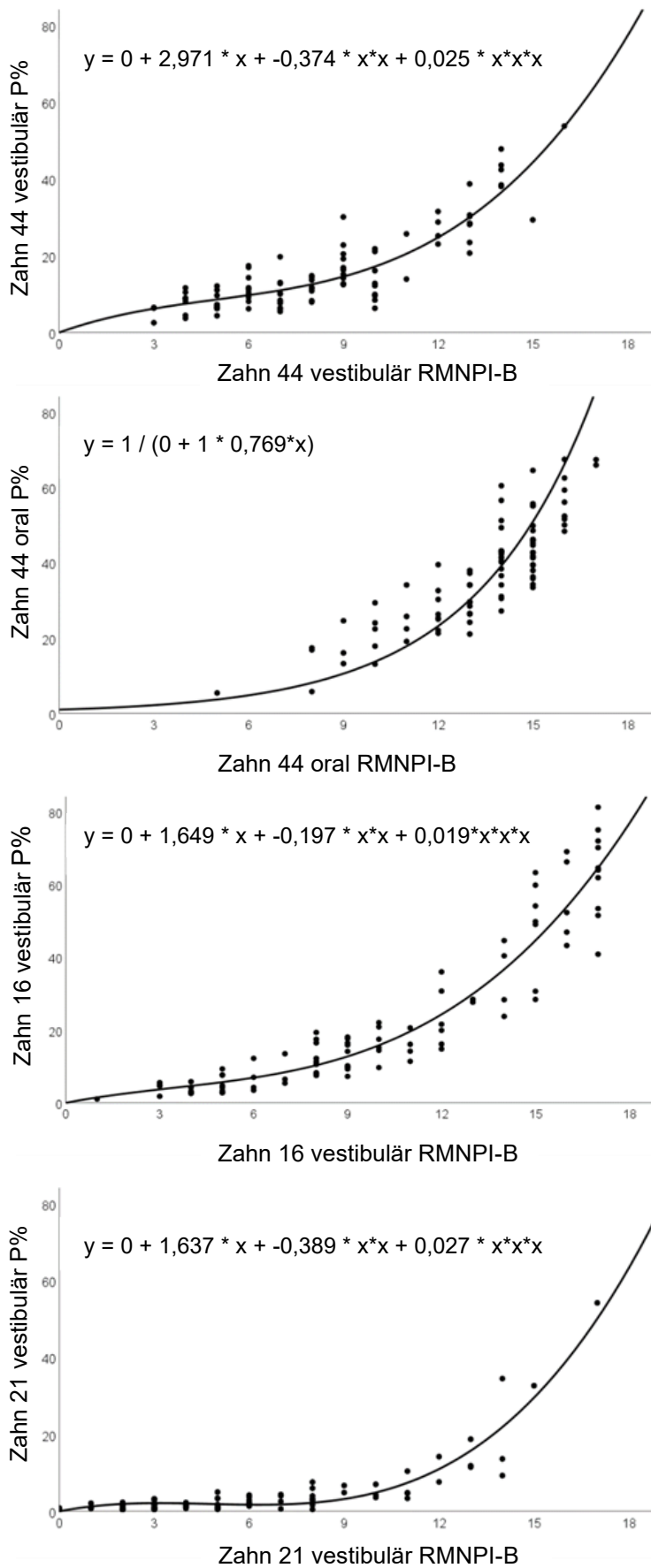


Abbildung 22: Zusammenhang von RMNPI-B-Scores und planimetrisch gemessener Plaquebedeckung (P%) auf den verschiedenen Zahnflächen mit Kurvengleichungen

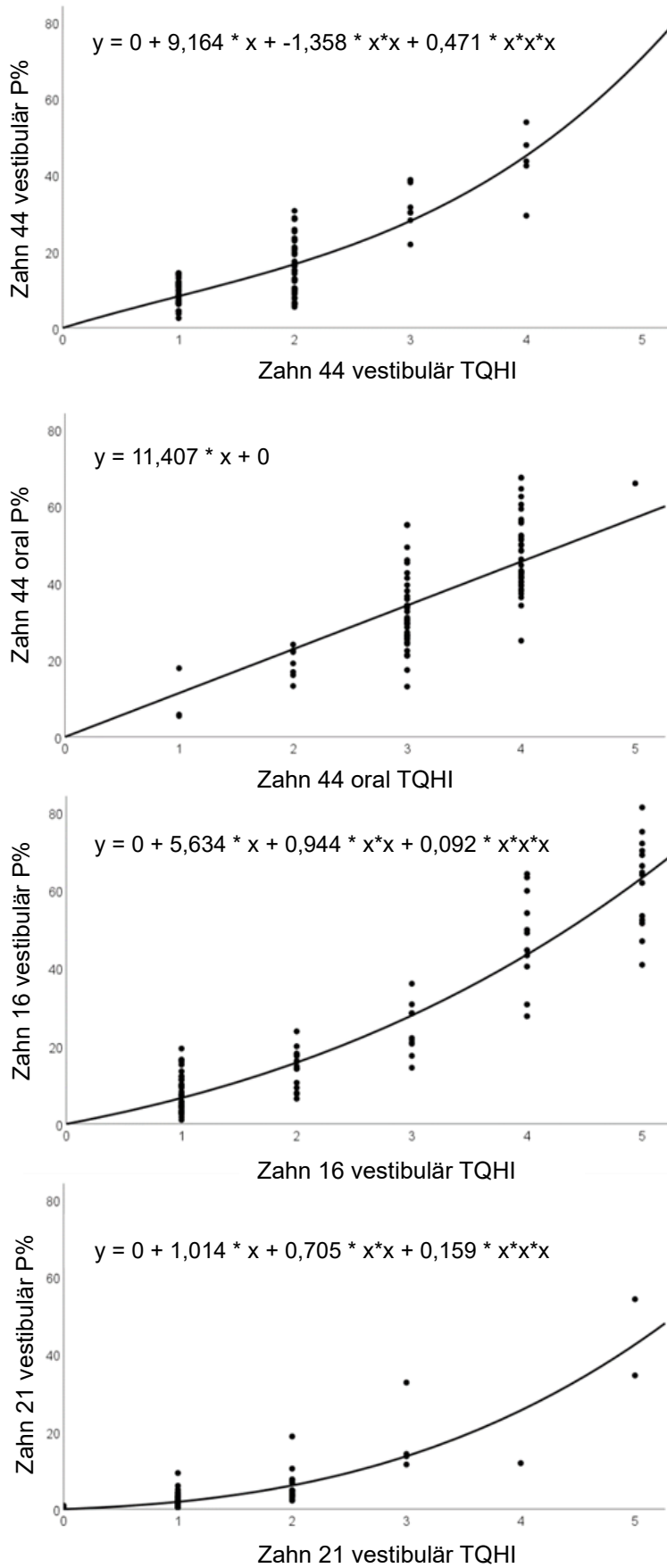


Abbildung 23: Zusammenhang von T-QHI-Scores und planimetrisch gemessener Plaquebedeckung (P%) auf den verschiedenen Zahnflächen mit Kurvengleichungen

Insgesamt repräsentieren die Indizes die Plaquebedeckung verschiedener Zahngruppen und -flächen unterschiedlich.

Dies ist deskriptiv in Tabelle 4 für jeden Index dargestellt. Dabei wurde jeweils der Score ausgewählt, für den in allen untersuchten Zahngruppen und -flächen hinreichend viele Fälle vorhanden waren. Die Daten zeigen, dass bei allen Indizes derselbe Score in Abhängigkeit von der Zahnfläche einen unterschiedlichen Plaquebedeckungsgrad widerspiegelt. Dabei finden sich die höchsten P%-Werte für die Oralfläche des Zahns 44. Bei gleichem Score finden sich dagegen bei Zahn 21 vestibulär deutlich geringere P%-Werte als für die Zahnflächen im Seitenzahnbereich.

Tabelle 4: Planimetrisch gemessene Plaquebedeckung (P%; arithmetischer Mittelwert \pm SD) auf verschiedenen Zahnflächen für RMNPI Score 8, RMNPI-B Score 10 und TQHI Score 2; n = Fallzahl für diese Scores

| | P% 44 vestibulär | P% 44 oral | P% 16 vestibulär | P% 21 vestibulär |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| RMNPI Score 8 | n = 19 30,1 \pm 10,0 | n = 33 35,5 \pm 10,7 | n = 8 25,2 \pm 14,8 | n = 10 7,3 \pm 2,5 |
| RMNPI-B Score 10 | n = 10 13,2 \pm 5,5 | n = 5 21,4 \pm 6,2 | n = 6 16,6 \pm 4,5 | n = 3 5,0 \pm 1,8 |
| TQHI Score 2 | n = 42 15,5 \pm 7,2 | n = 7 19,1 \pm 3,9 | n = 15 14,3 \pm 5,0 | n = 18 5,7 \pm 3,9 |

5.5 Berechnete Effekte aus Literaturdaten

Im Folgenden werden ausgewählte Daten aus zwei systematischen Übersichtsarbeiten (Elkerbout et al., 2020; van der Sluijs et al., 2021) zu Effekten von Handzahnbürsten und verschiedenen Arten von elektrischen Zahnbürsten betrachtet.

Dazu wurden die in *Abb. 18* dargestellten Kurvengleichungen für den RMNPI und den TQHI verwendet, um die entsprechenden Indexwerte in P%-Werte umzurechnen (Tabelle 5 und 6).

Der Ausgangs-Index-Wert über alle Studien war $2,3 \pm 0,6$ (TQHI) und $5,8 \pm 0,4$ (RMNPI), was umgerechnet einem P%-TQHI von $21,0 \pm 8,1$ und einem P%-RMNPI von $12,2 \pm 2,2$ entspricht. Nach Putzen reduzierte sich der TQHI um $41,2 \pm 21,7$ % und der RMNPI um $64,0 \pm 16,6$ %. Die entsprechenden Reduktionen betragen nach Umrechnung in die jeweiligen P%-Werte jedoch $50,5 \pm 23,0$ und $78,0 \pm 8,2$ %. Das bedeutet, dass die prozentuale Reduktion der Plaquebedeckung durch Indexwerte unterschätzt wird.

Tabelle 5: Ausgewählte Daten aus zwei systematischen Übersichtsarbeiten; Studien, die den TQHI verwendet haben (Elkerbout et al., 2020; van der Sluijs et al., 2021)

Die Gesamtwerte sind arithmetische Mittelwerte \pm SD aus allen aufgeführten Studien (van der Sluijs et al., 2021; Elkerbout et al., 2020).

(P% berechnet = prozentuale Plaquebedeckung aus den TQHI-Werten berechnet; TQHI = Indexwert; Bürstentyp OR = oscillating-rotating, HFS = high frequency sonic, PTB = powered toothbrush, MTB = manual toothbrush; P%Red P% = prozentuale Reduktion von P% nach dem Putzen; %Red TQHI = prozentuale Reduktion des TQHIs nach dem Putzen; Diff P% prä-post = Differenz der P%-Werte vor und nach dem Putzen; Diff P% Kontrolle-Test = Differenz der Diff P% prä-post Werte zwischen den verschiedenen Bürstentypen)

| | P% berechnet | TQHI | Bürstentyp | %Red P% | %Red TQHI | Diff P% prä-post | Diff P% Kontrolle-Test |
|-------------------------|--------------|------|------------------|---------|-----------|------------------|------------------------|
| Robinson (1997) | 12,23 | 1,65 | OR-PTB prä | -22,19 | -16,97 | 2,71 | -0,78 |
| | 9,51 | 1,37 | OR-PTB 6 months | | | | |
| | 12,64 | 1,69 | HFS-PTB prä | -27,60 | -21,30 | 3,49 | |
| | 9,15 | 1,33 | HFS-PTB 6 months | | | | |
| Yankell & Emling (1997) | 24,91 | 2,67 | OR-PTB prä | -29,31 | -20,22 | 7,3 | 1,81 |
| | 17,61 | 2,13 | OR-PTB 1 month | | | | |
| | 25,65 | 2,72 | HFS-PTB prä | -21,4 | -14,3 | 5,49 | |
| | 20,16 | 2,33 | HFS-PTB 1 month | | | | |
| Williams et al. (2008) | 27,65 | 2,85 | OR-PTB prä | -50,46 | -37,19 | 13,95 | 1,12 |
| | 13,70 | 1,79 | OR-PTB post | | | | |
| | 27,97 | 2,87 | HFS-PTB prä | -45,88 | -33,10 | 12,83 | |
| | 15,14 | 1,92 | HFS-PTB post | | | | |

| | P% be-rechnet | TQHI | Bürstentyp | %Red P% | %Red TQHI | Diff P% prä-post | Diff P% Kontrolle-Test |
|-------------------------------|---------------|------|------------------|---------|-----------|------------------|------------------------|
| Williams et al. (2009) | 26,57 | 2,78 | OR-PTB prä | -36,88 | -25,90 | 9,80 | -0,34 |
| | 16,77 | 2,06 | OR-PTB 10 weeks | | | | |
| | 27,03 | 2,81 | HFS-PTB prä | -37,52 | -26,33 | 10,14 | |
| | 16,89 | 2,07 | HFS-PTB 10 weeks | | | | |
| Killooy et al. (1989) | 22,46 | 2,50 | PTB prä | -83,62 | -74,80 | 18,78 | 5,98 |
| | 3,68 | 0,63 | PTB post | | | | |
| | 22,04 | 2,47 | MTB prä | -58,08 | -45,75 | 12,80 | |
| | 9,24 | 1,34 | MTB post | | | | |
| Khocht et al. (1992) | 14,24 | 1,84 | PTB prä | -26,65 | -20,11 | 3,80 | -0,4 |
| | 10,45 | 1,47 | PTB post | | | | |
| | 14,46 | 1,86 | MTB prä | -29,05 | -20,04 | 4,2 | |
| | 10,26 | 1,45 | MTB post | | | | |
| Van der Weijden et al. (1996) | 17,25 | 2,10 | PTB prä | -71,82 | -61,90 | 12,39 | -0,50 |
| | 4,86 | 0,80 | PTB post | | | | |
| | 18,48 | 2,20 | MTB prä | -69,71 | -59,09 | 12,88 | |
| | 5,60 | 0,90 | MTB post | | | | |
| Heasman et al. (1999) | 16,41 | 2,03 | PTB prä | -69,49 | -59,61 | 11,40 | -1,20 |
| | 5,01 | 0,82 | PTB post | | | | |
| | 19,37 | 2,27 | MTB prä | -65,08 | -53,74 | 12,61 | |
| | 6,77 | 1,05 | MTB post | | | | |
| Renton-Harper et al. (2001) | 33,57 | 3,21 | PTB prä | -59,67 | -44,62 | 20,03 | -0,66 |
| | 13,54 | 1,78 | PTB post | | | | |
| | 33,11 | 3,18 | MTB prä | -62,48 | -47,50 | 20,69 | |
| | 12,42 | 1,67 | MTB post | | | | |
| Moritis et al. (2002) | 25,35 | 2,70 | PTB prä | -48,50 | -35,93 | 12,30 | 3,93 |
| | 13,06 | 1,73 | PTB post | | | | |
| | 23,17 | 2,55 | MTB prä | -36,12 | -25,88 | 8,37 | |
| | 14,80 | 1,89 | MTB post | | | | |
| Pizzo et al. (2010) | 37,11 | 3,40 | PTB prä | -42,08 | -28,53 | 15,61 | 2,74 |
| | 21,50 | 2,43 | PTB post | | | | |
| | 37,48 | 3,42 | MTB prä | -34,34 | -22,51 | 12,87 | |
| | 24,61 | 2,65 | MTB post | | | | |
| Klukowska et al. (2012) | 17,81 | 2,15 | PTB prä | -59,55 | -48,56 | 10,61 | 0,49 |
| | 7,20 | 1,10 | PTB post | | | | |
| | 18,10 | 2,17 | MTB prä | -55,93 | -44,86 | 10,12 | |
| | 7,97 | 1,20 | MTB post | | | | |
| Rosema et al. (2014) | 26,87 | 2,80 | PTB prä | -57,87 | -44,29 | 15,55 | 3,92 |
| | 11,32 | 1,56 | PTB post | | | | |
| | 22,46 | 2,50 | MTB prä | -51,77 | -39,60 | 11,63 | |
| | 10,83 | 1,51 | MTB post | | | | |

| | P% be- rechnet | TQHI | Bürstentyp | %Red P% | %Red TQHI | Diff P% prä-post | Diff P% Kontrolle- Test |
|---------------------------|-------------------|------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|-------------------------------|
| Re et al. (2015) | 14,35 | 1,85 | PTB prä | -72,96 | -64,32 | 10,47 | 1,06 |
| | 3,88 | 0,66 | PTB post | | | | |
| | 14,13 | 1,83 | MTB prä | -66,62 | -57,38 | 9,42 | |
| | 4,72 | 0,78 | MTB post | | | | |
| Kurtz et al. (2016) | 18,52 | 2,20 | PTB prä | -39,14 | -29,41 | 7,25 | 1,87 |
| | 11,27 | 1,56 | PTB post | | | | |
| | 18,07 | 2,17 | MTB prä | -29,77 | -21,78 | 5,38 | |
| | 12,69 | 1,70 | MTB post | | | | |
| Kulkarni et al. (2017) | 4,16 | 0,70 | PTB prä | -83,74 | -81,43 | 3,48 | 0,15 |
| | 0,68 | 0,13 | PTB post | | | | |
| | 4,22 | 0,71 | MTB prä | -78,90 | -76,06 | 3,33 | |
| | 0,89 | 0,17 | MTB post | | | | |
| Gesamt | | | | -50,76 ± 18,62 | -40,72 ± 18,85 | 10,37 ± 4,87 | 1,2 ± 2,06 |
| | | | OR/HFS Stu- dien | -33,91 ± 10,65 | -24,41 ± 7,83 | 8,21 ± 4,16 | 0,45 ± 1,22 |
| | | | PTB/MTB Studien | -56,37 ± 17,35 | -46,15 ± 18,35 | 11,08 ± 4,95 | 1,45 ± 2,26 |

Es ist ersichtlich, dass die höchsten Effektivitätsdifferenzen durch die Arbeitsgruppen Killoy et al. (1989), Moritis et al. (2002) und Rosema et al. (2014) erhoben wurden. Selbst diese Werte bewegen sich lediglich zwischen ca. 3 und 6 P%.

Die folgende *Abbildung 24* soll zur Veranschaulichung der Effekte aus den genannten Studien dienen. Sie zeigt wie die Plaquebedeckungen vor und nach dem Putzen ausgesehen haben könnten und richtet sich nach den Werten aus Tabelle 5. Abgebildet sind die zwei Studien, die den höchsten Effektivitätsunterschied in der beobachteten Plaque-reduktion ermittelten.

Für die Darstellung wurden eigene Bilder aus der vorliegenden Studie verwendet. Die gezeigte Plaquebedeckung ist aufgrund gerundeter Werte nur als Annäherung zu den veröffentlichten Plaquewerten aus den beiden Studien zu verstehen. Die Abbildung gibt einen Eindruck, inwieweit die Ergebnisse zwischen den Zahnbürstentypen voneinander abweichen und wie sich die gemessenen Plaquewerte klinisch darstellen.

Es zeigt sich, dass zwar durch beide Zahnbürstentypen eine sichtbare Plaquereduktion erzielt werden konnte, die Ergebnisse zwischen der Kontroll- und Testgruppe allerdings vernachlässigbar sind. Visuell ist nahezu kein Unterschied zu erkennen.

Nähere Erläuterungen zu den einzelnen aufgeführten Artikeln, die verschiedenen Studiendesigns und deren abschließend publizierten Erkenntnisse finden sich unter Kapitel 6.4.1.

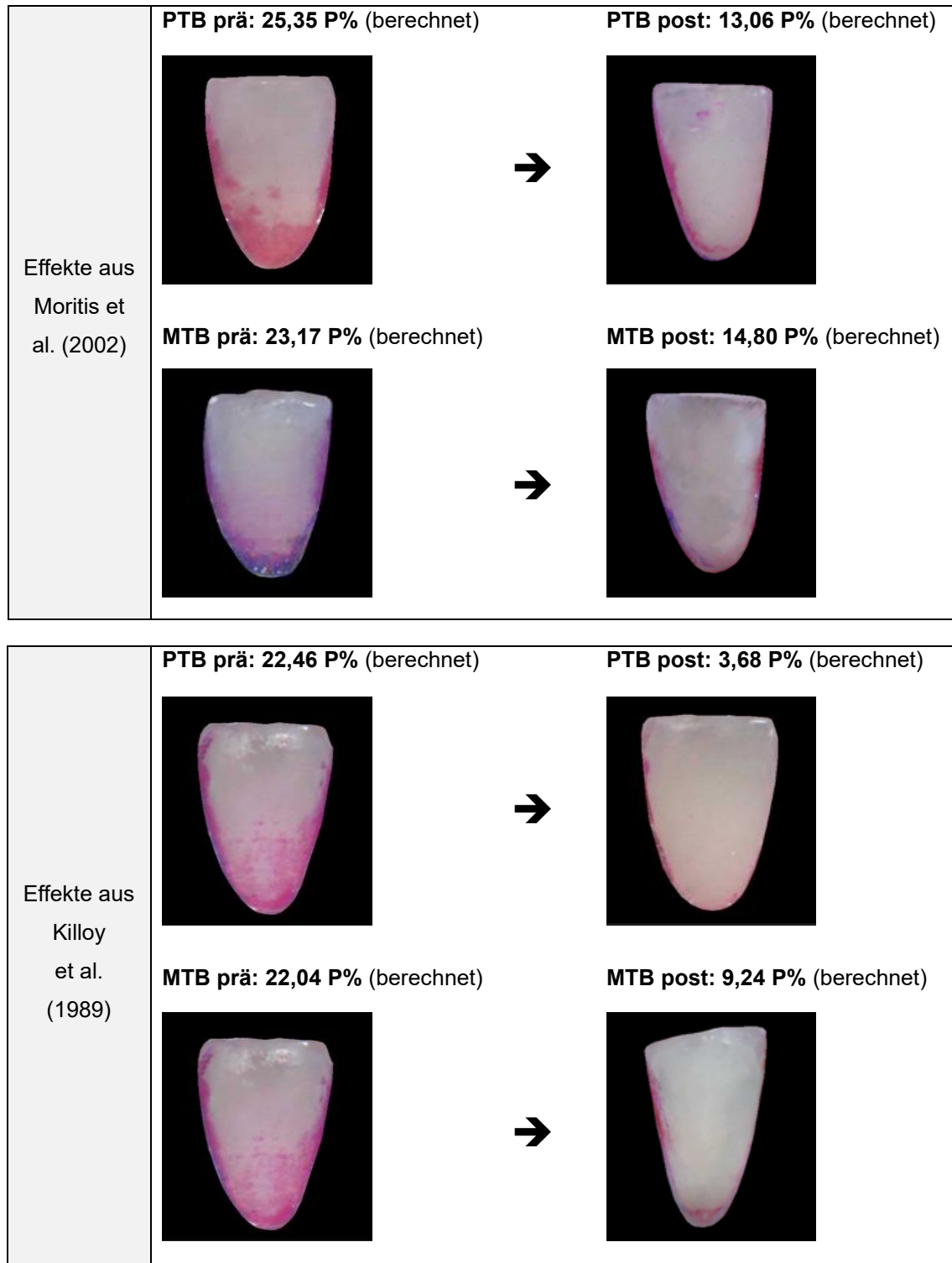


Abbildung 24: Effektivitätsunterschiede verschiedener Zahnbürstentypen; Veranschaulichung der in Studien beobachteten Plaquereduktionen anhand eigener Beispielbilder (PTB: powered toothbrush; MTB: manual toothbrush; P% (berechnet) = prozentuale Plaque-bedeckung aus den TQHI-Werten berechnet; prä: vor dem Zähneputzen; post: nach dem Zähneputzen)

Tabelle 6: Ausgewählte Daten aus zwei systematischen Übersichtsarbeiten; Studien, die den RMNPI verwendet haben (Elkerbout et al., 2020; van der Sluijs et al., 2021)

Die Gesamtwerte sind arithmetische Mittelwerte \pm SD aus allen aufgeführten Studien (Elkerbout et al., 2020; van der Sluijs et al., 2021).

(P% berechnet = prozentuale Plaquebedeckung aus den RMNPI-Werten berechnet; RMNPI = Indexwert; Bürstentyp OR = oscillating-rotating, HFS = high frequency sonic, PTB = powered toothbrush, MTB = manual toothbrush; P%Red P% = prozentuale Reduktion von P% nach dem Putzen; %Red RMNPI = prozentuale Reduktion des RMNPIs nach dem Putzen; Diff P% prä-post = Differenz der P%-Werte vor und nach dem Putzen; Diff P% Kontrolle-Test = Differenz der Diff P% prä-post Werte zwischen den verschiedenen Bürstentypen)

| | P% berechnet | RMNPI | Bürstentyp | %Red P% | %Red RMNPI | Diff P% prä-post | Diff P% Kontrolle-Test |
|---------------------------|--------------|-------|---------------------|---------|------------|------------------|------------------------|
| Sharma et al. (1998) | 12,9 | 6,03 | OR-PTB | -82,1 | -67,2 | 10,6 | 0,84 |
| | 2,3 | 1,98 | OR-PTB post | | | | |
| | 13,4 | 6,12 | HFS-PTB | -72,7 | -50,0 | 9,8 | |
| | 3,7 | 3,06 | HFS-PTB post | | | | |
| Sharma et al. (2005) | 11,1 | 5,67 | OR-PTB | -75,7 | -58,7 | 8,4 | 1,38 |
| | 2,7 | 2,34 | OR-PTB post | | | | |
| | 10,3 | 5,49 | HFS-PTB | -68,2 | -49,2 | 7,0 | |
| | 3,3 | 2,79 | HFS-PTB post | | | | |
| Strate et al. (2005) | 11,1 | 5,67 | OR-PTB | -87,8 | -87,3 | 9,7 | 1,24 |
| | 1,4 | 0,72 | OR-PTB post | | | | |
| | 11,1 | 5,67 | HFS-PTB | -76,6 | -60,3 | 8,5 | |
| | 2,6 | 2,25 | HFS-PTB post | | | | |
| Biesbrock et al. (2007-2) | 10,7 | 5,58 | OR-PTB | -85,2 | -80,6 | 9,1 | 0,33 |
| | 1,6 | 1,08 | OR-PTB post | | | | |
| | 10,7 | 5,58 | HFS-PTB | -82,1 | -72,6 | 8,8 | |
| | 1,9 | 1,53 | HFS-PTB post | | | | |
| Biesbrock et al. (2008) | 10,7 | 5,58 | OR-PTB | -85,2 | -80,6 | 9,1 | 0,6 |
| | 1,6 | 1,08 | OR-PTB post | | | | |
| | 10,7 | 5,58 | HFS-PTB | -79 | -66,1 | 8,5 | |
| | 2,2 | 1,89 | HFS-PTB post | | | | |
| Goyal et al. (2009) | 9,9 | 5,40 | OR-PTB | -84,6 | -81,7 | 8,4 | 0,69 |
| | 1,5 | 0,99 | OR-PTB 3 months | | | | |
| | 9,5 | 5,31 | HFS-PTB | -80,6 | -72,9 | 7,7 | |
| | 1,8 | 1,44 | HFS-PTB 3 months | | | | |
| Ayad et al. (2012) | 12,9 | 6,03 | OR-PTB | -70,5 | -47,8 | 9,1 | -1,28 |
| | 3,8 | 3,15 | OR-PTB post | | | | |
| | 13,4 | 6,12 | HFS-PTB | -77,4 | -57,4 | 10,4 | |
| | 3,0 | 2,61 | HFS-PTB post | | | | |

| | P% be- rechnet | RMNPI | Bürstentyp | %Red P% | %Red RMNPI | Diff P% prä-post | Diff P% Kontrolle- Test |
|------------------------------|--|-------|----------------------|--|--------------|---|-------------------------------|
| Sharma et al. (2006) | 12,4 | 5,94 | PTB | -89,5 | -89,4 | 11,1 | 0,87 |
| | 1,3 | 0,63 | PTB post | | | | |
| | 12,0 | 5,85 | MTB | -85,7 | -78,5 | 10,3 | |
| | 1,7 | 1,26 | MTB post | | | | |
| Sharma et al. (2011) | 11,2 | 5,69 | PTB | -88,0 | -88,0 | 9,8 | 1,06 |
| | 1,3 | 0,68 | PTB post | | | | |
| | 10,9 | 5,63 | MTB | -80,6 | -68,8 | 8,8 | |
| | 2,1 | 1,76 | MTB post | | | | |
| Nathoo et al. (2012) | 17,5 | 6,75 | PTB | -78,3 | -53,3 | 13,7 | 3,35 |
| | 3,8 | 3,15 | PTB post | | | | |
| | 16,9 | 6,66 | MTB | -61,5 | -33,8 | 10,4 | |
| | 6,5 | 4,41 | MTB post | | | | |
| Nathoo et al. (2014) | 15,0 | 6,39 | PTB | -79,1 | -57,7 | 11,9 | 1,85 |
| | 3,1 | 2,70 | PTB post | | | | |
| | 15,6 | 6,48 | MTB | -64,3 | -37,5 | 10,1 | |
| | 5,6 | 4,05 | MTB post | | | | |
| Gallob et al. (2015) | 12,4 | 5,94 | PTB | -77,4 | -59,1 | 9,6 | 2,45 |
| | 2,8 | 2,43 | PTB post | | | | |
| | 12,0 | 5,85 | MTB | -60,0 | -36,9 | 7,2 | |
| | 4,8 | 3,69 | MTB post | | | | |
| Gesamt | | | gesamt | -78,0 ± 8,2 | -64,0 ± 16,6 | 9,5 ± 1,5 | 1,12 ± 1,14 |
| | | | OR/HFS Stu- dien | -79,1 ± 5,9 | -66,6 ± 13,1 | 8,9 ± 1,0 | 0,54 ± 0,88 |
| | | | PTB/MTB Stu- dien | -76,4 ± 10,9 | -60,3 ± 20,7 | 10,3 ± 1,7 | 1,92 ± 1,02 |
| Giese-Kraft et al. (2022) | berechnet: 19,4 beobach- tet: 15,3 | 6,99 | MTB prä | berechnet: -56,2 beobach- tet: -43,1 | -28,04 | berech- net: 10,9 beob- achtet: 6,6 | |
| Jung et al. (2022) | berechnet: 8,5 beobach- tet: 8,7 | 5,03 | MTB post | | | | |

Die Umrechnung in P%-Werte zeigt, dass das Bürsten unabhängig vom verwendeten Index und Bürstentyp zu einer Differenz von etwa 10 P%-Punkten zum Ausgangswert führt. Dabei ist der Unterschied zwischen den verschiedenen Bürstentypen sehr gering.

Im Vergleich eigener beobachteter und berechneter klinischer RMNPI-Werte mit den dazugehörigen P%-Werten liegen diese in einer ähnlichen Größenordnung (Giese-Kraft et al., 2022; Jung et al., 2022).

Tabelle 6 bediente sich Vergleichsstudien, die den RMNPI verwendeten. Sie liefert P%-Differenzen zwischen der Kontroll- und der Testzahnbürste, die in einer ähnlichen Größenordnung wie in Tabelle 5 liegen. Die größte Differenz von 3,35 P% wurde dabei von Nathoo et al. (Nathoo et al., 2012) ermittelt, gefolgt von den Ergebnissen durch Gallob et al. (Gallob et al., 2015), die sogar umgerechnet nur eine Differenz von 2,45 P% aufzeigten. Beide Arbeitsgruppen schlussfolgerten, dass die elektrische Zahnbürste statistisch signifikant bessere Ergebnisse erziele, als es die Handzahnbürste schaffe. Nathoo et al. (2012) publiziert, dass das Ergebnis durch die PTB schon nach einmaligem Putzen um das 1,6-fache besser sei als nach dem Putzen mit der MTB (Nathoo et al., 2012) (vgl. dazu Kapitel 6.4.2).

Die folgende *Abbildung 25* veranschaulicht die Effekte aus einer der aufgeführten RMNPI-Studien. Gewählt wurde diese mit der höchsten Effektivitätsdifferenz zwischen den Zahnbürstentypen. Die Werte sind der Tabelle 6 zu entnehmen. Zur Darstellung wurden wieder eigene Bilder verwendet, deren ermittelte P%-Werte nahezu identisch zu den berechneten P%-Werten der RMNPI-Studie sind. Die Abbildung zeigt inwiefern sich die errechnete statistische Überlegenheit klinisch äußert.

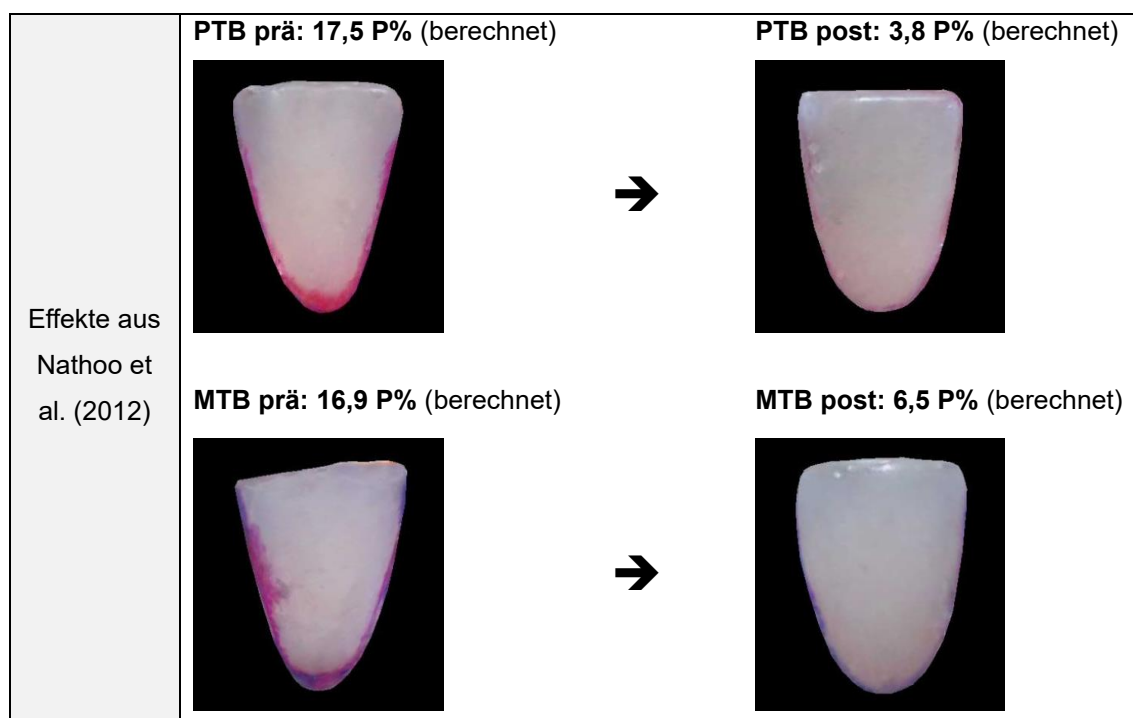


Abbildung 25: Effektivitätsunterschiede verschiedener Zahnbürstentypen; Veranschaulichung der in einer Studie beobachteten Plaquereduktionen anhand eigener Beispielbilder (PTB: powered toothbrush; MTB: manual toothbrush; P% (berechnet) = prozentuale Plaquebedeckung aus den RMNPI-Werten berechnet; prä: vor dem Zähneputzen; post: nach dem Zähneputzen)

6 Diskussion

6.1 Verwendung von Plaqueindizes in wissenschaftlichen Studien

Unter Kapitel 3.3.1 wurden bereits verschiedene Indizes vorgestellt sowie die Vor- und Nachteile ihrer Anwendung erläutert. Es ist nachvollziehbar, dass sich die Indexsysteme für den Praxisalltag bewähren konnten, da sie ohne großen apparativen Aufwand einen Überblick über das Plaquevorkommen und die aktuelle Mundhygiene des Patienten liefern können.

Dem gegenüber stehen die subjektive und damit die untersucherabhängige Bewertung der vorhandenen Plaque (Söder et al., 1993; Glanz, 2018) und die eingeschränkte Genauigkeit durch die unterschiedlich differenzierte Score-Einteilung. Je kleinflächiger die Indexeinteilung erfolgen soll, desto zeitaufwendiger ist die Durchführung und desto größer ist die Fehleranfälligkeit bzw. die mangelnde Reproduzierbarkeit. Zumindest im wissenschaftlichen Kontext sind deswegen umfangreiche und zeitaufwendige Kalibrierungsmaßnahmen notwendig.

Im Folgenden soll der Einsatz von Plaqueindizes in wissenschaftlichen Studien diskutiert werden.

6.1.1 *Eingeschränkte Aussagekraft des MPIs*

Die Abhängigkeit des ausgewählten Indexes von der einer Studie zugrundeliegenden Fragestellung ist unbestritten. Studien, die eine Erkenntnis über die Plaqueentwicklung nach verschiedenen Mundhygienemaßnahmen liefern sollen, benötigen in den meisten Fällen Informationen zur Veränderung der Gesamtplaquemenge. Indexsysteme, die nur anteilige Bereiche der Zahnoberfläche betrachten, wie beispielsweise der MPI, sind in diesem Zusammenhang nicht zielführend und in ihrer Aussagekraft eingeschränkt.

Die Zahnoberfläche nahe der Gingivasaumlinie zeigte sich in der vorliegenden Studie auch nach bestmöglichem Zähneputzen nur selten vollständig plaquefrei. Es ist erwartbar, dass die Messergebnisse bezüglich der erreichbaren Plaquereduktion konsequent „schlechter“ ausfallen würden als nach Betrachtung der Gesamtplaquemenge. Ursächlich hierfür ist, dass eine Plaquereduktion auf der restlichen Zahnoberfläche, abseits des Gingivarandes, gar nicht erfasst werden würde. Es ist zudem nicht zwingend erforderlich, dass Mundhygienemaßnahmen stets zu einer einhundertprozentigen Plaquefreiheit führen. Der Verbleib von kleineren Plaqueinseln nach dem Zähneputzen ist realistisch und für die klinische Aussagekraft von Studien nicht relevant.

Für den Einsatz bei Zahnputzstudien ist der MPI ungeeignet. Auf eine umfassende Auseinandersetzung mit diesem Index wurde deshalb in dieser Arbeit verzichtet.

Nichtsdestotrotz soll nicht unerwähnt bleiben, dass der MPI erfolgreich bei klinischen Studien eingesetzt wird, die den Einfluss der lokalen Plaquemenge auf die Entwicklung von Parodontalerkrankungen untersuchen. Hierbei sollen meist Zusammenhänge zwischen der Plaquemenge am Zahnfleischrand und der Entwicklung von Sondierungsblutungen und Taschentiefen aufgezeigt werden.

In Kapitel 3.3.1.3 wurde bereits der im Jahr 1977 von Hancock et al. publizierte Navy Plaque Index vorgestellt. Auch dieser setzte sich aus vier zu bewertenden Arealen der Zahnoberfläche zusammen. Im Unterschied zum MPI wurde der gingivanahe Bereich allerdings nur in drei Anteile („M“: mesial, „G“: gingival, „D“: distal) unterteilt und die restliche Zahnoberfläche, die keinen Kontakt zur Gingiva aufwies, wurde mit dem Buchstaben „R“ bezeichnet. Zudem wurden die Areale unterschiedlich stark gewichtet. Der Faktor blieb dabei abhängig vom jeweiligen Risiko des Einflusses auf den parodontalen Zustand (Hancock und Wirthlin, 1977). Der ursprüngliche Navy-Plaque-Index von Hancock ist damit als Zwischenstufe zwischen dem MPI und dem RMNPI zu verstehen und würde sich für Mundhygienestudien alternativ vermutlich besser eignen als der MPI.

6.1.2 Studienlage zum Umgang mit Plaquesindizes in wissenschaftlichen Untersuchungen

Laut Pretty et al. sind „herkömmliche Plaque-Indizes als problematisch [anzusehen], da sie integraler Natur sind und kleine, aber potenziell klinisch relevante Veränderungen im Plaque-Bereich nicht erkennen können“ (Pretty et al., 2005).

Fischman et al. postulierten im Jahr 1986, dass die Wahl des einzusetzenden Indexsystems abhängig von den „Zielen der Studie, der Größe der Population, dem Studienzeitraum und dem Ausmaß der erwarteten Veränderung getroffen werden (muss)“ (Fischman, 1986; Staudt et al., 2001).

Schon früh wurde in der Literatur der Einsatz der konventionellen Plaquesindizes diskutiert. Besonders kritisiert wurde hierbei ihre ordinale Skalierung (Hefti und Preshaw, 2012). Eine Erhöhung, beispielsweise des T-QHIs, von Score 1 auf Score 2 bedeutet nicht zwingend eine Verdopplung der Plaquemenge, ebenso wenig wie die Erhöhung von Score 2 auf 4. Sie beschreibt lediglich eine Plaquezunahme, die nicht genau quantifiziert ist. Auch ist die Zunahme von Indexwert 1 zu 2 nicht gleichzusetzen mit der von 2 zu 3 (Temming, 2019). Schon im Jahr 1975 zeigten die Studien von Ainamo und Bay

zu Plaque und Gingivitis, dass sich die Zusammenhänge nur schwer mathematisch darstellen lassen (Ainamo und Bay, 1975). Auch Scannapieco publizierte im Jahr 1995 bereits diese Problematik (Scannapieco, 1995). Quiryne et al. beschrieben 1991 in ihrer Publikation „Unterscheidungskraft von fünf Plaque-Indizes“, dass „der Verlauf der Plaque-Wachstumskurve vom gewählten Plaque-Index abhängt und von einer Exponentialfunktion (Planimetrie) über eine Sigmoidalkurve [...] bis zu einer nahezu linearen Beziehung (Quigley und Hein) reicht“ (Quiryne et al., 1991).

Das Wissen um die nichtlinearen Verhältnisse in der Plaquedarstellung durch Indizes ist demnach nicht neu und deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Bei wissenschaftlichen und epidemiologischen Untersuchungen sind Plaqueindizes also nur eingeschränkt einsetzbar. Die Ergebnisse sind nicht zweifelsfrei interpretierbar und aufgrund der abweichenden Funktionsgraphen (z.B. nahezu linear, exponentiell, kubisch, logistisch, etc.) ist die Aussagekraft bzw. die Vergleichbarkeit zwischen wissenschaftlichen Studienergebnissen nur eingeschränkt bis unzureichend möglich.

6.2 Kritische Betrachtung der Studienmethodik

6.2.1 Allgemeines

Der Ablauf der klinischen Studie verlief wie geplant. Es konnten alle Schritte unter standardisierten Bedingungen in einem einzigen Behandlungszimmer durchgeführt werden. Bei allen Probanden wurde der Plaquerevelator (*Mira-2-Ton®*) zweimalig mit einem getränkten Schaumstoffpellet aufgetragen. Anschließend erfolgten die Intraoralscans unter möglichst standardisierten Bedingungen. Die Außenjalousien wurden geschlossen und das Raumlicht sowie das Licht an den Dentaleinheiten wurde ausgeschaltet, um Reflexionen zu vermeiden. Es wurde stets ein Lippenretraktor verwendet (*OpraGate; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein*). Mithilfe von Speichelsaugern und Luftpüster wurden die Zahnreihen trocken gehalten und so Darstellungsartefakte vermieden. Durch den Einsatz eines Intraoralscanners konnten die Dateien ohne großen apparativen Aufwand relativ zügig erhoben werden. Zudem war nur ein Behandler notwendig, der für die korrekte Versuchsdurchführung und die Vollständigkeit der Daten verantwortlich war. Die Grundeinstellungen in der Scannersoftware blieben unverändert und damit für jeden Probanden identisch. Im Rahmen einer intensiven Untersucherkalibrierung wurde im Vorfeld die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch Mehrfachauswertungen auf Intrarater- und Interrater-Reliabilität geprüft.

Zusammenfassend konnten sowohl die klinische Phase der Datenerhebung als auch die anschließende Auswertung der Scandaten ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden.

Im Vergleich zu anderen Studien bewertete die vorliegende Arbeit alle Ramfjordzähne und umfasste demnach die Bewertung von Inzisivi, Prämolaren und Molaren, sowohl des Ober- als auch des Unterkiefers. Sie ermöglicht folglich einen Eindruck über die Plaqueentwicklung und die subjektive bzw. planimetrische Auswertbarkeit auch über verschiedene Zahnformen, -größen und Positionen im Zahnbogen hinaus.

Silness und Røynstrand zeigten in ihrer Vergleichsstudie von 1988, dass „die Verteilung der Scores der Ramfjord-Selektion und des gesamten Gebisses statistisch nicht unterschiedlich war“ (Silness und Røynstrand, 1988). Es ist unbestritten, dass die Ramfjord-Zähne repräsentativ sind und eine Aussage über das Gesamtgebiss ermöglichen (Goldberg et al., 1985; Relvas et al., 2013).

6.2.2 Auswahl des Intraoralscanners

Mit fortschreitender Digitalisierung in der Zahnheilkunde haben sich auch die Anwendungsgebiete der Intraoralscanner auf verschiedene zahnmedizinische Fachdisziplinen ausgeweitet. Auch für die Zahnerhaltung birgt der Einsatz der Intraoralscanner bedeutende Vorteile. Die langfristige Dokumentation des Mundhygieneverhaltens von Patienten, zum Zweck der individuellen Patientenberatung, die auch eine Veranschaulichung der zeitlichen Entwicklung über den Behandlungsverlauf ermöglicht, sei hier nur exemplarisch genannt.

In der vorliegenden Studie wurde der *CS 3800* der Firma *Carestream Dental LLC, Atlanta, USA und Stuttgart, Deutschland* verwendet. Der Hersteller wirbt hier vor allem mit der komfortablen und einfachen Anwendung des Scanners. Dies beruhe auf dem sehr leichten Design des Gerätes. Durch die vergleichsweise breite Tiefenschärfe von 21 mm könnten auch interproximale Bereiche und subgingivale Ränder gut erfasst werden. Der Scanner besitzt einen schmal zulaufenden Aufsatz, der es dem Behandler ermöglicht auch die distalen Bereiche der Zahnbögen abzubilden. Dabei kann dieser so weit geschwenkt werden, dass auch die interproximalen Bereiche gut und vollständig abgebildet werden. Das errechnete 3D-Modell zeigt abschließend eine Gesamtansicht der Kiefer. Zusätzlich ist auch ein Erfassen der Okklusion möglich. Insgesamt ist es ein behandler- und patientenfreundliches sowie wenig zeitaufwendiges Verfahren, um zum Beispiel die Plaqueverteilung auf den Zahnoberflächen darzustellen. Zu bedenken ist hierbei allerdings, dass für die planimetrische Auswertung standardisierte 2D-Screenshots benötigt werden. Diese Erstellung ist recht zeitintensiv. Da sie aber nicht chairside abläuft, kann der zeitliche Aufwand für die Probanden bzw. Patienten gering gehalten werden.

Mittlerweile sind viele verschiedene Intraoralscanner auf dem Markt, sodass im Folgenden eine kurze Analyse dahingehend erfolgt, inwieweit sich die modernen Systeme voneinander unterscheiden und ob die Wahl des Intraoralscanners Auswirkungen auf die Studienergebnisse haben könnte:

Eine Übersichtsarbeit der Arbeitsgruppe um Angelone et al. untersuchte anhand von Publikationen aus den Datenbanken *PubMed*, *Scopus* und *Web of Science* die neueste Literatur zu Intraoralscannern hinsichtlich ihrer Anwendung als Hilfsmittel in der Mundgesundheitsdiagnostik. Sie verglichen dabei verschiedene Intraoralscanner und schlussfolgerten, dass „die Unterschiede zwischen den Scannern [...] hauptsächlich auf das 3D-Abbildungsprinzip, die unterschiedlichen verwendeten Wellenlängen, das Bildaufnahmeprinzip und den Scannerstab zurückzuführen“ seien (Angelone et al., 2023).

Es gibt wenige Intraoralscanner, die neben der Fähigkeit die Zahnreihen zu scannen, auch über eine Funktion zur Kariesdetektion verfügen. Die zusätzlich integrierte Technologie basiert u.a. auf Nahinfrarot (*iTero Element 5D®*; *Align Technology, Inc., Tempe, Arizona*), Fluoreszenztechnik (*TRIOS 4®*; *3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark*) oder Transillumination (*Emerals S®*; *Planmeca, Helsinki, Finnland*) (Angelone et al., 2023). Als wichtige Erkenntnis der Publikation ist hervorzuheben, dass das unterschiedliche Leistungsniveau der Intraoralscanner lediglich in der Kariesdetektion festzustellen war. Die Autoren der Arbeitsgruppe wiesen allerdings darauf hin, dass es weiterer Untersuchungen hinsichtlich ihrer Unterschiede bedarf (Angelone et al., 2023).

In einer aktuell erschienenen klinischen Studie von Jung et al. wurden verschiedene Intraoralscanner hinsichtlich ihres digitalen Plaque-Monitorings verglichen. Hierzu wurde die Plaque von zehn Probanden, vor und nach dem Zähneputzen, mit vier unterschiedlichen Intraoralscannern aufgezeichnet (*Dexis 3800, i700, Primescan und Trios 5*). Die Autoren schlussfolgerten, dass sich alle getesteten Intraoralscanner für die Plaqueaufzeichnung eignen würden. Die Voraussetzung einer planimetrischen Auswertung sei jedoch die Anpassung an die Farbdarstellung des jeweiligen Intraoralscanners (Jung et al., 2024).

6.2.3 Standardisiertes Ausrichten der zu untersuchenden Bilddateien

Bei umfangreichen Pretests und im Rahmen der Vorgängerstudien zeigte sich bereits, dass unterschiedliche Neigungswinkel der Intraoralscans einen deutlichen Einfluss auf die Darstellung der Zahnoberfläche haben. Dies gilt ebenso für die Rotation und die Zoomeinstellung bei Erstellung der 2D-Screenshots. Die identische Zahnoberfläche wird bei Änderungen der Parameter nicht mehr identisch abgebildet. Abweichende Messergebnisse in der prozentualen Plaquebedeckung sind die Folge. Die besondere Bedeutung eines standardisierten Vorgehens wurde bereits unter Kapitel 4.3.1 erläutert.

Ein bedeutender Vorteil der Intraoralscans ist die softwarebasierte Datenverarbeitung. Weichgewebe wie Wangen- oder Zungenschleimhaut werden als Artefakte erkannt und bei der anschließenden Modelldarstellung aus dem Informationsdatensatz gerechnet. Eine visuelle Darstellung entfällt und die Zahnoberflächen können überlagerungsfrei abgebildet werden. Dies erleichterte die Anfertigung der Screenshots und ist als ein großer Vorteil gegenüber der Verwendung von Intraoralkamerabildern anzusehen.

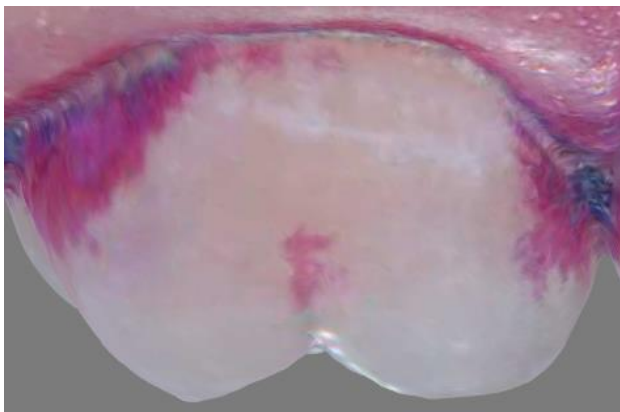
Dem Anfertigen von exakt in allen Parametern übereinstimmenden Bildern sind Grenzen gesetzt. Aufgrund anatomischer intra- und interindividueller Abweichungen in Zahnformen, -größen und -neigungen sind die festgelegten Achsen- und Zoom-Einstellungen nur als Annäherung an eine möglichst gleichmäßige und vergleichbare Darstellung anzusehen.

6.2.4 Anwendung eines Grids

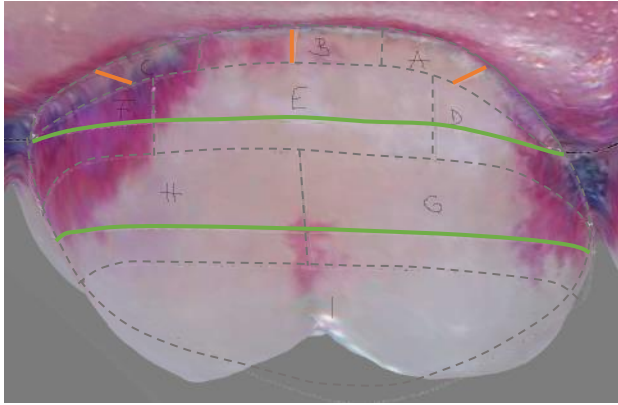
Die Indexbestimmung erfolgte unter Verwendung eines vorab angefertigten Grids und ermöglichte eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Somit konnten präzise und möglichst objektive Aussagen über die Plaquebedeckung getroffen werden, die sowohl im zeitlichen Verlauf als auch über verschiedene Auswerter hinweg nahezu konstant blieben.

Anhand unserer ausführlichen Voruntersuchungen zeigte sich bereits, dass die genaue Zuordnung von Plaque in verschiedene Zahnareale ohne Grid nur unzufriedenstellend möglich ist. Untersucher 1, welcher eine Vorlage nutzte, war gezwungen auch bei nur einer einzelnen randständigen Plaqueinsel, das entsprechende Areal als „plaquepositiv“ zu werten, während diese durch Untersucher 2 (Auswertung ohne Grid) auf den ersten Blick noch zu dem ohnehin plaquebedeckten, angrenzenden Bereich gezählt wurde. Es ist nachvollziehbar, dass in der Folge abweichende Plaquewerte erhoben werden. Beispielhaft ist dies in der folgenden *Abbildung 26* gezeigt.

Diese Abweichungen treten am ehesten bevorzugt bei den Indexsystemen auf, die auf einer kleinflächigen Einteilung beruhen. Das Risiko der Falschzuordnung dürfte demnach beim RMNPI deutlich höher sein als beispielsweise beim T-QHI.



Auf den ersten Blick erscheint die Zahnfläche in der Mitte plaquefrei. Das Areal „E“ des RMNPI-Schemas würde demnach vermutlich mit „0“ bewertet werden.



Nach Projektion des Grids auf die Zahnoberfläche wird deutlich, dass am linken Flächenrand von „E“ Plaque vorhanden ist.

Die größere Plaqueinsel bei „F“ ragt zu einem Teil in das Feld von „E“ hinein.

Abweichungen in den Ergebnissen sind die Folge.

Abbildung 26: Plaquebestimmung unter Anwendung eines Grids bzw. bei dessen Verzicht (grau gestrichelte Linien: Areale des RMNPIs; grüne Linien: Markierung der Zahndrittel für die Auswertung durch den T-QHI; orangefarbene Linien: Viertelung des gingivanahen Abschnittes für die Auswertung durch den MPI)

6.2.5 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Für eine nachweislich gute Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse wurden neben dem Anfertigen von standardisierten Screenshots und dem Einsatz eines Grids auch umfangreiche Kalibrierungsmaßnahmen durchgeführt.

Laut Bretz ist bei Verwendung eines Grids die Kalibrierung zwischen den Untersuchern, vor allem im Seitenzahnggebiet, von besonderer Bedeutung (Bretz, 2010). Die ursprüngliche Form unseres Grids gleicht der anatomischen Form eines typischen Prämolaren von vestibulär. Die Seitenzähne sind hingegen deutlich breiter, dafür weniger hoch, so dass die Rastervorlage entsprechend gestaucht werden muss (Bretz, 2010). Insgesamt sind die notwendigen Anpassungen erheblich aufwendiger, sodass hier die Kalibrierung zwischen den Untersuchern besonders wichtig ist.

Auch Hefti und Preshaw betonten die Bedeutung der Untersucherkalibrierung bei der Erhebung von Plaqueindizes im Rahmen klinischer Studien und beschrieben geeignete Methoden (Hefti und Preshaw, 2012; Temming, 2019).

Durch die Untersuchungen von Shaloub und Addy zur Genauigkeit und Variabilität flächenbasierter Plaqueindizes wurden Daten ermittelt, die bewiesen, dass „flächenbasierte Plaque-Indizes genau und mit minimaler Variabilität innerhalb oder zwischen Untersuchern bewertet oder aufgezeichnet werden können“ (Shaloub und Addy, 2000). Die inter- und intrarater-Variabilität verblieb dabei gering, es konnte „ein hohes Maß an Genauigkeit“ erzielt werden und die Erfahrung des Untersuchers hatte kaum Einfluss auf die Beurteilung der Plaquebereiche (Shaloub und Addy, 2000).

Jeder wissenschaftlichen Arbeit, die sich auf Plaqueindizes stützt, sollte demnach eine Kalibrierung vorausgehen. Je kleinflächiger und genauer die Einteilung des Indexes, desto aufwendiger fällt dabei die Kalibrierung aus. Bei Bewertung des RMNPIs müssen beispielsweise alle Untersucher bei neun Feldern zu einem annähernd gleichen Ergebnis kommen. Wenn, wie beim RMNPI nach Bretz, nun noch entschieden werden muss, ob jedes Feld mit weniger oder mehr als 50 % Plaque bedeckt ist, ist das Abweichungsrisiko doppelt so groß. Entsprechende Kalibrierungsmaßnahmen sind dementsprechend sehr zeitintensiv.

6.3 Interpretation der Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt sollen die beschriebenen Ergebnisse, sowie die dargestellten Tabellen und Funktionsgraphen aus Kapitel 5 kritisch hinterfragt und erläutert werden:

6.3.1 *Plaquebedeckung nach Plaqueeakkumulation und -reduktion*

Insgesamt zeigte sich bei der Betrachtung der aggregierten Daten (*Abb. 13*) eine erwartungsgemäße Plaquedarstellung (erst Akkumulation bei T1 zu T2, anschließend Reduktion bei T2 zu T3). Dabei zeigte sich zu allen Untersuchungszeitpunkten eine große Spannweite zwischen den Probanden. Diese Ergebnisse sind in allen Punkten nachvollziehbar. Die habituelle Mundhygiene ist sehr individuell und da die Studie unter klinischen Bedingungen an lebenden Probanden durchgeführt wurde, üben Ernährung, Putzverhalten und der Umgang mit den eigenen Mundhygieneinstrumenten einen Einfluss auf die stark unterschiedlichen Plaquebedeckungswerte aus.

Die P%-Werte in Tabelle 1 zeigen, dass zwischen den Zeitpunkten T1 und T3 keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Plaquemenge auftraten.

Dies ist logisch nachvollziehbar, da beide Zeitpunkte die habituelle Mundhygiene darstellen und die Probanden vor dem Zähneputzen keine Putzinstruktionen erhielten.

In der Literatur wird vom „Hawthorne-Effekt“ berichtet. Er beschreibt, dass Teilnehmer (z.B. einer klinischen Studie) ihr natürliches Verhalten ändern, da ihnen bewusst ist, dass sie kontrolliert und beobachtet werden (Chen et al., 2015). Da die Probanden vor dem letzten Intraoralscan (T3) ihre Zähne im Untersuchungszentrum putzten, wären geringere Plaquewerte als bei T1 nachvollziehbar gewesen. Anhand der Ergebnisse ist deutlich, dass dieser Effekt hier nicht auftrat.

6.3.2 *Verteilungsmuster der prozentualen Plaquebedeckung*

In Kapitel 5.3 erfolgte bereits eine differenzierte Betrachtung der Zahnflächen. Es konnte gezeigt werden, dass sich Plaqueränderungen sowohl auf den Oral- als auch auf den Vestibulärflächen sinnvoll darstellten. Tabelle 3 stellte dafür die unberechneten Werte (getrennt nach Fläche) gegenüber und zeigte, dass neben der Planimetrie auch alle Indexsysteme in der Lage waren Akkumulation mit anschließender Reduktion aufzuzeigen. Die Veränderungen auf den Oralflächen waren dabei nur sehr gering ausgeprägt.

Es zeigte sich, dass oral einerseits der Plaqueanstieg bei Mundhygieneverzicht nicht so ausgeprägt war wie auf den Vestibulärflächen, andererseits wurde hier durch das Zähneputzen auch kaum Plaque reduziert. Dieses Phänomen wurde bereits mehrfach in Vorgängerstudien beobachtet (Ganss et al., 2020; Jung et al., 2022; Winterfeld et al., 2015). Als eine Erklärung für die vergleichsweise geringe Plaquevermehrung auf den Oralflächen ist u.a. der ausgeprägtere Einfluss der Zungenbewegungen denkbar. Aus diesen resultiert eine Form der Selbstreinigung.

Vestibulär zeigten sich sehr deutliche Differenzen bzw. Plaqueveränderungen zwischen den Untersuchungszeitpunkten. Dabei war klinisch die größte Plaquezunahme im Molarenbereich des Oberkiefers zu verzeichnen. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Beobachtungen aus den Vorgängerstudien (Ganss et al., 2020; Jung et al., 2022).

Dass sich nach dem Putzen die bestehende oralseitige Plaquemenge kaum verringerte, ist am ehesten auf die lokal verringerte Reinigungsleistung der Probanden zurückzuführen. Es liegt nahe, dass das Hauptaugenmerk beim Putzen auf den Bukkalflächen lag, während die Oralflächen meist vernachlässigt wurden. Es gilt zu bedenken, dass das Putzverhalten der Probanden in der vorliegenden Studie aber nicht beobachtet wurde. Vorangegangene Studien belegten mithilfe von Videoaufzeichnungen, dass alle untersuchten Probanden ein einheitliches Putzmuster aufwiesen, bei welchem die Vestibulärflächen deutlich länger als die Oralflächen geputzt wurden. Selbst eine erhöhte Gesamtputzdauer hatte darauf keinen Einfluss (Macgregor und Rugg-Gunn, 1979; Winterfeld et al., 2015; Ganss et al., 2018; Jung et al., 2022).

6.3.3 Wie repräsentieren die Plaqueindizes die Plaqueveränderungen?

Die ermittelten Plaqueveränderungen nach Mundhygieneverzicht und anschließendem Zähneputzen wurden durch die Planimetrie (P%), aber auch durch alle Indizes dargestellt. Die Effektgröße zeichnete sich allerdings deutlich unterschiedlich ab. Der TQHI und der RMNPI-B wiesen noch die ähnlichsten Ergebnisse zur Planimetrie auf (30 % im Vergleich zu 42 %), sind aber nichtsdestotrotz als sehr ungenau einzustufen. Der RMNPI wies mit einem Wert von <20 % die schlechteste Vergleichbarkeit mit der tatsächlichen Plaquebedeckung auf. Alle errechneten prozentualen Plaquereduktionen sind mit einem p-Wert von < 0,001 (p-Wert 2) statistisch hochsignifikant, sodass von einer guten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ausgegangen werden kann.

Die P%-Werte in Tabelle 1 zeigten, dass zwischen den Zeitpunkten T1 und T3 keine statistisch signifikanten Plaqueunterschiede nachweisbar waren (p-Wert 1). Entgegen

dessen zeigten der RMNPI und seine Modifikation nach Bretz (laut Tabelle 1) signifikante Änderungen der Plaquemenge, was nicht der tatsächlichen Plaqueentwicklung entspricht und als Ungenauigkeit der Indexsysteme verstanden werden kann.

6.3.4 Beziehung Planimetrie – Indexwerte

Die bereits erläuterte Bland-Altman-Analyse in *Abb. 17* zeigte anhand der Verzerrungen, dass die Indizes die tatsächliche Plaquereduktion bei kleineren Werten weniger unterschätzen als bei größeren. Dies entspricht der Form eines nicht-linearen Zusammenhangs. Je weniger Plaque also vorhanden ist, desto leichter lassen sich Veränderungen visuell erkennen.

Es ist vorstellbar, dass sich eine Plaquereduktion von 10 %, bei einer Ausgangsplaquebedeckung von beispielsweise 70 %, schlechter visuell erkennen lässt, als es bei einer ursprünglichen Bedeckung von nur 20 % der Fall wäre. Bei Letzterem reduziert sich die Gesamtmenge schließlich um 50 %. Nach gründlicher Recherche lassen sich dazu aber keine geeigneten Daten in der Literatur finden. Für die zukünftige Plaqueforschung könnte von nachhaltigem Interesse sein, zu untersuchen wann und in welchem Maße prozentuale Plaquereduktionen klinisch überhaupt visuell wahrnehmbar sind und inwieweit dies von der Ausgangssituation abhängig ist.

Der nicht-lineare Zusammenhang der Indizes spiegelt sich dementsprechend auch beim Plaquewachstum wider. Die *Abbildung 20* verdeutlichte bildlich, dass eine Plaquezunahme von Score 6 zu 7 nicht gleichzusetzen ist mit der von Score 7 zu 8.

Aus *Abbildung 18* ist ebenfalls erkennbar, dass die Indexwerte die tatsächliche Plaquebedeckung einer Zahnoberfläche nicht linear abbilden. Der T-QHI erscheint als noch am sinnvollsten einsetzbar, da zumindest eine nahezu lineare Darstellung erreicht wird. Mithilfe der Funktionsgraphen ließen sich nun mathematische Formeln herleiten, mit denen es möglich war aus Indexwerten die tatsächliche Plaquebedeckung (P%Index) errechnen zu können. Die Bland-Altman-Analyse in *Abb. 19* zeigt, dass die Mittelwerte der Differenzen von P% bei den unterschiedlichen Indizes nahezu gleich ausfielen und nahe beim Nullwert lagen. Die Limits der Übereinstimmung wurden geringer (geringere Streuung). Auch in diesem Fall zeigte der T-QHI noch die präzisesten Ergebnisse mit den wenigsten Ausreißern und dem kleinsten 95 %-Konfidenzintervall.

Die Problematik, dass identische Plaquescores trotzdem einer deutlich abweichenden prozentualen Plaquebedeckung entsprechen können, wurde in der Literatur bereits diskutiert. Die Arbeitsgruppe um Carter et al. publizierte die Beobachtung, dass eine Einteilung der Zahnflächen in Areale dazu führe, dass Zähne gleicher Größe und mit gleichem Indexscore trotzdem unterschiedliche Plaquemengen aufweisen können (Carter et al., 2004). Dies deckt sich auch mit der bereits beschriebenen Problematik des dichotomen Bewertungsschemas (vgl. dazu *Abb. 16*).

Auch auf die gegensätzliche Konstellation ist dies übertragbar: Zahnoberflächen, die mit verschiedenen Plaquescores beurteilt werden, können aufgrund ihrer unterschiedlich großen Flächen objektiv die gleiche Plaquemenge aufweisen.

6.3.5 Einfluss der Zahnmorphologie auf die Untersuchungsergebnisse

Um die Zusammenhänge zwischen den Indizes und P% in Abhängigkeit von der betrachteten Zahnform und -größe aufzuzeigen, wurden in Kapitel 5.4 vier möglichst abweichende Zahnformen ausgewählt (44 vestibulär, 44 oral, 16 vestibulär und 21 vestibulär). Nach der Kurvenanpassung zeigten sich erneut die nichtlinearen Zusammenhänge (vgl. *Abb. 21-23*). Auch in Tabelle 4 ist unterstützend dargestellt, dass derselbe Score, abhängig von der Zahnform, unterschiedliche Plaquebedeckungen repräsentieren kann.

Vergleichsweise mutet der T-QHI als noch am sinnvollsten einsetzbar an, da er zumindest den Zahn 44 oral linear abbilden kann. Dies gilt zwar für die anderen Zahnformen nicht, nichtsdestotrotz zeigt sich bei Verwendung des T-QHIs ein deutlich flacherer Kurvenverlauf als bei den anderen Indizes.

Im direkten Vergleich der vier ausgewählten Zahnflächen in Tabelle 4, zeigte der Zahn 44 oral (indexunabhängig) bei gleichem Score-Wert die höchste Plaquebedeckung. Der Frontzahn 21 wies dabei stets deutlich weniger Plaque als die Seitenzähne auf. Letztere Erkenntnis ist ähnlich zu denen der Vorgängerstudien. Diese ermittelten allerdings die höchste prozentuale Plaquebedeckung auf den Bukkalflächen der Oberkiefer-Seitenzähne (Jung et al., 2022; Ganss et al., 2020)

6.4 Einflussnahme auf die Ergebnisse anderer Publikationen

Eine systematische Übersichtsarbeit von Elkerbout et al. wurde im Jahr 2020 veröffentlicht und untersuchte die Wirksamkeit einer elektrischen Zahnbürste (im Folgenden abgekürzt mit „PTB“ für engl. „power toothbrush“) im Vergleich zu einer Handzahnbürste (im Folgenden abgekürzt mit „MTB“ für engl. „manual toothbrush“) (Elkerbout et al., 2020). Hinsichtlich dieser Fragestellung durchsuchten Elkerbout et al. die Literaturplattformen *MEDLINE-PubMed* und *Cochrane-Central* nach bereits veröffentlichten Artikeln von passenden klinischen Studien. Diese wiesen alle ähnliche Einschlusskriterien auf und sollten darlegen, ob eine der beiden Zahnbürstentypen wirksamer sei als die andere. Für diese Analyse wurden 28 Vergleiche, die sich der Bewertung mittels T-QHI bedienten, zusammen mit acht Vergleichsstudien, die den RMNPI verwendeten, herangezogen. Die Arbeitsgruppe schlussfolgerte, dass, unabhängig vom verwendeten Plaqueindex, „eine mäßige Sicherheit (besteht), dass die PTB in Bezug auf die Plaqueentfernung nach einer einzigen Putzübung wirksamer war als die MTB“ (Elkerbout et al., 2020).

Eine andere systematische Übersichtsarbeit von van der Sluijs et al. aus dem Jahr 2021 beschäftigte sich hingegen mit der unterschiedlichen Wirksamkeit von oszillierend-rotierenden elektrischen Zahnbürsten (im Folgenden abgekürzt durch „OR-PTB“ für engl. „oscillating-rotating power toothbrush“) verglichen mit der Effektivität der Plaqueentfernung von Hochfrequenz-Schallzahnbürsten (abgekürzt durch „HFS-PTB“ für engl. „high-frequency sonic power toothbrush“) (van der Sluijs et al., 2021). Aus den oben genannten Datenbanken wurden 15 Publikationen mit insgesamt 34 Vergleichen einbezogen und die Plaqueindexwerte ausgewertet. Die Ergebnisse zeigten in 19 Vergleichen einen statistisch signifikanten Unterschied zugunsten der OR-PTB und in vier Vergleichen zugunsten der HFS-PTB. „In den Studien in denen sich die Teilnehmer selbst die Zähne putzten, [...] zeigte der RMNPI „eine signifikante Bevorzugung der OR-PTB“. Die Autoren kamen zu der Schlussfolgerung, dass „es eine mäßige Evidenzsicherheit für einen sehr geringen, aber signifikanten positiven Effekt auf die Plaqueentfernung nach einer einmaligen Putzübung mit einer OR-PTB gegenüber einer HFS-PTB (gibt)“ (van der Sluijs et al., 2021).

Die im Anhang befindlichen Tabellen 7 und 8 stellen exemplarisch 28 ausgewählte Publikationen gegenüber, die in den oben beschriebenen Übersichtsarbeiten zu Analyse-zwecken verwendet wurden. Sie ermöglichen einen anschaulichen Vergleich der Studien

hinsichtlich ihres Studiendesigns und zeigen die grundsätzlichen Unterschiede, die ursächlich für die teils abweichenden Ergebnisse sein könnten. Dabei war allen Studien gleich, dass die Untersuchungen an Probanden und nicht an Modellen durchgeführt wurden. Alle Probanden putzten ihre Zähne selbstständig und untersucht wurden alle vorhandenen natürlichen Zähne im Ober- und Unterkiefer. Hinsichtlich der Mindestanzahl an natürlichen Zähnen unterschieden sich die Studien allerdings.

In den Tabellen 5 und 6 sind diesbezüglich einige Literaturdaten aus den beschriebenen Vergleichsstudien aufgeführt. Sie ermöglichen eine Betrachtung der erhobenen Indexwerte aus den 28 Publikationen und sollen die Zusammenhänge zwischen den erhobenen Indexwerten und den berechneten P%-Werten aufzeigen. Letztere wurden mithilfe der in dieser Arbeit erhobenen Formeln berechnet. Die Tabellen 5 und 6 zeigen außerdem die durch das Zähneputzen erreichte prozentuale Plaquereduktion, die sich einerseits auf die Indexreduzierung bezieht, andererseits auf den Werten der errechneten P%-Werte beruht. In den letzten beiden Spalten sind die tatsächlichen Differenzen der Plaque-Prozentpunkte aufgeführt. Diese zeigen erst die Differenz zwischen den P%-Werten vor und nach dem Zähneputzen und anschließend die Differenz, die sich abschließend zwischen der Test- und Kontrollgruppe ergibt. Hierdurch lässt sich auf die tatsächlichen Effektivitätsunterschiede zwischen einer PTB und einer MTB, sowie solcher zwischen einer OR-PTB und einer HFS-PTB schließen.

Im Folgenden soll nun auf einige der beschriebenen Artikel eingegangen werden und es erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit den publizierten Ergebnissen.

6.4.1 Ausgewählte Publikationen - Plaquebeurteilung mit dem T-QHI

(vergleiche hierzu Tabelle 5)

Die bereits im Jahr 1997 von Robinson et al. veröffentlichte Publikation einer klinischen Studie untersuchte die unterschiedliche Reinigungsleistung zweier Zahnbürstentypen (OR-PTB und HFS-PTB). Hierfür stellten alle 54 Probanden vor jeder Untersuchung 8-12 Stunden (über Nacht) vollständig ihre Mundhygiene ein (Robinson et al., 1997). Die Teilnehmer wurden in zwei Gruppen unterteilt, in der die eine Gruppe eine Schallzahnbürste und die andere Gruppe eine oszillierend-rotierende Zahnbürste verwendete. Die Plaquewerte wurden zu Beginn der Studie, nach zwei, vier und wieder nach sechs Monaten untersucht. Die Arbeitsgruppe um Robinson schlussfolgerte, dass laut T-QHI die Putzleistung der OR-PTB und der HFS-PTB auf allen Zahnflächen nahezu gleich war.

Die prozentuale Reduktion des T-QHIs zeigte nach sechs Monaten bei der OR-PTB einen Wert von ca. -16,9 %, während sie bei der sechsmonatigen Anwendung der HFS-PTB einen Wert von ca. -21,3 % aufwies (Robinson et al., 1997).

Tabelle 5 zeigt die in der Publikation angegebenen Indexwerte nach Umrechnung auf die prozentuale Reduktion der P%-Werte. Es ergibt sich eine Reduktion von ca. -22,2 % (OR) bzw. -27,60 % (HFS). Die Putzeffektivität (Differenz vor und nach dem Zähneputzen, folglich auch als „prä“ und „post“ bezeichnet) wurde für jede Zahnbürste einzeln berechnet und anschließend als tatsächliche Differenz zwischen den beiden Bürsten (mit $P\% = -0,78$) ausgedrückt.

An diesen Werten ist zu erkennen, dass das indexbasierte publizierte Ergebnis der Studie die tatsächliche Reduktion unterschätzt. Laut unserer Berechnung erreicht die Schallzahnbürste minimal bessere Ergebnisse. Diese sind mit einem Wert von -0,78 P% aber klinisch nicht relevant. Demnach kann die Aussage der Studie durch unsere Berechnungen nachvollzogen und unterstützt werden.

Eine klinische Studie von Williams et al. publizierte 2008 ihre Untersuchungen und verglich ebenso eine elektrische Kontrollzahnbürste (OR-PTB) mit einer neu auf dem Markt erschienenen Schallzahnbürste. Die Studie deckte die Plaqueentwicklung nach 23-24 Stunden ohne Mundhygiene auf. Dafür wurden 48 Probanden eingeschlossen, wovon jeder Teilnehmer vier Termine wahrnehmen musste, um beide Zahnbürsten jeweils zwei Mal im Untersuchungszentrum anzuwenden (Williams et al., 2008). Im Gegensatz zur Studie von Robinson et al. ergaben sich somit weniger Einflussnahmen auf die Studienergebnisse durch die probandenindividuelle Putzleistung. Des Weiteren war die Anzahl der untersuchten Zähne geringer als bei Robinson (weniger Probanden bei einer geringeren Mindestanzahl an Restbezaehlung).

Nach dem klinischen Teil der Studie wurden die Ergebnisse als Querschnitt aller Termine verglichen. Die publizierte Schlussfolgerung der Autoren lautete, dass die OR-PTB rund 12,1 % mehr Plaque entfernen konnte, als es durch die Anwendung mit einer HFS-PTB möglich war (Williams et al., 2008). Die Autoren bezogen den Wert auf die prozentuale Reduktion des T-QHIs. Bei der Herleitung dieser Ergebnisse hilft ein Blick auf Tabelle 5 und soll hier kurz zusammengefasst werden: Die OR-PTB-Gruppe reduzierte ihren durchschnittlichen T-QHI-Wert von 2,85 auf einen Wert von 1,79, wobei folglich eine prozentuale Reduktion von rund -37 % erzielt werden konnte. Die HFS-PTB-Gruppe reduzierte den T-QHI von 2,87 auf 1,92 und damit um ca. -33 %. Rechnerisch ergibt sich von 33 zu 37 eine Erhöhung von ca. 12,1% zugunsten der OR-PTB, was den publizierten Ergebnissen entspricht.

Nach Umrechnung der Indexscores in die P%-Werte ergibt sich eine P%-Differenz bei der OR-PTB, von vor und nach dem Zähneputzen, von 13,95 P% (27,65 P% - 13,70 P%) und bei der HFS-PTB von 12,83 P% (27,97 P% - 15,14 P%). Die Differenz der beiden Zahnbürstentypen untereinander liegt demnach bei 1,12 P% zugunsten der OR-PTB. Es ist anzunehmen, dass eine derartig kleine Plaquedifferenz klinisch visuell gar nicht wahrnehmbar ist. Ebenso wenig ist geklärt, ob Unterschiede dieser Größenordnung überhaupt eine klinische Konsequenz nach sich ziehen. Die vorliegenden „statistisch signifikanten“ (Williams et al., 2008) also mathematischen Unterschiede, hätten somit keine klinische Bedeutung und widersprechen insoweit den Erkenntnissen der Arbeitsgruppe um Williams et al., dass keine klare Bevorzugung eines Bürstentyps geschlussfolgert werden kann.

Killooy et al. verglichen in ihrer klinischen Studie von 1989 die Plaquereduzierungen durch eine Handzahnbürste mit denen einer OR-PTB. Mithilfe der erhobenen T-QHI-Werte publizierten sie die signifikant bessere Plaquereduktion, die durch den Einsatz einer elektrischen Zahnbürste erreicht werden konnte. Diese Ungleichheit der Effektivität sei in allen (zeitlichen) Intervallen nachweisbar gewesen (Killooy et al., 1989). Insgesamt wurden die Daten (habituelle Plaquewerte) von 24 Probanden erfasst, die in zwei Gruppen entweder der Hand- oder der elektrischen Zahnbürste zugeteilt waren. Die Studie zeigte eine zeitliche Entwicklung der möglichen Plaquereduktion über drei Wochen, wobei die Probanden an drei Terminen vorstellig wurden (Killooy et al., 1989).

Die Daten wurden dementsprechend als Eingangsbefund (T1), nach sieben (T2) und ein letztes Mal nach 28 Tagen (T3) erhoben. Die elektrische Zahnbürste reduzierte dabei die Werte von einem durchschnittlichen Eingangs-T-QHI von 2,5 auf 0,63 nach dem ersten Putzen (T1). Nach sieben Tagen reduzierte sich der T-QHI weiter auf 0,43 und nach 28 Tagen betrug er durchschnittlich 0,45. Durch den Einsatz der Handzahnbürste reduzierte sich der eingänglich durchschnittliche T-QHI von 2,47 erst auf 1,34 und später auf 0,96 (T2) bzw. auf 0,99 (T3) (Killooy et al., 1989). Es ist zusammenfassend eine deutliche Reduktion der Plaquewerte durch beide Zahnbürstentypen sichtbar, die nach der geübten Nutzung von sieben Tagen sogar noch weiter gesteigert werden konnte. Nach drei Wochen sind die Ergebnisse beider Zahnbürstengruppen etwas schlechter als nach einer Woche, liegen aber in einer ähnlichen Größenordnung. Es zeigt sich also ein vergleichbarer Verlauf der Ergebnisse über die Zeit, die aber kontinuierlich zugunsten der PTB ausfallen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit beziehen sich unsere Berechnungen nur auf die Daten des ersten Termins, da sich die Schlussfolgerung der Autoren hier bereits abzeichnet

und die Berechnung weiterer Zeiträume zu einem nahezu identischen Ergebnis geführt hätte.

Zusammengefasst ergibt sich durch unsere Berechnungen eine Effektivitätsdifferenz zwischen der PTB und der MTB von 5,98 P%. Es lässt sich rückschließen, dass zwar eine etwas größere Plaquereduktion durch die elektrische Zahnbürste erfolgte, aber auch diese Größenordnung nur als zweifelhaft klinisch relevant eingestuft werden kann. Damit muss nach Berechnung der tatsächlichen Plaquewerte wieder der Aussage der Autoren widersprochen werden.

Die klinische Studie von Heasman et al. schlussfolgerte, dass zum Zeitpunkt T2 (hier: Plaquewachstum nach 24 Stunden ohne Mundhygiene; vor und nach dem Zähneputzen) und bei Betrachtung aller Zahnoberflächen keine signifikanten Unterschiede in der Plaqueentfernung zwischen zwei oszillierend-rotierenden und einer Handzahnbürste erhoben werden konnten (Heasman et al., 1999).

Kurzgefasst ermittelte der T-QHI eine prozentuale Plaquereduktion zwischen ca. -53 % und -59 % (bei beiden Bürstentypen), während der P%-Wert eine Reduktion zwischen ca. -65 % und -69 % ermittelte. Durch die Indexwerte wurde die tatsächliche Reduktion also um ca. 10 % unterschätzt. Die tatsächliche Differenz der Plaqueprozentwerte beträgt unter Mitbetrachtung der prä-/ post-Werte nur -1,2 P% und verbleibt demnach ohne klinische Relevanz, womit die Aussage der Autoren bestätigt werden kann.

Anzumerken ist hierbei, dass sich unsere Berechnungen exemplarisch nur auf die Effektgrößen der einen Kontroll-PTB beziehen und nur der Zeitpunkt T2 (zweiter Termin) betrachtet wurde. Zu begründen ist dies damit, dass lediglich zum Zeitpunkt T2 direkte „pre- und post-brushing“-Werte erhoben wurden. Zudem ähnelten sich die Ergebnisse der beiden PTBs, sodass für den Vergleich die Kontrollzahnbürste (hier: *Philips HP 735 Plaque Remover*) gewählt wurde, die die größten Unterschiede zur Testzahnbürste (hier: *Oral B 35 Advantage*) aufwies. Da selbst bei der Kontrollzahnbürste mit den am stärksten abweichenden Indexwerten von denen der Testzahnbürste keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden konnten, hätte eine Berechnung der zweiten, ohnehin weniger abweichenden Kontrollzahnbürste, keinen Mehrwert geboten.

Renton-Harper et al. verglichen mit Hilfe ihrer klinischen Studie im Jahr 2001 die Putzleistung bei Erstanwendung zweier OR-PTBs mit denen einer Handzahnbürste und einer Zahnpaste-Slurry. Sie bestimmten hierfür unter anderem die Plaqueindizes von 16 Probanden, die nach Mundhygieneverzicht zu vier Terminen vorstellig wurden, bei denen sie jeweils ein Mundhygienetool anwenden sollten. Hierbei wurde jeweils die Plaquebedeckung zu Beginn, nach 30 Sekunden, 60 Sekunden und 120 Sekunden bestimmt. Im

Unterschied zu den bisher beschriebenen Studien erhielten die Probanden vorab keine Instruktion hinsichtlich der Anwendung der Zahnbürsten. Laut Renton-Harper et al. konnten durch die Anwendung von elektrischen Zahnbürsten keine Vorteile in der Plaqueentfernung gegenüber einer Handzahnbürste detektiert werden. „Die Daten deuten darauf hin, dass die Probanden in den ersten Tagen der Verwendung einer PTB nicht besser abschneiden als mit einer Handzahnbürste“ (Renton-Harper et al., 2001).

Mit einem Blick auf die Daten in Tabelle 5 zeigt sich, dass die prozentuale Reduktion des P%-Wertes (bei beiden Bürstentypen) Werte von ca. -60 % annahm, während der T-QHI lediglich eine Reduktion von jeweils ca. -45 % zeigte. Auch hier wird deutlich, dass der Index die tatsächliche Reduktion unterschätzt. Die Differenz zwischen einer PTB und einer MTB lag nach unseren Berechnungen bei einem Wert von -0,66 P%, sodass auch hier wieder davon ausgegangen werden muss, dass sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bürstentypen (bei Erstanwendung) finden lassen. Auch die Arbeitsgruppe um Renton-Harper et al. kam zu dieser Schlussfolgerung und empfahl, dass der Verwendung einer PTB eine Instruktion vorweggehen sollte (Renton-Harper et al., 2001).

Mit einem klinischen Vergleich zwischen einer HFS-PTB und einer MTB beschäftigte sich beispielsweise die Arbeitsgruppe um Moritis et al. (Moritis et al., 2002). Der Studienaufbau ähnelte dabei den bereits beschriebenen Untersuchungen. Die Probanden erhielten hier allerdings wieder konkrete Anweisungen zur Putztechnik und beide Gruppen putzen jeweils mit beiden Bürstentypen. Laut Publikation ergaben sich deutlich bessere Putzergebnisse bei der Verwendung der HFS-PTB (Reduktion von ca. -36 %) als bei der MTB (ca. -25 %). Diese seien als „signifikant“ anzusehen (Moritis et al., 2002).

Mit Blick auf die im Artikel aufgeführten T-QHI-Werte ist dies einleuchtend. Während die PTB den T-QHI von 2,70 zu 1,73 und damit um ca. -35 % reduzierte, konnte die MTB den T-QHI nur um -25,8 % senken (von 2,55 auf durchschnittlich 1,89). Im Hinblick auf die Umrechnung in die tatsächliche prozentuale Plaquerreduktion, die sich an den P%-Werten orientiert und die Differenzen zwischen „prä“ und „post“ berücksichtigt, ergibt sich allerdings nur ein Unterschied von 3,93 P% zugunsten der PTB, welcher weiterhin nicht zweifelsfrei als relevant angesehen werden kann. Auch in diesem Beispiel muss daher die Erkenntnis der Studie angezweifelt werden.

Die klinische Studie von Pizzo et al. aus dem Jahr 2010 unterschied sich insofern von den obengenannten, dass hier eine PTB gegen zwei MTBs verglichen wurde. Zudem putzen die Probanden lediglich 60 Sekunden, statt den meist angegebenen zwei Minuten. Laut Artikel führte die PTB zu einer „deutlich stärkeren Plaquerreduktion“ im Vergleich

zu den MTBs (Pizzo et al., 2010). Mithilfe unserer Berechnungen wird deutlich, dass auch dieser Aussage widersprochen werden muss, da eine P%-Differenz zwischen den beiden Bürstentypen von 2,74 P% zwar eine dezent erhöhte Plaquereduktion durch die PTB aufzeigt, aber auch diese in einer Größenordnung liegt, für die keine klinischen Auswirkungen zu erwarten sind.

Klukowska et al. sprechen in ihrer Publikation von 2012 von einer 7,9 % besseren Plaquereduktion durch eine PTB im Vergleich zu einer MTB (Klukowska et al., 2012). Dies ergibt sich aus einer T-QHI-Differenz von ca. -1,05 (PTB) zu -0,97 (MTB). Der Unterschied der beiden Bürstentypen ist laut dieser Studie also weniger groß als bei den bisherigen, aber auch hier nimmt die berechnete tatsächliche Differenz von 0,49 P% eine andere und klinisch unbedeutende Dimensionsgröße an.

Des Weiteren zeigt diese Studie auf, wie weit die Ergebnisse verschiedener Studien trotz ähnlicher Ausgangsbedingungen und Untersuchungsabläufen voneinander abweichen können.

Auch die Vergleichsstudien von Kurtz et al. und Kulkarni et al. kamen zu dem Ergebnis, dass die PTB zu einer signifikant besseren Plaqueentfernung führe als die MTB (Kurtz et al., 2016; Kulkarni et al., 2017). Laut den in Tabelle 5 aufgeführten Berechnungen liegen die tatsächlichen Differenzen auch hier eher in einer Größenordnung von 0,15 P% bis 1,87 P%, womit die klinische Relevanz nicht bestätigt wäre.

6.4.2 Ausgewählte Publikationen - Plaquebeurteilung mit dem RMNPI

(vergleiche hierzu Tabelle 6)

Die Arbeitsgruppe um Sharma et al. publizierte im Jahr 1998 die Ergebnisse ihrer klinischen Studie, bei der die Anwendung einer OR-PTB und einer HFS-PTB nach 48 Stunden des Plaquewachstums an 44 Probanden untersucht worden ist. Jeder Proband putzte dabei in nur einer Sitzung zwei Quadranten mit einer OR- und die anderen zwei Quadranten mit einer HFS-Zahnbürste. Dabei reduzierte sich der RMNPI bei der OR-PTB von 6,03 auf 1,98 (-67,2 %) und bei der HFS-PTB von 6,12 auf 3,06 (-50 %). Die Autoren publizierten folglich eine um 17,2 % höhere Effektivität der OR-PTB gegenüber der HFS-PTB (Sharma et al., 1998).

Ein Überführen der RMNPI- in die P%-Werte liefert allerdings andere Ergebnisse: Einerseits ist die tatsächliche prozentuale Reduktion bei beiden Zahnbürsten um 15-20 % höher als durch die Indexwerte suggeriert, andererseits folgt nach jeweiliger Subtraktion

der „prä-“ und „post-Werte“ eine Differenz von nur ca. 0,8 P%. Es ist also davon auszugehen, dass sich die Unterschiede im klinischen Alltag nicht bemerkbar machen würden.

Dieselbe Arbeitsgruppe lieferte im Jahr 2005 ähnliche Ergebnisse. Sie betrachteten zusätzlich noch eine weitere OR-PTB. Des Weiteren wurde die Mundhygiene weniger lange ausgesetzt (24 Stunden statt im Jahr 1998 48 Stunden) und die Werte der Probanden wurden an drei Terminen aufgezeichnet, bei denen sie jeweils ein anderes Zahnbürstendesign verwenden sollten. Auch nach dieser Studie wurde die bessere Wirksamkeit der OR-PTBs gegenüber der HFS-PTB beschrieben (Sharma et al., 2005).

Anhand der Tabelle 6 ist ersichtlich, dass die prozentuale Reduktion durch die RMNPI-Werte die tatsächliche Reduktion von P% wie gehabt um 15-20 % unterschätzt. Die Differenz des RMNPIs bei einer OR-PTB (3,33) ist im Vergleich zu der bei der HFS-PTB (2,7) um ca. 19 % höher. Umgerechnet auf die P%-Werte und abzüglich der Differenzen ergibt sich allerdings ein Unterschied von nur 1,38 P%, was die Aussagekraft der Studie anzweifeln lässt.

Im Folgejahr 2006 untersuchten Sharma et al. zudem die Wirkungen von drei HFS-PTB, verglichen mit denen einer MTB. Die Stichprobengröße war mit einer Probandenzahl von 144 recht umfangreich. Es wurden vier Gruppen gebildet, sodass jeder Teilnehmer nur einmalig mit der jeweils zugeteilten Zahnbürste putzte. Laut Artikel konnte die neuartige HFS-PTB 89 % der Plaque reduzieren, während die MTB nur ca. 78 % reduzieren konnte (Sharma et al., 2006). Auch diese Werte lassen sich anhand von Tabelle 6 nachvollziehen. Die Unterschiede sind aber nach einer Umrechnung in die P%-Werte und anschließender Subtraktion mit einem Wert von 0,87 P%, genauso wie in den anderen Studien, nicht von klinischer Relevanz.

Strate et al. nutzten für ihre klinische Studie ein ähnliches Studiendesign wie Sharma et al. im Jahr 2005, verglichen aber nur eine OR-PTB mit einer HFS-PTB. Es wurden 61 Probanden ausgewertet, die jeweils zwei Termine im Untersuchungszentrum wahrnahmen um jeweils ein anderes Zahnbürstenmodell zur Plaquereduktion (nach 23-25 Stunden ohne Mundhygiene) zu nutzen. Die Arbeitsgruppe schlussfolgerte, dass die OR-PTB im gesamten Mund „deutlich wirksamer“ (Strate et al., 2005) als die HFS-PTB sei. So erreichte die OR-PTB eine Plaquereduktion von ca. 88 %, während die HFS-PTB nur ca. 61 % der Plaque entfernen konnte. „Die Unterschiede in der Plaquereduktion zugunsten der OR- gegenüber der HFS-PTB betragen 27,4 %“ (Strate et al., 2005).

Es ist nachvollziehbar, dass die Autoren aufgrund dieser Werte einen klinisch relevanten Unterschied zwischen den Bürstentypen erkannten. Nach Berechnungen der P%-Werte,

also der tatsächlichen Plaquebedeckung, beträgt die Differenz allerdings nur noch 11,2 %. Unter Berücksichtigung der Differenz zwischen den Werten von vor und nach dem Zähneputzen erhalten wir einen Unterschied von ca. 1,24 P%. Die starke Abweichung vom Ergebnis der Autoren ist ersichtlich.

Als einzige in Tabelle 6 aufgeführte Studie schlussfolgerten Ayad et al. nach der Auswertung ihrer Untersuchungsergebnisse, dass eine neue HFS-PTB im Vergleich zu einer OR-PTB im ganzen Mund statistisch signifikant größere Plaquereduktionen (von ca. 21,9 %) bewirke (Ayad et al., 2012). Mithilfe der Tabelle 6 ist dies nachvollziehbar: Die ermittelte RMNPI-Differenz der OR-PTB (prä/ post) beträgt 2,88 (6,03 zu 3,15), bei der Schallzahnbürste 3,51 (6,12 zu 2,61). Hierbei handelt es sich um eine Erhöhung um 21,9 %. Die gleiche Rechnung nun auf die P%-Werte übertragen, ergibt aber eine prozentuale Erhöhung von 14,3 % zugunsten der HFS-PTB (9,1 zu 10,4). Ausgedrückt in Prozentpunkten erhalten wir lediglich eine Differenz von -1,28 P%. Die etwas höhere Plaquereduktion ist also der Hochfrequenz-Schallzahnbürste zuzuschreiben, aber auch diese hat keine klinische Relevanz.

Abschließend sollen auch zwei Studien der Arbeitsgruppe um Nathoo et al. Erwähnung finden. Beide untersuchten die effektive Putzleistung von HFS-PTBs im Vergleich zu einer MTB, wobei erstere die Plaquewerte zu Beginn, nach vier und nach 12 Wochen ermittelte, während die zweite Studie nur die Entwicklung über vier Wochen beurteilte, dafür aber noch eine weitere PTB miteinbezog.

Im Jahr 2012 schlussfolgerten die Autoren, dass die HFS-PTB zu allen Zeitpunkten eine statistisch signifikant stärkere Plaquerreduzierung erzielte als die MTB. Nach dem ersten Putzen sei die Effektivität dahingehend um das 1,6-fache höher gewesen (-53,3 % zu -33,8 %) (Nathoo et al., 2012). Aus der vorliegenden Tabelle ist ersichtlich, dass die prozentuale Reduktion der P%-Werte bei der PTB lediglich 1,27-fach so hoch ausfiel wie bei der MTB (-78,3 P% zu -61,5 P%). Die resultierende Differenz von 3,35 P% zugunsten der PTB ähnelt zwar in der grundsätzlichen Aussage der von Nathoo et al., liegt aber nichtsdestotrotz in einer anderen Größenordnung.

Die Ergebnisse von 2014 sind vergleichbar: Zu allen Zeitpunkten konnte die PTB bessere Ergebnisse als die MTB erzielen. Bei der ersten Plaqueerhebung (T1) war die Effektivität ca. 1,52-fach so hoch (Nathoo et al., 2014). Laut unserer Berechnungen beträgt das Verhältnis nur 1:1,2, was wiederum in einer Differenz von 1,85 P% mündet und auf keine erheblichen Unterschiede hinweist.

Eine weitere Erkenntnis der Autoren war, dass keine Unterschiede zwischen den Effekten beim Putzen mit einem harten („dreifach sauberen“) bzw. einem weichen Bürstentopf auftraten (Nathoo et al., 2014).

6.4.3 Ursachen für mögliche Abweichungen zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Plaquestudien

Für die Abweichungen in den Untersuchungsergebnissen können verschiedene Faktoren verantwortlich sein. Ein Beispiel ist das Fehlen eines Grids bei der Auswertung der Plaquebedeckungen.

Um eine weitere Erklärung für die Abweichungen zwischen den Studienergebnissen zu finden, wurde geprüft, ob im Vorfeld Kalibrierungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Bei Betrachtung des „Supplementary“-Materials aus den Übersichtsarbeiten von Elkerbout et al. und van der Sluijs et al. fällt auf, dass nicht alle herangezogenen Studien auch von einer eingehenden Kalibrierung berichteten. 19 der 28 Artikel gaben zwar eine Kalibrierung im Vorfeld an, konkrete Kappa-Werte wurden aber meist nicht aufgeführt (Elkerbout et al., 2020; van der Sluijs et al., 2021).

Eine der wenigen Ausnahmen stellt hierbei die Studie von Yankell & Emling (1997) dar, die als Einzige ihre interrater-Reliabilität mit einem Wert von $>0,85$ angab (Yankell und Emling, 1997). Die Studie von Heasman et al. publizierte einen intrarater Kappa-Wert von 0,78 - 0,81 (vor bzw. nach Abschluss des Versuchs) (Heasman et al., 1999). Die Untersuchungen von Moritis et al. aus dem Jahr 2002 wurden durch eine intrarater-Reproduzierbarkeit von $\kappa = 0,82$ und $0,88$ (Werte von vor und nach dem Zähneputzen) gestützt (Moritis et al., 2002).

Somit ist von einer ausreichenden Sicherheit der Untersuchungsergebnisse dieser drei Studien auszugehen.

Bei dem überwiegenden Anteil der 28 gelisteten Reviews sind hingegen keine konkreten Kalibrierungswerte aufgeführt. Es ist somit nicht nachvollziehbar bewiesen, ob und in welchem Maße die einzelnen bzw. unterschiedlichen Auswerter in der Lage waren identische Ergebnisse auch reproduzierbar auszuwerten. Diese Einschränkung würde sich folglich auf die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse auswirken.

Neben der Kalibrierung und der Verwendung eines Grids können ebenso Abweichungen im Studiendesign zur Erhebung unterschiedlicher Ergebniswerte beitragen. Hierzu ge-

hören beispielsweise die Anzahl der untersuchten Zahnflächen, die Anzahl der eingeschlossenen Probanden, eine vorab erfolgte Instruktion bezüglich eines optimalen Zahnputzverhaltens und die Putzdauer. Des Weiteren sollte beachtet werden, ob das Zähneputzen überwacht wurde, ob die Probanden im Umgang mit der ausgewählten Zahnbürste geübt waren, über welchen (Trainings-) Zeitraum sich die Datenerhebung erstreckte und ob diese nach Plaquewachstum oder habitueller Mundhygiene erfasst wurde, bzw. ob im Vorfeld eine professionelle Zahnreinigung durchgeführt wurde.

Alle genannten Faktoren können zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Plaqueentwicklung bei Mundhygienestudien beitragen. Folglich werden möglicherweise abweichende Reinigungserfolge durch verschiedene Zahnbürstentypen suggeriert.

6.4.4 Schlussfolgerung hinsichtlich der Ergebnisse der Vergleichsstudien

Zusammenfassend lässt sich wiederholen: Durch die Umrechnung in P%-Werte konnte gezeigt werden, dass das Zähneputzen indexunabhängig eine Differenz von ca. zehn Plaqueprozentpunkten bewirkt.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bürstenmodellen sind dabei sehr gering und bewegen sich in einem Bereich von durchschnittlich 0,63 bzw. 1,15 P% (siehe Tabelle 5 und 6).

Es ist zweifelhaft, ob sich Plaquedifferenzen in dieser Größenordnung klinisch visuell überhaupt erfassen lassen und einen Mehrwert für den Patienten bieten. Zudem ist unklar, ob sich diese denkbar kleinen Effektivitätsunterschiede tatsächlich auf das Kariesrisiko auswirken, weshalb – entgegen der Aussage zahlreicher Autoren von wissenschaftlichen Studien – keine klare Empfehlung hinsichtlich des geeignetsten Bürstenmodells bei der individuellen Patientenberatung ausgesprochen werden kann.

Es ist nichtsdestotrotz davon auszugehen, dass die beste Plaquereduktion durch eine vorangehende Instruktion und das Einhalten einer Putzzeit von mindestens zwei Minuten für eine Verbesserung der Mundhygiene sorgt. Die Geschicklichkeit von Patienten, die individuelle Präferenz eines Bürstentyps hinsichtlich des „Mundgefühls“, der Zustand der Gingiva und die finanzielle Bereitschaft sind sicherlich ebenso Kriterien, die bei der Wahl einer geeigneten Zahnbürste berücksichtigt werden sollten.

6.4.5 Plausibilität der durch die Vergleichsstudien publizierten Plaqueswerte

Bisher wurde ausführlich beschrieben, inwiefern sich die Erkenntnisse unserer Studie auf die Publikationen zahlreicher Autoren auswirken. Dies bezog sich weitestgehend auf deren Schlussfolgerungen bezüglich der Effektivitätsunterschiede verschiedener Zahnbürstentypen.

Folgend sollen auch die veröffentlichten absoluten Plaqueindexwerte, die den Berechnungen zugrunde lagen, kritisch hinterfragt werden. Dies dient einer vertiefenden Analyse der Plausibilität der Vergleichsstudien.

Wie in Tabelle 1 ersichtlich, lag in unserer aktuellen Studie die durchschnittliche prozentuale Plaquerreduktion (P%) bei ca. 42 % (vgl. Tabelle 1).

Dieser Wert ist ähnlich zu denen der Vorgängerstudien. Diese publizierten eine durchschnittliche Reduktion von ca. 43 % bzw. 56 % (Giese-Kraft et al., 2022; Jung et al., 2022). Schlussfolgernd kann diese durchschnittliche Größenordnung als erwartbare Putzleistung nach zweiminütigem Zähneputzen angesehen werden.

Tabelle 5 zeigt, dass die errechnete Plaquerreduktion in den T-QHI-Studien bei durchschnittlich ca. -50 % lag. Da es sich hierbei aber um einen Durchschnittswert handelt, lohnt sich der Blick auf die einzelnen Studien: Die Ergebnisse reichen von einer nur 21-prozentigen Plaquerreduktion (Yankell und Emling 1997) bis zu einer Reduktion von knapp -84 % (Killooy et al. 1989). Bei den RMNPI-Studien betrug die durchschnittliche prozentuale Plaquerreduktion sogar -78 %.

Wie in den Tabellen 7 und 8 dargestellt, gleichen sich der überwiegende Teil der Studien insoweit, dass die Teilnehmer zwischen den Untersuchungen ihre Zähne kontrolliert zwei Minuten lang putzten. Auch unter dem Aspekt, dass unterschiedliche Bürstentypen verwendet wurden, wäre erwartbar, dass bei vergleichbaren Versuchsbedingungen auch zumindest vergleichbare prozentuale Ergebnisse resultieren würden.

Dies veranlasst zu der Fragestellung, ob derartige Erfolge nach nur einem zweiminütigen Zähneputzen plausibel sind. Berücksichtigt werden muss an dieser Stelle, dass die Probanden in den meisten Fällen zu Studienbeginn eine Instruktion in das erwünschte Zahnputzverhalten (meist anhand der Herstellerangaben) erhielten. Es ist denkbar, dass durch einen korrekten Einsatz der zugeteilten Zahnbürste, die resultierenden Effekte größer waren, als es bei uns unter habitueller Anwendung einer gewohnten Zahnbürste ohne Putzanleitung der Fall war. Nichtsdestotrotz sind effektive Unterschiede von knapp 60 % allein aufgrund einer erfolgten Instruktion eher als zweifelhaft einzustufen.

Auch bei Betrachtung der absoluten Indexwerte ergeben sich einige Ungereimtheiten. Laut unserer Studie entwickelte sich durch das Wiederaufnehmen der Mundhygiene der T-QHI im Durchschnitt von 2,6 (Wert nach Plaquewachstum; T2) zu 1,8 (T3) (siehe hierzu Tabelle 1). Ähnliche Werte finden sich in den Publikationen von Yankell & Emling (1997), Williams et al. (2008, 2009), Moritis et al. (2002) und Rosema et al. (2014). Diese Werte erscheinen durchaus plausibel.

Kulkarni et al. veröffentlichten 2017, dass sich in ihrer Studie ein durchschnittlicher Ausgangs-TQHI von 0,7 auf einen Wert von 0,13 (PTB) bzw. von 0,71 auf 0,17 (MTB) verringerte. Diese Plaquewerte sind an dieser Stelle nicht nachvollziehbar. Grundlage für Werte dieser Größenordnung wäre ein nahezu zahnbelagfreies Gebiss, bereits bei Erhebung der Baseline-Werte. Dieses ohnehin sehr geringe Plaquevorkommen konnte dann angeblich sogar noch auf deutlich niedrigere Werte gesenkt werden. Dies setzt eine absolut perfekte Mundhygiene aller Studienteilnehmer voraus. Insgesamt sind die Ergebnisse dieser klinischen Untersuchung eher als unrealistisch einzustufen.

Die Publikationen von Killoy et al. (1989), van der Weijden et al. (1996), Heasman et al. (1999) und Re et al. (2015) zeigen vergleichbare TQHI-Ausgangswerte wie die unserer Studie. Auffällig ist hier jedoch, dass sich die durch das Zähneputzen erreichte Plaquereduktion deutlich von unseren Ergebnissen unterscheidet. Alle vier Artikel berichteten hier von sehr niedrigen Indexwerten, die zwischen 0,6 und 0,9 lagen. Insgesamt wird hier dementsprechend eine deutlich effektivere Putzleistung suggeriert. In der Studie von Killoy et al. lag entsprechend eine über 80-prozentige Plaquereduktion (PTB) vor. Diese weicht neben unserer, ebenso stark von den Beobachtungen der Arbeitsgruppen um beispielsweise Yankell & Emling (1997) oder Williams et al. (2008, 2009) ab. Im Ansatz ließe sich die Diskrepanz z.B. durch eine bessere Instruktion oder durch die individuelle Geschicklichkeit der Probanden erklären. Zweifelhaft bleibt, ob sich Unterschiede in dieser Dimension auf solch geringe Abweichungen im Studiendesign zurückführen lassen.

Ähnliche Vergleiche lassen sich auch im Hinblick auf die RMNPI-Studien (Tabelle 6) ziehen. Die Ausgangsindexwerte lagen hierbei meist zwischen 5 und 6. Dies ist mit der habituellen Plaqueansammlung unserer Studie, die zum Untersuchungszeitpunkt T1 durchschnittlich mit 6,3 bewertet wurde, vergleichbar. Nach unseren Ergebnissen verbesserte sich der durchschnittliche RMNPI von 7,5 auf 6,0 nach dem Putzen (T2 zu T3). In einer ähnlichen Größenordnung liegen dabei die Ergebnisse von Nathoo et al. (Nathoo et al., 2012, 2014).

Nur exemplarisch sei hier als kontrovers die Studie von Goyal et al. (Goyal et al., 2009) aufgeführt. Durch die oszillierend-rotierende Zahnbürste konnte der RMNPI-Wert von

5,4 auf 0,99 reduziert werden. Auch Sharma et al. ermittelte einen ähnlichen Effekt, bei dem der Index auf 0,63 reduziert werden konnte.

Bekannterweise beruht der RMNPI auf neun möglichen Scorewerten, sodass nicht zweifelsfrei klar ist, ob ein Wert von 0,63 visuell überhaupt wahrgenommen werden kann. Es ist fraglich, wie realistisch diese herausragend gute Plaquerreduktion durch nur zweiminütiges Zähneputzen ist.

Abschließend lässt sich zusammenzufassen:

Die Übersichtsarbeiten von Elkerbout et al. und van der Sluijs et al. basieren auf Artikeln, die verschiedene Zahnbürstenmodelle vergleichen (Elkerbout et al., 2020; van der Sluijs et al., 2021). Die für die Berechnungen erhobenen Indexwerte sind zu einem Teil aber nicht schlüssig und nur fraglich plausibel.

Der überwiegende Teil der aufgeführten klinischen Studien ermittelte eine „statistisch signifikante Differenz“ zwischen den verschiedenen Bürstentypen. In der Regel wurde dabei die elektrische gegenüber der Handzahnbürste bevorzugt und häufiger schnitt die oszillierend-rotierende PTB gegenüber der Hochfrequenz-Schallzahnbürste besser ab. Diese Unterschiede lassen sich mathematisch nachvollziehen. Die tatsächlichen Unterschiede zwischen der PTB und der MTB sind aber bei durchschnittlichen Werten von 0,8 P% und 1,9 P% klinisch vermutlich eher vernachlässigbar. Die Unterschiede zwischen der OR-PTB und der HFS-PTB lagen dabei mit durchschnittlich 0,13 P% und 0,61 P% sogar noch niedriger, womit auch diese Differenzen klinisch keine wesentliche Rolle spielen dürften.

Bereits die Publikation von Peter Galgut beschäftigte sich mit den Grenzen der statistischen Analyse von Behandlungsergebnissen. Der Autor erkannte, dass „Ergebnisse klinischer Studien [...] im Hinblick auf die statistische Signifikanz berichtet (werden), die Interpretation der statistischen Signifikanz in Bezug auf den klinischen Nutzen [...] jedoch begrenzt (ist)“ (Galgut, 2003).

6.5 Limitationen und Ausblick

Eine Limitation unserer klinischen Untersuchung ist, dass lediglich junge Erwachsene (Durchschnittsalter von 24 ± 4 Jahren) mit einem nahezu naturgesunden Gebisszustand in die Studie eingeschlossen wurden. Ausgeschlossen wurden alle Freiwilligen mit prothetischen Restaurationen und defekten Füllungsrandern oder ausgeprägten Zahnfehlstellungen bzw. Zahnfehlbildungen. Aufgrund dessen war es möglich, optimale Scanbedingungen zu schaffen. Die untersuchte Personengruppe ist demnach aber nicht vollständig repräsentativ für den Patientenpool, wie er sich im klinischen Praxisalltag zeigt. Die Ausschlusskriterien sind unter anderem auf die durchgeführte 3D-Bildgebung mit einem Intraoralscanner zurückzuführen: Zum jetzigen Zeitpunkt ist noch unklar, inwiefern sich metallische Restaurationen aufgrund von Reflexionen und Artefaktentstehung auf die visuelle Erfassung der Plaque durch den Intraoralscanner auswirken bzw. eine automatisierte Auswertung zulassen. Zudem ist zu erwarten, dass die Bildqualität erheblich eingeschränkt werden würde.

Eine weitere Einschränkung für die klinische Durchführbarkeit von Intraoralscans wie in dieser Studie ist, dass lediglich gut einsehbare Bereiche der Zähne erfasst werden können. Bei Patienten mit tiefen Rezessionen und ausgeprägten Interdentalräumen ist die Bilderfassung erschwert. Dies betrifft beispielsweise Patienten mit Parodontitis. Von dieser Erkrankung sind vor allem ältere Personengruppen betroffen. Des Weiteren steigt die Zahl der Zahnverluste mit zunehmendem Alter. Lücken in der Zahnreihe können Zahnbewegungen begünstigen, sodass Kippungen und Rotationen die Folge sind. Eine vollständige und geschlossene Zahnreihe ermöglicht hingegen standardisierte Versuchsbedingungen und vergleichbarere Ergebnisse, ist aber als Limitation dieser Studie anzusehen.

Für die Zukunft wären weitere Untersuchungen erstrebenswert, die aufzeigen, inwieweit sich die automatisierte Plaqueerkennung auch bei verschiedenen Ausgangszuständen der Gebissituation eignet.

6.6 Schlussfolgerung

Für eine präzise Messbarkeit der Plaquebedeckung sind möglichst lineare Verhältnisse von grundlegender Bedeutung. Selbst beim T-QHI, der rückblickend die noch vergleichbarsten Ergebnisse liefert, ist dies aufgrund einiger großer Spannweiten nicht gegeben.

Abschließend lassen sich die drei konkreten Fragestellungen dieser Studie wie folgt beantworten:

(A) Welchen Bezug weisen die eher abstrakten Plaqueindexwerte zur tatsächlichen Plaquebedeckung auf?

- Klinische Plaqueindizes stellen abstrakte Werte dar, die nur bedingt Rückschlüsse auf die tatsächliche Plaquemenge zulassen und auch nicht linear mit den tatsächlichen Plaquewerten korrelieren
- Sie sind kein verlässliches Hilfsmittel, um Aussagen über Effektgrößen treffen zu können

(B) Welche klinische Relevanz haben die Plaqueindexwerte aus klinischen Studien zu Mundhygieneverfahren, wenn diese in Bezug zur tatsächlichen (planimetrischen) Plaquebedeckung gesetzt werden?

- Die prozentuale Reduktion der Plaquebedeckung wird durch Indexwerte unterschätzt
- Der klinische Vergleich verschiedener Zahnbürstentypen zeigte, dass zwar durch alle eine sichtbare Plaquereduktion erzielt werden konnte, die Unterschiede zwischen den Kontroll- und Testgruppen allerdings als vernachlässigbar zu werten waren
- Die tatsächlichen Differenzen sind mathematisch nachvollziehbar, in ihrer Dimension aber so gering, dass sie visuell nur fraglich wahrnehmbar sind
- Die klinische Relevanz der beschriebenen Mundhygienestudien ist anzuzweifeln

(C) Kann eine Aussage darüber getroffen werden, welcher der geeignetste Index für die Darstellung von Plaquemengen ist, bzw. welcher spiegelt die Realität am objektivsten wider?

- Der T-QHI lieferte noch die zuverlässigsten Ergebnisse, kann aber auch nur eingeschränkt einen Anhalt auf die tatsächliche Plaquemenge geben
- Es ist nicht sicher möglich, Effektgrößen mithilfe von Plaqueindizes auszudrücken

7 Zusammenfassung

Für die zahnmedizinische Prävention spielen plaquereduzierende Maßnahmen eine zentrale Rolle. Um einschätzen zu können, ob Mundhygienemaßnahmen effektiv sind und inwieweit sie die mikrobielle Besiedlung der Zahnoberflächen reduzieren, kommen heute verschiedene Methoden der Plaquequantifizierung zum Einsatz. Die zwei gängigsten Verfahren sind die Plaqueplanimetrie und der Einsatz von Plaqueindizes, wobei sich Letztere in ihren Differenzierungsgraden teils deutlich unterscheiden. Folglich wird die vorhandene Plaquemenge indexabhängig unterschiedlich abgebildet, was wiederum einen Einfluss auf die Vergleichbarkeit zwischen Studienergebnissen hinsichtlich der ermittelten Effektgröße und statistischen Signifikanz nimmt. Bei der Planimetrie hingegen wird die vorhandene Plaque objektiv durch eine Computersoftware als prozentualer Anteil an der Gesamtoberfläche errechnet.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es herauszufinden, inwiefern verschiedene Indizes in der Lage sind, die planimetrisch gemessene, tatsächliche Plaquebedeckung, auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Mundhygiene, darzustellen. Der Erkenntnisgewinn diente unter anderem der kritischen Auseinandersetzung mit der Aussagekraft von vorherigen klinischen Studien.

Hierzu wurden Intraoralscans von 30 Probanden zu jeweils drei unterschiedlichen Zeitpunkten der Mundhygiene angefertigt. Der erste Termin repräsentierte dabei die habituelle Mundhygiene (T1). Beim zweiten Termin stellten sich die Probanden nach 72 Stunden ohne Mundhygiene vor (T2), wurden anschließend dazu aufgefordert ihre Zähne wie gewohnt zu putzen und unterzogen sich dann dem dritten Intraoralscan (T3). Vor jeder Datenerfassung wurden die vorhandenen mikrobiellen Beläge durch einen Plaque-revelator (*Mira-2-Ton*®) sichtbar gemacht. Anhand der ermittelten 3D-Scans wurden standardisierte Screenshots der Vestibulär- und Oralflächen der Ramfjordzähne erstellt und die Plaquemenge mithilfe eines Grids hinsichtlich vier verschiedener Indizes ausgewertet (T-QHI, RMNPI, RMNPI nach Bretz, marginaler Plaqueindex). Im Anschluss erfolgte die Messung der tatsächlichen Plaquebedeckung mithilfe der Planimetrie.

Es konnte gezeigt werden, dass zwar alle Indizes Plaquemengenveränderungen widerspiegeln können, diese aber in einer deutlich abweichenden Effektgröße repräsentiert werden. Die Indexwerte fielen immer signifikant niedriger als die planimetrisch erhobenen Messergebnisse aus, zudem bestand ein nichtlinearer Zusammenhang. Insgesamt lieferte der T-QHI noch die zuverlässigsten Ergebnisse, kann aber auch nur eingeschränkt einen Anhalt auf die tatsächliche Plaquemenge geben. Schlussfolgernd ist es also nicht sicher möglich Effektgrößen mithilfe von Plaqueindizes auszudrücken.

8 Summary

In dental prevention, plaque-reducing measures play a central role. Various methods of plaque quantification are used today to assess the effectiveness of oral hygiene measures and the extent to which they reduce microbial colonization of tooth surfaces. The two most common methods are plaque planimetry and the use of plaque indices, which vary in their degrees of differentiation. Consequently, the existing plaque quantity is depicted differently depending on the used index, which in turn affects the comparability of study results in terms of the determined effect size and statistical significance. In contrast, planimetry objectively calculates the existing plaque as a percentage of the total surface area using computer software.

The aim of this study was to determine to what extent different indices are able to represent the planimetrically measured actual plaque coverage, even at different states of oral hygiene. The insights gained served, among other things, the critical examination of the validity of previous clinical studies.

For the purpose, intraoral scans of 30 subjects were taken at three different time points of oral hygiene. The first appointment represented habitual oral hygiene (T1). At the second appointment, subjects presented after 72 hours without oral hygiene (T2), were then instructed to brush their teeth as usual before they got the third intraoral scan (T3). Before each data collection, existing microbial deposits were made visible using a plaque revelator (*Mira-2-Ton*®). Standardized screenshots of the vestibular and oral surfaces of the Ramfjord teeth were created based on the obtained 3D scans, and plaque quantity was evaluated using a grid according to four different indices (T-QHI, RMNPI, RMNPI modified by Bretz, marginal plaque index). Subsequently, the actual plaque coverage was measured using planimetry.

It was demonstrated that although all indices can reflect changes in plaque quantity, they do so with significantly different effect sizes. The index values were consistently significantly lower than the planimetrically determined measurement results, and there was a nonlinear relationship.

Overall, the T-QHI still provided the most reliable results, but it also only limitedly indicates the actual plaque quantity. Consequently, it is not certain to express effect sizes using plaque indices.

9 Abkürzungs-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

9.1 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------------|--|
| API | Approximalraum-Plaquesindex |
| CI | Konfidenzintervall |
| engl. | englisch |
| et al. | <i>lateinisch</i> : und andere |
| HFS | Hochfrequenzschall |
| MPI | Marginaler Plaquesindex |
| MTB | manual toothbrush; Handzahnbürste |
| OR | oszillierend-rotierend |
| P% | planimetrisch ermittelte tatsächliche prozentuale Plaquesbedeckung |
| PCR | Plaques-Control-Record-Index |
| PTB | powered toothbrush; elektrische Zahnbürste |
| QLF | quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz |
| RMNPI | Rustogi modifizierter Navy-Plaques-Index |
| RMNPI-B | durch Bretz modifizierter RMNPI |
| T-QHI | Turesky modifizierter Plaquesindex nach Quigley und Hein |
| vgl. | vergleiche |

9.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Gradeinteilung des T-QHI | 17 |
| Abbildung 2: Schematische Darstellung des Navy-Plaque-Indexes | 18 |
| Abbildung 3: Schematische Darstellung des durch Elliott et al. modifizierten Navy- Plaque-Indexes (MNPI) | 19 |
| Abbildung 4: Schematische Darstellung des durch Rustogi modifizierten Navy- Plaque-Indexes (RMNPI) | 20 |
| Abbildung 5: Schematische Darstellung der abweichenden Ergebnisse bei Auswert- ung durch den RMNPI und durch den RMNPI nach Bretz | 21 |
| Abbildung 6: Schema zur Einteilung mittels MPI (Marginaler Plaqueindex) | 22 |
| Abbildung 7: Fallzahlberechnung mithilfe der Bonferroni-Methode | 32 |
| Abbildung 8: Studienablauf | 34 |
| Abbildung 9: Ansicht eines Intraoralscans im Mesh Viewer | 37 |
| Abbildung 10: Vorlage (Grid) für die Bestimmung der Plaqueindizes | 40 |
| Abbildung 11: Ansicht im Bildbearbeitungsprogramm | 41 |
| Abbildung 12: Nutzbarmachung der 2D-Bilder für die Planimetrie | 42 |
| Abbildung 13: P%-Werte bei habitueller Mundhygiene und nach Aussetzen der Mundhygiene sowie nach habituellem Zähneputzen | 46 |
| Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der Plaquebedeckung vor und nach dem Zähneputzen zur Veranschaulichung der durchschnittlich erreichten Plaquereduktion | 48 |
| Abbildung 15: Bsp. für die durchschnittliche Plaquebedeckung zum Zeitpunkt T2 | 49 |
| Abbildung 16: Problematik des dichotomen Bewertungsschemas | 50 |
| Abbildung 17: Bland-Altman Plots: Vergleich der Reduktion der Plaquebedeckung | 51 |
| Abbildung 18: Zusammenhang von Indexwerten und P% | 52 |
| Abbildung 19: Bland-Altman Plots für den Vergleich der Reduktion der Plaquebe- deckung nach Umrechnung der Indexwerte | 54 |
| Abbildung 20: Nicht proportionale Plaqueveränderung von Score 6 - 8 beim RMNPI | 55 |
| Abbildung 21: Zusammenhang von RMNPI-Scores und planimetrisch gemessener Plaquebedeckung | 58 |
| Abbildung 22: Zusammenhang von RMNPI-B-Scores und planimetrisch gemessener Plaquebedeckung | 59 |
| Abbildung 23: Zusammenhang von T-QHI-Scores und planimetrisch gemessener Plaquebedeckung | 60 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 24: Effektivitätsunterschiede verschiedener Zahnbürstentypen; Veranschaulichung der in Studien beobachteten Plaquereduktion anhand eigener Beispielbilder..... | 65 |
| Abbildung 25: Effektivitätsunterschiede verschiedener Zahnbürstentypen; Veranschaulichung der in einer Studie beobachteten Plaquereduktion anhand eigener Beispielbilder..... | 68 |
| Abbildung 26: Plaquebestimmung unter Anwendung bzw. Verzicht eines Grids | 76 |
| Abbildung 27: Standardisierte Darstellung der Molaren (Zähne 16 & 36) | 116 |
| Abbildung 28: Standardisierte Darstellung der Inzisivi (Zähne 21 & 41)..... | 117 |
| Abbildung 29: Standardisierte Darstellung der Prämolaren (Zähne 24 & 44) | 118 |

9.3 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Werte für die planimetrisch sowie mit den verschiedenen Indizes bestimmte Plaquebedeckung zu den drei Untersuchungszeitpunkten | 47 |
| Tabelle 2: Werte für die planimetrisch sowie mit den verschiedenen Indizes bestimmte Plaquebedeckung zu den drei Zeitpunkten nach Umrechnung..... | 53 |
| Tabelle 3: Plaquebedeckungswerte nach Zahnflächen für die planimetrischen Messungen (P%) sowie für die verschiedenen Indizes zu Beginn (T1), nach Plaqueakkumulation für 72 Stunden (T2) und nach habituellem Zähneputzen (T3) mit deren jeweiligen Differenzen..... | 56 |
| Tabelle 4: Planimetrisch gemessenen Plaquebedeckung auf verschiedenen Zahnflächen für RMNPI Score 8, RMNPI-B Score 10 und TQHI Score 2 | 61 |
| Tabelle 5: ausgewählte Daten aus zwei systematischen Übersichtsarbeiten; Studien, die den TQHI verwendet haben..... | 62 |
| Tabelle 6: ausgewählte Daten aus zwei systematischen Übersichtsarbeiten; Studien, die den RMNPI verwendet haben | 66 |

10 Literaturverzeichnis

- Aas JA, Paster BJ, Stokes LN, Olsen I, Dewhirst FE. Defining the normal bacterial flora of the oral cavity. *J Clin Microbiol* 2005; 43(11): 5721–32.
- Ainamo J, Bay I. Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *Int Dent J* 1975; 25(4): 229–35.
- Albino JE, Juliano DB, Slakter MJ. A comparison of six plaque scoring methods for assessing oral hygiene. *J Periodontol* 1978; 49(8): 419–22.
- Angelone F, Ponsiglione AM, Ricciardi C, Cesarelli G, Sansone M, Amato F. Diagnostic applications of intraoral scanners: A systematic review. *J Imaging* 2023; 9(7).
- Arnim SS. The use of disclosing agents for measuring tooth cleanliness. *J Periodontol* (1930) 1963; 34(3): 227–45.
- Arnold WH. *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde*. 3rd ed. Stuttgart: Thieme, 2010. 402 p.
- Aswani K, Wankhade S, Khalikar A, Deogade S. Accuracy of an intraoral digital impression: A review. *J Indian Prosthodont Soc* 2020; 20(1): 27–37.
- Axelsson P, Lindhe J. Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. *J Clin Periodontol* 1978; 5(2): 133–51.
- Axelsson P, Lindhe J. Effect of oral hygiene instruction and professional toothcleaning on caries and gingivitis in schoolchildren. *Community Dent Oral Epidemiol* 1981; 9(6): 251–5.
- Axelsson P, Lindhe J, Nyström B. On the prevention of caries and periodontal disease. Results of a 15-year longitudinal study in adults. *J Clin Periodontol* 1991; 18(3): 182–9.
- Axelsson P, Nyström B, Lindhe J. The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol* 2004; 31(9): 749–57.
- Ayad F, Petrone DM, Wachs GN, Mateo LR, Chaknis P, Panagakos F. Comparative efficacy of a specially engineered sonic powered toothbrush with unique sensing and control technologies to two commercially available power toothbrushes on established plaque and gingivitis. *J Clin Dent* 2012; 23 Spec No A: A5-10.

- Bernabe E, Marcenes W, Hernandez CR, Bailey J, Abreu LG, Alipour V, et al. Global, regional, and national levels and trends in burden of oral conditions from 1990 to 2017: A systematic analysis for the global burden of disease 2017 study. *J Dent Res* 2020; 99(4): 362–73.
- Biesbrock AR, Bartizek RD, Walters PA, Warren PR, Cugini M, Goyal CR, et al. Clinical evaluations of plaque removal efficacy: an advanced rotating-oscillating power toothbrush versus a sonic toothbrush. *J Clin Dent* 2007; 18(4): 106–11.
- Biesbrock AR, Walters PA, Bartizek RD, Goyal CR, Qaqish JG. Plaque removal efficacy of an advanced rotation-oscillation power toothbrush versus a new sonic toothbrush. *Am J Dent* 2008; 21(3): 185–8.
- Bretz MJ. Vergleichende Plaque-Planimetrie am Beispiel der Reinigungswirkung eines Kauschaums, 2010. 80 p.
- Butler BL, Morejon O, Low SB. An accurate, time-efficient method to assess plaque accumulation. *J Am Dent Assoc* 1996; 127(12): 1763-6; quiz 1784-5.
- Carter K, Landini G, Walmsley AD. Automated quantification of dental plaque accumulation using digital imaging. *J Dent* 2004; 32(8): 623–8.
- Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A. Dental plaque and caries on occlusal surfaces of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 1989; 68(5): 773–9.
- Chen LF, Vander Weg MW, Hofmann DA, Reisinger HS. The Hawthorne effect in infection prevention and epidemiology. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2015; 36(12): 1444–50.
- Claydon N, Addy M. The use of planimetry to record and score the modified Navy index and other area-based plaque indices. A comparative toothbrush study. *J Clin Periodontol* 1995; 22(9): 670–3.
- Claydon N, Addy M. Comparative single-use plaque removal by toothbrushes of different designs. *J Clin Periodontol* 1996; 23(12): 1112–6.
- Coulthwaite L, Pretty IA, Smith PW, Higham SM, Verran J. QLF is not readily suitable for in vivo denture plaque assessment. *J Dent* 2009; 37(11): 898–901.
- Dannewitz B, Holtfreter B, Eickholz P. Parodontitis – Therapie einer Volkskrankheit. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2021; 64(8): 931–40.
- Dawes C. The nomenclature of the integuments of the enamel surface of teeth. *Br Dent J* 1963; 115: 65–8.

- Deinzer R, Jahns S, Harnacke D. Establishment of a new marginal plaque index with high sensitivity for changes in oral hygiene. *J Periodontol* 2014; 85(12): 1730–8.
- Di Murro C, Paolantonio M, Gerboni G, Leonardis D de. Attendibilità di diversi gruppi di denti campione nel valutare lo stato di malattia parodontale negli studi epidemiologici. *Minerva Stomatol* 1990; 39(2): 123–7.
- Dogan S. Plaquerevelatoren in der häuslichen und professionellen Prophylaxe. *Prophylaxe Journal* 2020; 2: 1–4.
- Doi K, Yoshiga C, Kobatake R, Kawagoe M, Wakamatsu K, Tsuga K. Use of an intraoral scanner to evaluate oral health. *J Oral Sci* 2021; 63(3): 292–4.
- Eickholz P. *Parodontologie von A bis Z*. 2nd ed. Berlin, Birmingham, AL, USA: Quintessence Publishing; EBSCO Industries, Inc, 2021. 1 Online-Ressource.
- Ekstrand K, Holmen L, Qvortrup K. A polarized light and scanning electron microscopic study of human fissure and lingual enamel of unerupted mandibular third molars. *Caries Res* 1999; 33(1): 41–9.
- Elkerbout TA, Slot DE, Rosema NAM, van der Weijden GA. How effective is a powered toothbrush as compared to a manual toothbrush? A systematic review and meta-analysis of single brushing exercises. *Int J Dent Hyg* 2020; 18(1): 17–26.
- Elliott JR, Bowers GM, Clemmer BA, Rovelstad GH. Evaluation of an oral physiotherapy center in the reduction of bacterial plaque and periodontal disease. *J Periodontol* 1972; 43(4): 221–4.
- Fejerskov O, Josephsen K, Nyvad B. Surface ultrastructure of unerupted mature human enamel. *Caries Res* 1984; 18(4): 302–14.
- Fischman SL. Current status of indices of plaque. *J Clin Periodontol* 1986; 13(5): 371-4, 379-80.
- Fleiss JL, Park MH, Chilton NW, Alman JE, Feldman RS, Chauncey HH. Representativeness of the "Ramfjord teeth" for epidemiologic studies of gingivitis and periodontitis. *Community Dent Oral Epidemiol* 1987; 15(4): 221–4.
- Galgut PN. A review of the limitations of statistical analysis of treatment outcomes used in periodontal research. *J Int Acad Periodontol* 2003; 5(4): 92–7.
- Gallob J, Mateo LR, Chaknis P, Morrison BM, Panagakos F. Randomized controlled trial comparing a powered toothbrush with distinct multi-directional cleaning action to a manual flat trim toothbrush. *Am J Dent* 2015; 28(6): 351–6.

- Ganss C, Duran R, Winterfeld T, Schlueter N. Tooth brushing motion patterns with manual and powered toothbrushes-a randomised video observation study. *Clin Oral Investig* 2018; 22(2): 715–20.
- Ganss C, Glanz A, Glanz T, Schlueter N, Ruf S. Red fluorescence of plaque in the dentition-a comparison of Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital (QLF-D) images and conventional images of disclosed plaque. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2020; 32: 102063.
- Gibbons RJ. Bacterial adhesion to oral tissues: a model for infectious diseases. *J Dent Res* 1989; 68(5): 750–60.
- Giese-Kraft K, Jung K, Schlueter N, Vach K, Ganss C. Detecting and monitoring dental plaque levels with digital 2D and 3D imaging techniques. *PLoS One* 2022; 17(2): e0263722.
- Glanz AG. Untersuchungen zur Reliabilität einer neuen Quantitative Light-Induced Fluorescence basierten Methode zur klinischen Erfassung von Plaque 2018.
- Goldberg P, Matsson L, Anderson H. Partial recording of gingivitis and dental plaque in children of different ages and in young adults. *Community Dent Oral Epidemiol* 1985; 13(1): 44–6.
- Goyal CR, Qaqish J, He T, Grender J, Walters P, Biesbrock AR. A randomized 12-week study to compare the gingivitis and plaque reduction benefits of a rotation-oscillation power toothbrush and a sonic power toothbrush. *J Clin Dent* 2009; 20(3): 93–8.
- Han S-Y, Kim B-R, Ko H-Y, Kwon H-K, Kim B-I. Validity and reliability of autofluorescence-based quantification method of dental plaque. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2015; 12(4): 587–91.
- Han S-Y, Kim B-R, Ko H-Y, Kwon H-K, Kim B-I. Assessing the use of Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital as a clinical plaque assessment. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2016; 13: 34–9.
- Hancock EB, Wirthlin MR. An evaluation of the Navy Periodontal Screening Examination. *J Periodontol* 1977; 48(2): 63–6.
- Heasman PA, Stacey F, Heasman L, Sellers P, Macgregor ID, Kelly PJ. A comparative study of the Philips HP 735, Braun/Oral B D7 and the Oral B 35 Advantage toothbrushes. *J Clin Periodontol* 1999; 26(2): 85–90.
- Hefti AF, Preshaw PM. Examiner alignment and assessment in clinical periodontal research. *Periodontol* 2000 2012; 59(1): 41–60.

- Hellwege. Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe. 6th ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag KG, 2003. 1 online resource.
- Hellwig E, Schäfer E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. 7th ed. Köln: Deutscher Ärzteverlag, 2018. 716 p.
- Höffken K. Vorbeugen ist besser als Heilen. *Onkologe (Berl)* 2022; 28(1): 2–4.
- Jordan RA, Bodechtel C, Hertrampf K, Hoffmann T, Kocher T, Nitschke I, et al. The fifth german oral health study (fünfte deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V) - rationale, design, and methods. *BMC Oral Health* 2014; 14: 161.
- Jung K, Ganss C, Schlueter N, Giese-Kraft K. What does a plaque index say about the true plaque coverage of a tooth? 69th ORCA Congress. *Caries Res* 2022a; 56(3): 236–381.
- Jung K, Giese-Kraft K, Fischer M, Schulze K, Schlueter N, Ganss C. Visualization of dental plaque with a 3D-intraoral-scanner - A tool for whole mouth planimetry. *PLoS One* 2022; 17(10): e0276686.
- Jung K, Giese-Kraft K, Schlenz MA, Wöstmann B, Ganss C. Digital plaque monitoring: An evaluation of different intraoral scanners. *J Dent* 2024; 145: 104978.
- Khocht A, Spindel L, Person P. A comparative clinical study of the safety and efficacy of three toothbrushes. *J Periodontol* 1992; 63(7): 603–10.
- Killoy WJ, Love JW, Love J, Fedi PF, Tira DE. The effectiveness of a counter-rotary action powered toothbrush and conventional toothbrush on plaque removal and gingival bleeding. A short term study. *J Periodontol* 1989; 60(8): 473–7.
- Kim Y-S, Lee E-S, Kwon H-K, Kim B-I. Monitoring the maturation process of a dental microcosm biofilm using the Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital (QLF-D). *J Dent* 2014; 42(6): 691–6.
- Klukowska M, Grender JM, Timm H. A single-brushing study to compare plaque removal efficacy of a new power brush to an ADA reference manual toothbrush. *Am J Dent* 2012; 25 Spec No A(A): 10A-13A.
- Kocher T, Holtfreter B, Pitchika V, Kuhr K, Jordan RA. Entwicklung der Zahn- und Mundgesundheit in Deutschland von 1997 bis 2014. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2021; 64(7): 782–92.
- Kolenbrander PE. Oral microbial communities: biofilms, interactions, and genetic systems. *Annu Rev Microbiol* 2000; 54: 413–37.

- Kulkarni P, Singh DK, Jalaluddin M. Comparison of efficacy of manual and powered toothbrushes in plaque control and gingival inflammation: A clinical study among the population of east indian region. *J Int Soc Prev Community Dent* 2017; 7(4): 168–74.
- Kurtz B, Reise M, Klukowska M, Grender JM, Timm H, Sigusch BW. A randomized clinical trial comparing plaque removal efficacy of an oscillating-rotating power toothbrush to a manual toothbrush by multiple examiners. *Int J Dent Hyg* 2016; 14(4): 278–83.
- Lendenmann U, Grogan J, Oppenheim FG. Saliva and dental pellicle -- a review. *Adv Dent Res* 2000; 14: 22–8.
- Li Y, Caufield PW. The fidelity of initial acquisition of mutans streptococci by infants from their mothers. *J Dent Res* 1995; 74(2): 681–5.
- Loe H, Theilade E, Jensen SB. Experimental gingivitis in man. *J Periodontol* (1930) 1965; 36: 177–87.
- Loesche WJ. Role of *Streptococcus mutans* in human dental decay. *Microbiol Rev* 1986; 50(4): 353–80.
- Macgregor ID, Rugg-Gunn AJ. A survey of toothbrushing sequence in children and young adults. *J Periodontal Res* 1979; 14(3): 225–30.
- Mander CI, Mainwaring PJ. Assessment of the validity of two plaque indices. *Community Dent Oral Epidemiol* 1980; 8(3): 139–41.
- Marinho VCC. Cochrane reviews of randomized trials of fluoride therapies for preventing dental caries. *Eur Arch Paediatr Dent* 2009; 10(3): 183–91.
- Marsh P, Martin MV, Callaway AS. *Orale Mikrobiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2003. 234 p.
- Marsh PD. Microbial ecology of dental plaque and its significance in health and disease. *Adv Dent Res* 1994; 8(2): 263–71.
- Marthaler TM. Changes in the prevalence of dental caries: how much can be attributed to changes in diet? *Caries Res* 1990; 24 Suppl 1: 3-15; discussion 16-25.
- Mensi M, Scotti E, Sordillo A, Agosti R, Calza S. Plaque disclosing agent as a guide for professional biofilm removal: A randomized controlled clinical trial. *Int J Dent Hyg* 2020; 18(3): 285–94.
- Meyer-Lückel H. *Karies*. Stuttgart: Georg Thieme, 2012. Online-Ressource.

- Miller. Die Mikroorganismen der Mundhöhle, die örtlichen und allgemeinen Erkrankungen, welche durch dieselben hervorgerufen werden, <https://play.google.com/books/reader?id=ErZgebwwwaQC&pg=GBS.PA118&hl=de>; 1889 [accessed February 1, 2024].
- Moritis K, Delaurenti M, Johnson MR, Berg J, Boghosian AA. Comparison of the Sonicare Elite and a manual toothbrush in the evaluation of plaque reduction. *Am J Dent* 2002; 15 Spec No: 23B-25B.
- Nathoo S, Mankodi S, Mateo LR, Chaknis P, Panagakos F. A clinical study comparing the supragingival plaque and gingivitis efficacy of a specially engineered sonic powered toothbrush with unique sensing and control technologies to a commercially available manual flat-trim toothbrush. *J Clin Dent* 2012; 23 Spec No A: A11-6.
- Nathoo S, Mateo LR, Chaknis P, Kemp JH, Gatzemeyer J, Morrison BM, et al. Efficacy of two different toothbrush heads on a sonic power toothbrush compared to a manual toothbrush on established gingivitis and plaque. *J Clin Dent* 2014; 25(4): 65–70.
- Nyvad B, Kilian M. Microbiology of the early colonization of human enamel and root surfaces in vivo. *Scand J Dent Res* 1987; 95(5): 369–80.
- O'Leary TJ, Drake RB, Naylor JE. The plaque control record. *J Periodontol* 1972; 43(1): 38.
- Pizzo G, Licata ME, Pizzo I, D'Angelo M. Plaque removal efficacy of power and manual toothbrushes: a comparative study. *Clin Oral Investig* 2010; 14(4): 375–81.
- Pretty IA, Edgar WM, Higham SM. A study to assess the efficacy of a new detergent free, whitening dentifrice in vivo using QLF planimetric analysis. *Br Dent J* 2004; 197(9): 561-6; discussion 551.
- Pretty IA, Edgar WM, Smith PW, Higham SM. Quantification of dental plaque in the research environment. *J Dent* 2005; 33(3): 193–207.
- Quigley GA, Hein JW. Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. *J Am Dent Assoc* 1962; 65: 26–9.
- Quirynen M, Dekeyser C, van Steenberghe D. Discriminating power of five plaque indices. *J Periodontol* 1991; 62(2): 100–5.
- Quirynen M, van Steenberghe D, Vuylsteke M. The possibility of measuring plaque growth in vivo within 24 hours. *J Periodontal Res* 1985; 20(3): 321–8.
- Ramfjord SP. Indices for prevalence and incidence of periodontal disease. *J Periodontol* (1930) 1959; 30(1): 51–9.

- Ramfjord SP. The Periodontal Disease Index (PDI). *J Periodontol* 1967; 38(6): Suppl:602-10.
- Relvas M, Diz P, Velazco C, Otero JL, Pacheco JJ, Tomás I. Evaluation of partial-mouth recording systems of gingival parameters in a Portuguese adult population. *J Public Health Dent* 2013; 73(2): 135–46.
- Re D, Augusti G, Battaglia D, Gianni AB, Augusti D. Is a new sonic toothbrush more effective in plaque removal than a manual toothbrush? *Eur J Paediatr Dent* 2015; 16(1): 13–8.
- Renton-Harper P, Addy M, Newcombe RG. Plaque removal with the uninstructed use of electric toothbrushes: comparison with a manual brush and toothpaste slurry. *J Clin Periodontol* 2001; 28(4): 325–30.
- Ritz HL. Microbial population shifts in developing human dental plaque. *Arch Oral Biol* 1967; 12(12): 1561–8.
- Robinson PJ, Maddalozzo D, Breslin S. A six-month clinical comparison of the efficacy of the Sonicare and the Braun Oral-B electric toothbrushes on improving periodontal health in adult periodontitis patients. *J Clin Dent* 1997; 8(1 Spec No): 4–9.
- Rosema NAM, Adam R, Grender JM, van der Sluijs E, Supranoto SC, van der Weijden GA. Gingival abrasion and recession in manual and oscillating-rotating power brush users. *Int J Dent Hyg* 2014; 12(4): 257–66.
- Rugg-Gunn AJ, Macgregor ID. A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. *J Periodontal Res* 1978; 13(4): 382–9.
- Russell AL. A system of classification and scoring for prevalence surveys of periodontal disease. *J Dent Res* 1956; 35(3): 350–9.
- Rustogi KN, Curtis JP, Volpe AR, Kemp JH, McCool JJ, Korn LR. Refinement of the modified Navy Plaque Index to increase plaque scoring efficiency in gumline and interproximal tooth areas. *J Clin Dent* 1992; 3(Suppl C): C9-12.
- Sagel PA, Lapujade PG, Miller JM, Sunberg RJ. Objective quantification of plaque using digital image analysis. *Monogr Oral Sci* 2000; 17: 130–43.
- Scannapieco FA. Monitoring the efficacy of plaque control methods. *Periodontol* 2000 1995; 8: 24–41.
- Schlenz MA, Schlenz MB, Wöstmann B, Glatt AS, Ganss C. Intraoral scanner-based monitoring of tooth wear in young adults: 24-month results. *Clin Oral Investig* 2023; 27(6): 2775–85.

- Schlenz MA, Schupp B, Schmidt A, Wöstmann B, Baresel I, Krämer N, et al. New caries diagnostic tools in intraoral scanners: A comparative in vitro study to established methods in permanent and primary teeth. *Sensors (Basel)* 2022; 22(6).
- Schlueter N, Fiedler S, Mueller M, Walter C, Difloe-Geisert JC, Vach K, et al. Efficacy of a sonic toothbrush on plaque removal-A video-controlled explorative clinical trial. *PLoS One* 2021; 16(12): e0261496.
- Schmidt A, Wöstmann B, Schlenz MA. Accuracy of digital implant impressions in clinical studies: A systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2022; 33(6): 573–85.
- Schwendicke F. Wurzelkaries – eine relevante Erkrankung gerade bei alten Patientinnen und Patienten. Quintessence Publishing 14.4.2022.
- Shaloub A, Addy M. Evaluation of accuracy and variability of scoring-area-based plaque indices. A laboratory model. *J Clin Periodontol* 2000; 27(1): 16–21.
- Sharma NC, Galustians J, Qaqish J, Cugini M. A comparison of two electric toothbrushes with respect to plaque removal and subject preference. *Am J Dent* 1998; 11(Spec No): S29-33.
- Sharma NC, Goyal CR, Qaqish JG, Cugini MA, Thompson MC, Warren PR. Single-use plaque removal efficacy of three power toothbrushes. *J Dent* 2005; 33 Suppl 1: 11–5.
- Sharma NC, Lyle DM, Qaqish JG, Galustians J. Evaluation of the plaque removal efficacy of three power toothbrushes. *J Int Acad Periodontol* 2006; 8(3): 83–8.
- Sharma NC, Qaqish J, Klukowska M, Grender J, Rooney J. The plaque removal efficacy of a novel power brush head. *J Clin Dent* 2011; 22(1): 19–22.
- Silness J, Loe H. Periodontal disease in pregnancy. II. Correlation between oral hygiene and periodontal condition. *Acta Odontol Scand* 1964; 22: 121–35.
- Silness J, Røynstrand T. Partial mouth recording of plaque, gingivitis and probing depth in adolescents. *J Clin Periodontol* 1988; 15(3): 189–92.
- Smith RN, Brook AH, Elcock C. The quantification of dental plaque using an image analysis system: reliability and validation. *J Clin Periodontol* 2001; 28(12): 1158–62.
- Smith RN, Rawlinson A, Lath D, Elcock C, Walsh TF, Brook AH. Quantification of dental plaque on lingual tooth surfaces using image analysis: reliability and validation. *J Clin Periodontol* 2004; 31(7): 569–73.

- Smith RN, Rawlinson A, Lath DL, Brook AH. A digital SLR or intra-oral camera: preference for acquisition within an image analysis system for measurement of disclosed dental plaque area within clinical trials. *J Periodontal Res* 2006; 41(1): 55–61.
- Söder PO, Jin LJ, Söder B. Computerized planimetric method for clinical plaque measurement. *Scand J Dent Res* 1993; 101(1): 21–5.
- Staudt CB, Kinzel S, Hassfeld S, Stein W, Staehle HJ, Dörfer CE. Computer-based intraoral image analysis of the clinical plaque removing capacity of 3 manual toothbrushes. *J Clin Periodontol* 2001; 28(8): 746–52.
- Strate J, Cugini MA, Warren PR, Qaqish JG, Galustians HJ, Sharma NC. A comparison of the plaque removal efficacy of two power toothbrushes: Oral-b Professional Care series versus Sonicare Elite. *Int Dent J* 2005; 55(3): 151–6.
- Syed SA, Loesche WJ. Bacteriology of human experimental gingivitis: effect of plaque age. *Infect Immun* 1978; 21(3): 821–9.
- Temming T. Vergleich verschiedener in der Kieferorthopädie angewandter Plaque-Indizes zur quantitativen Plaque-Bestimmung bei Patienten mit Multibracket-Apparatur. Mainz, 2019. 103 p.
- Thylstrup A, Bruun C, Holmen L. In vivo caries models--mechanisms for caries initiation and arrestment. *Adv Dent Res* 1994; 8(2): 144–57.
- Turesky S, Gilmore ND, Glickman I. Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue of vitamin C. *J Periodontol* 1970; 41(1): 41–3.
- van der Sluijs E, Slot DE, Hennequin-Hoenderdos NL, Valkenburg C, van der Weijden F. Dental plaque score reduction with an oscillating-rotating power toothbrush and a high-frequency sonic power toothbrush: a systematic review and meta-analysis of single-brushing exercises. *Int J Dent Hyg* 2021; 19(1): 78–92.
- van der Weijden FA, Timmerman MF, Snoek IM, Reijerse E, van der Velden U. Toothbrushing duration and plaque removing efficacy of electric toothbrushes. *Am J Dent* 1996; 9 Spec No: S31-6.
- Verran J, Roccliffe MD. Feasibility of using automatic image analysis for measuring dental plaque in situ. *J Dent* 1986; 14(1): 11–3.
- Williams K, Rapley K, Haun J, Walters P, He T, Grender J, et al. Comparison of rotation/oscillation and sonic power toothbrushes on plaque and gingivitis for 10 weeks. *Am J Dent* 2009; 22(6): 345–9.

- Williams K, Rapley K, Huan J, Walters P, He T, Grender J, et al. A study comparing the plaque removal efficacy of an advanced rotation-oscillation power toothbrush to a new sonic toothbrush. *J Clin Dent* 2008; 19(4): 154–8.
- Winterfeld T, Schlueter N, Harnacke D, Illig J, Margraf-Stiksrud J, Deinzer R, et al. Toothbrushing and flossing behaviour in young adults--a video observation. *Clin Oral Investig* 2015; 19(4): 851–8.
- Wright GZ, Banting DW, Feasby WH. Effect of interdental flossing on the incidence of proximal caries in children. *J Dent Res* 1977; 56(6): 574–8.
- Yankell SL, Emling RC. A thirty-day safety and efficacy evaluation of the Rowenta, Braun and Sonicare powered toothbrushes and a manual toothbrush. *J Clin Dent* 1997; 8(4): 120–3.
- Zahradnik RT, Moreno EC, Burke EJ. Effect of salivary pellicle on enamel subsurface demineralization in vitro. *J Dent Res* 1976; 55(4): 664–70.

11 Anhang

11.1 Alle erstellten Screenshots am Beispiel von P01 (T1, T2, T3)



P01.T1.16o



P01.T1.16v



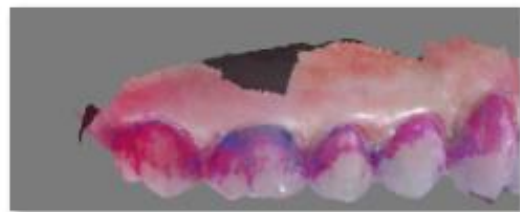
P01.T1.36o



P01.T1.36v



P01.T2.16o



P01.T2.16v



P01.T2.36o



P01.T2.36v



P01.T3.16o



P01.T3.16v



P01.T3.36o



P01.T3.36v

Abbildung 27: Standardisierte Darstellung der Molaren (Zähne 16 & 36)



P01.T1.21o



P01.T1.21v



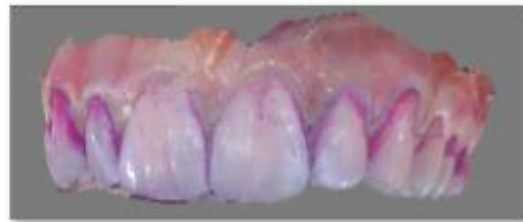
P01.T1.41o



P01.T1.41v



P01.T2.21o



P01.T2.21v



P01.T2.41o



P01.T2.41v



P01.T3.21o



P01.T3.21v



P01.T3.41o



P01.T3.41v

Abbildung 28: Standardisierte Darstellung der Inzisivi (Zähne 21 & 41)



Abbildung 29: Standardisierte Darstellung der Prämolaren (Zähne 24 & 44)

11.2 Beispiel eines probandenspezifischen CRF-Bogens

Case Report Form

| | | |
|-----------------------|---------------------|---|
| Untersucher: Ambrecht | Probanden-Code: P01 | Studiencode: PlaqueScan II Können Plaqueindizes die tatsächliche Plaquemenge abbilden? |
|-----------------------|---------------------|---|

Einschlusskriterien (alle müssen mit *ja* beantwortet sein)

Schriftliche Aufklärung und Einverständniserklärung

Alter \geq 18 Jahre

Vollständiges Gebiss (außer Weisheitszähne)

Keine ausgedehnten Restaurationen auf vestibulären und oralen Glattflächen

Ja

Nein

Ausschlusskriterien (alle müssen mit *nein* beantwortet sein)Unverträglichkeit gegenüber den verwendeten Materialien
(Mira-2-Ton®-Lösung, Lippenretractor OptraGate)

Kavitierte Karies

Füllungen mit Defekten, die die Plaqueretention begünstigen

Zahnfehlbildungen

Lückige Zahnstellung

Gingivale Rezessionen von $> \frac{1}{3}$ der Wurzellänge

Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen (Retainer erlaubt)

Körperliche oder geistige Einschränkungen jeglicher Art, die die Durchführung von Mundhygienemaßnahmen beeinflussen

Nein

Ja

Falls ein Einschlusskriterium mit „Nein“ und/oder ein Ausschlusskriterium mit „Ja“ beantwortet worden ist, kann kein Einschluss erfolgen.

Einschlussdatum: 22 / 07 / 22

TT MM JJ

Datum: 22.07.2022

Case Report Form

| | |
|---|---------------------|
| Untersucher: Ambrecht | Probanden-Code: P01 |
| Studiencode: PlaqueScan II | |
| Können Plaqueindizes die tatsächliche Plaquemenge abbilden? | |

T3 Intraoralscan Datum: 25.07.2022

| T3 | vestibulär | | | | | | RIMNPI Bretz [Summe] | T-QHI | RIMNPI [Summe] | T-QHI | marg. PI [%] | Planimetrie [%] |
|------|------------|---|---|---|---|-------------------------|---|---|---|--------------------|-----------------|--------------------|
| | A | B | C | D | E | F | | | | | | |
| 16 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 7 | 1 | 25 | 7,53244193 | |
| 21 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 5 | 1 | 75 | 0,692485058 | |
| 24 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 8 | 6 | 0 | 5,309315391 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 36 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 | 7 | 1 | 50 | 5,428489889 |
| 41 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 9 | 8 | 1 | 0 | 8,46650541 |
| 44 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 5 | 1 | 50 | 11,07898481 |
| | | | | | | | | | | | | |
| oral | | | | | | RIMNPI Bretz [Summe] | T-QHI <td rowspan="2">RIMNPI [Summe] <td rowspan="2">marg. PI [%] <td rowspan="2">Planimetrie [%] </td></td></td> | RIMNPI [Summe] <td rowspan="2">marg. PI [%] <td rowspan="2">Planimetrie [%] </td></td> | marg. PI [%] <td rowspan="2">Planimetrie [%] </td> | Planimetrie [%] | | |
| A | B | C | D | E | F | | | | | | | |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 6 | 2 | 0 | 17,52024971 | | |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 7 | 6 | 1 | 3,639030575 | | |
| 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5 | 4 | 1 | 5,031136686 | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 6 | 4 | 3 | 50 | 24,29696178 | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 13 | 9 | 2 | 0 | 29,70134509 | |
| 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 10 | 7 | 3 | 0 | 29,39970201 | |

11.3 Tabellarische Gegenüberstellung ausgewählter Artikel

Tabelle 7: Ausgewählte Artikel, auf die die Übersichtsarbeit von van der Sluijs et al. Bezug nimmt (van der Sluijs et al., 2021) (blau: T-QHI-Werte, gelb: RMNPI-Werte (vgl. Tabelle 5 & 6))

| Review | Jahr | Plaque Beobachtungszeitraum | | Untersuchung von | | | Instruktion | Zahnbürste | | Wie lange wurde geputzt? | Berechnungen Indexvergleich Zeitpunkt | | | | | |
|--------------------|--------|-----------------------------|--|------------------|-----------------------------------|---|-------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|--|------------|------|-------------------------------------|
| | | habi- Wachstums (d) tueli | vorab PZR | Sitzungen | Proband Teil- bzw. Modell zahl | Gruppen untersuchte (G), Zähne (alle, Front, Ramfjord) Alle (A) | | selbst- ständig (s) bzw. fremd (f) | erhalten? ja/ nein wenn ja, wie? | | | TYP elektrisch (eZB), manuell (mZB) | oszillierend rotierend (OR), Schall (HF) | | | |
| 1 Robinson | 1997 | h | 8-12h über Nacht | ja | nach 0,2,4,6 Monaten | P | 54 | G | A | min 24 | s | ja: Videoanleitung, mündl. Instruktion, Wdh nach 2-3Wo | eZB | HF | 2min | z.Z. nach 6 Mo |
| 2 Yankell & Emfing | 1997 | h | 10-16h über Nacht | nein | 0, nach 15 d, nach 30d | P | 128 | G | A | min 18 | s | lt. Herstellerangaben/ Beipackzettel | eZB | OR Rowenta | 2min | z.Z. nach 30d (1Monat) |
| 3 Williams et al. | 2008 | | 23-24h ohne MuHy 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | 4 Termine, innerhalb weniger Tage | P | 48 | A | A | min 15 | s | lt. Herstellerangaben, schriftliche Anleitung mitgegeben 10-14 d Übung Zuhause mit bd. Bürsten | eZB | HF | 2min | Querschnitt der 4 Termine |
| 4 Williams et al. | 2009 | | 12h ohne MuHy 4h ohne Rauchen, Essen, Trinken | nein | nach 0, 4, 10 Wochen | P | 171 | G | A | min 16 | s | ja, schriftliche und mündliche Anweisungen | eZB | HF | 2min | z.Z. Woche 10 |
| 5 Sharma et al. | 1998 | | 48h ohne MuHy | ja | einmalig | P | 44 | A | A | min 20 | s | mündliche Anleitung durch DH, zstl. schriftlich, 4 Wo Übung Zuhause | eZB | OR | 2min | Mittelwerte da einmaliges Putzen |
| 6 Sharma et al. | 2005 | | 23-25h ohne MuHy 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | 3 Termine, je ca 4d Abstand | P | 79 | A | A | min 18 | s | schriftliche Anleitung | eZB | OR | 2min | Mittelwerte da je einmaliges Putzen |
| 7 Strate et al. | 2005 | | 23-25h ohne MuHy 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | 2 Termine, je ca. 4d Abstand | P | 61 | A | A | min 18 | s | schriftliche Anleitung | eZB | HF | 2min | Mittelwerte da je einmaliges Putzen |
| 8 Biesbrock et al. | 2007-2 | | 24h ohne MuHy, 4h ohne Rauchen, Essen, Trinken | nein | 4 Termine, je ca. 3d Abstand | P | 48 | A | A | min 16 | s | schriftliche Anleitung & 10d Übung Zuhause | eZB | OR | 2min | Mittelwerte der 4 Termine |
| 9 Biesbrock et al. | 2008 | | 24h ohne MuHy | nein | 4 Termine, je ca. 3d Abstand | P | 45 | A | A | min 16 | s | schriftliche Anleitung & Übung Zuhause | eZB | HF | 2min | Mittelwerte der 4 Termine |
| 10 Goyal et al. | 2009 | | 12h ohne MuHy 4h ohne Rauchen, Essen, Trinken | nein | nach 0,6, 12 Wochen | P | 171 | G | A | min 16 | s | mündliche Anweisung lt. Herstellerangaben & schriftl. für Zuhause | eZB | OR | 2min | z.Z. nach 3 Mo (12 Wo) |
| 11 Ayad et al. | 2012 | | 24h ohne MuHy, 4h ohne Rauchen, Essen, Trinken | nein | nach 0, 4 Wo | P | 184 | G | A | min 20 | s | lt. Herstellerangaben | eZB | HF | 2min | nach einmaligem Putzen (Woche 0) |
| | | | | | | | | | | | | | eZB | OR | | |
| | | | | | | | | | | | | | eZB | HF | | |

Tabelle 8: Ausgewählte Artikel, auf die die Übersichtsarbeit von Elkerbout et al. Bezug nimmt (Elkerbout et al., 2020) (blau: T-QHI-Werte, gelb: RMNPI-Werte (vgl. Tabelle 5 und 6))

| Review | Jahr | Plaque Beobachtungszeitraum | | Untersuchung von | | | Instruktion | Zahnbürste | Wie lange wurde geputzt? | Berechnungen Indewergleich Zeitpunkt | |
|--------------------------|------|-----------------------------|--|----------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------------|---|--|
| | | habi- tuell | Wachstum (d) vorab PZR | Sitzungen | Proband bzw. Modell | Teil- nehmer- zahl | | | | | Gruppen (G), Alle (A) |
| 1 Killoy et al. | 1989 | h | / | nein | P | 24 | G | A | s | ja, vor jedem Durchlauf erneut mündliche Anleitung | eZB OR 3min z.ZO (1.Termin) |
| 2 Khocht et al. | 1992 | h | über Nacht | nein | P | 96 | G | A min 15 | s | lt. Herstellerangaben, schriftliche Anleitung, Demonstration von DH, mod. Bass-Technik | mZB OR neue eZB OR 2fach z.Z. nach 4 Wo Endergebnis |
| 3 van der Weijden et al. | 1996 | | 48h ohne MuHy | ja | P | 49 | A | A min 24 | s | lt. Herstellerangaben, schriftliche Anleitung 2 Wo Übung Zuhause | eZB OR unterschiedlich: 1, 2, 3 oder 4 min ? |
| 4 Haesman et al. | 1999 | | T2: 24h ohne MuHy T1&T3: 3-4h ohne MuHy | ja, nach T2&T3 | P | 75 | G | A min 20 | s | lt. Herstellerangaben, bei der mZB-Gruppe: mod. Bass-Technik | eZB OR min 90Sek unter Aufsicht bei T2 |
| 5 Renton-Harper et al. | 2001 | | 4 Tage ohne MuHy vor T1 | ja | P | 16 | A | A | s | KEINE! (Sinn der Studie) 7 Tage vor Beginn der Studie konnte die ZB Zuhause getestet werden + Beipackzettel | eZB OR 2min Vergleich zw Ausgangswert und nach 120s Putzzeit |
| 6 Morris et al. | 2002 | h | 12-18h ohne MuHy über Nacht | ja | P | 25 | A | A min 20 | s | schriftliche Anweisungen, vorab 10Tage Übung mZB: Basstechnik | eZB OR 2min gemittelt, da jeweils einmaliges Putzen |
| 7 Pizzo et al. | 2010 | | 23-25h ohne MuHy 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | ggf. | P | 66 | A | A min 20 | s | mZB: habituelleres Putzen eZB: lt. Herstellerangaben | eZB OR 60Sek 3x3 Studie: Mittelwerte nach einmaligem Putzen |
| 8 Klukowska et al. | 2012 | | 24h ohne MuHy 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | P | 36 | A | A min 16 | s | lt. Herstellerangaben bei eZB wie gewohnt mit der mZB (hier keine Anleitung) | eZB OR 2min Querschnitt der 4 Termine |
| 9 Rosema et al. | 2014 | | 48h ohne MuHy | nein | P | 181 | G | A min 5/Quadr. | s | keine Instruktion, habituelle Durchführung | eZB OR T1 keine Zeit- vorgabe |

| Review | Jahr | Plaque Beobachtungszeitraum | | Untersuchung von | | | Instruktion | Zahnbürste | | Wie lange wurde geputzt? | Berechnungen Indexvergleich Zeitpunkt | | | | |
|-------------------|------|---|------------------------------|--|---|--------------------------|-------------|-----------------------------|--|--------------------------|---|--|------------------------------------|---|--|
| | | habi- tuellel | Wachstum (d) vorab PZR | Sitzungen | Proband Teil- zahl bzw. Modell | Teil- nehmer- zahl | | Gruppen (G), Alle (A) | untersuchte Zähne (alle, Front, Ramfjord) | | | selbst- ständig (s) bzw. fremd (f) geputzt | erhalten? ja/nein wenn ja, wie? | Typ elektrisch (eZB), manuell (mZB) | oszillierend- rotierend (OR), Schall (HF) |
| 10 Re et al. | 2015 | 23-25h ohne MuHy 4h nicht Essen, Trinken, Rauchen | ja | 3 Termine, Indexerhebung bei T2 & T3 | P | 40 | A | A | min 24 | s | mündl. Anleitung (lt. Hersteller): eZB Videoanleitung Basstechnik: mZB | eZB mZB | HF / | 2min | gemittelt, da jeweils einmaliges Putzen |
| 11 Kurtz et al. | 2016 | 24h ohne MuHy 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | ja | 4 Termine, innerhalb weniger Tage | P | 87 | A | A | min 16 | s | lt. Herstellerangaben | eZB mZB | OR / | 2min: eZB, 1min: habituell, mZB | Querschnitt der 4 Termine |
| 12 Kulkami et al. | 2017 | vor 0: 24h ohne MuHy sonst h | nein | nach 0,7,14,28d | P | 45 | A | G | min 20 | s | eZB: Borsten 90° zum Gingivarand mZB: mod. Bass-Technik | eZB mZB | OR / | 2min | bei T4 (nach 28 d) |
| 13 Sharma et al. | 2006 | 23-25h ohn MuHy | nein | einmalig | P | 144 | G | A | min 20 | s | keine Instruktion | eZB eZB eZB mZB | HF HF HF / | 2min | Mittelwerte, da einmaliges Putzen |
| 14 Sharma et al. | 2011 | 24h ohne MuHy 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | je 4 Termine min 24h Abstand | P | 40 | A | A | min 16 | s | lt. Herstellerangaben: eZB habituell: mZB | eZB mZB | OR / | 2min | gemittelt |
| 15 Nathoo et al. | 2012 | 24h ohne MuHy, 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | 0, 4, 12 Wo | P | 76 | G | A | min 20 | s | lt. Herstellerangaben | eZB mZB | HF / | 2min | Ergebnisse nach dem ersten Putzen (T1) |
| 16 Nathoo et al. | 2014 | 24h ohne MuHy, 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | 0, nach 4 Wo | P | 120 | G | A | min 20 | s | schriftliche Anleitung | eZB eZB mZB | (HF) hart (HF) weich / | 2min | Ergebnisse nach dem ersten Putzen (T1) |
| 17 Gallob et al. | 2015 | 24h ohne MuHy, 4h ohne Essen, Trinken, Rauchen | nein | 0, nach 4, nach 12 Wo | P | 79 | G | A | min 20 | s | lt. Herstellerangaben | eZB mZB | (HF) / | 2min | Ergebnisse nach dem ersten Putzen (T1) |

12 Publikationsverzeichnis

K. Jung, F. Armbrecht, K. Giese-Kraft, E. Ressel, C. Ganss, Plaque indices and planimetrically measured plaque coverage - a true relationship?, *Caries Research*. 57 (2023) 276-458. <https://doi.org/10.1159/000534630>.

Des Weiteren ist bereits eine Vorstellung dieser Studie inklusive Schlussfolgerungen in einem achtminütigen Kurzvortrag sowie die schriftliche Zusammenfassung in einem Abstract auf der DGZ-DGPro Tagung am 14.06.2024 in Leipzig erfolgt.

13 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Donzdorf, 12.01.2025

Ort/ Datum

14 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich abschließend bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Dissertation unterstützt haben.

Mein Dank gilt zunächst meiner Doktormutter, Frau Prof. Dr. Carolina Ganß, für die Bereitstellung des Themas und die freundliche Hilfe und fachliche Unterstützung bei der Betreuung dieser Arbeit.

Insbesondere danke ich Frau Dr. Katja Jung für ihre überaus wertschätzende, geduldige, zuverlässige und humorvolle Art als meine Betreuerin. Ihre Hilfsbereitschaft und ihr mühevoller Einsatz in allen Phasen dieser Arbeit verdienen eine besondere Auszeichnung und waren für mich stets eine große Hilfe, Inspiration und Unterstützung.

Weiterhin bedanke ich mich bei Frau Dr. Katja Giese-Kraft für ihre freundliche Hilfe und ihre motivierende Betreuung, vor allem während des klinischen Studienabschnitts.

Auch danke ich allen freiwilligen ProbandInnen für die Teilnahme an der Studie, ohne deren Einsatz diese Doktorarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie und meinem Ehemann Leopold Eilert für deren unermüdliche, liebevolle und vielseitige Unterstützung während des Verfassens dieser Arbeit, aber vor allem auch während meines gesamten Studiums.