

**Zeitliche Stabilität von Parametern des
Zahnputzvorgangs bei der Instruktion optimal vs.
normal zu putzen**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Sämman, Thorben
aus Gießen

Gießen 2023

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Institut für Medizinische Psychologie

Gutachterin: Prof. Dr. Renate Deinzer

Gutachter: Prof. Dr. Martin Jung

Tag der Disputation: 15.05.2024

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1 PRÄVALENZ DER PARODONTALEN ERKRANKUNGEN	2
1.2 PLAQUEKONTROLLE DURCH ZÄHNEPUTZEN	3
1.3 BEOBACHTUNG DES ZAHNPUTZVERHALTENS	5
1.4 STABILITÄT DES ZAHNPUTZVERHALTENS	8
1.5 ZUSAMMENFASSUNG UND ABLEITUNG DER FRAGESTELLUNG	10
2. MATERIAL UND METHODIK.....	12
2.1 ETHIK UND DATENSCHUTZ	12
2.2 STICHPROBE	13
2.2.1 <i>Ein- und Ausschlusskriterien</i>	13
2.2.2 <i>Rekrutierung</i>	14
2.2.3 <i>Soziodemographische Parameter</i>	15
2.3 VERSUCHSABLAUF	16
2.3.1 <i>Untersuchungstermin 1</i>	16
2.3.2 <i>Untersuchungstermin 2</i>	18
2.4 MAßNAHMEN ZUR KONTROLLE POTENTIELLER STÖRVARIABLEN.....	19
2.4.1 <i>Randomisierte Probandenzuordnung</i>	19
2.4.2 <i>Standardisierter Versuchsablauf an beiden Untersuchungsterminen</i>	19
2.4.3 <i>Konstanthalten der Versuchsleitung</i>	20
2.4.4 <i>Verblindung</i>	20
2.4.5 <i>Plaquemessung am ersten Untersuchungstermin</i>	21
2.5 KLINISCHE PARAMETER	21
2.5.1 <i>Kalibrierung</i>	22
2.5.2 <i>Erfassung des Zahnstatus</i>	23
2.5.3 <i>Erfassung einer Gingivitis</i>	23
2.5.4 <i>Erfassung von Plaque</i>	25
2.6 VERHALTENSPARAMETER.....	26
2.6.1 <i>Kalibrierung und Interraterreliabilität</i>	27
2.6.2 <i>Ablauf der Videobeobachtung</i>	27
2.6.3 <i>Aus der Beobachtung abgeleitete Verhaltensparameter</i>	29
2.7 FORSCHUNGSHYPOTHESE UND STATISTISCHE ANALYSE	31
3. ERGEBNISSE	33
3.1 BESCHREIBUNG DER STICHPROBE.....	33
3.2 PRÜFUNG DER FORSCHUNGSHYPOTHESEN: STABILITÄT DES ZAHNPUTZVERHALTENS	34
3.2.1 <i>Stabilität der Zahnkontaktzeit</i>	34
3.2.2 <i>Stabilität des Zeitanteils mit dem die Flächen geputzt wurden</i>	35
3.2.3 <i>Stabilität der Zeitanteils der verschiedenen Bewegungsformen</i>	37

3.2.4	<i>Stabilität der Putzzeitverteilung nach Sextanten an oralen und vestibulären Flächen (dargestellt mittels QIT-S)</i>	39
4.	DISKUSSION	42
4.1	BEANTWORTUNG DER FRAGESTELLUNG UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	43
4.2	LIMITATIONEN	47
4.3	AUSBLICK	50
4.3.1	<i>Anregungen für weitere Forschung</i>	50
4.3.2	<i>Erkenntnisse für die zahnärztliche Praxis</i>	51
5.	ZUSAMMENFASSUNG	53
6.	SUMMARY	54
7.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	55
8.	TABELLENVERZEICHNIS	57
9.	LITERATURVERZEICHNIS	58
10.	ANHANG	68
	ANHANG A – REKRUTIERUNGSTEXT	69
	ANHANG B – PROTOKOLLBOGEN ERSTGESPRÄCH	70
	ANHANG C – AUFKLÄRUNGSBOGEN UND EINWILLIGUNG	71
	ANHANG D – INFORMATIONEN ZUM DATENSCHUTZ	76
	ANHANG E – EINWILLIGUNG ZUR FREIGABE DER VIDEOAUFZEICHNUNG	79
	ANHANG F – INTERRATERRELIABILITÄT DER KALIBRIERUNG	80
	ANHANG G – INTERRATERRELIABILITÄT DER AUSWERTUNG	81
	ANHANG H – DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE OHNE AUSREIßERKONTROLLE	82
11.	PUBLIKATIONSVERZEICHNIS	84
12.	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	85
13.	DANKSAGUNG	86

1. Einleitung

Das Zähneputzen ist eine wirksame Maßnahme, um bakterielle Plaque an den Zahnoberflächen und am Gingivarand zu entfernen und somit entzündliche Erkrankungen des Zahnfleisches und des Zahnhalteapparates vorzubeugen (Axelsson et al., 2004). Befragungsstudien zeigen, dass Zähneputzen von einem Großteil der Bevölkerung in Deutschland mindestens einmal täglich durchgeführt wird (Jordan & Micheelis, 2016) und von 71% mindestens zweimal (Zimmer & Lieding, 2014). Dennoch ist die Prävalenz der plaqueassoziierten Parodontalerkrankungen (Gingivitis & Parodontitis) in Deutschland und weltweit sehr hoch (Jordan & Micheelis, 2016; Kassebaum et al., 2014; Tonetti et al., 2017), was den Schluss nahe legt, dass den meisten Personen die Plaqueentfernung durch das Zähneputzen nicht effektiv zu gelingen scheint. Diverse Studien belegen, dass selbst nach bestmöglichem Putzen vor allem am Gingivarand nur wenige Stellen plaquefrei sind (z.B. Deinzer et al., 2021; Ebel et al., 2018; Harnacke et al., 2016).

Tatsächlich weisen videobasierte Beobachtungsstudien darauf hin, dass ein Fertigkeitendefizit beim Zähneputzen eine Ursache für mangelnde Plaqueentfernung sein könnte (z.B. Ebel et al., 2018). Dieses Fertigkeitendefizit besteht darin, dass Erwachsene häufig keine Putzsystematik aufweisen und dadurch nicht alle Zahnflächen erreichen. Auffällig dabei ist insbesondere die Vernachlässigung oraler Flächen (z.B. Deinzer et al., 2021; Macgregor & Rugg-Gunn, 1979).

Es ist daher wichtig, ein besseres Verständnis dafür zu erlangen, warum dieses Fertigkeitendefizit besteht. Dabei ist zunächst zu klären, ob es sich bei dem in bisherigen Studien beschriebenen, im Labor beobachteten Zahnputzverhalten um ein über die Zeit stabiles Verhalten handelt. Bei den bisherigen Studien handelt es sich nur um Querschnittsuntersuchungen, daher ist offen, ob der einmalig im Labor beobachtete Zahnputzvorgang auch auf das Zahnputzverhalten über die Zeit generalisierbar ist.

Hier setzt die vorliegende Arbeit an, indem sie prüft, ob die bisher in Beobachtungsstudien untersuchten Zahnputzverhaltensparameter (z.B. gesamte Zahnputzzeit, Verteilung der Zeit auf die erreichten Flächen, Sextanten und Putzbewegungen) über die Zeit stabil sind. Bevor jedoch über die Fragestellung, Methoden und Ergebnisse berichtet wird, erfolgt zunächst einleitend eine Darlegung der Prävalenz von Gingivitis und Parodontitis (siehe Kapitel 1.1), gefolgt von der Beschreibung der Studienlage zum Putzerfolg (siehe Kapitel 1.2) sowie der Befunde von

bisher beobachteten Zahnputzverhalten (siehe Kapitel 1.3). Abschließend erfolgt die Darstellung der bisherigen Erkenntnisse über die Stabilität des Zahnputzverhaltens (siehe Kapitel 1.4).

1.1 Prävalenz der parodontalen Erkrankungen

Parodontalerkrankungen wie die Gingivitis (Entzündung des Zahnfleisches) und die Parodontitis (Entzündung des Zahnhalteapparates) sind mit ihren einhergehenden Folgen ein weltweites Problem (Tonetti et al., 2017). Insbesondere die Gingivitis betrifft über 90% der Bevölkerung (Micheelis et al., 2006). Sie ist wiederum ein bedeutsamer Risikofaktor für die Parodontitis (Kurgan & Kantarci, 2018). Daher sind solch hohe Prävalenzen der Gingivitis mit Sorge zu betrachten. Bei der Parodontitis zeigt sich ein ebenfalls besorgniserregendes Bild: Während die Prävalenz der schweren Parodontitis weltweit zwischen 1990 und 2010 auf einem konstant hohen Niveau von 11,2 % (ca. 743 Millionen Erkrankte im Jahr 2010) stagnierte (Kassebaum et al., 2014), nahm die Prävalenz bis 2019 sogar auf 13,3% zu. Dadurch leiden, Stand 2019, 1,1 Milliarden Menschen an einer schweren Parodontitis (Chen et al., 2021). Folge der weitverbreiteten Parodontitis ist jedoch nicht nur der Zahnverlust mit einhergehender niedrigeren Lebensqualität, es sind zudem zahlreiche Zusammenhänge mit anderen systemischen Erkrankungen wie Demenz, Diabetes und kardiovaskulären Erkrankungen nachgewiesen (Ding et al., 2022; Genco & Sanz, 2020). Jedoch unterscheidet sich die Prävalenz der schweren Parodontitis in verschiedenen Ländern, wobei sich ein sozioökonomischer Gradient darstellt. Je höher das durchschnittliche Einkommen in einem Staat ist, desto weniger verbreitet ist die Parodontitis (Nazir et al., 2020). Dabei fällt Deutschland mit vergleichsweise hohen Prävalenzen auf. Im Rahmen der fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) zeigten unter den jüngeren Erwachsenen (35-44-Jährige) 8,2% eine schwere Parodontitis, bei den jüngeren Senioren (65-74-Jährige) sogar 19,8%. Zu ähnlichen Werten kam die SHIP-TREND-Studie bei Erwachsenen aus Vorpommern, wonach 16,6% der Erwachsenen an einer schweren Parodontitis litten (Teumer et al., 2013). Zwar hat sich die Lage im Vergleich zur vorangegangenen DMS IV (Micheelis et al., 2006) verbessert, insbesondere die Prävalenz der schweren Parodontitis hat sich in den Altersgruppen der jungen Erwachsenen und jüngeren Senioren in etwa halbiert (jüngere Erwachsene 2005: 17,4% und jüngere Senioren 2005: 44,1%). Doch die Prävalenz der moderaten Parodontitis bleibt auch in der DMS V hoch (jüngere Erwachsene 43,4% und jüngere Senioren

44,8%). Damit schneidet Deutschland im Vergleich mit anderen Industrienationen schlecht ab. Die Prävalenz der schweren Parodontitis liegt bei über 30-Jährigen in den USA beispielsweise bei nur 7,8% (Eke et al., 2018).

Es zeigt sich, dass parodontale Erkrankungen weit verbreitet sind und dass das moderne, überwiegend behandlungsorientierte zahnmedizinische Versorgungssystem nicht in der Lage ist, diesen effektiv vorzubeugen (Peres et al., 2019). Von daher ist es wichtig, einen größeren Fokus auf die Prävention von parodontalen Erkrankungen zu legen (Watt et al., 2019). Dies richtet den Blick auf das Zähneputzen, einem wesentlichen Faktor bei der Prävention parodontaler Erkrankungen.

1.2 Plaquekontrolle durch Zähneputzen

Da der dentale Biofilm die Hauptursache für Entzündungen des Zahnfleisches ist (Löe et al., 1965), welche zu einer Parodontitis führen kann, ist die regelmäßige und effektive Entfernung der dentalen Plaque die Grundlage für parodontale Gesundheit (Baehni, 2012; Sälzer et al., 2020). Die mechanische Entfernung dieser Plaque durch das Zähneputzen ist wirksam und geeignet zur Prävention parodontaler Erkrankungen. Dies zeigten Axelsson et al. (2004) in einer longitudinalen Studie bei der 257 Personen über 30 Jahre lang einen hohen Standard an häuslicher Mundhygiene an den Tag legten. Die Folge waren nur geringe Zeichen von Karies, Gingivitis und Parodontitis. Dementsprechend wies die Studiengruppe einen im Vergleich zur Durchschnittsbevölkerung sehr geringen Zahnverlust auf. Tatsächlich zeigen Befragungsstudien, dass sich auch ein Großteil der Menschen regelmäßig die Zähne putzt: 97% der Befragten in Deutschland geben an, mindestens einmal täglich zu putzen (Jordan & Micheelis, 2016) und über 70% sogar mindestens zweimal (Zimmer & Lieding, 2014). Dennoch ist die Prävalenz von parodontalen Erkrankungen (siehe Kapitel 1.1) sehr hoch. Offensichtlich bleibt der erwünschte Putzerfolg aus, eine effektive Plaqueentfernung scheint nicht zu gelingen. Wird also nicht richtig geputzt?

In der Tat zeigt eine Übersichtsarbeit von Weijden & Hioe (2005), dass Erwachsene mit Gingivitis nicht in der Lage sind, eine effektive häusliche Plaqueentfernung mit einer Handzahnbürste durchzuführen. In 33 eingeschlossenen Studien, die Proband*innen über mindestens sechs Monate beobachteten, zeigt sich, dass es hohe Baselinewerte für Plaque und gingivale Blutungen gibt, die eine nicht ausreichende Plaqueentfernung belegen. Auch nach einer Hygieneinstruktion und mindestens sechsmonatiger

Beobachtung zeigen sich eine signifikante, letztendlich aber geringe Reduktion von Plaque- und Gingivitiswerten, sodass Weijden & Hioe zu dem Fazit kommen: „Die selbstausgeführte mechanische Plaqueentfernung ist nicht ausreichend effektiv und sollte verbessert werden“(Weijden & Hioe, 2005).

Gleiche Schlüsse lassen sich aus Laborstudien ziehen, die Plaque direkt nach dem Zähneputzen beurteilen, wobei die Versuchspersonen in diesen Fällen im Labor wie gewöhnlich putzen sollten. So konnten De la Rosa et al. (1979) zeigen, dass ca. 60% der Plaque nach normalem Putzen auf den Zähnen verblieb. Auch neuere Studien finden hohe Plaquewerte nach gewöhnlichem Putzen: So lag der MPI nach Putzen bei 65% (Schmalz et al., 2018) und auch der TQHI bei Werten > 1.59 (Rosema et al., 2013). Doch auch wenn die Versuchspersonen nach bestem Vermögen ihre Zähne putzen sollten, zeigt sich nach dem Putzen nur ein geringes Ausmaß an Plaquefreiheit am Gingivarand. Dies zeigen mehrere Studien mit verschiedenen Studienpopulationen zahnmedizinischer Laien unterschiedlicher Bildungsniveaus, dargestellt in Tabelle 1.

Tabelle 1: Plaquewerte nach bestmöglichem Putzen

Studie	Stichprobe	MPI nach Putzen
Harnacke, Beldoch, et al., 2012	N=83 18-Jährige	>70%
Harnacke, Mitter, et al., 2012	N=56 Studierende	>68%
Harnacke et al., 2015, 2016	N=70 18-Jährige	83,3%
Deinzer et al., 2016	N=93 Festsitzender Zahnersatz	79,9%
Ebel et al., 2018	N=89 18-Jährige	69,5%
Petker et al., 2019	N=52 Studierende	39,7%
Weik et al., 2020	N=174 12-Jährige	50%
Deinzer et al., 2021	N=66 Erwachsene	68%

Diese Befunde aus Studien mit zahnmedizinischen Laien stehen jedoch in deutlichem Kontrast zu den Ergebnissen von Deinzer et al. (2017), die zeigten, dass zahnmedizinisches Personal (Zahnärzt*innen, Zahnmedizinstudierende und zahnmedizinisches Fachpersonal) Plaquefreiheit am Gingivarand nahezu erreichen können, wenn sie ihre Zähne bestmöglich putzten (MPI <10%, TQHI 0,63). In dieser Studie erreichte die Hälfte des Fachpersonals sogar Plaquefreiheit an 96% der Messstellen bei einem TQHI von 0.17.

Diese Ergebnisse führen zu der Frage, woran es liegt, dass zahnmedizinisch geschulte Personen scheinbar Plaquefreiheit erreichen können und Laien nicht? Fehlt es Laien an den notwendigen Fertigkeiten? Aufschluss darüber können womöglich Studien liefern, welche zahnmedizinische Laien beim Zähneputzen beobachtet haben. Diese werden im Folgenden erläutert.

1.3 Beobachtung des Zahnputzverhaltens

Macgregor & Rugg-Gunn konnten in den 1970ern in mehreren Studien, in denen sie das Zähneputzen von Versuchspersonen im Labor beobachteten, zeigen, dass Proband*innen die oralen Flächen stark vernachlässigen. Teils entfielen nur 2-10% der Putzzeit auf orale Flächen (Rugg-Gunn & Macgregor, 1978). Zudem zeigte sich das Putzverhalten als unsystematisch (Macgregor & Rugg-Gunn, 1979). Diese ersten Beobachtungsstudien sind in ihrer heutigen Aussagekraft jedoch begrenzt: Einerseits wurde damals die Plaque häufig nicht miterfasst und zudem hat sich das Zahnputzverhalten seitdem verändert. Beispielsweise putzen die 11-13-Jährigen damals im Durchschnitt nur 60 Sekunden ihre Zähne (Macgregor & Rugg-Gunn, 1979), wohingegen 12-Jährige heute in einigen Studien eine Zahnputzzeit von ca. 200 Sekunden aufweisen (Deinzer et al., 2019). Zudem hat seitdem die Zahl der Kinder und Jugendlichen, die mindestens einmal täglich die Zähne putzen, stark zugenommen. Insgesamt scheint sich seitdem eine Verbesserung des individuellen Mundhygieneverhaltens eingestellt zu haben (Honkala et al., 2015; Sogaard et al., 1991).

Trotz aller Unterschiede kommen neuere Beobachtungsstudien in wichtigen Punkten zu ähnlichen Befunden wie bereits Macgregor & Rugg-Gunn. Insbesondere zeigt sich weiterhin ein unsystematisches Putzen, eine Vernachlässigung der oralen Flächen und eine unzureichende Reinigung am Gingivarand. So ließen 80% der Grundschulkinder im

Alter zwischen fünf und acht Jahren orale Flächen aus, obwohl sie bestmöglich putzen sollten (Martignon et al., 2012). 55% der 12-Jährigen ließen beim Putzen mindestens einen ganzen Sextanten von oral aus (Deinzer et al., 2019) und 18-Jährige putzten zwar lange, vernachlässigten aber ebenfalls orale Flächen (Winterfeld et al., 2015). Die Diskrepanz zwischen Innen- und Außenflächen zeigten auch Eidenhardt et al. (2021): In ihrer Studie schaffte es keine der 15-Jährigen Versuchspersonen, alle oralen Sextanten suffizient zu erreichen, wohingegen aber über 90% der Studienteilnehmenden alle außenliegenden Sextanten suffizient putzten. Die Vernachlässigung oraler Flächen zeigt sich jedoch nicht nur bei Kindern und Jugendlichen. Auch Erwachsene putzen orale Flächen deutlich weniger und 29% der Erwachsenen erreichen nicht alle innenliegenden Sextanten (Deinzer et al., 2021). Diese Problematik zeigt sich unabhängig davon, ob mit einer elektrischen oder manuellen Zahnbürste geputzt wird (Ganss et al., 2018; Petker et al., 2019) und unabhängig von der Instruktion wie gewöhnlich oder bestmöglich zu putzen. Bei Putzen nach bestem Vermögen wird zwar insgesamt länger geputzt, aber diese zusätzliche Zeit wird hauptsächlich an okklusalen und vestibulären Flächen verbracht. Orale Flächen werden genauso vernachlässigt wie bei gewöhnlichem Putzen (Deinzer et al., 2018). Dass so häufig große Flächen insbesondere oral vernachlässigt werden, könnte daran liegen, dass nicht nach einem System geputzt wird. Nur 32% der Kinder zwischen sechs und zwölf Jahren putzen nach einem erkennbaren System (Sandström et al., 2011). Erwachsene putzen ebenfalls ohne systematische Putzsequenz wie sie in der zahnmedizinischen Literatur nach Wolf/Rateitschak (2012) empfohlen wird (Schlueter et al., 2010).

Der Einfluss der Bürstbewegungen bzw. der Bürsttechnik auf das Putzergebnis ist unklar. Eine Übersichtsarbeit (Rajwani et al., 2020), die 13 Studien (erschienen bis Mai 2018) zur Putztechnik und deren Auswirkungen auf Plaque und Gingivitis auswertet, kommt zu dem Ergebnis, dass sich wegen der großen Unterschiede in den Ergebnissen und Methoden der ausgewerteten Studien keine Zahnputztechnik als wirksamer erweist. Danach veröffentlichte und daher im oben genannten Review nicht berücksichtigte Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die Zahnputztechnik einen nur geringen Einfluss auf das Putzergebnis zu haben scheint (Ebel et al., 2018), auch wenn mehrere Studien einen leichten Zusammenhang zwischen kreisenden Bewegungen und geringeren Plaquewerten finden konnten (Ebel et al., 2018; Petker-Jung et al., 2022; Weik et al., 2020). Es wird zwar als Technik häufig eine horizontale Bürstbewegung beobachtet (z.B. Deinzer et al., 2018; Ebel et al., 2018; Weik et al., 2020), diese wird in der zahnärztlichen Literatur jedoch nicht empfohlen (Weber, 2017; Wolf et al., 2012). Dabei ist die Evidenz hinter dieser Empfehlung in der zahnärztlichen Literatur unklar (siehe Rajwani et al., 2020).

Zusammenfassend lässt sich aus den oben genannten Studien folgendes festhalten: Es wird unsystematisch geputzt, vor allem orale Flächen werden vernachlässigt. Häufig werden ganze Sextanten ausgelassen und offensichtlich wird der Gingivarand unzureichend gereinigt. Doch warum bestehen diese Defizite bei zahnmedizinischen Laien? Die Klärung dieser Frage scheint bedeutsam zu sein, um letztendlich Verbesserungen des Mundhygieneverhaltens zu erreichen. Doch dafür muss der Zahnputzvorgang als solches besser verstanden werden. Ein wichtiger Schritt hin zu diesem Verständnis ist die Frage, ob es sich bei dem Zahnputzvorgang um ein über die Zeit stabiles Verhalten handelt. Oben genannte Befunde stammen aus Querschnittsuntersuchungen. Es ist unklar, ob die dabei einmalig erfassten Parameter wie Dauer des Zahnputzvorganges, ausgedrückt in der Zahnkontaktzeit, die Dauer der erreichten Flächen und Sextanten und die Dauer der ausgeführten Bewegungen über die Zeit stabil sind. Auch wenn prinzipiell angenommen wird, dass es sich, wenn einmal erlernt, beim Zahnputzverhalten um ein stabiles Verhalten handelt, ist dies für die in den oben genannten Beobachtungsstudien erfassten Verhaltensparameter nicht abschließend dokumentiert. Dies wäre aber wichtig, denn wären diese Verhaltensparameter nicht stabil, müsste man, bevor man versucht das Zähneputzen zu verbessern, an der Stabilität ansetzen. Wäre es stabil, würden sich daraus Vor- aber auch Nachteile ergeben: Einerseits müssten falsche Muster mühsam umgelernt werden, andererseits ließen sich richtige Verhaltensmuster gut stabilisieren.

Hinsichtlich der Stabilität des Zahnputzverhaltens bzw. eines Zahnputzvorganges findet sich jedoch kaum Literatur, die dieser Frage explizit nachgeht. Teilweise beschäftigen sich Studien mit den genauen Bewegungsausführungen beim Zähneputzen, stellen nur theoretische Annahmen zur Stabilität an oder aber untersuchen lediglich die Stabilität der Häufigkeit des Zähneputzens. So gut wie keine Studien gehen der Frage nach, wie stabil die Zahnputzdauer insgesamt ist. Die Verteilung der Zeiten auf Flächen oder Bewegungen ist für Handzahnbursten nicht ausreichend auf Stabilität untersucht. Die wenigen Studien, die sich mit der Stabilität des Zähneputzens auseinandergesetzt haben, werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

1.4 Stabilität des Zahnputzverhaltens

Ein Gesundheitsverhalten gilt als umso stabiler, je früher es gelernt wird. Zudem ist es wahrscheinlicher, dass es auch in Zukunft ausgeführt wird, je regelmäßiger es ausgeführt wird. Die stabilsten Verhaltensweisen sind deshalb die, die man als Routine bezeichnen kann (Sutton, 1994). Diese Grundannahme für Gesundheitsverhalten scheint auch für das Zähneputzen zuzutreffen, welches als ein routiniertes Verhalten betrachtet werden kann (Aunger, 2007) und auch als Beispiel für routiniertes Gesundheitsverhalten aufgeführt wird (Åstrøm, 2004). Kinder fangen bereits sehr früh an, das Zähneputzen zu erlernen – gemäß Empfehlungen bereits ab einem Alter von zwei Jahren, wenn auch anfangs nur mit Unterstützung der Eltern (Berg et al., 2021). Aus diesen Aussagen lässt sich annehmen, dass es sich beim Zähneputzen im Erwachsenenalter um ein etabliertes, früh gelerntes und damit stabiles Verhalten handelt. Studien, die die Stabilität des Zähneputzens untersuchen, betrachten in diesem Kontext aber eher die Stabilität des gesamten Handlungsablaufs des Zähneputzens, beginnend mit Einzelschritten wie z.B. das Wasserhahn aufdrehen, gefolgt von der Befeuchtung der Bürste etc. (Aunger, 2007). Ein anderer Aspekt der häufig untersucht wird, betrifft die Frequenz des Zähneputzens, also wie häufig am Tag geputzt wird. So konnte Astrøm (2004) zeigen, dass die Häufigkeit des Zähneputzens (entweder weniger oder mehr als zweimal pro Tag) bei 15-Jährigen über acht Jahre lang stabil war, genau wie die Häufigkeit der Anwendung von Zahnseide. Bei 11-12-Jährigen war immerhin bei 55% die Häufigkeit des Putzens über einen Beobachtungszeitraum von 3,4 Jahren stabil. Kam es zu Veränderungen des Zahnputzverhaltens in diesem Zeitraum, war es in den überwiegenden Fällen eine Verbesserung (Tolvanen et al., 2010). Auch Raison et al. untersuchten das Zahnputzverhalten auf Automatisierung. Mittels Fragebögen wurde erfasst, wie automatisiert morgens und abends das Zähneputzen stattfindet und wie automatisiert die Interdentalhygiene ausgeführt wird. Dabei kamen die Autor*innen zu dem Schluss, dass das Zähneputzen morgens und abends von den meisten Menschen automatisiert, die Interdentalhygiene im Vergleich jedoch variabler ausgeführt wird (Raison et al., 2020). Doch auch wenn Raison et al. in ihrer Studie noch zwischen der Automatisierung, der Initiierung und der tatsächlichen Ausführung des Verhaltens unterschieden, können keine Aussagen darüber getroffen werden, wie genau das Zähneputzen stattfindet und ob dies in seinen Verhaltensparametern stabil ist. Genauso verhält es sich mit den anderen bereits aufgeführten Studien, da diese keinen Fokus auf wichtige charakterisierende Aspekte des Zahnputzvorgangs wie z.B. die Putzzeit und deren Verteilung auf Flächen, Sextanten und Bewegungen legen.

Ein anderer Aspekt, der bei der Analyse des Zahnputzverhaltens untersucht wurde, war die genaue Ausführung der einzelnen Zahnputzbewegung. Inada et al. (2015) untersuchten kreisende Zahnputzbewegungen und zeigten, dass die Frequenz (hier die Geschwindigkeit der zyklischen Bewegungsabläufe) und Gelenkwinkel an Ellbogen und Handgelenk intraindividuell stabil waren. Dazu putzten ausgebildete Dentalhygienikerinnen ihre Molaren für jeweils 15 Sekunden kreisend, wobei ihre Bewegungen mittels eines 3D-Motion-Tracking-Systems erfasst wurden. Die Autor*innen kommen dabei zu dem Schluss, dass Zahnputzbewegungen als klassische zyklische Bewegungen des Menschen betrachtet werden können. Solche zyklischen Bewegungen laufen in der Regel unbewusst und automatisiert ab (Witte, 2018). Diese automatisierten Bewegungsabläufe werden in ihrer Ausführung als hoch stabil betrachtet. Als Beispiel wird hier oft das Schreiben herangezogen (Odersky, 2018). Insbesondere der Vergleich mit dem Schreiben ist interessant, da hier eine ähnliche Handmotorik wie beim Zähneputzen die Grundlage ist. So korreliert auch der Erfolg des Zähneputzens mit dem Erlernen der flüssigen Handschrift (Kerr et al., 2019). Die Handschrift ist intraindividuell sogar so stabil, dass eine Unterschrift zur biometrischen Identifikation genutzt werden kann (Guest, 2004). Aus diesen Erkenntnissen lässt sich das Fazit ziehen, dass eine einzelne Zahnputzbewegung motorisch hochautomatisiert und damit stabil abläuft. Genauso scheint das insgesamt Zahnputzverhalten, also wie oft am Tag und unter welchen Bedingungen geputzt wird, über Jahre zur Routine entwickelt zu werden und erscheint damit in der Häufigkeit der Ausführung ebenfalls stabil. Doch von der Häufigkeit des Putzens und der stabilen Ausführung einer einzelnen Zahnputzbewegung (z.B. einer einzelnen kreisenden Bewegung) kann nicht auf die Stabilität des gesamten Zahnputzvorgangs geschlossen werden, da dieser sich aus einer Abfolge aus vielen hunderten aufeinanderfolgenden Bewegungen zusammensetzt. Dazu gibt es bisher aber kaum Studien.

Kleber et al. (1981) untersuchten Kinder im Abstand von fünf Wochen dreimal in Hinblick auf die Frage, ob verschiedene Zahnpasten Einfluss auf die Zahnputzdauer und erreichten Flächen haben. Dabei konnten sie keine signifikanten Unterschiede in der Putzdauer und der Häufigkeit, welche Flächen erreicht wurden, feststellen. Dies spricht auch eher für ein stabiles Zahnputzverhalten. Jedoch zeigten sich bei dieser Studie einige Limitationen: Einerseits putzten die Kinder durchschnittlich nur 54 Sekunden, was wie bereits in Kapitel 1.3 beschrieben im Vergleich zu heute kurz ist und auf ein seit den 80er Jahren verändertes Zahnputzverhalten hindeutet. Zudem wurden in der Studie von Kleber et al. nur wenige, den Zahnputzvorgang akkurat beschreibende Verhaltensaspekte, untersucht.

Eine Studie, die durch Videobeobachtung tatsächlich eine genauere Beschreibung des Zahnputzverhaltens erlaubt und das Putzverhalten zwischen elektrischen und manuellen Zahnbürsten vergleicht, stammt von Ganss et al. (2018). Die Autor*innen kamen zu dem Schluss, dass sich die Bewegungsmuster einer Person beim Putzen mit beiden Bürsten ähnelten. So zeigte sich bei der Betrachtung der Häufigkeit der Flächenwechsel eine signifikante, moderate Korrelation. Hinsichtlich der Putzbewegungen ergaben sich ebenfalls signifikante, moderate Korrelationen für horizontale und kreisende Putzbewegungen bei denjenigen Proband*innen, die auch mit der elektrischen Bürste überwiegend aktive Putzbewegungen ausgeführt haben. Diese Studie weist von daher auf eine gewisse Stabilität des Zahnputzverhaltens hin, erlaubt aber von der Methodik keine abschließende Beurteilung. So wurden hier u.A. verschiedene Zahnbürsttypen untersucht. Zudem fand die Untersuchung an einem Tag statt und zwischen den beiden Zahnputzvorgängen lagen nur wenige Minuten. Eine Aussage, ob das Verhalten damit auch über die Zeit stabil ist, lässt sich somit nicht ableiten.

Hier setzt die vorliegende Studie an, indem sie mit zeitlichem Abstand untersucht, wie stabil sich die Parameter des Zahnputzvorgangs, also die Zahnkontaktzeit insgesamt, die Verteilung der Zeit auf die einzelnen Flächen (Außen,- Kau- und Innenflächen) und Sextanten sowie auf die ausgeführte Zahnputzbewegungen (horizontal, vertikal und kreisend) verhalten.

1.5 Zusammenfassung und Ableitung der Fragestellung

Die Prävalenz parodontaler Erkrankungen ist weltweit und auch in Deutschland sehr hoch, obwohl Zähneputzen eine geeignete Maßnahme zur Plaqueentfernung und damit zur Prävention ist. Da zudem häufig und regelmäßig geputzt wird, steht ein Fertigkeitendefizit beim Zähneputzen im Raum. Beobachtungsstudien zeigen, dass hohe Plaquewerte auf eine ungleichmäßige Verteilung der Zahnputzzeit auf die Flächen, insbesondere die Innenflächen, zurückzuführen sein könnten. Doch bisher ist völlig unklar, ob dieses im Labor einmalig beobachtete Verhalten zeitlich stabil ist. Lässt sich aus der Laborbeobachtung überhaupt auf das Verhalten auf längere Zeit generalisieren? Um hierzu erste Daten zu erhalten, werden Proband*innen im Abstand von 14 Tagen zweimal beim Zähneputzen im Labor beobachtet. Dabei werden Parameter untersucht, die mit hoher Objektivität erfassbar sind und in der bisherigen Forschung (siehe Kapitel 1.3) als diejenigen identifiziert wurden, die sich besonders gut zur Beschreibung eines Zahnputzvorganges eignen. Da in der bisherigen Forschung das Zahnputzverhalten

sowohl nach der Instruktion „wie üblich“ zu putzen untersucht wurde, als auch nach der Instruktion „so gut wie möglich“ zu putzen, soll auch in dieser Studie für beide Instruktionsvarianten den folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

Wie stabil sind Parameter des Zahnputzvorgangs bei wiederholter Beobachtung im Abstand von zwei Wochen unter der Instruktion „wie üblich“ zu putzen und unter der Instruktion „so gut wie möglich“ zu putzen? Als Parameter werden erfasst:

- a. Gesamtzahnkontaktzeit (ZKZ)
- b. Prozentuale Verteilung der ZKZ auf okklusale, vestibuläre und orale Flächen.
- c. Prozentualer Anteil mit welchem kreisend an Außenflächen und vertikal an Innenflächen geputzt wird.
- d. Die Vollständigkeit der Sextanten mit der die Außenflächen und die Innenflächen geputzt wurden (QIT-S).

Geprüft wird für jeden dieser Parameter unter jeder der Instruktionsbedingungen die Hypothese, dass er sich als stabil erweist.

2. Material und Methodik

Die vorliegende Studie ist als experimentelle Grundlagenforschung angelegt, in deren Rahmen unterschiedliche Fragestellungen zu verschiedenen Aspekten des Zahnputzvorgangs in verschiedenen Qualifikationsarbeiten bearbeitet werden. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Untersuchung der Stabilität eines Zahnputzvorgangs, bezogen auf verschiedene Zahnputzverhaltensparameter über die Zeit unter Betrachtung von zwei verschiedene Putzbedingungen mit unterschiedlichen Putzinstruktionen.

Dazu wurde im Zeitraum von April 2019 bis Juli 2019 in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Psychologie der Phillips-Universität Marburg (Frau Dr. Jutta Margraf-Stiksrud) und der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik der Justus-Liebig-Universität Gießen (Herr Prof. Dr. Bernd Wöstmann) am Institut für Medizinische Psychologie (IMP) der Justus-Liebig-Universität Gießen das Zahnputzverhalten von Studierenden beobachtet. Die Untersuchung der Versuchspersonen fand an zwei Terminen im Abstand von je zwei Wochen statt. Das Zahnputzverhalten wurde bei beiden Terminen mit Videokameras aufgenommen und videobasiert ausgewertet, wobei die Versuchspersonen randomisiert auf zwei verschiedene Instruktionsgruppen verteilt wurden. Eine Gruppe erhielt die Instruktion ihre Zähne wie üblich zu putzen, die andere Gruppe wurde instruiert ihre Zähne nach besten Vermögen zu putzen. Wie im vorherigen Kapitel dargelegt, wird die Hypothese überprüft, dass sich die beobachteten und analysierten Zahnputzparameter als über die Zeit (Termin 1 zu Termin 2) stabil zeigen und dies unter beiden Putzinstruktionsbedingungen der Fall ist.

2.1 Ethik und Datenschutz

Die Ethikkommission des Fachbereiches Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen genehmigte das Studienprotokoll am 23.01.2019 unter dem Aktenzeichen 254/18. Für die Proband*innen bestanden keine gesundheitlichen Risiken. Durch den Zahnputzvorgang oder die zahnärztliche Untersuchung eventuell auftretende Irritation der Gingiva sind in der Regel vollständig und ohne (zahn-)ärztliche Behandlung reversibel. Die Probandenaufklärung erfolgte vor Beginn der Untersuchung und alle Proband*innen gaben ihr schriftliches Einverständnis (siehe Anhang C & D). Außerdem

wurden sie darüber informiert, dass sie jederzeit und ohne Konsequenzen die Teilnahme an der Studie widerrufen können. Die Proband*innen und damit sämtliche erhobenen Daten wurden mit individuellen Zahlencodes pseudonymisiert. Die Zuordnung der Zahlencodes zu Personennamen wurden verschlossen und getrennt von den erhobenen Proband*innendaten aufbewahrt.

2.2 Stichprobe

Im Folgenden wird die in der Studie untersuchte Stichprobe mit ihren Ein- und Ausschlusskriterien sowie der Ablauf der Rekrutierung beschrieben.

2.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

In die Studie wurden nur Studierende aus der Region Gießen aufgenommen, welche im Alter zwischen 18 und 35 Jahren waren, da einerseits in dieser Altersgruppe die Prävalenz parodontaler Erkrankungen noch gering ist und andererseits die Studienpopulation vergleichbar ist mit vorangegangenen Beobachtungsstudien (z.B. Petker et al., 2019). Da die Untersuchung sich auf das Zähneputzen mit einer manuellen Zahnbürste fokussiert, wurden nur Versuchspersonen eingeschlossen, die innerhalb der letzten sechs Monaten überwiegend mit einer Handzahnbürste ihre Zähne putzten. Eine überwiegende Nutzung der Handzahnbürste wurde festgestellt, wenn die Probanden angaben, mehr als 2/3 aller Putzvorgänge mit einer Handzahnbürste durchzuführen.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Zahnmedizinstudierende sowie Studierende der Humanmedizin, da anzunehmen ist, dass bei ihnen ein zu großes Vorwissen über bereits stattgefundenen Beobachtungsstudien und die dabei angewandten Methoden vorliegt. Darüber hinaus kamen weitere Ausschlusskriterien zum Tragen, die im Folgenden dargelegt und erläutert werden: Schwangere oder stillende Frauen wurden ausgeschlossen, da bei ihnen vermehrt gingivale Entzündungen durch hormonelle Einflüsse vorliegen können. Ebenfalls ausgeschlossen wurden alle Personen, die festsitzende kieferorthopädische Apparaturen, herausnehmbaren Zahnersatz, Zahnschmuck oder orale Piercings tragen, da diese Auswirkungen auf die Putzleistung haben könnten. Lag eine körperliche Einschränkung vor, die die Ausübung der Mundhygiene erschwert (z.B. Hand- oder Schulterverletzungen), wurden die Versuchspersonen ebenfalls ausgeschlossen. Um sicherzustellen, dass die

Zusammensetzung der Plaque der Versuchspersonen nicht durch die Einnahme von systemisch wirkenden Antibiotika beeinflusst wurde, wurden Versuchspersonen nicht in die Studie aufgenommen, wenn eine Einnahme in den letzten drei Monaten erfolgte. Eine zurückliegende professionelle Zahnreinigung im Zeitraum von vier Monaten vor dem ersten Untersuchungstermin schloss eine Teilnahme an der Studie aus, da hier von Auswirkungen auf die Hygieneparameter (z.B. verminderte gingivale Entzündungen) der Versuchspersonen auszugehen ist.

2.2.2 Rekrutierung

Die Rekrutierung der Versuchspersonen erfolgte per Anzeige in einem regionalen online-Magazin (Gießener Express) und per E-Mail über einen E-Mailverteiler des Hochschulrechenzentrums, über welchen nahezu alle Studierende der Justus-Liebig-Universität erreicht werden konnten. Diese Rekrutierungsmail (siehe Anhang A) enthielt kurze Informationen über den Ablauf der Studie sowie eine grobe Auflistung der Ausschlusskriterien und wurde im Abstand von zwei bis drei Wochen verschickt, bis das Rekrutierungsziel erreicht wurde. Die Berechnung des Rekrutierungsziel erfolgte mittels des Analyseprogramms G*Power (Faul et al., 2009). Das Rekrutierungsziel basiert auf einer Kalkulation der Stichprobengröße, welche sich aus einer anderen Fragestellung ergibt (Auswirkungen der Putzinstruktion auf Putzverhalten bzw. Putzerfolg), die nicht im Fokus der vorliegenden Dissertation liegt (siehe Weik et al., 2023). Unter Zugrundelegung eines Signifikanzniveaus von $\alpha = 5\%$, einer Testpower von $1 - \beta = 80\%$ sowie aufgrund einer Voruntersuchung zu erwartenden mittleren Effektstärken ergab die Berechnung eine Stichprobengröße von mind. 102 Personen. Als Rekrutierungsziel wurde diese Größe etwas erhöht und eine Stichprobengröße von 110 angesetzt. Für die in der vorliegenden Dissertation zu klärende Fragestellung nach der Stabilität des Putzverhaltens erlaubt diese Stichprobengröße die Entdeckung von Korrelationen von $\rho > 0,72$ mit $\alpha = 0,05$ und einer Power von $1 - \beta = 0,80$.

Im folgenden Flowdiagramm (siehe Abbildung 1) werden alle Ausschlüsse und Zuordnungen zu den Versuchsbedingungen im Rekrutierungs- und Studienverlauf dargestellt.

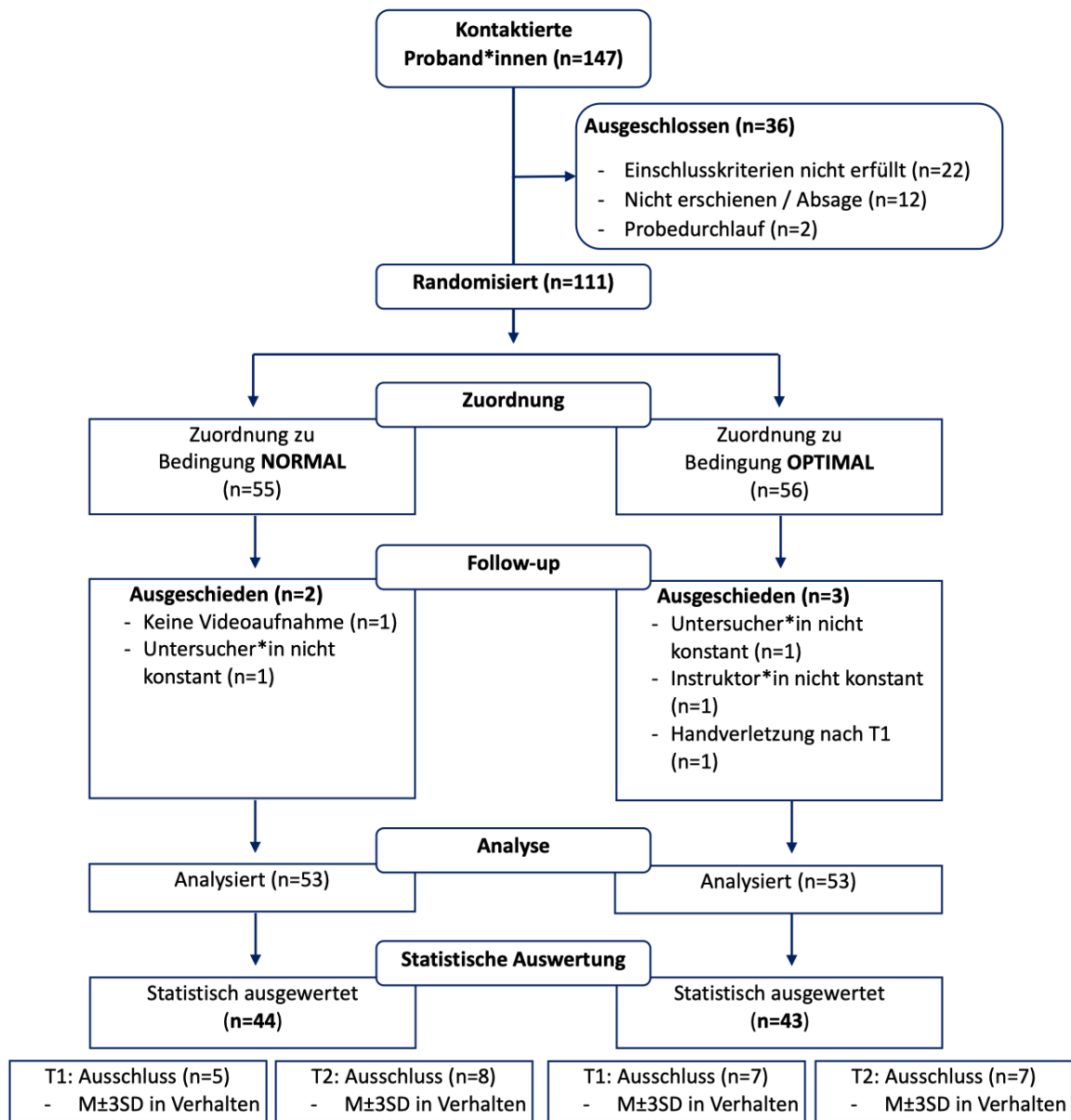


Abbildung 1 Flowdiagramm des Rekrutierungs- und Studienverlaufs

2.2.3 Soziodemographische Parameter

Um die beiden Untersuchungsgruppen vergleichen zu können, wurden soziodemographische Parameter wie Alter und Geschlecht der Proband*innen erfasst. Die Zusammensetzung der Stichprobe ist in Kapitel 3.1 genauer dargestellt.

2.3 Versuchsablauf

Interessierte Studienteilnehmer*innen meldeten sich im Forschungssekretariat des Instituts für Medizinische Psychologie per E-Mail oder telefonisch und übermittelten dadurch eine Kontakttelefonnummer. Daraufhin wurden sie von einer/m geschulten Projektmitarbeiter*in (D.B. oder M.S.) zurückgerufen und über den Ablauf der Studie informiert. Anschließend wurden die Ein- und Ausschlusskriterien (siehe Kapitel 2.2.1) mittels Checkliste abgefragt (siehe Anhang B). Konnten die Proband*innen in die Studie aufgenommen werden, erfolgte eine Terminvereinbarung für zwei Untersuchungstermine im Abstand von zwei Wochen. Jeweils am Tag vor diesen beiden Untersuchungsterminen wurden die Proband*innen entweder per E-Mail oder Messengerdienst/SMS nochmals an die Einhaltung der Termine erinnert.

Die Datenerhebung an den beiden Untersuchungsterminen fand in den Laborräumen des Instituts für Medizinische Psychologie (IMP) der Justus-Liebig-Universität statt. Im Folgenden wird der Versuchsablauf für den ersten Untersuchungstermin beschrieben, der bis auf wenige Ausnahmen identisch zum Ablauf des zweiten Untersuchungstermins war. Die Aspekte, in welchen sich der zweite Untersuchungstermin vom ersten Termin unterschieden, werden im Anschluss dargelegt.

2.3.1 Untersuchungstermin 1

Nach Ankunft der Proband*innen in den Laborräumen des IMPs wurden diese von einem Mitglied der Versuchsleitung (D.B. oder P.H.) begrüßt und in einen neutralen Untersuchungsraum geführt, welcher lediglich mit einem Tisch und zwei Stühlen ausgestattet war. Dort erfolgte zur Absicherung eine erneute Abklärung der Ein- bzw. Ausschlusskriterien sowie eine detaillierte mündliche sowie schriftliche Aufklärung über die Studienteilnahme. Anschließend unterschrieben die Versuchspersonen die Einwilligungserklärung.

Danach wurden die Proband*innen durch den Versuchsleiter in den Untersuchungsraum geführt, in welchem die zahnmedizinischen Parameter an einem Behandlungsstuhl erhoben wurden. Dort wurden sie vom zahnmedizinischen Untersucher T.S. (Autor der vorliegenden Dissertation) oder P. H. untersucht.

Zahnmedizinische Datenerhebung Teil 1:

Der erste Teil der Untersuchung bestand aus der Erfassung des Zahnstatus und der gingivalen Blutungsneigung (siehe Kapitel 2.5). Daraufhin erfolgte die am ersten Untersuchungstermin lediglich vorgetäuschte Messung der Plaque (siehe Kapitel 2.4). Hierbei assistierte der Versuchsleiter dem Zahnarzt, indem er die vom Zahnarzt erhobenen und angesagten Werte in die Dokumentationssoftware (Multizentrische Dokumentation (MZD), bereitgestellt von der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik der Justus-Liebig-Universität Gießen) eintrug, wobei es sich bei der vorgetäuschten Plaquemessung um erfundene Werte des Zahnarztes handelte. Nach Abschluss dieses ersten Teils der zahnmedizinischen Untersuchung führte die Versuchsleitung die Versuchsperson in den Beobachtungsraum, in welchem der Zahnputzvorgang durchgeführt und per Video aufgezeichnet wurde.

Videoaufzeichnung des Zahnputzvorgangs:

Für die Durchführung des Zahnputzvorgangs übernahm dann eine weitere an der Versuchsdurchführung beteiligte Person (A.R.) die Versuchsleitung. Dieser stellte sich kurz vor und führte die Versuchsperson durch einen Vorraum, in welchem sich der Beobachterarbeitsplatz befand, zu dem im Beobachtungsraum stehenden Waschbecken. Hinter dem Waschbecken stand auf einem Stativ ein Tablet-Computer, welcher als primäre Beobachtungskamera genutzt wurde und der Versuchsperson gleichzeitig als Spiegel diente, indem das Vorschaubild der Kamera auf dem Display angezeigt wurde. Zwei weitere Kameras befanden sich in zwei gegenüberliegenden Ecken des Raumes, sodass der Zahnputzvorgang auch aus einer leicht seitlichen Perspektive aufgezeichnet werden konnte. Nachdem die Aufzeichnung über die Seitenkameras gestartet wurde, positionierte die Versuchsleitung die Versuchsperson vor der Tablet-Kamera. Eine Markierung auf dem Boden zeigte dabei die richtige Position an. A.R. erklärte den Ablauf der Videoaufnahme und wies dabei auf die auf einem Tisch bereitgestellten Mundhygienemittel (Zahnbürste: Elmex InterX, Zahnpasta: Elmex Kariesschutz, gewachste Zahnseide: Elmex, ungewachste Zahnseide: Oral B, Superfloss: Oral B, Interdentalbürstchen Elmex, Interdentalsticks: TePe Easypick) hin. Er bat die Versuchsperson noch nicht mit dem Reinigen der Zähne zu beginnen, sondern zu warten, bis die Instruktion von außerhalb des Raumes über die Gegensprechanlage gegeben werde. Er stellte dann die Höhe des Tabletstativs passend für die Versuchsperson ein und startete die Videoaufnahme am Tablet-Computer. Vor Verlassen des Raumes gab die Versuchsleitung mittels einer Taschenlampe ein kurzes Ton- und Lichtsignal, welches der späteren Synchronisation der nun drei laufenden Videoaufzeichnungen diente. Über die Bildschirme des Beobachterarbeitsplatzes im

Vorraum richtete er dann die Raumkameras mittels Fernsteuerung aus und testete die Kommunikation über die Gegensprechanlage. Danach erfolgte die Instruktion. Für die Gruppe der normal Putzenden lautete diese: „Putzen Sie Ihre Zähne wie gewöhnlich. Nehmen Sie sich dafür was Sie brauchen.“ Für die Gruppe der optimal Putzenden lautete diese: „Reinigen Sie sich bitte Ihre Zähne so gründlich wie möglich, so dass sie danach ganz sauber sind! Nehmen Sie sich dafür was Sie brauchen“. Die Versuchspersonen nahmen dann die Zahnbürste aus ihrer Verpackung, dosierten die Zahnpasta und begannen mit dem Putzen. Die Proband*innen konnten selbst entscheiden, ob und wenn ja wann und welche der bereitgestellten Artikel sie zur Interdentalhygiene nutzten. Sie meldeten sich bei der Versuchsleitung, sobald sie mit dem Reinigen der Zähne fertig waren. Die Versuchsleitung stoppte dann die Aufnahme und führte die Versuchsperson für den zweiten Teil der zahnmedizinischen Datenerhebung zurück in den Untersuchungsraum.

Zahnmedizinische Datenerhebung Teil 2:

Im Untersuchungsraum fand nun der zweite Teil der zahnmedizinischen Datenerhebung statt. Hier wurde erneut eine Plaquemessung vorgetäuscht (siehe Kapitel 2.4) und im Anschluss daran der Parodontalstatus (siehe Kapitel 2.5) erhoben. Nach Abschluss der Datenerfassung wurde die Versuchsperson zurück in den neutralen Untersuchungsraum geführt, in welchem auch die Begrüßung stattgefunden hat. Dort beantwortete sie über einen Tablet-Computer noch einen online-Fragebogen zur Selbsteinschätzung des Putzerfolges. Dieser Fragebogen ist für die vorliegende Arbeit jedoch nicht von Bedeutung. Abschließend wurde sie verabschiedet und an den nächsten Termin in zwei Wochen erinnert.

2.3.2 Untersuchungstermin 2

Der Ablauf des zweiten Untersuchungstages unterschied sich von dem gerade genannten Ablauf nur in wenigen Punkten. Auf eine erneute Aufklärung der Versuchspersonen konnte verzichtet werden, da diese vollumfänglich am ersten Termin stattgefunden hat. Am zweiten Untersuchungstag erfolgte vor und nach dem Zahnputzvorgang eine echte (statt einer vorgetäuschten) Plaquemessung durch Anfärben der Plaque und nachfolgende Erhebung eines Plaquescores (siehe Kapitel 2.5). Auf eine erneute Messung des Parodontalstatus nach dem Zähneputzen wurde verzichtet. Nach der Versuchsdurchführung wurden die Probanden gefragt, ob ihre Videoaufnahmen in anonymisierter Form bei wissenschaftlichen Vorträgen oder in

Publikationen verwendet werden dürfen und ihr Einverständnis dokumentiert (siehe Anhang E). Anschließend erhielten sie ihre Aufwandsentschädigung, deren Empfang sie schriftlich bestätigten.

2.4 Maßnahmen zur Kontrolle potentieller Störvariablen

In diesem Kapitel sollen zunächst verschiedene Maßnahmen zur Kontrolle potentieller Störvariablen beschrieben werden, welche in der vorliegenden Arbeit zum Tragen kamen, bevor im nächsten Kapitel das genaue Vorgehen bei der Erhebung der klinischen Daten sowie der Zahnputzverhaltensparameter erläutert wird.

2.4.1 Randomisierte Probandenzuordnung

Die Versuchspersonen wurden randomisiert den zwei unterschiedlichen Instruktionsgruppen zugeteilt. Eine Gruppe bekam die Instruktion, die Zähne so gründlich wie möglich zu putzen, die andere Gruppe sollte ihre Zähne wie gewöhnlich putzen. Die Randomisierung wurde von einer Person durchgeführt, die nicht an der Erhebung der zahnmedizinischen Parameter beteiligt war. Zur Randomisierung wurden blickdichte Boxen stratifiziert nach Geschlecht mit gleich vielen Losen je Instruktion befüllt. Vor Beginn jeder Untersuchung wurde in einem separaten Raum ein Los gezogen, welches über die Zuordnung der Putzinstruktion entschied.

2.4.2 Standardisierter Versuchsablauf an beiden Untersuchungsterminen

Um einen standardisierten Versuchsablauf zu erreichen, wurden mehrere Maßnahmen ergriffen. Im Vorfeld der Untersuchung wurde der Versuchsablauf von allen an der Versuchsdurchführung beteiligten Personen trainiert. Dies umfasste schriftliche Ablaufpläne und mehrere Testläufe mit Probeversuchspersonen, die unter Beobachtung der Institutsleitung abgenommen wurden. Erst nach ausreichender Sicherheit in der Versuchsdurchführung wurde von Seiten der Institutsleitung der Beginn der Studie

freigegeben. Während der laufenden Untersuchung dienten die schriftlichen Ablaufpläne als Checkliste und Instruktionen an die Versuchspersonen wurden vorgelesen.

2.4.3 Konstanthalten der Versuchsleitung

Da die Fragestellung dieser Studie auf die Stabilität des Zahnputzvorganges abzielt, war es wichtig, an den beiden Untersuchungsterminen einen identischen Versuchsablauf zu gewährleisten. Deshalb wurde darauf geachtet, dass für die Versuchspersonen an beiden Untersuchungsterminen die gleichen versuchsdurchführenden Personen anwesend waren. Dies gelang in drei Fällen jedoch nicht, sodass diese Proband*innen von der Analyse ausgeschlossen wurden (siehe Abbildung 1 Flowdiagramm des Rekrutierungs- und Studienverlaufs“).

2.4.4 Verblindung

Zur Vermeidung von Rosenthaleffekten waren die Zahnärzte, welche die zahnmedizinischen Datenerhebung durchführten, gegenüber der randomisierten Gruppeneinteilung (Putzinstruktion) verblindet. Die Proband*innen wurden entsprechend instruiert, dass sie gegenüber den Zahnärzten die ihnen gegebene Putzinstruktion nicht äußern dürfen. Für die spätere Auswertung der Videoaufnahmen wurde darauf geachtet, dass alle Videos vor der Auswertung von einer an der Auswertung unbeteiligten Person so geschnitten wurden, dass die gegebene Instruktion nicht auf den Videos zu hören war. Dadurch wurde gewährleistet, dass auch die Videoauswerter*innen gegenüber der Instruktion verblindet waren. Ebenfalls wurde darauf geachtet, dass die Videoauswerter*innen gegenüber den Ergebnissen der zahnmedizinischen Untersuchung verblindet waren. Zwei der Untersucher*innen (P.H. & T.S.) waren jedoch sowohl an der Erhebung der klinischen Parameter als auch an der Videoauswertung beteiligt. Hier wurde versucht die Verblindung so gut wie möglich zu halten, indem zwischen klinischer Untersuchung und Videoauswertung ein zeitlicher Unterschied von sechs bis acht Wochen lag, damit diese sich nicht mehr an einzelne Ergebnisse der klinischen Untersuchung erinnerten.

Zur Vermeidung von Hawthorne-Effekten erfolgte eine Verblindung für die Proband*innen gegenüber der Fragestellung. Im gesamten Versuchsablauf wurde darauf geachtet, keine Namen der untersuchten Indizes zu nennen, um den Versuchspersonen keinen Aufschluss über ihren Mundhygienestatus zu ermöglichen. Da zur Beurteilung der Plaque ein deutlich sichtbarer Plaquerelevator (Mira-2-Ton)

verwendet wurde, bestand die Gefahr, dass die Proband*innen auf dem Bildschirm des Tablet-Computers, mit dem die Videoaufzeichnung des Zahnputzvorgangs erfolgte und welcher gleichzeitig als Spiegel während des Putzvorgangs diente, die noch angefärbte Plaque sehen und ihre eigene Zahnputzleistung hätten beurteilen können. Dies hätte zu einer Veränderung des Zahnputzverhaltens führen können. Von daher wurde der Tabletbildschirm mit einer roten Folie überklebt, welche die sichtbaren Anfärbungen des Plaquerelevators überdeckte und somit den Proband*innen keine Möglichkeit der Selbsteinschätzung des Zahnputzvorgangs gab. Zudem wurden alle Spiegel im Untersuchungsbereich entfernt.

2.4.5 Plaquemessung am ersten Untersuchungstermin

Um zu verhindern, dass die Proband*innen ihre Putzleistung nach dem ersten Untersuchungstermin nicht aufgrund noch vorhandener Plaqueanfärbung selbst einsehen konnten, was möglicherweise zu einem anderen Putzverhalten während des zweiten Untersuchungstermins geführt hätte, wurde am ersten Termin eine vorgetäuschte Plaquemessung vorgenommen. Hierzu hat der untersuchende Zahnarzt mittels eines Schaumstoffpellets Wasser als vorgetäuschte fluoreszierende Indikatorlösung auf die Zähne aufgetragen und anschließend mittels einer Stirnlampe mit Rotlicht die Zähne untersucht, um den Eindruck einer Fluoreszenzmessung zu erwecken. Dabei diktierte der Zahnarzt der bei der Datenerhebung beteiligten Assistenz fiktive Werte (entsprechend der Indizes zwischen 0 und 5). Da der Versuchsablauf an beiden Tagen aus Sicht der Proband*innen möglichst identisch ablaufen sollte, war es keine Option, die Plaquemessung am ersten Untersuchungstermin ausfallen zu lassen.

2.5 Klinische Parameter

Die Erfassung der klinischen Parameter erfolgte durch zwei kalibrierte Zahnärzte (T.S. und P.H.) (siehe Kapitel 2.5.1), wobei in den meisten Fällen einer der beiden Zahnärzte den anderen bei der Untersuchung unterstützte, indem er als Assistenz die Dokumentation der Daten übernahm. In einigen wenigen Fällen assistierte zudem [D.B.] den Zahnärzten. Die Dokumentation erfolgte mittels einer speziell für diese Studie angepassten Software (Multizentrische Dokumentation (MZD)) der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik der Justus-Liebig-Universität Gießen. Im Folgenden wird zunächst das Vorgehen bei der Kalibrierung beschrieben bevor dann die einzelnen zahnmedizinischen Parameter und das Vorgehen bei ihrer Erhebung erläutert werden.

2.5.1 Kalibrierung

Die Kalibrierung der beteiligten Zahnärzte (T.S., P.H. und A.R.) erfolgte vor Beginn der Durchführung der Studie im Zeitraum Januar bis Februar 2019 an Zahnmedizinstudierenden, die dafür aus vorklinischen Semestern rekrutiert wurden. Referenz für die Kalibrierung war ein Zahnarzt (W.P.), der durch vorangegangene Studien des Institutes für Medizinische Psychologie in der Erhebung der Indizes bereits selbst kalibriert und geübt war. Kriterium für eine erfolgreiche Kalibrierung mit diesem Referenzzahnarzt war eine exakte Übereinstimmung von >90% aller Messstellen bei jedem der untersuchten und nachfolgend beschriebenen Indizes bei jeweils fünf aufeinanderfolgenden Kalibrierungsprobanden. In den maximal 10% aller Messstellen, bei denen die Untersucher nicht zum selben Score kamen, durften sie niemals mehr als einen Score auseinanderliegen. Für den Zahnstatus wurden dabei alle Zähne einer Versuchsperson nacheinander dahingehend befundet, ob sie gesund, kariös, gefüllt oder überkront waren und ob Zahnstein vorhanden war oder nicht. Die Befunde wurden notiert und im Anschluss verglichen. Die Erfassung der Entzündungsparameter (Papillenblutungsindex [PBI], Parodontaler Screening Index [PSI]) erfolgte quadrantenweise sowohl oral als auch vestibulär.

Um eine übermäßige Reizung des Zahnfleisches zu verhindern, erfolgte die Kalibrierung zur Erfassung des PBIs so, dass die Papille nur einmal ausgestrichen wurde und dann von beiden zu kalibrierenden Zahnärzten der PBI parallel erhoben wurde. Damit in der Untersuchung alle Zahnärzte die Gingiva mit selber Kraft ausstreichen, kalibrierten sich die Zahnärzte vor jedem Untersuchungstag mit Hilfe einer Briefwaage, an der sie die korrekte Kraftanwendung mit der Parodontalsonde übten. So wurden die Papillen von der Basis zur Spitze mit möglichst gleicher Kraft (ca. 0,25N) ausgestrichen.

Die Kalibrierung der Plaqueindizes (MPI & TQHI) erfolgte ebenfalls quadrantenweise, sowohl oral als auch vestibulär. Hierbei färbte zunächst ein Zahnarzt die Zähne mit einem Plaquerelevator an, erhob den Plaqueindex in einem Quadranten und übergab den Probanden an den nächsten Zahnarzt, der dann die bereits angefärbten Zähne befundete.

Alle Zahnärzte waren bei der Kalibrierung gegenüber den Werten die die anderen Zahnärzte erhoben hatten, verblindet. Eine Darstellung der Kalibrierungsergebnisse findet sich im Anhang (siehe Anhang F).

2.5.2 Erfassung des Zahnstatus

Der Zahnstatus wurde mittels eines eigenen Befundungscodes mit Hilfe der Dokumentationssoftware erhoben. Dieser Code setzte sich aus zwei Buchstaben zusammen, wobei der erste Buchstabe Aufschluss gab, ob Zahnstein vorhanden [Z] oder kein Zahnstein („Ohne Zahnstein“ = [O]) vorhanden ist. Der zweite Buchstabe kennzeichnet den üblichen zahnärztlichen Befund: Gesund, d.h. ohne Befund [O], Karies [C], Füllung [F], Krone [K], im Durchbruch [D]. Fehlte ein Zahn, wurde in das Feld nur ein einziger Buchstabe [M] eingetragen. Aus diesen Angaben wurde automatisiert der DMFT-Index (Decayed/ Missed/Filled-Teeth-Index (Klein & Palmer, 1938)) berechnet. Diese Untersuchung zu Beginn der zahnmedizinischen Datenerhebung diente auch zur Überprüfung einiger Ausschlusskriterien (festsitzende kieferorthopädische Apparaturen, herausnehmbarer Zahnersatz, Zahnschmuck oder Piercings), da diese im Vorfeld nur telefonisch abgefragt wurden und bis zu diesem Zeitpunkt nicht kontrolliert werden konnten.

2.5.3 Erfassung einer Gingivitis

2.5.3.1 Papillenblutungsindex (PBI)

Der Papillenblutungsindex (PBI) nach Saxer und Mühlemann (1975), modifiziert nach Rateitschak (1989) wurde in dieser Studie herangezogen, um das Ausmaß gingivaler Entzündungen zu erheben. Der PBI wurde bei der Untersuchung direkt nach dem Zahnstatus erhoben, da zu diesem Zeitpunkt die Gingiva noch nicht iatrogen gereizt wurde und eine Beurteilung der Blutungspunkte in einem später mit Plaquerelevator angefärbten Zustand schwieriger ist. Um die Blutungen adäquat beurteilen zu können, wurde darauf geachtet, dass die Gingiva stets druckluftgetrocknet war und dass ein Kontakt der beweglichen Schleimhäute mit der Gingiva vermieden wurde.

Abweichend von der nach Saxer und Mühlemann vorgesehenen Untersuchung der oralen Flächen im 1. und 3. Quadranten und der vestibulären Flächen im 2. und 4. Quadranten, wurden bei dieser Studie jedoch alle Quadranten sowohl vestibulär als auch oral untersucht. Dabei wurde eine Parodontalsonde (UNC-15, Hu-Friedy Mfg. Co., LLC, Chicago, USA) zum Ausstreichen der Papillen verwendet. Nach 30 Sekunden Wartezeit wurden die aufgetretenen Blutungen wie folgt beurteilt:

Grad 0	Keine Blutung
Grad 1	Einzel auftretender Blutpunkt
Grad 2	Auftreten einer feinen Blutlinie oder mehrerer Blutpunkte
Grad 3	Das interdentale Dreieck füllt sich rasch mit Blut
Grad 4	Profuse Blutung beim Sondieren. Blutung fließt über Zahn und Gingiva

2.5.3.2 Parodontaler Screening Index (PSI)

Der Parodontale Screening Index (Meyle & Jepsen, 2000) wurde am ersten Untersuchungstermin zum Schluss der Untersuchung erhoben. Dazu wurde eine Parodontalsonde an sechs Stellen des Zahnes (oral und vestibulär jeweils mesial, medial und distal) zwischen Gingiva und Wurzeloberfläche eingeführt und die Sondierungstiefe der Zahnfleischtasche ermittelt. Der PSI wurde entweder mit der WHO-Sonde, oder mit der Parodontalsonde UNC-15 erhoben. Wurde die WHO-Sonde verwendet, dienten die schwarzen Bandenmarkierungen der Ermittlung der Sondierungstiefe. Wenn die Parodontalsonde UNC-15 zur Anwendung kam, wurde die Sondierungstiefe entsprechend ihrer Skalierung in mm ermittelt, woraus sich ebenso der PSI mit folgenden Codes ermitteln lässt.

Code 0	Sondierungstiefe < 3,5 mm, keine Blutung auf Sondieren, kein Zahnstein, keine überstehenden/ defekten Füllungs- oder Kronenränder
Code 1	Sondierungstiefe < 3,5 mm, Blutung auf Sondieren, kein Zahnstein, keine überstehenden/ defekten Füllungs- oder Kronenränder
Code 2	Sondierungstiefe < 3,5 mm, Zahnstein und/ oder überstehende/ defekte Füllungs- oder Kronenränder
Code 3	Sondierungstiefe zwischen 3,5 und 5,5 mm
Code 4	Sondierungstiefe > 5,5 mm

2.5.4 Erfassung von Plaque

Die Erhebung der Plaque erfolgte in dieser Studie vor und nach dem Reinigen der Zähne. Wie in Kapitel 2.4.2.4 „Maßnahmen zur Kontrolle von Störvariablen“ bereits dargelegt, fand nur am zweiten Untersuchungstermin eine echte Plaqueerfassung statt. Dabei wurden die Zähne im Oberkiefer druckluftgetrocknet und Mira-2-Ton als Plaquerelevator (Hager & Werken GmbH & Co. KG Duisburg, Deutschland) mittels Schaumstoffpellet aufgetragen. Nach dem Auftragen spülte die Versuchsperson zwei Mal mit Wasser aus, anschließend wurden die Zähne befundet. Im Anschluss erfolgte auf gleiche Weise die Befundung der Unterkieferzähne.

2.5.4.1 Plaque Index nach Quigley & Hein (1962), modifiziert nach Turesky (1970; TQHI)

Der TQHI unterteilt die Menge der Plaque auf den vestibulären und oralen Flächen eines Zahnes in sechs verschiedene Grade (siehe auch Abbildung 2):

- | | |
|--------|--|
| Grad 0 | Keine Plaque |
| Grad 1 | Vereinzelte Plaque-Inseln entlang des Gingivarandes |
| Grad 2 | Durchgehende, dünne Plaquelinie (< 1 mm) entlang des Gingivarandes |
| Grad 3 | Durchgehende Plaqueansammlung, breiter als 1 mm, aber weniger als 1/3 der Kronenfläche |
| Grad 4 | Plaque bedeckt mehr als 1/3, aber weniger als 2/3 der Kronenfläche |
| Grad 5 | Plaque bedeckt mehr als 2/3 der Kronenfläche |

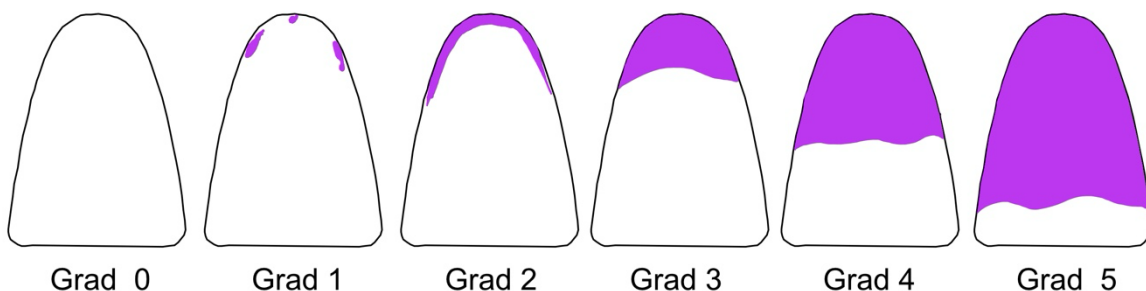


Abbildung 2 Darstellung der Plaque bei den TQHI-Graden (eigene Darstellung).

2.5.4.2 Marginaler Plaque Index (MPI) (Deinzer et al., 2014)

Zur Erfassung der marginalen Plaque mittels des MPI wird die gingivale Randfläche in vier gleichgroße Segmente unterteilt (distal, cervicodistal, cervicomesial und mesial; siehe Abbildung 3) und auf Vorhandensein von Plaque im Bereich des Gingivarandes überprüft. Somit ergeben sich für die orale und vestibuläre Fläche eines Zahnes insgesamt 8 Untersuchungsfelder, in denen für jedes dieser Felder dichotom beurteilt wird, ob Plaque vorhanden ist (Grad 1) oder nicht (Grad 0). Dieser Index beurteilt ausschließlich den gingivalen Randbereich, welcher für die Entstehung von gingivalen und parodontalen Erkrankungen jedoch besonders relevant ist. Im Gegensatz zum TQHI erlaubt der MPI eine präzisere Beurteilung der Reinigungsleistung am Gingivarand, da zwischen approximalen und zervikalen Bereichen unterschieden werden kann.

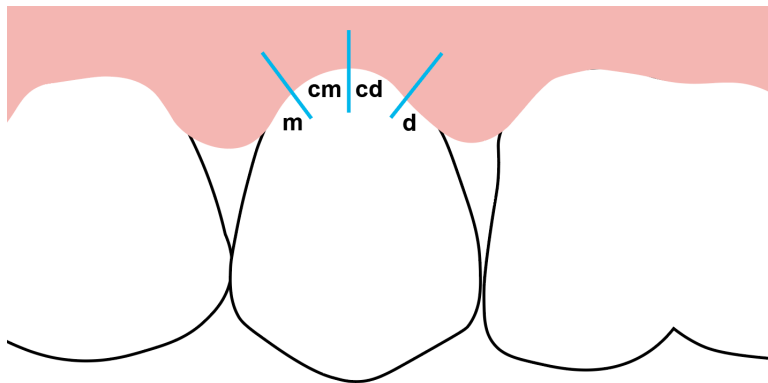


Abbildung 3 Einteilung der beim MPI untersuchten Segmente (hier vestibulär) am Gingivarand (m = mesial, cm = cervicomesial, cd = cervicodistal und d = distal), an welchen jeweils Plaque erfasst wird (eigene Darstellung).

2.6 Verhaltensparameter

Die videobasierte Auswertung der Verhaltensparameter erfolgte durch mehrere trainierte und kalibrierte Videobeobachter*innen mit der Software INTERACT (Version 18, Mangold International, Arnstorf, Deutschland), welches eine Video-Auswertung mittels eines Kodiersystems ermöglicht. Hierbei werden den verschiedenen Verhaltensparametern Tastenkombinationen zugeordnet, die bei entsprechendem Verhalten von dem oder der Videoauswerter*in betätigt werden und so eine genaue zeitliche Zuordnung der beobachteten Parameter erlauben. Die Software speichert

diese Daten in tabellarischer Form ab, ermöglicht aber auch eine graphische Darstellung der beobachteten Verhaltensparameter. Das Kodiersystem wurde weitestgehend von vorangegangenen Studien übernommen (Ebel et al., 2018; Winterfeld et al., 2015), wobei nur kleine Änderungen vorgenommen wurden. So wurde in dieser Studie die modifizierte Basstechnik als eigenständige Putztechnik ausgewertet. Zunächst soll der Kalibrierungsprozess beschrieben werden gefolgt von der Beschreibung des Kodiersystems.

2.6.1 Kalibrierung und Interraterreliabilität

Alle an der Auswertung beteiligten Personen (S.S., D.B., T.S., M.S. & P.H.) wurden vor Auswertungsbeginn an den Beobachtungen einer erfahrenen Auswerterin (S.E.) von vorangegangenen Studien kalibriert. Für alle Verhaltensparameter (siehe Kapitel 2.6.2) galt die Kalibrierung als erfolgreich, wenn bei 10 zufallsausgewählten Videos jeweils ein Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) von $\geq 0,9$ erreicht wurde. Pro beobachtetem Verhaltensparameter wurden jeweils zwei Auswerter*innen kalibriert. Nach der initial durchgeführten Kalibrierung wurden die jeweiligen Verhaltensparameter von jeweils einer kalibrierten Person beobachtet. Zur weiteren Qualitätssicherung erfolgte bei 10% der Videoaufzeichnungen zusätzlich eine doppelte Auswertung, die von der jeweils zweiten kalibrierten Person durchgeführt wurde. Anschließend wurde bei den doppelt ausgewerteten Videos die Übereinstimmung zwischen Erst- und Zweitauswerter*in mittels ICC-Berechnungen überprüft. Diese Übereinstimmung lag für nahezu alle Verhaltensparameter bei $> 0,9$, lediglich für die Doppelbestimmung der horizontalen Bewegungen ergab sich ein ICC von 0,886 (siehe Anhang G). Dies zeigt, dass die vor Auswertungsbeginn durchgeführte Kalibrierung ihr Ziel erreichte und eine hohe Interraterreliabilität über die gesamte Auswertung erzielt wurde.

2.6.2 Ablauf der Videobeobachtung

Um die aufgezeichneten Verhaltensparameter adäquat beurteilen zu können, wurden die Videos bei 0,4-facher Geschwindigkeit ausgewertet. Dieser Wert hat sich erfahrungsgemäß als der geeignetste erwiesen, da höhere Geschwindigkeiten den Nachteil haben, dass schnelle Bewegungen während des Zahnputzvorganges schlecht eingeschätzt oder gar übersehen werden können. Zu niedrige Geschwindigkeiten wiederum verzerren möglicherweise das Ergebnis der Beobachtung. So kann insbesondere die Beurteilung der Zahnputzbewegungen zu falschen Urteilen führen, da

beispielsweise kreisende Bewegungen dann als horizontale Bewegung interpretiert werden können. In der Regel wurden die frontalen Aufnahmen der Tabletkamera verwendet, um die Videos auszuwerten. Enthielt eine Aufnahme Sequenzen, die nicht eindeutig beurteilbar waren (z.B. weil sich die Versuchsperson aus dem Bild bewegte), wurden die Aufnahmen der Seitenkameras herangezogen. Da die Seitenkameras aber zu einem früheren Zeitpunkt als die Tabletkamera gestartet wurden, mussten die Videoaufnahmen erst miteinander synchronisiert werden. Erst so konnte eine einheitliche Zeitkodierung der Auswertung in Interact erfolgen.

2.6.2.1 Zahnkontaktzeit

Als erster Schritt der Videoauswertung erfolgte die Ermittlung der Zahnkontaktzeit (Untersucherin: S.S.). Als Zahnkontaktzeit ist die Zeit definiert, an welcher die Borsten der Zahnbürste Kontakt zu den Zähnen hat. Für die Zahnkontaktzeit ist nicht von Bedeutung, ob in dieser Zeit bürstende Bewegungen ausgeführt werden oder nicht. Die Zahnkontaktzeit gilt als unterbrochen, wenn die Bürste den Kontakt zur Zahnoberfläche für länger als eine Sekunde verliert, z.B. wenn der Mund ausgespült wird, Interdentalhygiene mit Zahnseide o. Ä. durchgeführt wird, oder wenn die Zunge oder die Schleimhäute gebürstet werden. Bei der Auswertung wurde der Code „nicht-beurteilbar“ verwendet, wenn auf allen drei aufgezeichneten Videos nicht ersichtlich wurde, ob die Zahnbürste Kontakt zu den Zähnen hat und auch keine entsprechenden Bürstgeräusche über das Mikrophon aufgenommen wurden.

2.6.2.2 Flächen

Nach erfolgter Auswertung der Zahnkontaktzeit wurden auf dieser Basis die Dauer beobachtet, mit welcher die Zahnbürste die verschiedenen Zahnflächen (vestibulär, oral, okklusal) erreichte (Untersucher: D.B.). Hier trat das Problem auf, dass bei bestimmten Anstellwinkeln der Zahnbürste schwer abzuschätzen ist, ob nun okklusal oder an den Seitenflächen geputzt wird, insbesondere wenn bei eher geschlossenem Mund geputzt wurde. Diese Schwierigkeit fiel auch schon in einer vorangegangenen Studie auf (Petker et al., 2019). In Übereinstimmung zu dieser Studie wurde darauf geachtet, dass die Codierung vestibulär oder oral nur dann gewählt wurde, wenn so eindeutig geputzt wurde, dass auch der Gingivarand von den Bürsten erreicht wurde. Im Zweifelsfall wurde dementsprechend häufiger die Okklusalfäche gewertet. Die hohen ICC-Werte von $> 0,9$ für diesen Parameter legen nahe, dass diese Kodierregeln über den Untersuchungszeitraum gut angewandt wurden.

2.6.2.3 Sextanten und Quadranten

Im Anschluss erfolgte die Beurteilung der Dauer, mit welcher die Zahnflächen in welchem Sextanten bzw. Quadranten geputzt wurde. Die Auswertung der oralen und vestibulären Flächen erfolgte nach Einteilung in Sextanten, wohingegen die okklusalen Flächen nach Quadranten ausgewertet wurden, da bei Zähnen im Frontzahnbereich die Okklusalfäche fehlt und somit eine Einteilung nach Quadranten sinnvoller ist. Entscheidend für die Bewertung war immer, wo die Bürste mit ihrem größten Teil den Zahn berührt. Wurden bei Mundschluss die vestibulären Flächen von zwei Sextanten gleichzeitig mit der Zahnbürste erreicht, wurden beide Sextanten kombiniert erfasst (z.B. Sextant 2 und 5). Dieser Parameter wurde durch T.S. beobachtet.

2.6.2.4 Bürstbewegungen

Im letzten Durchgang wurde die Dauer erfasst, mit welchen Bewegungen der Zahnbürste die Versuchspersonen ihre Zähne putzten (Untersucherin: S.S.). Dabei wurden horizontale, kreisende und vertikale Bewegungen voneinander differenziert. Wurde von den Versuchspersonen die modifizierte Basstechnik angewandt, die eine Kombination aus zunächst horizontalen Bürstbewegungen und anschließenden vertikalen Ausstreichbewegungen darstellt, wurde diese bei adäquater Nutzung als solche kodiert. Die Beobachtung der Bürstbewegungen stellte sich von den Parametern am schwierigsten heraus, da bei geschlossenem Mund eine Unterscheidung der Bewegungen oftmals schwierig war. Dementsprechend lag die Interraterreliabilität für diesen Wert mit 0,880 leicht unter dem Kalibrierungsziel von 0,900, stellt aber dennoch eine hohe Übereinstimmung der Beobachter*innen dar.

2.6.3 Aus der Beobachtung abgeleitete Verhaltensparameter

Aus den Beobachtungsdaten wurden die folgenden Parameter abgeleitet und im Folgenden analysiert:

- a. Gesamtzahnkontaktzeit (ZKZ).
- b. Prozentuale Verteilung der ZKZ auf okklusale, vestibuläre und orale Flächen.
- c. Prozentualer Anteil mit welchem kreisend an Außenflächen und vertikal an Innenflächen geputzt wird.
- d. Vollständigkeit der Sextanten mit der die Außenflächen und die Innenflächen geputzt wurden (QIT-S).

Der QIT-S ist ein Index, welcher die Anzahl der erreichten Sextanten und die Zeit, mit der diese Sextanten erreicht wurden in 10 rangskalierte Werte unterteilt und dabei zwischen vestibulären und oralen Flächen unterscheidet (siehe Tabelle 2). Die niedrigen QIT-S-Werte von 0-5 stellen die Werte dar, bei denen von einer unzureichenden Verteilung der Zahnkontaktzeit ausgegangen werden kann, da einige Sextanten weniger als eine Sekunde geputzt wurden (eine Zahnkontaktzeit von weniger als einer Sekunde in einem Sextanten wird als Vernachlässigung des Sextanten gewertet). Ab dem Wert von QIT-S ≥ 6 werden alle Sextanten mit der Zahnbürste erreicht und es wird mit aufsteigenden Werten beschrieben, wie lange die Sextanten geputzt wurden.

Tabelle 2 Der Quality index of toothbrushing regarding brushing time in sextants (QIT-S) (Deinzer et al., 2018)

QIT-S Wert	Definition
0	0 Sextanten mehr als 1 s geputzt
1	1 Sextanten mehr als 1 s geputzt
2	2 Sextanten mehr als 1 s geputzt
3	3 Sextanten mehr als 1 s geputzt
4	4 Sextanten mehr als 1 s geputzt
5	5 Sextanten mehr als 1 s geputzt
6	Alle Sextanten mehr als 1 s geputzt
7	Alle Sextanten mehr als 3,5 s geputzt
8	Alle Sextanten mehr als 5 s geputzt
9	Alle Sextanten mehr als 7,5 geputzt

2.7 Forschungshypothese und statistische Analyse

Um Verzerrung der Daten durch Ausreißer zu kontrollieren, wurden Personen von der Analyse ausgeschlossen, deren Werte 3 Standardabweichungen vom Mittelwert abwichen (Siehe Abbildung 1).

Wie bereits in Kapitel 1.5 beschrieben verfolgt die vorliegende Arbeit die Frage nach der Stabilität eines im Labor beobachteten Zahnputzvorgangs unter zwei verschiedenen Putzbedingungen (Zähneputzen wie gewöhnlich bzw. so gut wie möglich).

Geprüft wird daher für jede der Bedingungen und für jeden Verhaltensparameter die Hypothese, dass die Messungen zu T1 und zu T2 hoch miteinander korrelieren, wobei Korrelationskoeffizienten zwischen 0,70 und 0,90 auf einen hohen Zusammenhang hindeuten und Korrelationskoeffizienten über 0,90 sogar für einen sehr hohen Zusammenhang sprechen (Guilford & Lyons, 1942). Dementsprechend wird eine Korrelation von $r > 0,70$ in der vorliegenden Untersuchung als Kriterium gesehen, um von einem über die Zeit stabilem Verhaltensparameter zu sprechen. Die Berechnung der Stichprobengröße ist bereits in Kapitel 2.2.2 beschrieben. Zur Beschreibung der Zusammenhänge erfolgte die Berechnung von Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten (Pearson, 1895) sowie Rangkorrelationskoeffizienten (Spearman, 1961) und von Interklassenkorrelationskoeffizienten (Shrout & Fleiss, 1979). Lediglich für die Beschreibung der Zusammenhänge zwischen T1 und T2 für kategoriale Daten (QIT-S-Index) wurden χ^2 -Tests verwendet. Während Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten das Ausmaß des linearen Zusammenhangs bei intervallskalierten normalverteilten Daten besonders gut darstellen, sind sie anfällig gegenüber Verletzungen der Normalverteilungsannahme. Wenn diese verletzt ist, geben Rangkorrelationskoeffizienten ein realistischeres Bild über den Zusammenhang. Intraclasskoeffizienten berücksichtigen neben dem standardisierten Abstand des Individuums zum Mittelwert der Stichprobe auch dessen absolute Werte und werden dann geringer, wenn diese sich von einer zur anderen Messung verändern. Wenn die drei Korrelationskoeffizienten ähnliche deskriptive Ergebnisse liefern, dann ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse nicht durch Abweichungen von der Normalverteilung oder durch starke intra-individuelle Veränderungen der Absolutwerte von Messzeitpunkt 1 zu Messzeitpunkt 2 verzerrt werden.

Entsprechend der Forschungshypothese wurde das folgende Hypothesenpaar unabhängig voneinander für jeden der Verhaltensparameter statistisch getestet: $H_0: \rho_{T1/T2} \leq 0,5$; $H_1: \rho_{T1/T2} > 0,5$. Für die Hypothesenprüfung maßgeblich sollte die Produkt-

Moment-Korrelation sein, die inferenzstatistische Analyse der weiteren Korrelationskoeffizienten diene als weitere Absicherung. Da zu jedem einzelnen Verhaltensparameter die Hypothese geprüft werden sollte, ob dieser stabil sei, war in diesem Fall keine α -Fehler-Inflation zu befürchten, so dass eine Bonferroni-Korrektur nicht nötig war.

Die statistische Analyse wurde mit SPSS Statistics (IBM, Armonk, USA) Version 28 durchgeführt.

3. Ergebnisse

In die Analyse gingen die Daten von 106 Proband*innen ein. 19 wurden aus den Analysen ausgeschlossen, weil sie in ihrem gezeigten Verhalten mindestens 3 Standardabweichungen vom Mittelwert abwichen (siehe Abbildung 1). Die vollständige Ergebnisdarstellung ohne Ausreißerkontrolle befindet sich im Anhang (siehe Anhang H). Bevor die Ergebnisse der Hypothesenprüfung vorgestellt werden, erfolgt eine Beschreibung der Stichprobe für die beiden Instruktionsbedingungen.

3.1 Beschreibung der Stichprobe

In Tabelle 3 werden die wichtigsten Parameter zur Beschreibung der Stichprobe dargestellt, getrennt nach den beiden Instruktionen. Die beiden Gruppen waren in all diesen Parametern vergleichbar, es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (alle $p < 0,05$).

Tabelle 3 Beschreibung der Stichprobe

	Normal (n=44)	Optimal (n=43)
	M ± SD [min; max]	M ± SD [min; max]
	n/n	n/n
Geschlecht (m/w)	7/37	6/37
Alter	23,30 ± 2,8 [19; 33]	22,56 ± 2,2 [18; 28]
Zahnstatus		
Bleibende Zähne	27,8 ± 1,3 [22; 32]	26,0 ± 0,7 [26; 32]
DMFT	3,88 ± 3,7 [0; 13]	2,70 ± 3,0 [0; 10]
kariöse Zähne (0/1-2/≥3)	35 / 8 / 1	36 / 7 / 0
Fehlende Zähne (0/1-2/≥3)	37 / 5 / 2	41 / 2 / 0
Gefüllte Zähne (0/1-5/6-9/≥10)	14 / 19 / 8 / 3	14 / 20 / 8 / 1
Parodontalstatus		
PBI	0,67 ± 0,4	0,74 ± 0,4
max. PSI (0/1/2/3/4)	2 / 6 / 23 / 13 / 0	0 / 6 / 30 / 6 / 1

3.2 Prüfung der Forschungshypothesen: Stabilität des Zahnputzverhaltens

Die Überprüfung der Stabilität erfolgte wie bereits in Kapitel 2.7 beschrieben mittels verschiedener Korrelationsberechnungen. Die grafische Darstellung der Stabilität der Zahnkontaktzeit, der Flächen und der Bewegungen erfolgt mittels Scatterplots, die Darstellung des QIT-S mittels Kreuztabellen (siehe Kapitel 3.2.4).

3.2.1 Stabilität der Zahnkontaktzeit

Die Überprüfung der Stabilität der Zahnputzzeit ergab für die gewöhnlich Putzenden eine Korrelation von $r = 0,89$; 95% CI [0,81 , 0,94] ($\rho = 0,88$, ICC = 0,88) (siehe Abbildung 4) und für die bestmöglich Putzenden eine Korrelation von $r = 0,83$; 95% CI [0,71 , 0,91] ($\rho = 0,83$, ICC = 0,78) (siehe Abbildung 5) (alle $p < 0,05$).

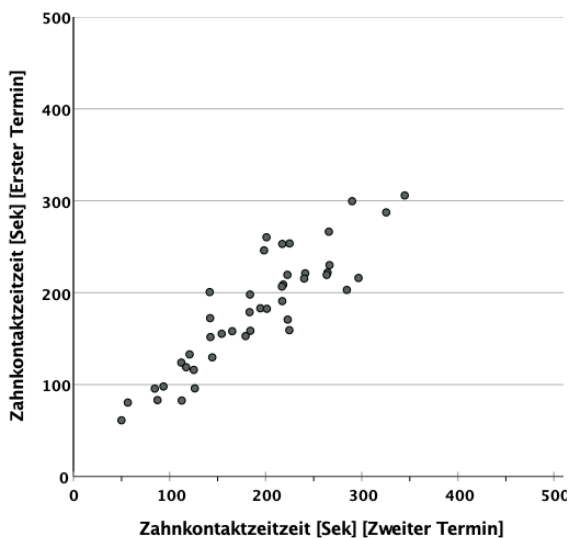


Abbildung 4 Scatterplot zum Zusammenhang der Zahnkontaktzeit zwischen dem ersten und dem zweiten Termin d (gewöhnlich Putzende)

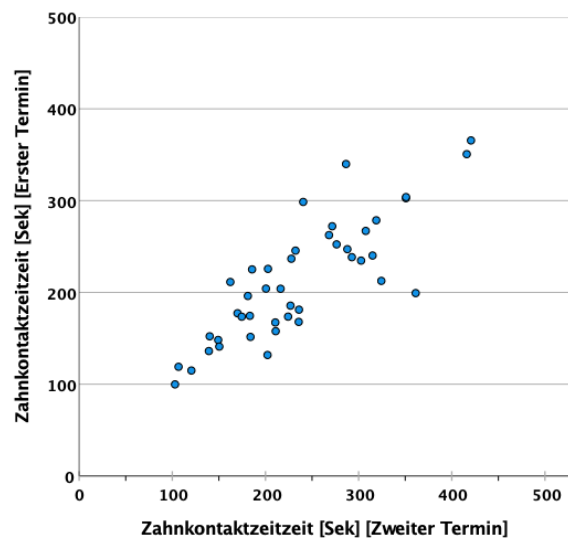


Abbildung 5 Scatterplot zum Zusammenhang der Zahnkontaktzeit zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)

3.2.2 Stabilität des Zeitanteils mit dem die Flächen geputzt wurden

3.2.2.1 Okklusal

Der prozentuale Anteil der Zeit, der an Okklusalflächen geputzt wurde, ergab folgende Korrelation für die gewöhnlich Putzenden: $r = 0,90$; 95% CI [0,82 , 0,94] ($\rho = 0,91$, ICC = 0,90) (siehe Abbildung 6) und für bestmöglich Putzende eine Korrelation von $r = 0,80$; 95% CI [0,65 , 0,89] ($\rho = 0,74$, ICC = 0,79) (siehe Abbildung 7) (alle $p < 0,05$).

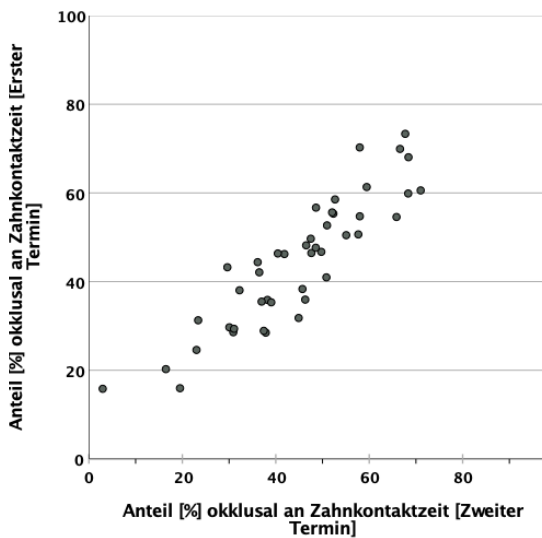


Abbildung 6 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an okklusalen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende)

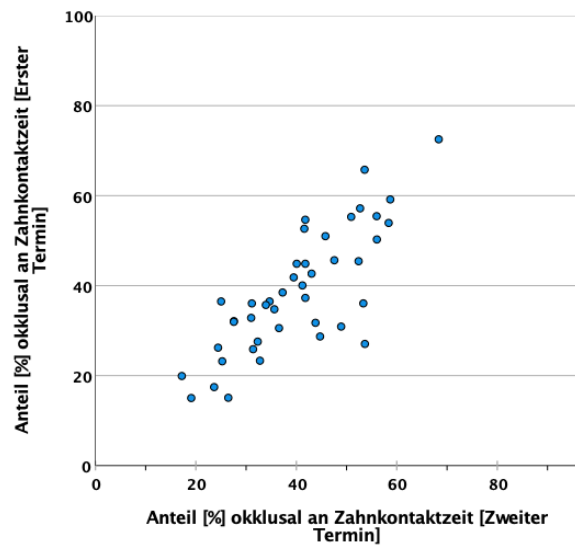


Abbildung 7 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an okklusalen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)

3.2.2.2 Vestibulär

Der prozentuale Anteil der Zeit, der an vestibulären Flächen geputzt wurde, korrelierte für Versuchspersonen aus der Gruppe der gewöhnlich Putzenden mit $r = 0,88$; 95% CI [0,80 , 0,94] ($\rho = 0,86$, ICC = 0,88) (siehe Abbildung 8) und für die bestmöglich Putzenden mit $r = 0,87$; 95% CI [0,76 , 0,93] ($\rho = 0,80$, ICC = 0,85) (siehe Abbildung 9) (alle $p < 0,05$).

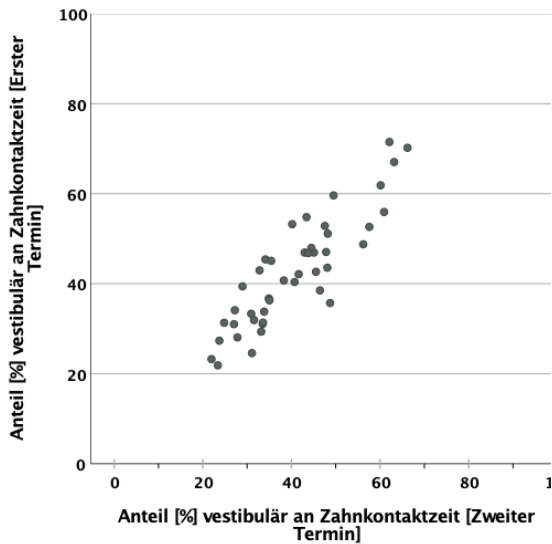


Abbildung 8 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende)

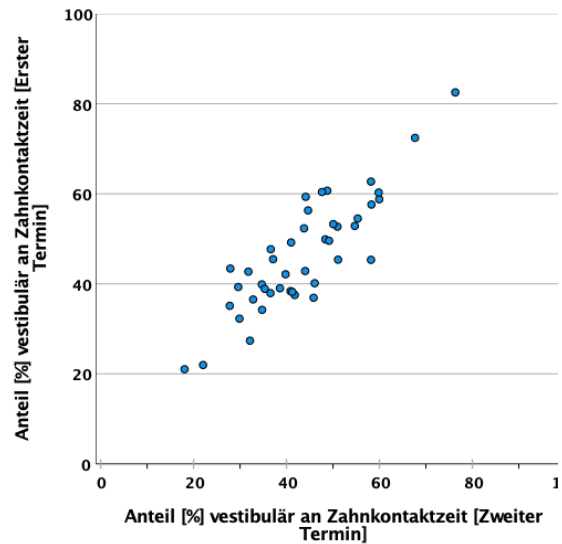


Abbildung 9 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)

3.2.2.3 Oral

Der prozentuale Anteil der Zeit, der an oralen Flächen geputzt wurde, korrelierte für die Gruppe der gewöhnlich Putzenden mit $r = 0,86$; 95% CI [0,76 , 0,92] ($\rho = 0,86$, ICC = 0,85) (siehe Abbildung 10) und für die bestmöglich Putzenden mit $r = 0,89$; 95% CI [0,80 , 0,94] ($\rho = 0,90$, ICC = 0,89) (siehe Abbildung 11) (alle $p < 0,05$).

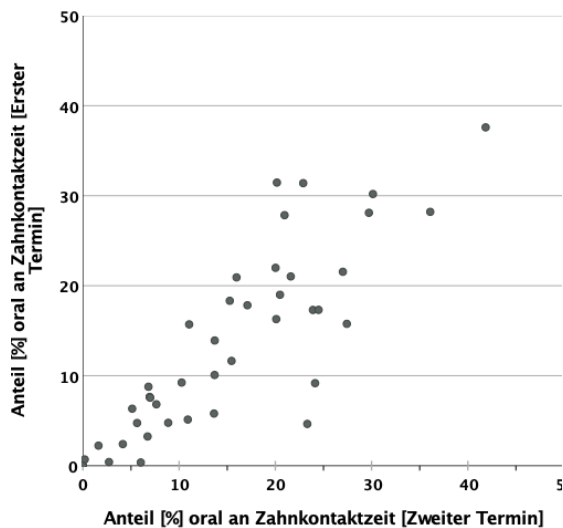


Abbildung 10 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende)

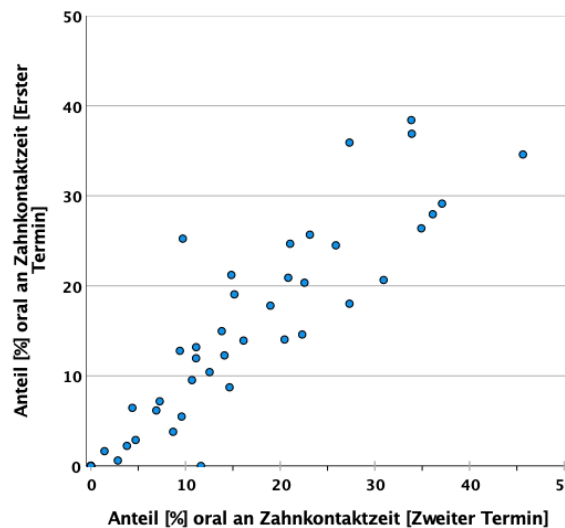


Abbildung 11 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)

3.2.3 Stabilität der Zeitanteils der verschiedenen Bewegungsformen

Im Folgenden werden für die vestibulären Flächen kreisende Bewegungen betrachtet, da diese aus der Erfahrung mehrerer Beobachtungsstudien die häufigsten Bewegungen an vestibulären Flächen sind. Für die oralen Flächen werden nur die vertikalen Bewegungen dargestellt. Das liegt daran, dass eine Darstellung der horizontalen Bewegungen keinen Informationsgewinn erzielen würde, da sich horizontale und vertikale Bewegungen an oralen Flächen auf nahezu 100% der oralen Zahnkontaktzeit addieren (kreisende Bewegungen werden an oralen Flächen so gut wie nie ausgeführt) und sich somit nur ein umgekehrtes Bild der vertikalen Bewegungen ergeben würde.

3.2.3.1 Kreisende Bewegungen an vestibulären Flächen

Der prozentuale Anteil der kreisenden Bewegungen korrelierte für die gewöhnlich Putzenden mit $r = 0,60$; 95% CI [0,37 , 0,76] ($\rho = 0,63$, ICC = 0,61) (siehe Abbildung 12) und für die bestmöglich Putzenden mit $r = 0,82$; 95% CI [0,69 , 0,90] ($\rho = 0,83$, ICC = 0,82) (Abbildung 13) (alle $p < 0,05$).

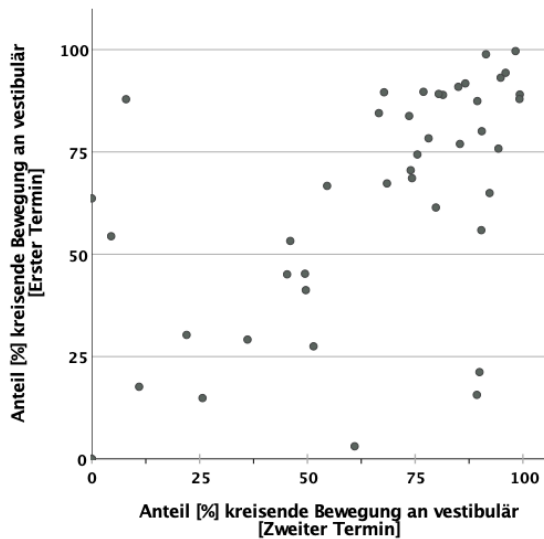


Abbildung 12 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils kreisender Bewegungen an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende)

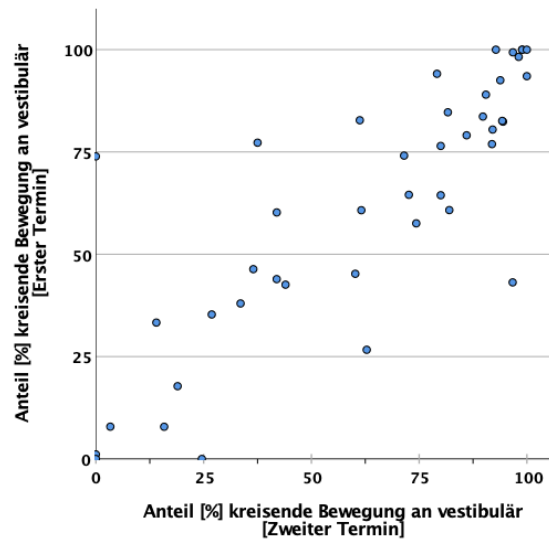


Abbildung 13 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils kreisender Bewegungen an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)

3.2.3.2 Vertikale Bewegungen an oralen Flächen

Für die Auswertung der Bewegungen an oralen Flächen ist zunächst festzustellen, dass manche Proband*innen gar nicht ihre oralen Flächen putzten, sodass auch keine Bewegungen analysiert werden konnten. Für die Gruppe der gewöhnlich Putzenden wurden daher $n = 40$ und für die Gruppe der bestmöglich Putzenden nur $n = 38$ Personen betrachtet. Bei der Gruppe der gewöhnlich Putzenden korrelierte der Anteil der vertikalen Putzbewegungen mit $r = 0,71$; 95% CI [0,50 , 0,83] ($\rho = 0,71$, ICC = 0,71) (siehe Abbildung 14). Korrelationsberechnungen für die Gruppe der bestmöglich Putzenden ergaben hierbei $r = 0,84$; 95% CI [0,71 , 0,91] ($\rho = 0,77$, ICC = 0,84) (siehe Abbildung 15) (alle $p < 0,05$).

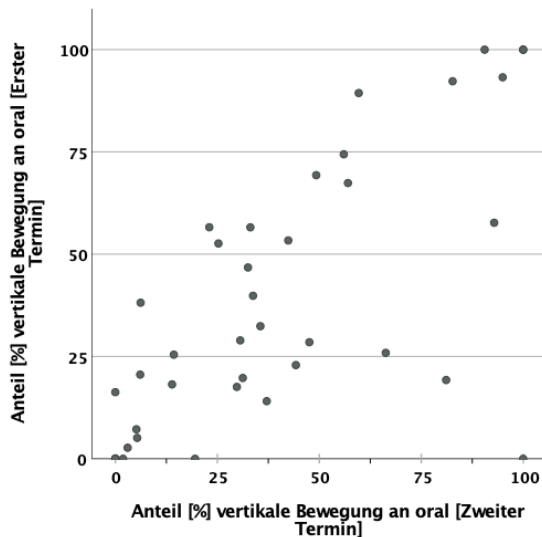


Abbildung 14 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils vertikaler Bewegungen an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende)

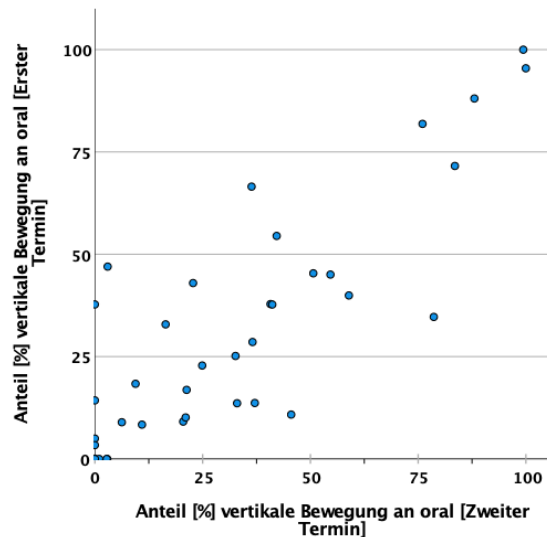


Abbildung 15 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils vertikaler Bewegungen an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)

3.2.4 Stabilität der Putzzeitverteilung nach Sextanten an oralen und vestibulären Flächen (dargestellt mittels QIT-S)

Die Darstellung der Putzzeitverteilung an oralen und vestibulären Flächen nach Sextanten erfolgt mittels des „Quality index of toothbrushing regarding brushing time in sextants“ (QIT-S) (Deinzer et al., 2018) (siehe Kapitel 2.6.3). Für eine bessere Übersichtlichkeit werden die Ergebnisse der Stabilitätsbetrachtung des QIT-S im Folgenden in Form von Kreuztabellen dargestellt.

3.2.4.1 Stabilität des QIT-S an oralen Flächen

Es zeigt sich für die oralen Flächen eine hohe Konkordanz sowohl für die gewöhnlich Putzenden (siehe Tabelle 4) ($\text{Chi}^2 = 92,56$; $p = 0,02$ ($p < 0,05$)) als auch die bestmöglich Putzenden (siehe Tabelle 5) ($\text{Chi}^2 = 130,68$; $p < 0,001$).

Tabelle 4 Kreuztabelle des QIT-S an oralen Flächen (gewöhnlich Putzende)

		QIT-S oral (Erster Termin)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QIT-S oral (Zweiter Termin)	0	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	2	-	2	1	1	-	-	-	-	-
	3	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	3	1	-	1	1	-	-	-
	5	-	-	-	4	-	4	3	-	-	-
	6	-	-	-	1	1	2	1	-	1	-
	7	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-
	8	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5 Kreuztabelle des QIT-S an oralen Flächen (bestmöglich Putzende)

		QIT-S oral (Erster Termin)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QIT-S oral (Zweiter Termin)	0	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-
	3	1	-	-	2	2	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	1	4	-	1	-	-	-
	5	-	-	-	1	2	3	1	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	2	3	1	-	-
	7	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-
	9	-	-	-	-	1	1	-	1	1	-

3.2.4.2 Stabilität des QIT-S an vestibulären Flächen

Es zeigt sich an den vestibulären Flächen für die gewöhnlich Putzenden (siehe Tabelle 6) ($\chi^2 = 24,29$; $p < 0,001$) als auch für die bestmöglich (siehe Tabelle 7) ($\chi^2 = 20,99$; $p < 0,001$) ein hohes Maß an Übereinstimmung.

Tabelle 6 Kreuztabelle des QIT-S an vestibulären Flächen (gewöhnlich Putzende)

		QIT-S vest. (Erster Termin)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QIT-S vest. (Zweiter Termin)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3
	8	-	-	-	-	-	-	-	1	1	3
	9	-	-	-	-	-	-	-	1	1	31

Tabelle 7 Kreuztabelle des QIT-S an vestibulären Flächen (bestmöglich Putzende)

		QIT-S vest. (Erster Termin)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QIT-S vest. (Zweiter Termin)	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41

4. Diskussion

Zu Beginn der Diskussion sollen zunächst kurz die wichtigsten der bisher beschriebenen Punkte zusammengefasst werden.

Die Prävalenz parodontaler Erkrankungen ist weltweit sehr hoch und nimmt weiter zu (Chen et al., 2021), was negative Folgen für die orale Gesundheit und auch einen Einfluss auf andere systemische Erkrankungen hat (Genco & Sanz, 2020). Dabei sind diese Auswirkungen vermeidbar, da bekannt ist, dass Zähneputzen eine effektive Maßnahme zur Plaqueentfernung und damit zur Prävention parodontaler Erkrankungen ist (Sälzer et al., 2020). Videobasierte Beobachtungsstudien zeigen jedoch, dass den meisten Menschen beim Zähneputzen die entsprechenden Fertigkeiten fehlen, dies auch wirklich effektiv zu tun, d. h. so, dass die Zähne plaquefrei werden (Ebel et al., 2018; Eidenhardt et al., 2021; Harnacke et al., 2015; Petker et al., 2019; Weik et al., 2020). Um diesen Fertigkeitenmangel zu beheben, ist es zunächst einmal wichtig, den Zahnputzvorgang besser zu begreifen. Eine in diesem Zusammenhang bisher unbeantwortete Frage lautet: Ist das Zahnputzverhalten, welches in den zitierten Studien von den untersuchten Proband*innen unter Laborbedingungen gezeigt wird, überhaupt ein stabiles Verhalten? Um dies zu beantworten, wurden 111 Studierende im Abstand von zwei Wochen zwei Mal beim Zähneputzen beobachtet, d.h. der jeweilige Zahnbürstvorgang wurde auf Video aufgezeichnet. Folgende Parameter des Zahnputzverhaltens wurden auf ihre Stabilität hin untersucht: Zahnkontaktzeit, prozentuale Verteilung der Putzzeit auf die Zahnflächen, prozentualer Anteil mit welchem auf Innenflächen vertikal und auf Außenflächen kreisend geputzt wird und die Vollständigkeit der Sextanten an Außen- und Innenflächen mittels QIT-S. Da die Proband*innen in den zitierten Studien unterschiedliche Putzinstruktionen erhielten (wie gewöhnlich oder bestmöglich zu putzen), erfolgte die Analyse des Putzverhaltens ebenfalls für beide Putzinstruktionen.

Im Folgenden sollen nun die Fragestellung beantwortet und die in Kapitel 3 dargestellten Ergebnisse diskutiert werden. Anschließend werden die Limitierungen dieser Studie erörtert. Zum Schluss wird ein Ausblick gegeben, welche Ansätze für weitere Forschung sich aus dieser Untersuchung ergeben können und welche Erkenntnisse sich für die zahnärztliche Praxis aus dieser Arbeit gewinnen lassen.

4.1 Beantwortung der Fragestellung und Interpretation der Ergebnisse

Unter der Annahme, dass es sich bei den einzelnen in der vorliegenden Arbeit analysierten Zahnputzparametern dann um stabile Verhaltensaspekte handelt, wenn bei wiederholter Messung eine Korrelation von $> 0,7$ vorliegt, zeigen sich fast alle der untersuchten Parameter als stabil. Sowohl die Zahnkontaktzeit als auch die jeweilige prozentuale Putzdauer an den Außen-, Kau- und Innenflächen korrelieren unter beiden Putzbedingungen hoch miteinander (alle $r > 0,80$). Auch die vertikalen Bewegungen an oralen Flächen zeigen bei beiden Gruppen hohe Korrelationen (alle $r > 0,70$), sodass auch diese als stabil betrachtet werden können. Lediglich bei den kreisenden Bewegungen an vestibulären Flächen zeigt sich ein differenziertes Bild. In der Gruppe der gewöhnlich Putzenden zeigten sich im Vergleich deutlich niedrigere Korrelationen ($r = 0,60$), wohingegen bei den bestmöglich Putzenden die Korrelation mit $r = 0,83$ deutlich das Kriterium der Stabilität erreicht. Bei Betrachtung des QIT-S lässt sich für sowohl die vestibulären als auch oralen Flächen ein hohes Maß an Übereinstimmung finden (alle $p < 0,05$), sodass auch hier von einer Stabilität ausgegangen werden kann.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass alle untersuchten Parameter, bis auf die kreisenden Bewegungen an vestibulären Flächen in der Gruppe der gewöhnlich Putzenden als stabil betrachtet werden können. Warum jedoch gerade dieser Parameter als einziger sich nicht stabil erweist, ist schwer zu beurteilen. In Abbildung 12 ist gut zu erkennen, dass viele Proband*innen bei beiden Terminen nahezu komplett kreisend putzen. Jedoch gibt es mehrere Versuchspersonen, die an einem der Termine sehr häufig kreisend putzten, an dem anderen jedoch fast gar nicht. Dies erklärt die niedrige Korrelation, lässt aber zunächst keine weiteren kausalen Schlüsse zu. Interessanterweise zeigt sich in der Gruppe der bestmöglich Putzenden ein ähnliches Bild, nämlich dass viele Proband*innen an beiden Terminen überwiegend kreisend putzen. Hier weicht aber keiner der Versuchspersonen so auffallend stark zwischen den beiden Terminen voneinander ab. Es bleibt aber festzuhalten, dass auch wenn das Kriterium der Stabilität für diesen Parameter in einer der beiden Gruppen nicht erfüllt wird, es trotzdem mit $r = 0,60$ einen deutlichen Zusammenhang zwischen den beiden Terminen gibt.

Doch wie lassen sich die Ergebnisse dieser Arbeit in die bestehende Literatur einordnen? Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, gibt es bezüglich der Frage nach der Verhaltensstabilität wenige empirische Daten aus anderen Studien. Doch die

bestehenden Erkenntnisse aus vorangegangenen Veröffentlichungen sollen im Folgenden mit den Ergebnissen dieser Arbeit abgeglichen werden.

Bereits Kleber et al. (1981) stellten die Frage, ob Kinder und Jugendliche zwischen 10 und 16 Jahren unterschiedliches Zahnputzverhalten an den Tag legen, je nachdem welche Zahnpasta (Gel oder Paste) sie verwenden. Dabei stellten sie fest, dass die Putzzeit in den verschiedenen Untersuchungsgruppen über den Beobachtungszeitraum stabil waren, auch wenn es einen leichten, aber nicht signifikanten Rückgang der Putzzeit über die Zeit gab. Auch zeigte sich das Anfeuchten der Bürste mit Wasser über die Zeit als wenig variabel, genauso wie die erreichten Flächen, sodass die Autoren zu dem Schluss kamen, dass „die Kinder etablierte Zahnputzgewohnheiten haben, die im Durchschnitt erstaunlich konstant bleiben“ (Kleber et al., 1981, S. 726).

Zu einer ähnlichen Erkenntnis kamen auch Mierau et al. (1989). Sie untersuchten das Zahnputzverhalten von 85 Studierende in neun Sitzungen verteilt über drei Tage und kamen zu dem Schluss, dass sich ausgeprägte Gewohnheitsmuster feststellen ließen. Insbesondere die Bürsttechnik wurde über die verschiedenen Sitzungen am konsequentesten gleich durchgeführt. Insgesamt beurteilten die Autor*innen das Gewohnheitsmaß von 85% der Proband*innen als hoch oder sehr hoch. Jedoch wurden in dieser Studie keine Videoaufzeichnungen durchgeführt, die Auswertung des Zahnputzverhaltens erfolgte in Echtzeit, was eine gewisse Ungenauigkeit in der Methodik darstellt. Auch die häufige Beobachtung (9 Putzvorgänge) in einem Abstand von nur drei Tagen hat sicher einen Einfluss auf das gezeigte Putzverhalten, sodass hier starke Hawthorne-Effekte zu vermuten sind. Zudem wäre ein längerer Abstand zwischen den Beobachtungen sicher besser zur Beurteilung der Stabilität gewesen.

In einer Querschnittstudie von Ganss et al. (2008), bei der das habituelle Zahnputzverhalten von Erwachsenen in Bezug auf Kraft, Dauer, Frequenz und Technik mittels Kraftsensoren und Videobeobachtung untersucht wurde, evaluierten die Autor*innen ihre eingesetzte Technik, indem sie einen Teil der Proband*innen zehn Tage nach der Untersuchung den Versuch wiederholen ließen. Dabei stellten sie fest, dass „alle Proband*innen ihre Putzgewohnheiten perfekt reproduzierten“ (Ganss et al., 2008). Sowohl für die Putzdauer als auch die Kraftmessungen zeigten sich zwischen den beiden Terminen keine statistisch signifikanten Unterschiede. Jedoch untersuchten sowohl Kleber et al. als auch Ganss et al. nur ausgewählte einzelne Aspekte des Zahnputzverhaltens (z.B. Putzdauer oder Druck) und gingen in ihren Fragestellungen nicht gezielt der Frage der Stabilität nach.

Deutlich ausführlicher mit dem Zahnputzverhalten beschäftigte sich eine weitere Videobeobachtungsstudie von Ganss et al. (2018), in welcher die Autor*innen Personen zweimal hintereinander in Cross-over-design einmal mit einer Handzahnbürste und einmal mit einer elektrischen Bürste sich die Zähne putzen ließen. Die videobasierte Auswertung des Zahnputzverhaltens ergab dabei, dass sich das Zahnbürstverhalten bei beiden Bürsttypen ähnelte: Die Anzahl der Wechsel zwischen den verschiedenen Flächen und Sextanten korrelierte statistisch signifikant mit $r = 0,57$. Bei einer Betrachtung der Versuchspersonen, die auch mit der elektrischen Zahnbürste über 90% der Zeit aktive Putzbewegungen (ähnlich einer Handzahnbürste) ausführten, korrelierten die kreisenden Zahnputzbewegungen ($r = 0,42$) und die horizontalen Bewegungen ($r = 0,43$) signifikant, woraus die Autor*innen eine Ähnlichkeit des Zahnbürstverhaltens ableiten. Allerdings lassen sich aus dieser Studie nur begrenzt Aussagen über eine zeitliche Stabilität treffen. Das liegt beispielsweise daran, dass die Versuchspersonen an einem Tag untersucht wurden und die Zahnputzvorgänge mit den unterschiedlichen Bürsten direkt aufeinanderfolgend beobachtet wurden. Lediglich eine kurze Pause von ca. vier Minuten lag zwischen den beiden Putzvorgängen. Zudem stellt der Wechsel zwischen zwei unterschiedlichen Zahnbürststarten ein Problem dar: Untersuchungen der Stabilität eines Verhaltens bedürfen einer hohen Konstanz aller Parameter (siehe Kapitel 2.4), wobei der Wechsel der Zahnbürste eine nicht zu vernachlässigende Störvariable darstellt. Entsprechend können aus dieser Studie keine wirklichen Schlussfolgerungen über eine zeitliche Stabilität gezogen werden. Nichtsdestotrotz sind diese Erkenntnisse insofern interessant, dass selbst bei unterschiedlichen Zahnbürsttypen offenbar ein ähnliches Zahnbürstverhalten gezeigt wird, selbst wenn für elektrische Bürsten von den Herstellern nur ein passives Putzen durch Anlegen der Zahnbürste an die Zähne empfohlen wird.

Zu teils anderen Ergebnissen kommen Forscher*innen einer amerikanischen Arbeitsgruppe (Essalat et al., 2022). Diese haben das Zahnputzverhalten mit elektrischen Zahnbürsten über drei Wochen im häuslichen Umfeld beobachtet, indem sie die Daten der in der elektrischen Zahnbürste verbauten Sensoren auslasen und die Versuchspersonen ihren Zahnputzvorgang mit einem Smartphone daheim filmten. Dabei stellten sie eine intraindividuelle Variabilität fest und bewerteten das Zahnbürstverhalten als inkonsistent. Jedoch muss diese Aussage kritisch hinterfragt werden. Einerseits nahmen an der Studie nur zwölf Personen teil, wovon die Autor*innen selbst beschreiben, dass mehrere Proband*innen sehr konstant gleich lange putzten. Zudem wird in der Veröffentlichung nur für eine Versuchsperson eine genaue Putzzeitverteilung auf die Flächen angegeben. Dabei putzt diese eine Versuchsperson jedoch okklusal und vestibulär ziemlich stabil, nur oral variiert das Putzverhalten stärker, was wiederum auch

im Einklang damit steht, dass oral häufig unsystematisch geputzt wird. Zudem steht die Studie in manchen Ergebnissen im Widerspruch zu nahezu allen anderen Beobachtungsstudien: So wird hier oral und okklusal gleich lang geputzt, wohingegen zahlreiche andere Beobachtungsstudien eine Vernachlässigung oraler Flächen zeigen (Deinzer et al., 2018, 2021; Rugg-Gunn & Macgregor, 1978). Kritisch anzumerken wäre außerdem, dass es Zweifel an der Qualität der Videobeobachtung gibt. Es fehlt eine Beschreibung der Kalibrierung der Videoauswerter*innen und auf eine Doppelauswertung wurde insofern verzichtet, dass lediglich eine Auswerter*in vermeintliche Fehler in zufällig ausgewählten Beobachtungen korrigierte. Welche Qualitätsstandards dabei eingehalten wurden, ist unklar. Weitere methodische Kritikpunkte sind zusätzlich, dass unklar ist, ob die Versuchspersonen elektrische Bürsten habituell nutzen oder nur im Rahmen der Studie. Wäre dies der Fall, könnte eine erhöhte Variabilität auch mit der Gewöhnung an eine neue Bürste erklärt werden. Des Weiteren wurde den Versuchspersonen eine Putzzeit von zwei Minuten vorgegeben, was ggf. dem habituellen Putzverhalten der Versuchspersonen widerspricht und somit ihr Verhalten stark beeinflusst. Insgesamt muss also die Aussage der Autor*innen, das Zahnputzverhalten sei variabel und inkonsistent, kritisch betrachtet werden.

Es spricht tatsächlich eher einiges dafür, dass es sich beim Zahnputzverhalten um ein gewohnheitsmäßiges Verhalten handelt. Als Gewohnheiten (im Englischen als „habit“ bezeichnet) werden in der Gesundheitspsychologie Handlungen bezeichnet, welche, getriggert durch äußere Reize, automatisch ausgelöst werden (Neal et al., 2012). Gewohnheiten bilden sich durch regelmäßig wiederholte Ausführung eines Verhaltens. Dieses ständig wiederholte Verhalten wird schließlich nahezu automatisiert durchgeführt, ohne dass es konkret bewusst ist (Neal et al., 2006). Im Kontext des Zahnputzverhaltens gewann das Konstrukt der Gewohnheitsbildung in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung (Raison et al., 2020, 2021). Demnach handelt es sich auch beim Zähneputzen um ein in der Regel bereits sehr früh gelerntes Verhalten, welches über die Zeit routiniert und automatisiert abläuft (Aunger, 2007; Thavarajah et al., 2015). Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, wurde das Zahnputzverhalten bisher jedoch hauptsächlich unter dem Gesichtspunkt ob und nicht wie das Verhalten ausgeführt wird, untersucht (Aunger, 2007). Doch auch bezüglich der Art der Durchführung des Zahnputzverhaltens gibt es Hinweise, dass dieses hochautomatisiert und unbewusst abläuft. So sind sich Proband*innen ihrer tatsächlichen Putzzeit nicht bewusst und überschätzen ihre Bürstdauer beträchtlich (Emling et al., 1981; Saxer et al., 1998). Dieser Ansatz würde auch erklären, dass Studien zeigen, dass bereits gelerntes Zahnputzverhalten schwer änderbar ist und Proband*innen auch nach einer Intervention oft in alte Verhaltensmuster zurückfallen. In einer Studie, in der untersucht wurde, wie

effektiv verschiedene Instruktionsarten (Merkblatt vs. Demonstration) eine neue Zahnputztechnik bei Versuchspersonen implementierten, übernahmen nur 16% der Merkblattgruppe und nur 38% der Demonstrationsgruppe die neue Zahnputztechnik nach zwei Instruktionen (Schlueter et al., 2010). In einer anderen Studie, in der untersucht wurde, ob Zahnmedizinstudierende mittels einer Intervention und selbstaufgenommener Smartphonevideos ihre Zahnputztechnik verändern, kam es ebenfalls nur zu minimalen Verbesserungen des Putzverhaltens (Kumar et al., 2016). Eine mögliche Erklärung dafür, dass neue Verhaltensweisen schwer übernommen werden, ist die sogenannte proaktive Interferenz. Demnach fällt es schwer, neue Dinge zu lernen, da bereits ähnliches und hochautomatisiertes Verhalten mit den neu zu lernenden Inhalten interferiert und die Erinnerung und Ausführung des Neuen erschwert (Thavarajah et al., 2015).

Die Daten aus der vorliegenden Arbeit stützen also die Annahme, dass es sich beim Zähneputzen um ein Gewohnheitsverhalten handelt, welches hochautomatisiert und in seinen meisten Parametern über die Zeit stabil abläuft. Die gewonnenen Erkenntnisse gehen über die bestehende Datenlage hinaus, die bisher nur sehr vereinzelte Aspekte zur Stabilität des Zahnputzverhaltens (z.B. Putzdauer oder Kraft) umfasst. Im Folgenden sollen nun Stärken und Schwächen dieser Untersuchung diskutiert werden.

4.2 Limitationen

Dies ist nach bestem Wissen des Autors die erste Studie, die gezielt die Stabilität des Zahnputzvorganges mit Handzahnbürsten bei unterschiedlichen Putzinstruktionen untersucht. Die Stärken dieser Arbeit liegen darin, dass mehrere Parameter des Zahnbürstverhaltens systematisch videobasiert ausgewertet wurden und dabei hohe methodische Ansprüche erfüllt werden: So waren alle Untersucher*innen kalibriert und es wurde eine konsequente Verblindung eingehalten. Zudem wurden nur habituelle Nutzer*innen einer Handzahnbürste in die Studie aufgenommen und im Untersuchungsablauf wurde darauf geachtet, durch standardisierte Abläufe und ein Konstanthalten der Versuchsumgebung den Einfluss von Störvariablen gering zu halten. Doch neben ihren Stärken unterliegt diese Arbeit einigen Limitationen, die im Folgenden diskutiert werden.

Die externe Validität der Studie muss kritisch betrachtet werden, da in der Studie nur Studierende eingeschlossen wurden, wobei der Altersdurchschnitt in der Gruppe der

gewöhnlich Putzenden bei 23,2 Jahren und in der Gruppe der bestmöglich Putzenden bei 22,56 Jahren lag. Zudem lag der Anteil der Frauen in dieser Untersuchung bei 85%. Diese junge, weibliche und gut gebildete Gruppe weist laut der DMS V (Jordan & Micheelis, 2016) jedoch eine hohe Mundgesundheit auf und zeigt damit vermutlich auch ein besseres Zahnputzverhalten. Zudem birgt das Rekrutierungsverfahren das Risiko einer Stichprobenverzerrung, da es durchaus möglich ist, dass im Rahmen einer Selbstselektion sich insbesondere die Personen zu einer Zahnputzstudie melden, die dem Thema gegenüber besonders aufgeschlossen sind.

Ein Problem in der Versuchsdurchführung kann auch in der Nutzung einer vorgegebenen Zahnbürste liegen. Da die Versuchspersonen nicht mit ihrer habituellen Zahnbürste putzen, könnte die Handhabung der Elmex InterX ungewohnt sein, was einen Einfluss auf den Zahnputzvorgang haben kann. Zudem waren sich die Versuchsteilnehmenden der Videobeobachtung bewusst. Inwieweit dies einen Einfluss auf das Zahnputzverhalten haben kann, haben Macgregor & Rugg-Gunn (1986) untersucht: In deren Studie wurden zwei Gruppen miteinander verglichen, wobei eine Gruppe wusste, dass sie beim Zähneputzen gefilmt wird und die andere Gruppe nicht. Die Autoren kamen zu dem Schluss, „dass das Wissen über das Filmen das Zahnputzverhalten in geringem Maße verändert, sodass bei der Interpretation von Verhaltensänderungen in zukünftigen Interventionsstudien Vorsicht geboten ist.“ (Macgregor & Rugg-Gunn, 1986). Zwar stellt diese Untersuchung keine Interventionsstudie dar, es ist aber ein wichtiger Hinweis, der bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen ist, auch wenn das genaue Ausmaß der Verhaltensänderung unter Videobeobachtung unklar bleibt.

In diesem Zusammenhang müssen jenseits der Videobeobachtung weitere Einflüsse durch den Hawthorne-Effekt berücksichtigt werden. Diese können sich insbesondere in der Gruppe der gewöhnlich Putzenden zeigen, da die Versuchspersonen unter Laborbedingungen nur eingeschränkt ihr gewöhnliches Verhalten zeigen, selbst wenn sie explizit aufgefordert werden, wie gewöhnlich zu putzen. Insbesondere am zweiten Untersuchungstag könnten die Versuchspersonen ein sozial erwünschtes Verhalten zeigen und ihre Zähne besser putzen, nachdem sie durch die Erfahrung des ersten Versuchstages davon ausgehen konnten, nach dem Zähneputzen wieder von einem Zahnarzt kontrolliert zu werden. Dies könnte das oben beschriebene Ergebnis erklären, dass die Bewegungen bei gewöhnlich Putzenden nicht stabil waren, bei den bestmöglich Putzenden hingegen schon. In der Gruppe der bestmöglich Putzenden ist der Hawthorne-Effekt besser unter Kontrolle, da ein bestmögliches Putzen nicht noch weiter verbessert werden kann. Andererseits ist fraglich, ob der oben beschriebene Effekt der sozialen Erwünschtheit eintritt. Es könnte auch sein, dass der Hawthorne-Effekt kaum

Einfluss auf die Stabilität hat, da die Versuchspersonen bei beiden Untersuchungsterminen demselben Effekt unterliegen und sich dieser somit nicht unterschiedlich auf die Stabilität des Verhaltens auswirkt. Dafür spricht auch, dass sich die anderen Parameter wie die Verteilung auf die Flächen und die Zahnkontaktzeit als sehr stabil erwiesen haben. Insbesondere die Zahnkontaktzeit hätte sich verändert, wenn die Versuchspersonen bei dem zweiten Termin wegen sozialer Erwünschtheit besser geputzt hätten, da unter besserem Putzen oftmals ein längeres Putzen verstanden wird.

Die Schlussfolgerungen zur Stabilität des Zahnputzverhaltens beziehen sich zudem nur auf die in der vorliegenden Untersuchung ausgewerteten Putzparameter. Über die Stabilität anderer Aspekte des Zahnputzverhaltens können keine entsprechenden Aussagen getroffen werden. Dies stellt eine weitere Limitierung dieser Arbeit dar. Es wurde beispielsweise nicht untersucht, ob das Putzen insgesamt einem wiederkehrenden Muster gleicht, wie beispielsweise eine gleiche Abfolge der Sextanten nacheinander. Winterfeld et al. (2015) analysierten solche Sextantenwechsel und konnten feststellen, dass gewisse Wechsel von einem in den anderen Sextanten häufiger waren als andere: So wurde beispielsweise gezeigt, dass nach Sextant 1 in 53% der Fälle zu Sextant 2 gewechselt wird. Diese Art von Analyse ist jedoch aufwändig und wird äußerst komplex, wenn in Folge mehr als nur ein Wechsel zwischen verschiedenen Bereichen im Mund untersucht werden soll. Von daher kann in dieser Arbeit auch keine Aussage über die Stabilität von solchen Bewegungsmustern getroffen werden, auch wenn es ein spannender Untersuchungsgegenstand wäre.

Nicht unerwähnt bleiben darf zuletzt eine kritische Auseinandersetzung mit der Auswertung der aufgezeichneten Zahnputzvorgänge. Insbesondere wenn Versuchspersonen ihren Mund geschlossen hielten oder einen für die Auswertung ungünstigen Winkel zu den Kameras einnahmen, war eine exakte Lokalisation der Bürste im Mund schwierig. Ebenfalls schwierig einzuschätzen war, welche Bewegung tatsächlich ausgeführt wurde, wenn der Mund beim Putzen geschlossen war. Zwar wurden alle Untersucher*innen vor Beginn der Auswertung kalibriert und nach Abschluss der Auswertung eine Doppelbestimmung zur Qualitätskontrolle durchgeführt, nichtsdestotrotz bleibt eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Genauigkeit der Videoanalyse. Ideal wäre es, wenn in Zukunft auf die Videoauswertung verzichtet werden könnte und zuverlässige Daten über den Zahnputzvorgang von einer mit Sensoren ausgestatteten smarten Zahnbürste gesammelt werden könnten. Mit einem solchen Instrument wäre auch eine automatisierte Erkennung typischer Bewegungsmuster besser möglich.

4.3 Ausblick

Nachdem diskutiert wurde, dass das Zahnputzverhalten in nahezu allen Parametern als stabil betrachtet werden kann und die Limitierungen dieser Arbeit beschrieben wurden, stellt sich die Frage, welche Ansätze für weitere Forschung vorhanden sind und welche Erkenntnisse aus dieser Arbeit für die zahnärztliche Praxis gewonnen werden können. Dies wird im Folgenden beschrieben.

4.3.1 Anregungen für weitere Forschung

Diese als Grundlagenforschung angelegte Studie bietet mehrere Ansätze für weitere Forschung, die sich teils aus den oben beschriebenen Limitierungen ergeben, aber auch aus Fragen, die sich aus den Ergebnissen ableiten.

Wie bereits beschrieben, ist die externe Validität der Studie eingeschränkt. Eine breiter angelegte Studie, die Versuchspersonen verschiedener Altersgruppen und Bildungsniveaus einbezieht, wäre notwendig, um aus den Ergebnissen auch auf größere Gruppen folgern zu können. Auch sollte in weiteren Arbeiten mehr auf ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis geachtet werden. Ein weiterer Ansatz könnte sein, das Zahnputzverhalten über einen längeren Zeitraum als zwei Wochen zu untersuchen. Wie stabil wäre das Zähneputzen bei mehreren Beobachtungsterminen über einen längeren Zeitraum? Die Studie von Essalat et al., (2022) ist trotz ihrer verschiedenen Mängel insofern interessant, dass viele Zahnputzvorgänge im häuslichen Umfeld aufgezeichnet wurden. Ließe sich z.B. durch eine mit Sensoren ausgestattete smarte Zahnbürste, die das Zahnputzverhalten sogar ohne Videobeobachtung analysieren kann, das Zähneputzen über mehrere Wochen im häuslichen Umfeld auswerten, könnten deutlich bessere Aussagen darüber getroffen werden, wie und insbesondere wie stabil Menschen habituell ihre Zähne putzen. Interessant wäre in diesem Falle sicher auch, ob eine solche smarte Zahnbürste sogar zu einem besseren Zähneputzen anleiten kann, sodass die schwerwiegende Vernachlässigung ganzer Flächen und Sextanten verhindert werden kann. Doch um den Blick nicht nur auf technische Lösungen zur Verbesserung des Zahnputzverhaltens zu richten, wäre eine spannende Fragestellung, in welchem Alter das Zähneputzen stabil wird. Eine Studie mit Kindern verschiedener Altersgruppen könnte hierauf Antworten geben. Und mit

genauerer Kenntnis über das Alter, wann das Zähneputzen stabil wird, könnten zielgenau im richtigen Alter die Zahnputzfertigkeiten der Kinder verbessert und stabilisiert werden.

4.3.2 Erkenntnisse für die zahnärztliche Praxis

Ziel der Zahnmedizin muss eine bessere Prävention sein und das Zähneputzen ist die beste Möglichkeit dazu. Wie in Kapitel 1 beschrieben, hilft das frühe Lernen eines Gesundheitsverhaltens, dass es auch in Zukunft stabil ausgeführt wird. Grundsätzlich ist dies keine neue Erkenntnis und Grundlage für die Gruppenprophylaxe, die bereits seit vielen Jahren an deutschen Schulen und Kindergärten durchgeführt wird. Dennoch zeigen auch Kinder die diese Maßnahmen durchlaufen haben ein schlechtes, insbesondere unsystematisches Zahnputzverhalten (Eidenhardt et al., 2021; Weik et al., 2020). Das Ergebnis, dass die Parameter des Zahnputzverhaltens tatsächlich überwiegend stabil sind, unterstreicht also die Bedeutung einer frühen Etablierung des richtigen Zahnputzverhaltens. Wie mehrere Studien, in denen das Zahnputzverhalten bei Erwachsenen verbessert werden sollte, zeigen, ist dies gar nicht so problemlos möglich und die Versuchspersonen übernehmen das neue Verhalten nur in geringem Ausmaß (Kumar et al., 2016; Schlueter et al., 2010). Von daher sollten Kinder von Anfang an das Zähneputzen richtig lernen, denn spätere Veränderungen sind aufwendig und schwierig. Studien zeigen, dass die Grundlage für langfristige Mundgesundheit ein stabiles Zahnputzverhalten hoher Qualität ist (Åström, 2004). Dieses hochqualitative Zahnputzverhalten ist, wenn frühzeitig gelernt und etabliert, dann auch leichter aufrechtzuerhalten. Zudem sollte in der zahnärztlichen Praxis gut überlegt werden, welche Empfehlungen zum Zähneputzen ausgesprochen werden. Denn diese Empfehlungen sind heute sowohl für Erwachsene als auch für Kinder sehr heterogen (Wainwright & Sheiham, 2014). Häufig werden bei den Ratschlägen unterschiedliche Angaben zur Putzzeit (meistens zwei Minuten, aber auch zwei bis drei Minuten und teils sogar über drei Minuten) gemacht. Doch was bringt es, eine lange Putzzeit zu empfehlen, wenn durch stabiles Verhalten immer die gleichen Stellen vernachlässigt werden? Diese unterschiedlichen Empfehlungen tragen zur Verunsicherung der Menschen bei und verbessern das Zahnputzverhalten nicht. Im Gegenteil können diese sogar zu einem falschen Verständnis von Sauberkeit führen, da die reine Putzdauer als Qualitätskriterium propagiert wird. Daher sollte mehr Wert auf eine richtige Putzsystematik gelegt werden und die bekannte Vernachlässigung oraler Flächen stärker adressiert werden. Für Erwachsene, die nun ein über die Jahre erlerntes und stabiles, suboptimales Zahnputzverhalten aufweisen, muss allerdings überlegt werden,

wie trotz der bereits beschriebenen Schwierigkeiten eine Verbesserung des Zahnputzverhaltens erreicht werden kann. Hier können neue Erkenntnisse aus Psychologie und Sportwissenschaften helfen. In den Sportwissenschaften existiert viel Wissen darüber, wie lange trainierte Bewegungsabläufe noch verändert werden können (Carson et al., 2015) und auch in der zahnärztlichen Literatur zeichnen sich neue Methoden ab, die sowohl Motivation als auch die Zahnputzfähigkeiten adressieren, um das Zähneputzen zu verbessern (Thavarajah et al., 2015). Denn gerade in den höheren Altersgruppen manifestieren sich vermehrt parodontale Erkrankungen (Jordan & Micheelis, 2016), weswegen hier eine Verbesserung der Mundhygienefertigkeiten ebenfalls zwingend notwendig ist.

Die Erkenntnis, dass die meisten Parameter des Zahnputzvorgangs als stabil zu betrachten sind, sollte also den Schwerpunkt mehr auf ein systematisches Zähneputzen lenken anstatt auf verschiedene Putztechniken oder starre Zeitvorgaben. Gelingt es bereits im Kindesalter ein stabiles Zahnputzverhalten zu etablieren, welches alle Zahnflächen gleichmäßig erreicht, wäre ein großer Schritt zu mehr Plaquefreiheit und dementsprechend einer besseren Mundgesundheit erreicht.

5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war herauszufinden, ob die den Zahnputzvorgang beschreibenden Parameter (wie Zahnkontaktzeit, prozentuale Verteilung der Putzzeit auf die Zahnflächen, prozentualer Anteil mit welchem auf Innenflächen vertikal und auf Außenflächen kreisend geputzt wird und die Vollständigkeit der Sextanten an Außen- und Innenflächen mittels QIT-S) bei wiederholter Beobachtung über einen Zeitraum von zwei Wochen und unter der Instruktion wie gewöhnlich oder bestmöglich zu putzen stabil sind.

Dazu wurden Studierende (n=111) den beiden Putzinstruktionen zugeteilt und ihr Zahnputzvorgang wurde im Abstand von zwei Wochen mit mehreren Videokameras aufgezeichnet. Die aufgenommenen Videos wurden anschließend von kalibrierten Untersucher*innen bezüglich der oben genannten Parameter ausgewertet. Die Analyse der verschiedenen Parameter auf Stabilität erfolgte nach einer Ausreißerkontrolle und verschiedenen Ausschlüssen für 87 Proband*innen mittels Korrelationsberechnungen und für den QIT-S mittels χ^2 -Tests.

Unter der Annahme, dass ein stabiles Verhalten bei einer Korrelation von $r > 0,7$ vorliegt, zeigten sich nahezu alle Parameter des Zahnputzverhalten als stabil. Lediglich die kreisenden Bewegungen an vestibulären Flächen in der Gruppe der gewöhnlich Putzenden zeigte eine niedrigere Korrelation ($r = 0,6$). Auch die Betrachtung des QIT-S an vestibulären und oralen Flächen zeigten ein hohes Maß an Übereinstimmung (alle $p < 0,05$).

Es lässt sich also insgesamt festhalten, dass der Zahnputzvorgang ein erlerntes Verhaltensmuster darstellt, welches hochautomatisiert und in nahezu allen Parametern über die Zeit stabil abläuft. Diese Erkenntnis ist wichtig für Ansätze, das überwiegend unzureichende Mundhygieneverhalten der Bevölkerung zu verbessern. Da ein bereits erlerntes Verhalten im Erwachsenenalter schwer zu verändern ist, betonen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit also insbesondere die Wichtigkeit, ein suffizientes Zahnputzverhalten schon im frühen Kindesalter zu etablieren.

6. Summary

The aim of the present study was to find out whether the parameters describing the tooth brushing process (such as tooth contact time, percentage distribution of brushing time on the tooth surfaces, percentage of vertical brushing on inner surfaces and circular brushing on outer surfaces and the completeness of the sextants on outer and inner surfaces using QIT-S) are stable during repeated observation over a period of two weeks and under the instruction to brush as usual or in the best possible way.

For this purpose, students (n=111) were assigned to the two brushing instructions and their toothbrushing process was recorded with several video cameras at two-week intervals. The recorded videos were then evaluated by calibrated examiners with regard to the above-mentioned parameters. The various parameters were analyzed for stability after an outlier control and various exclusions for 87 test subjects using correlation calculations and for the QIT-S using χ^2 tests.

Assuming stable behavior with a correlation of $r > 0.7$, almost all parameters of toothbrushing behavior proved to be stable. Only the circular movements on vestibular surfaces in the group of habitual brushers showed a lower correlation ($r = 0.6$). The observation of the QIT-S on vestibular and oral surfaces also showed a high degree of agreement (all $p < 0.05$).

Overall, it can be concluded that toothbrushing is a learned behavioral pattern that is highly automated and stable in almost all parameters over time. This finding is important for approaches to improve the largely inadequate oral hygiene behavior of the population. As learned behavior is difficult to change in adulthood, the results of this study particularly emphasize the importance of establishing sufficient toothbrushing behavior in early childhood.

7. *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1 Flowdiagramm des Rekrutierungs- und Studienverlaufs	15
Abbildung 2 Darstellung der Plaque bei den TQHI-Graden	25
Abbildung 3 Einteilung der beim MPI untersuchten Segmente (hier vestibulär) am Gingivarand (d=distal, cd=cerviodistal, cm=cerviomesial und m=mesial) an welchen jeweils Plaque erfasst wird (Abb. aus Deinzer et al., 2014).....	26
Abbildung 4 Scatterplot zum Zusammenhang der Zahnkontaktzeit zwischen dem ersten und dem zweiten Termin d (gewöhnlich Putzende)	34
Abbildung 5 Scatterplot zum Zusammenhang der Zahnkontaktzeit zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)	34
Abbildung 6 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an okklusalen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende).....	35
Abbildung 7 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen	35
Abbildung 8 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende).....	36
Abbildung 9 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende).....	36
Abbildung 10 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende).....	37
Abbildung 11 Scatterplot zum Zusammenhang der prozentualen Putzdauer an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)	37
Abbildung 12 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils kreisender Bewegungen an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende).....	38

Abbildung 13 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils kreisender Bewegungen an vestibulären Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)38

Abbildung 14 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils vertikaler Bewegungen an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (gewöhnlich Putzende)39

Abbildung 15 Scatterplot zum Zusammenhang des Anteils vertikaler Bewegungen an oralen Flächen zwischen dem ersten und dem zweiten Termin (bestmöglich Putzende)39

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Plaquewerte nach bestmöglichem Putzen	4
Tabelle 2 Der Quality index of toothbrushing regarding brushing time in sextants (QIT-S) (Deinzer et al., 2018).....	30
Tabelle 3 Beschreibung der Stichprobe	33
Tabelle 4 Kreuztabelle des QIT-S an oralen Flächen (gewöhnlich Putzende).....	40
Tabelle 5 Kreuztabelle des QIT-S an oralen Flächen (bestmöglich Putzende)	40
Tabelle 6 Kreuztabelle des QIT-S an vestibulären Flächen (gewöhnlich Putzende)	41
Tabelle 7 Kreuztabelle des QIT-S an vestibulären Flächen (bestmöglich Putzende) ...	41

9. Literaturverzeichnis

- Åstrøm, A. N. (2004). Stability of oral health-related behaviour in a Norwegian cohort between the ages of 15 and 23 years. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 32(5), 354–362. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.2004.00174.x>
- Aunger, R. (2007). Tooth brushing as routine behaviour. *International Dental Journal*, 57(S5), 364–376. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595X.2007.tb00163.x>
- Axelsson, P., Nyström, B., & Lindhe, J. (2004). The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. *Journal of Clinical Periodontology*, 31(9), 749–757. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2004.00563.x>
- Baehni, P. C. (2012). Translating science into action - prevention of periodontal disease at patient level: Patient-centered approach to prevention. *Periodontology 2000*, 60(1), 162–172. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2011.00428.x>
- Berg, B., Cremer, M., Flothkötter, M., Koletzko, B., Krämer, N., Krawinkel, M., Lawrenz, B., Przyrembel, H., Schiffner, U., Splieth, C., Vetter, K., & Weißenborn, A. (2021). Kariesprävention im Säuglings- und frühen Kindesalter. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde*, 43(1), 18–27. <https://doi.org/10.1007/s44190-021-0002-6>
- Carson, H. J., Collins, D., & Collins, D. (2015). *Tracking Technical Refinement in Elite Performers: The Good, the Better, and the Ugly*. 4(1), 67–87. <https://doi.org/10.1123/ijgs.2015-0003>
- Chen, M. X., Zhong, Y. J., Dong, Q. Q., Wong, H. M., & Wen, Y. F. (2021). Global, regional, and national burden of severe periodontitis, 1990-2019: An analysis of the Global Burden of Disease Study 2019. *Journal of Clinical Periodontology*, 48(9), 1165–1188. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13506>
- De la Rosa R., M., Guerra, J. Z., Johnston, D. A., & Radike, A. W. (1979). Plaque Growth and Removal With Daily Toothbrushing. *Journal of Periodontology*, 50(12), 661–664. <https://doi.org/10.1902/jop.1979.50.12.661>
- Deinzer, R., Cordes, O., Weber, J., Hassebrauck, L., Weik, U., Krämer, N., Pieper, K., & Margraf-Stiksrud, J. (2019). Toothbrushing behavior in children – an observational study of toothbrushing performance in 12 year olds. *BMC Oral Health*, 19(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0755-z>

- Deinzer, R., Ebel, S., Blättermann, H., Weik, U., & Margraf-Stiksrud, J. (2018). Toothbrushing: To the best of one's abilities is possibly not good enough. *BMC oral health*, 18(1), 167. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0633-0>
- Deinzer, R., Harnacke, D., Mengel, R., Telzer, M., Lotzmann, U., & Wöstmann, B. (2016). Effectiveness of Computer-Based Training on Toothbrush Skills of Patients Treated With Crowns: A Randomized Controlled Trial. *Journal of periodontology*, 87(11), 1333–1342. <https://doi.org/10.1902/jop.2016.160099>
- Deinzer, R., Jahns, S., & Harnacke, D. (2014). Establishment of a new marginal plaque index with high sensitivity for changes in oral hygiene. *Journal of periodontology*, 85(12), 1730–1738. <https://doi.org/10.1902/jop.2014.140285>
- Deinzer, R., Schmidt, R., Harnacke, D., Meyle, J., Ziebolz, D., Hoffmann, T., & Wöstmann, B. (2017). Finding an upper limit of what might be achievable by patients: Oral cleanliness in dental professionals after self-performed manual oral hygiene. *Clinical oral investigations*, 22(2), 839–846. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2160-9>
- Deinzer, R., Shankar-Subramanian, S., Ritsert, A., Ebel, S., Wöstmann, B., Margraf-Stiksrud, J., & Eidenhardt, Z. (2021). Good role models? Tooth brushing capabilities of parents: a video observation study. *BMC Oral Health*, 21(1), 469. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01823-6>
- Ding, L., You, Q., Jiang, Q., Cao, S., & Jiang, S. (2022). Meta-analysis of the association between periodontal disease, periodontal treatment and carotid intima–media thickness. *Journal of Periodontal Research*, jre.13006. <https://doi.org/10.1111/jre.13006>
- Ebel, S., Blättermann, H., Weik, U., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2018). High Plaque Levels after Thorough Toothbrushing: What Impedes Efficacy? *JDR Clinical and Translational Research*, 87(11), 238008441881331. <https://doi.org/10.1177/2380084418813310>
- Eidenhardt, Z., Ritsert, A., Shankar-Subramanian, S., Ebel, S., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2021). Tooth brushing performance in adolescents as compared to the best-practice demonstrated in group prophylaxis programs: An observational study. *BMC Oral Health*, 21(1), 359. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01692-z>
- Eke, P. I., Thornton-Evans, G. O., Wei, L., Borgnakke, W. S., Dye, B. A., & Genco, R. J. (2018). Periodontitis in US Adults: National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2014. *The Journal of the American Dental Association*, 149(7), 576-588.e6.

<https://doi.org/10.1016/j.adaj.2018.04.023>

Emling, R. C., Flickinger, K. C., Cohen, D. W., & Yankell, S. L. (1981). A comparison of estimated versus actual brushing time. *Pharmacology and Therapeutics in Dentistry*, 6(3–4), 93–98.

Essalat, M., Morrison, D., Kak, S., Chang, E. J., Penso, I. R., Kulchar, R. J., Padilla, O. H. M., & Shetty, V. (2022). A naturalistic study of brushing patterns using powered toothbrushes. *PLOS ONE*, 17(5), e0263638. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263638>

Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>

Ganss, C., Duran, R., Winterfeld, T., & Schlueter, N. (2018). Tooth brushing motion patterns with manual and powered toothbrushes—A randomised video observation study. *Clinical Oral Investigations*, 22(2), 715–720. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2146-7>

Ganss, C., Schlueter, N., Preiss, S., & Klimek, J. (2008). Tooth brushing habits in uninstructed adults—Frequency, technique, duration and force. *Clinical Oral Investigations*, 13(2), 203–208. <https://doi.org/10.1007/s00784-008-0230-8>

Genco, R. J., & Sanz, M. (2020). Clinical and public health implications of periodontal and systemic diseases: An overview. *Periodontology 2000*, 83(1), 7–13. <https://doi.org/10.1111/prd.12344>

Guest, R. M. (2004). The Repeatability of Signatures. *Ninth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition*, 492–497. <https://doi.org/10.1109/IWFHR.2004.103>

Guilford, J. P., & Lyons, T. C. (1942). On determining the reliability and significance of a tetrachoric coefficient of correlation. *Psychometrika*, 7(4), 243–249. <https://doi.org/10.1007/BF02288627>

Harnacke, D., Beldoch, M., Bohn, G.-H., Seghaoui, O., Hegel, N., & Deinzer, R. (2012). Oral and written instruction of oral hygiene: A randomized trial. *Journal of periodontology*, 83(10), 1206–1212. <https://doi.org/10.1902/jop.2012.110550>

Harnacke, D., Mitter, S., Lehner, M., Munzert, J., & Deinzer, R. (2012). Improving oral

hygiene skills by computer-based training: A randomized controlled comparison of the modified Bass and the Fones techniques. *PloS one*, 7(5), e37072. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037072>

Harnacke, D., Stein, K., Stein, P., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2016). Training in different brushing techniques in relation to efficacy of oral hygiene in young adults: A randomized controlled trial. *Journal of clinical periodontology*, 43(1), 46–52. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12489>

Harnacke, D., Winterfeld, T., Erhardt, J., Schlueter, N., Ganss, C., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2015). What is the best predictor for oral cleanliness after brushing? Results from an observational cohort study. *Journal of periodontology*, 86(1), 101–107. <https://doi.org/10.1902/jop.2014.140152>

Honkala, S., Vereecken, C., Niclasen, B., & Honkala, E. (2015). Trends in toothbrushing in 20 countries/regions from 1994 to 2010. *European Journal of Public Health*, 25(suppl_2), 20–23. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckv013>

Inada, E., Saitoh, I., Yu, Y., Tomiyama, D., Murakami, D., Takemoto, Y., Morizono, K., Iwasaki, T., Iwase, Y., & Yamasaki, Y. (2015). Quantitative evaluation of toothbrush and arm-joint motion during tooth brushing. *Clinical Oral Investigations*, 19(6), 1451–1462. <https://doi.org/10.1007/s00784-014-1367-2>

Jordan, A. R., & Micheelis, W. (Hrsg.). (2016). *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V): Bd. Band 35*. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV.

Kassebaum, N. J., Bernabé, E., Dahiya, M., Bhandari, B., Murray, C. J. L., & Marcenes, W. (2014). Global Burden of Severe Periodontitis in 1990-2010: A Systematic Review and Meta-regression. *Journal of Dental Research*, 93(11), 1045–1053. <https://doi.org/10.1177/0022034514552491>

Kerr, R., Claman, D., Amini, H., Alexy, E., Kumar, A., & Casamassimo, P. S. (2019). Evaluation of the Ability of Five- to 11-Year-Olds to Brush Their Teeth Effectively with Manual and Electric Toothbrushing. *Pediatric Dentistry*, 41(1), 20–24.

Kleber, C. J., Putt, M. S., & Muhler, J. C. (1981). Duration and pattern of toothbrushing in children using a gel or paste dentifrice. *Journal of the American Dental Association (1939)*, 103(5), 723–726. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1981.0377>

Klein, H., & Palmer, C. E. (1938). *Dental Caries in American Indian Children*. U.S. Government Printing Office.

- Kumar, P. D. M., Mohandoss, A. A., Walls, T., Rooban, T., & Vernon, L. T. (2016). Using smartphone video “selfies” to monitor change in toothbrushing behavior after a brief intervention: A pilot study. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research*, 27(3), 268–277. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.186241>
- Kurgan, S., & Kantarci, A. (2018). Molecular basis for immunohistochemical and inflammatory changes during progression of gingivitis to periodontitis. *Periodontology* 2000, 76(1), 51–67. <https://doi.org/10.1111/prd.12146>
- Löe, H., Theilade, E., & Jensen, S. B. (1965). Experimental Gingivitis in Man. *The Journal of Periodontology*, 36(3), 177–187. <https://doi.org/10.1902/jop.1965.36.3.177>
- Macgregor, I. D. M., & Rugg-Gunn, A. J. (1979). A survey of toothbrushing sequence in children and young adults. *Journal of Periodontal Research*, 14(3), 225–230. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1979.tb00227.x>
- Macgregor, I. D. M., & Rugg-Gunn, A. J. (1979). Survey of toothbrushing duration in 85 uninstructed English schoolchildren. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 7(5), 297–298. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.1979.tb01235.x>
- Macgregor, I. D. M., & Rugg-Gunn, A. J. (1986). Effect of filming on tooth brushing performance in uninstructed adults in north-east England. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 14(6), 320–322. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.1986.tb01082.x>
- Martignon, S., González, M. C., Tellez, M., Guzmán, A., Quintero, I. K., Sáenz, V., Martínez, M., Mora, A., Espinosa, L. F., & Castiblanco, G. A. (2012). Schoolchildren’s tooth brushing characteristics and oral hygiene habits assessed with video-recorded sessions at school and a questionnaire. *Acta Odontologica Latinoamericana*, 25(2), 163–170.
- Meyle, J., & Jepsen, S. (2000). Der parodontale Screening-index (PSI). *Parodontologie*, 11(1), 17–21.
- Micheelis, W., Hoffmann, T., & Institut der Deutschen Zahnärzte (Hrsg.). (2006). *Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie - (DMS IV): Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Vorsorgungsgrad in Deutschland 2005*. Dt. Ärzte-Verl.
- Mierau, H. D., Haubitz, I., & Völk, W. (1989). Habit patterns in the use of the manual toothbrush. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 44(11), 836–841.

Nazir, M. A., Al-Ansari, A., Al-Khalifa, K. S., Alhareky, M., Gaffar, B., & Almas, K. (2020). Global Prevalence of Periodontal Disease and Lack of Its Surveillance. *The Scientific World Journal*, 2020, 2146160. <https://doi.org/10.1155/2020/2146160>

Neal, D. T., Wood, W., Labrecque, J. S., & Lally, P. (2012). How do habits guide behavior? Perceived and actual triggers of habits in daily life. *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(2), 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2011.10.011>

Neal, D. T., Wood, W., & Quinn, J. M. (2006). Habits—A Repeat Performance. *Current Directions in Psychological Science*, 15(4), 198–202. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2006.00435.x>

Odersky, E. (2018). *Handschrift und Automatisierung des Handschreibens: Eine Evaluation von Kinderschriften im 4. Schuljahr*. J.B. Metzler. <https://doi.org/10.1007/978-3-476-04781-6>

Pearson, K. (1895). Notes on Regression and Inheritance in the Case of Two Parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240-242. *K Pearson*.

Peres, M. A., Macpherson, L. M. D., Weyant, R. J., Daly, B., Venturelli, R., Mathur, M. R., Listl, S., Celeste, R. K., Guarnizo-Herreño, C. C., Kearns, C. E., Benzian, H., Benzian, H., Allison, P. J., & Watt, R. G. (2019). Oral diseases: A global public health challenge. *The Lancet*, 394(10194), 249–260. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)31146-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)31146-8)

Petker, W., Weik, U., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2019). Oral cleanliness in daily users of powered vs. Manual toothbrushes – a cross-sectional study. *BMC Oral Health*, 19(1), 96. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0790-9>

Petker-Jung, W., Weik, U., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2022). What characterizes effective tooth brushing of daily users of powered versus manual toothbrushes? *BMC Oral Health*, 22(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02045-0>

Quigley, G. A., & Hein, J. W. (1962). Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. *The Journal of the American Dental Association*, 65(1), 26–29. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1962.0184>

Raison, H., Corcoran, R., Burnside, G., & Harris, R. (2020). Oral hygiene behaviour automaticity: Are toothbrushing and interdental cleaning habitual behaviours? *Journal of Dentistry*, 102, 103470. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103470>

- Raison, H., Corcoran, R., & Harris, R. V. (2021). Is toothbrushing behaviour habitual? Cues, context, motivators and patient narratives. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 49(5), 478–486. <https://doi.org/10.1111/cdoe.12624>
- Rajwani, A. R., Hawes, S. N. D., To, A., Quaranta, A., & Rincon Aguilar, J. C. (2020). Effectiveness of Manual Toothbrushing Techniques on Plaque and Gingivitis: A Systematic Review. *Oral Health & Preventive Dentistry*, 18(1), 843–854. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.a45354>
- Rateitschak, K. H., Rateitschak, E. M., & Wolf, H. F. (1989). *Parodontologie* (2., überarb. und erw. Aufl). Thieme.
- Rosema, N. a. M., Hennequin-Hoenderdos, N. L., Versteeg, P. A., van Palenstein Helderma, W. H., van der Velden, U., & van der Weijden, G. A. (2013). Plaque-removing efficacy of new and used manual toothbrushes—A professional brushing study. *International Journal of Dental Hygiene*, 11(4), 237–243. <https://doi.org/10.1111/idh.12021>
- Rugg-Gunn, A. J., & Macgregor, I. D. M. (1978). A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. *Journal of Periodontal Research*, 13(4), 382–389. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.1978.tb00193.x>
- S, T. (1970). Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue vitamine C. *J Periodontol*, 41, 41–43.
- Sälzer, S., Graetz, C., Dörfer, C. E., Slot, D. E., & Van der Weijden, F. A. (2020). Contemporary practices for mechanical oral hygiene to prevent periodontal disease. *Periodontology 2000*, 84(1), 35–44. <https://doi.org/10.1111/prd.12332>
- Sandström, A., Cressey, J., & Stecksén-Blicks, C. (2011). Tooth-brushing behaviour in 6-12 year olds. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 21(1), 43–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-263x.2010.01080.x>
- Saxer, U. P., Barbakow, J., & Yankell, S. L. (1998). New studies on estimated and actual toothbrushing times and dentifrice use. *The Journal of Clinical Dentistry*, 9(2), 49–51.
- Saxer, U. P., & Mühlemann, H. R. (1975). [Motivation and education]. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie*, 85(9), 905–919.
- Schlueter, N., Klimek, J., Saleschke, G., & Ganss, C. (2010). Adoption of a toothbrushing

technique: A controlled, randomised clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 14(1), 99–106. <https://doi.org/10.1007/s00784-009-0269-1>

Schmalz, G., Kiehl, K., Schmickler, J., Rinke, S., Schmidt, J., Krause, F., Haak, R., & Ziebolz, D. (2018). No difference between manual and different power toothbrushes with and without specific instructions in young, oral healthy adults—Results of a randomized clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 22(3), 1147–1155. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2200-5>

Shrout, P. E., & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86, 420–428. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.420>

Sogaard, A. J., Grytten, J., & Holst, D. (1991). Recent changes in health related dental behaviors in Norway. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 19(5), 241–245. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.1991.tb00158.x>

Spearman, C. (1961). „General Intelligence“ Objectively Determined and Measured (S. 73). Appleton-Century-Crofts. <https://doi.org/10.1037/11491-006>

Sutton, S. (1994). The past predicts the future: Interpreting behaviour–behaviour relationships in social psychological models of health behaviour. In *Social psychology and health: European perspectives* (S. 71–88). Avebury/Ashgate Publishing Co.

Teumer, A., Holtfreter, B., Völker, U., Petersmann, A., Nauck, M., Biffar, R., Völzke, H., Kroemer, H. K., Meisel, P., Homuth, G., & Kocher, T. (2013). Genome-wide association study of chronic periodontitis in a general German population. *Journal of Clinical Periodontology*, 40(11), 977–985. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12154>

Thavarajah, R., Kumar, M., Mohandoss, A. A., & Vernon, L. T. (2015). Drilling Deeper into Toothbrushing Skills: Is Proactive Interference an Under-Recognized Factor in Oral Hygiene Behavior Change? *Current Oral Health Reports*, 2(3), 123–128. <https://doi.org/10.1007/s40496-015-0053-z>

Tolvanen, M., Lahti, S., Poutanen, R., Seppä, L., & Hausen, H. (2010). Children’s oral health-related behaviors: Individual stability and stage transitions. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 38(5), 445–452. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.2010.00549.x>

Tonetti, M. S., Jepsen, S., Jin, L., & Otomo-Corgel, J. (2017). Impact of the global burden of periodontal diseases on health, nutrition and wellbeing of mankind: A call for global

action. *Journal of Clinical Periodontology*, 44(5), 456–462. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12732>

Wainwright, J., & Sheiham, A. (2014). An analysis of methods of toothbrushing recommended by dental associations, toothpaste and toothbrush companies and in dental texts. *British Dental Journal*, 217(3), Article 3. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.651>

Watt, R. G., Daly, B., Allison, P. J., Macpherson, L. M. D., Venturelli, R., Listl, S., Weyant, R. J., Mathur, M. R., Guarnizo-Herreño, C. C., Celeste, R. K., Peres, M. A., Kearns, C. E., Benzián, H., & Benzián, H. (2019). Ending the neglect of global oral health: Time for radical action. *The Lancet*, 394(10194), 261–272. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)31133-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)31133-x)

Weber, T. (2017). *Memorix Zahnmedizin* (5., unveränderte Auflage). Georg Thieme Verlag.

Weijden, G. A. V. D., & Hioe, K. P. K. (2005). A systematic review of the effectiveness of self-performed mechanical plaque removal in adults with gingivitis using a manual toothbrush. *Journal of Clinical Periodontology*, 32(s6), 214–228. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2005.00795.x>

Weik, U., Cordes, O., Weber, J., Krämer, N., Pieper, K., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2020). Toothbrushing Performance and Oral Cleanliness after Brushing in 12-Year-Old Children. *JDR Clinical & Translational Research*, 7(1), 71–79. <https://doi.org/10.1177/2380084420975333>

Weik, U., Shankar-Subramanian, S., Sämann, T., Wöstmann, B., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (2023). “You should brush your teeth better”: A randomized controlled trial comparing best-possible versus as-usual toothbrushing. *BMC Oral Health*, 23(1), 456. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03127-3>

Winterfeld, T., Schlueter, N., Harnacke, D., Illig, J., Margraf-Stiksrud, J., Deinzer, R., & Ganss, C. (2015). Toothbrushing and flossing behaviour in young adults—a video observation. *Clinical oral investigations*, 19(4), 851–858. <https://doi.org/10.1007/s00784-014-1306-2>

Witte, K. (2018). *Grundlagen der Sportmotorik im Bachelorstudium (Band 1)*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57868-1>

Wolf, H. F., Rateitschak, K. H., & Rateitschak, E. M. (2012). *Parodontologie* (Kart.

Sonderausg., 3., vollst. überarb. und erw. Aufl). Thieme.

Zimmer, S., & Lieding, L. (2014). Gewohnheiten und Kenntnisse zur Mund- hygiene in Deutsch- land – Ergebnisse einer bevölkerungsrepräsentativen S. Zimmer Befragung. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 10.

10. Anhang

- Anhang A** Rekrutierungstext
- Anhang B** Protokollbogen Erstgespräch
- Anhang C** Aufklärungsbogen und Einwilligung
- Anhang D** Informationen zum Datenschutz
- Anhang E** Einwilligung zur Freigabe der Videoaufzeichnung
- Anhang F** Interraterreliabilität der Kalibrierung
- Anhang G** Interraterreliabilität der Auswertung
- Anhang H** Darstellung der Ergebnisse ohne Ausreißerkontrolle

Anhang A – Rekrutierungstext



30 € für Versuchsteilnahme

Für meine Masterarbeit, die ich am Institut für Medizinische Psychologie (Klinikstraße 29, MLZ) schreibe, suche ich Studierende, die ihre Zähne regelmäßig mit einer Handzahnbürste putzen. Die Untersuchung findet an zwei Terminen in einem Abstand von ca. 2 Wochen statt, die zusammen etwa 2 Stunden dauern. Für den zeitlichen Aufwand erhältst du eine Entschädigung in Höhe von 30 €. Dafür musst du einfach nur bereit sein, dich filmen zu lassen, während du deine Zähne vor einem Spiegel putzt.

Du kannst leider nicht an der Untersuchung teilnehmen, wenn du ...

- Medizin oder Zahnmedizin studierst
- eine Ausbildung in einem zahnärztlichen Beruf begonnen oder abgeschlossen hast
- eine feste Zahnsperre oder einen festen Retainer trägst
- orale Piercings oder Zahnschmuck trägst

Neben dem Filmen deines Zahnputzverhaltens werden wir dich außerdem bitten, einige Fragebögen auszufüllen. Außerdem werden deine Zähne durch unsere ZahnärztInnen kurz untersucht. Mit der Teilnahme an dieser Studie hilfst du mir bei der Fertigstellung meiner Masterarbeit und einem zahnmedizinischen Doktoranden bei seiner Dissertation.

Falls du Interesse hast an der Studie teilzunehmen, dann schreib uns eine E-Mail unter Angabe einer Telefonnummer an: Dominic.Buettner@psychol.uni-giessen.de

oder ruf in unserem Sekretariat an: 0621-99-45674 (Fr. Wilhelm)

Vielen Dank für deine Unterstützung!

Dominic Büttner und Thorben Sämann

Studienleitung:
Prof. Dr. Renate Deinzer
Institut für Medizinische Psychologie, Justus-Liebig-Universität Gießen
Klinikstraße 29
35392 Gießen
Telefon: 0641-99-45681

Anhang B – Protokollbogen Erstgespräch

InstruktionStabilität Zahnputzstudie (Studierende)

Datum/Interviewer _____	Probandencode <input type="text"/>
Name _____	Kontakt gewünscht über:
Handy/Telefon _____	<input type="checkbox"/> Telefon
E-Mail _____	<input type="checkbox"/> SMS / WhatsApp
	<input type="checkbox"/> E-Mail

Hier abtrennen

→ Interview beenden sobald ein Ausschlusskriterium (rot) erfüllt ist!

1. Wie alt sind Sie? _____ Jahre <i>wenn < 18 oder > 35</i>	Probandencode <input type="text"/>
2. Studieren Sie? Ja [] Nein []	
3. Was studieren Sie? _____ <i>wenn Medizin/Zahnmedizin</i>	
4. Geschlecht: O weiblich O männlich	
5. <i>(nur weiblich)</i> Sind Sie schwanger oder stillen Sie zurzeit?	Ja [] Nein []
6. Tragen Sie eine feste Zahnsperre oder einen festen Retainer?	Ja [] Nein []
7. Tragen Sie ein herausnehmbare Prothese/Zahnersatz?	Ja [] Nein []
8. Tragen Sie orale Piercings?	Ja [] Nein []
9. Haben Sie Einschränkungen, welche sich auf die Ausübung Ihrer Mundhygiene auswirken (z.B. Schulterverletzung)?	Ja [] Nein []
10. Womit haben Sie sich in den letzten 6 Monaten überwiegend die Zähne geputzt, mit elektrischer Zahnbürste oder Handzahnbürste?	
[] Handzahnbürste	
[] Elektrische Zahnbürste	
[] Beide Typen → [] Handzahnbürste ≥ 2/3 aller Putzvorgänge ; [] Handzahnbürste < 2/3 aller Putzvorgänge	
11. Benutzen Sie weitere Hilfsmittel zur Reinigung ihrer Zähne <i>Die Antwortmöglichkeiten sollen nur dargelegt, wenn der Proband sich bei der Beantwortung unsicher zu sein scheint</i>	
[] Zahnseide	
[] Zwischenraumbürstchen	
→ Weitere Hilfsmittel, die im Labor nicht zur Verfügung stehen, müssen nicht erfasst werden	
12. Haben Sie innerhalb der letzten 4 Monate eine professionelle Zahnreinigung durchführen lassen?	Ja [] Nein []
13. Haben Sie innerhalb der letzten 6 Monate Antibiotika eingenommen?	Ja [] Nein []
14. Wann waren Sie das letzten Mal beim Zahnarzt? _____	
15. Rauchen Sie zurzeit Zigaretten? Ja [] Nein [] → Wenn, ja wieviel? _____ Stück pro Tag	
16. Arbeitet ein Elternteil in einem zahnärztlichen Beruf?	Ja [] Nein []

Bei [] **Ausschluss** :

„Leider muss ich Ihnen mitteilen, dass Sie nicht die Voraussetzungen erfüllen, um an dieser Studie teilzunehmen. Das kann immer mal vorkommen und hat nichts mit einer negativen Bewertung ihrer Person zu tun. Vorab werden bestimmte Kriterien für die Teilnahme festgelegt, die für alle Teilnehmerinnen/Teilnehmer gleich sein müssen. Ich möchte Ihnen aber dennoch für Ihre Rückmeldung danken und wünschen Ihnen noch einen schönen Tag.“

Bei [] **Einschluss** → Terminvereinbarung (im Abstand von ca. 2 Wochen) + Eintrag im Exchange-Kalender

Anhang C – Aufklärungsbogen und Einwilligung

Zahnputzverhalten bei jungen Erwachsenen

ZAHNPUTZVERHALTEN BEI JUNGEN ERWACHSENEN

Teilnehmer-Information

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,

Sie haben sich für die Teilnahme an der geplanten Studie gemeldet und es wurde bereits ein Interview mit Ihnen geführt, um zu klären, ob sie die Voraussetzungen zur Teilnahme an dieser Studie erfüllen. Der nachfolgende Text erläutert die Ziele und den Ablauf. Wenn Sie etwas nicht verstanden haben oder etwas unklar ist, können Sie uns jederzeit fragen. Bitte zögern Sie nicht, alle Punkte anzusprechen, die Ihnen unklar sind. Nach dem Durchlesen haben Sie genügend Zeit, sich zu überlegen, ob Sie an dieser Studie teilnehmen möchten.

Diese wissenschaftliche Untersuchung wird in den Räumlichkeiten der Medizinischen Psychologie der Justus-Liebig-Universität Gießen (JLUG) durchgeführt. Verantwortlich für die Durchführung sind Prof. Dr. Renate Deinzer und Prof. Dr. Bernd Wöstmann.

Ihre Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie ist freiwillig. Sie werden also nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären. Sofern Sie nicht an der wissenschaftlichen Studie teilnehmen oder später aus ihr ausscheiden möchten, erwachsen Ihnen daraus keine Nachteile.

1. Warum wird diese Studie durchgeführt?

Mit dieser Studie wollen wir mehr darüber erfahren, wie unterschiedliche Menschen ihre Zähne putzen.

2. Wie ist der Ablauf der Studie und was muss ich bei Teilnahme beachten?

Wir wollen Sie heute und noch einmal in ca. 2 Wochen untersuchen. Einen 2. Termin haben wir bereits mit Ihnen vereinbart bzw. werden ihn noch vereinbaren. Zu beiden Terminen (heute und in zwei Wochen) putzen Sie sich die Zähne vor einer Kamera, damit wir später das Putzverhalten analysieren können. Außerdem werden Sie von einem Zahnarzt hinsichtlich Ihrer Mundgesundheit untersucht und beantworten zum Schluss noch Fragebögen zu Ihrer Person und rund um das Thema Zähneputzen am Computer. Die Dauer eines Untersuchungstermins beträgt ca. 60 – 75 Minuten.

3. Welchen persönlichen Nutzen habe ich von der Teilnahme an der Studie?

Der Vorteil, den Sie persönlich aus dieser Studie ziehen können ist, dass sie eine Rückmeldung über ihren Mundgesundheitsstatus erhalten, wenn Sie es wünschen.

Seite 1 von 5

4. Welche Risiken sind mit der Teilnahme an der Studie verbunden?

Mit dieser Studie verbundene Risiken sind nicht bekannt oder zu erwarten.

5. Entstehen für mich Kosten durch die Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie? Erhalte ich eine Aufwandsentschädigung?

Durch Ihre Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie entstehen für Sie keine Kosten. Sofern Sie beide Termine einhalten, erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 30 €.

6. Wer entscheidet, ob ich aus der wissenschaftlichen Studie ausscheide?

Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahme beenden, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile entstehen.

Wir werden nachdem Sie diese Einwilligungserklärung unterschrieben haben nochmals prüfen, ob ein Ausschlussgrund die Teilnahme verhindert.

Unter gewissen Umständen ist es aber auch möglich, dass die Studienleitung zu einem späteren Zeitpunkt entscheidet, Ihre Teilnahme an der wissenschaftlichen Untersuchung vorzeitig zu beenden, ohne dass Sie auf die Entscheidung Einfluss haben. Die Gründe hierfür können z.B. sein:

- Mögliche Einschränkungen oder Hindernisse in Bezug auf ihre Mundhygiene, die zuvor nicht erfasst wurden
- es wird die gesamte wissenschaftliche Studie abgebrochen.

In den beiden letztgenannten Fällen erhalten Sie eine anteilige Aufwandsentschädigung.

7. Was geschieht mit meinen Daten?

Während der wissenschaftlichen Studie werden personenbezogene Daten von Ihnen erhoben, niedergeschrieben sowie elektronisch gespeichert. Die für die wissenschaftliche Studie wichtigen Daten werden zusätzlich pseudonymisiert, d.h. dass keine Angaben von Namen oder Initialen verwendet werden, sondern nur ein Nummern- und/oder Buchstabencode verwendet wird, um die Daten ohne Zuordnung zu ihrer Person zu kennzeichnen. **Ihre Untersuchungsdaten und ihre persönlichen Angaben werden also getrennt voneinander aufbewahrt und pseudonymisiert ausgewertet, sodass Dritten eine Zuordnung zu Ihrer Person nicht möglich ist.** Es gibt strenge gesetzliche Bestimmungen zum Datenschutz an die wir uns genau halten.

Die Daten werden in Papierform sowie auf elektronischen Datenträgern im Institut für Medizinische Psychologie der Universität Gießen aufgezeichnet. Die erhobenen Daten dürfen zum Zwecke der wissenschaftlichen Auswertung weiterverarbeitet werden. Die Daten werden nach Beendigung oder Abbruch der Studie zehn Jahre aufbewahrt. Danach werden alle Daten gelöscht. In dieser Zeit haben Sie das Recht, die eigenen Daten selbst einzusehen. Sofern Sie die Studie abbrechen, können die Daten auf Ihren Wunsch hin gelöscht werden.

Die Antworten der ausgefüllten Online-Fragebögen werden, wie oben beschrieben, nur durch einen Code (Pseudonym) gekennzeichnet. Die Daten werden nur **verschlüsselt übertragen** und auf einem **deutschen Server zwischengespeichert** und direkt **nach Abschluss der Studie gelöscht. Weitere Informationen finden Sie auf der Seite:** <https://www.soscisurvey.de/index.php?page=privacy>.

Seit dem 25.05.2018 ist eine neue Datengrundschutzordnung (DS-GVO) in Kraft getreten. Hierfür erhalten Sie zusätzliche Informationen in Form einer *Ergänzenden Probandeninformation*. Wir bitten Sie diese ebenfalls zu lesen und zu unterschreiben.

Einwilligungserklärung

.....
Name der Probandin / des Probanden in Druckbuchstaben

Geburtsjahr Teilnehmer-Nr.

Ich habe mir anhand des ausgehändigten Aufklärungsbogens einen Überblick über das Forschungsvorhaben und den Ablauf der Studie verschafft und wurde von der Versuchsleitung

.....
Name der Versuchsleiterin/des Versuchsleiters

unter der Leitung von

Prof. Dr. Renate Deinzer; Prof. Dr. Bernd Wöstmann

.....
Name der Studienverantwortlichen

ausreichend und verständlich über die geplante Untersuchung informiert. über Wesen, Bedeutung, Risiken und Tragweite der wissenschaftlichen Studie aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text der Probandeninformation sowie die hier nachfolgend abgedruckte Datenschutzerklärung gelesen und verstanden. Ich hatte die Gelegenheit, mit einem der untersuchenden Zahnärzte über die Durchführung der zahnärztlichen Untersuchung zu sprechen. Alle meine Fragen wurden zufrieden stellend beantwortet und ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden.

Möglichkeit zur Dokumentation zusätzlicher Fragen seitens des Probanden oder sonstiger Aspekte des Aufklärungsgesprächs:

Mir ist bekannt, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Einwilligung zur Teilnahme an der Prüfung zurückziehen kann (mündlich oder schriftlich), ohne dass mir irgendwelche Nachteile entstehen.

Anhang D – Informationen zum Datenschutz

Ergänzende Information für Studienteilnehmer gemäß Europäischer Datenschutz-Grundverordnung¹ für bereits laufende medizinische Forschungsvorhaben (Start vor 25.05.2018)

Zahnputzverhalten von jungen Erwachsenen

Sehr geehrte/r Studienteilnehmer/in,

aufgrund des Wirksamwerdens der Europäischen Datenschutz-Grundverordnung = DS-GVO zum 25. Mai 2018, ändern sich die Datenschutzvorschriften in Europa. Auch für bereits laufende medizinische Forschungsvorhaben (im folgenden klinische Studien genannt), ergeben sich dadurch neue Anforderungen an die Verarbeitung personenbezogener Daten.

Wenn sie bereits Teilnehmer/in an einer wissenschaftlichen Studie sind, wurden Sie in der jeweiligen Probandeninformation- und Einwilligungserklärung bereits über die Aspekte zum Datenschutz informiert und haben dem schriftlich zugestimmt. Dies beinhaltet z. B. Informationen über die Erfassung, Speicherung und Weiterleitung ihrer personenbezogenen Daten sowie Ihre diesbezüglichen Rechte. Auch als mögliche/r neue/r Studienteilnehmer/in erhalten Sie diese Informationen im Rahmen des Aufklärungsgesprächs durch Ihren Prüfer und in der schriftlichen Probandeninformation- und Einwilligungserklärung zur wissenschaftlichen Studie.

Der in der Probandeninformation- und Einwilligungserklärung zu der jeweiligen wissenschaftlichen Studie beschriebene Umgang mit Ihren Daten gilt weiterhin.

Zusätzlich werden Sie hiermit über die in der DS-GVO festgelegten Rechte informiert (Artikel 12 ff. DS-GVO):

Rechtsgrundlage

Die Rechtsgrundlage zur Verarbeitung der Sie betreffenden personenbezogenen Daten bilden bei wissenschaftlichen Studien Ihre freiwillige schriftliche Einwilligung gemäß DS-GVO sowie der Deklaration von Helsinki (Erklärung des Weltärztebundes zu den ethischen Grundsätzen für die medizinische Forschung am Menschen) und der Leitlinie für Gute Klinische Praxis. Bei Arzneimittel-Studien ist zusätzlich das Arzneimittelgesetz Rechtsgrundlage, bei Medizinprodukte-Studien entsprechend das Medizinproduktegesetz anzuwenden.

Bezüglich Ihrer Daten haben Sie folgende Rechte (Artikel 13 ff. DS-GVO):

Recht auf Auskunft

Sie haben das Recht auf Auskunft über die Sie betreffenden personenbezogenen Daten, die im Rahmen der wissenschaftlichen Studie erhoben, verarbeitet oder ggf. an Dritte übermittelt werden (Aushändigen einer *kostenfreien* Kopie) (Artikel 15 DS-GVO).

¹ Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)

Recht auf Berichtigung

Sie haben das Recht Sie betreffende unrichtigen personenbezogene Daten berichtigen zu lassen (Artikel 16 und 19 DS-GVO).

Recht auf Löschung

Sie haben das Recht auf Löschung Sie betreffender personenbezogener Daten, z. B. wenn diese Daten für den Zweck, für den sie erhoben wurden, nicht mehr notwendig sind (Artikel 17 und 19 DS-GVO).

Recht auf Einschränkung der Verarbeitung

Unter bestimmten Voraussetzungen haben Sie das Recht auf Einschränkung der Verarbeitung zu verlangen, d.h. die Daten dürfen nur gespeichert, nicht verarbeitet werden. Dies müssen Sie beantragen. Wenden Sie sich hierzu bitte an ihren Prüfer oder an den Datenschutzbeauftragten des Prüfzentrums (Artikel 18 und 19 DS-GVO).

Im Falle der Berichtigung, Löschung, Einschränkung der Verarbeitung werden zudem all jene benachrichtigt, die Ihre Daten erhalten haben (Artikel 17 (2) und Artikel 19 DS-GVO).

Recht auf Datenübertragbarkeit

Sie haben das Recht, die sie betreffenden personenbezogenen Daten, die sie dem Verantwortlichen für die klinische Studie / klinische Prüfung bereitgestellt haben, zu erhalten. Damit können Sie beantragen, dass diese Daten entweder Ihnen oder, soweit technisch möglich, einer anderen von Ihnen benannten Stelle übermittelt werden (Artikel 20 DS-GVO).

Widerspruchsrecht

Sie haben das Recht, jederzeit gegen konkrete Entscheidungen oder Maßnahmen zur Verarbeitung der Sie betreffenden personenbezogenen Daten Widerspruch einzulegen (Art 21 DS-GVO). Eine solche Verarbeitung findet anschließend grundsätzlich nicht mehr statt.

Einwilligung zur Verarbeitung personenbezogener Daten und Recht auf Widerruf dieser Einwilligung

Die Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten ist nur mit Ihrer Einwilligung rechtmäßig (Artikel 6 DS-GVO).

Sie haben das Recht, ihre Einwilligung zur Verarbeitung personenbezogener Daten jederzeit zu widerrufen. Es dürfen jedoch die bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Daten durch die in der Probandeninformation- und Einwilligungserklärung zu der jeweiligen wissenschaftlichen Studie / Prüfung genannten Stellen verarbeitet werden (Artikel 7, Absatz 3 DS-GVO).

Benachrichtigung bei Verletzung des Schutzes personenbezogener Daten („Datenschutzpannen“)

Hat eine Verletzung des Schutzes personenbezogener Daten voraussichtlich ein hohes Risiko für Ihre persönlichen Rechte und Freiheiten zur Folge, so werden Sie unverzüglich benachrichtigt (Artikel 34 DS-GVO).

Möchten Sie eines dieser Rechte in Anspruch nehmen, wenden Sie sich bitte an Ihren Prüfer oder an den Datenschutzbeauftragten Ihres Prüfzentrums. Außerdem haben Sie das Recht, Beschwerde bei der/den Aufsichtsbehörde/n einzulegen, wenn Sie der Ansicht sind, dass die Verarbeitung der Sie betreffenden personenbezogenen Daten gegen die DS-GVO verstößt (siehe Kontaktdaten).

Kontaktdaten**Datenschutz: Kontaktdaten Prüfzentrum**

Datenschutzbeauftragte/r		Datenschutz-Aufsichtsbehörde	
ggf. Name:	Axel P. Globuschütz	ggf. Name:	Hessischer Beauftragter für Datenschutz und Informationsfreiheit
Adresse:	Ludwigstr. 23 35390 Gießen	Adresse:	Postfach 3163 65021 Wiesbaden
Telefon:	0641-99 12230	Telefon:	
E-Mail	datenschutz@uni-giessen.de	E-Mail	

Datenschutz: Kontaktdaten der Studienleitung der wissenschaftlichen Studie

Datenschutzbeauftragte/r		Datenschutz-Aufsichtsbehörde	
Name:	Renate Deinzer	Name:	Der Hessische Datenschutzbeauftragte
Adresse:	Klinikstr. 29 35392 Gießen	Adresse:	Gustav-Stresemann-Ring 1 65189 Wiesbaden
Telefon:	0641-99 45681	Telefon:	Telefon: 0611-140 80
E-Mail	Renate.Deinzer@mp.jlug.de	E-Mail	poststelle@datenschutz.hessen.de

Für die Datenverarbeitung Verantwortliche/r	
ggf. Name	Renate Deinzer
Adresse:	Klinikstr. 29 35392 Gießen
Telefon:	0641-99 45681
E-Mail	Renate.Deinzer@mp.jlug.de

Eine **Unterschrift** ist **nur für ab dem 25.05.2018 neu eingeschlossene Probanden** erforderlich, für bereits eingeschlossene Probanden optional zur Bestätigung der Kenntnisnahme.

Name in Druckschrift Datum Unterschrift

Anhang E – Einwilligung zur Freigabe der Videoaufzeichnung

Freigabe des Videos der Studie „Zahnputzverhalten von jungen Erwachsenen?“

Hiermit erkläre ich _____ (Vorname, Nachname [in Druckbuchstaben]) mich damit einverstanden, dass das von mir in der Studie „Zahnputzverhalten von jungen Erwachsenen?“ aufgenommene Video bei wissenschaftlichen Tagungen und zahnmedizinischen Fortbildungen gezeigt werden darf. Dabei wird meine Augenpartie geschwärzt werden.

Ort, Datum

Unterschrift der Probandin / des Probanden

Anhang F – Interraterreliabilität der Kalibrierung

Tabelle F1 Übersicht der Interraterreliabilität (ICC) der Kalibrierung.

	Übereinstimmung mit Master		Übereinstimmung miteinander
	SS	MS	
Zahnkontaktzeit	.998	>.999	.998
nicht beurteilbar	plausibel (ohne ICC-Berechnung, da nicht sinnvoll)		
	DB (N=5)	PH (N=5*)	miteinander
Fläche: okklusal	.953	.988	
Fläche: vestibulär	.997	.980	
Fläche: oral	.913	.977	
	TS (N=10)	KB (N=10)	miteinander
Sextant 1 gesamt	.973	.944	.963
Sextant 2 gesamt	.964	.943	.895
Sextant 3 gesamt	.981	.977	.990
Sextant 4 gesamt	.973	.967	.993
Sextant 5 gesamt	.911	.858	.948
Sextant 6 gesamt	.991	.990	.975
			miteinander
Quadrant 1			.998
Quadrant 2			.993
Quadrant 3			.983
Quadrant 4			.995
	SS (N=10**)	KB (N=10**)	miteinander
kreisende Bewegungen	.973	.996	.967
horizontale Bewegungen	.965	.978	.919
vertikale Bewegungen	.972	.985	.933
keine Bewegung mod. Bass-Technik			

Anhang G – Interraterreliabilität der Auswertung

Tabelle G1 Übersicht der Interraterreliabilität (ICC) der Auswertung.

finale Stichprobe	ICC T1 (N=10)	ICC T2 (N=10)
SS & MS		
Zahnkontaktzeit	>.999	>.999
Nicht beurteilbar	plausibel (ohne ICC-Berechnung, da nicht sinnvoll)	
DB & PH		
Fläche: okklusal	.927	.955
Fläche: vestibulär	.975	.991
Fläche: oral	.908	.901
TS & KB		
Sextant 1 (Tigerbiss voll angerechnet)	.972	.928
Sext 2 (Tigerbiss voll angerechnet)	.967	.953
Sext 3 (Tigerbiss voll angerechnet)	.983	.987
Sext 4 (Tigerbiss voll angerechnet)	.962	.974
Sext 5 (Tigerbiss voll angerechnet)	.950	.977
Sext 6 (Tigerbiss voll angerechnet)	.973	.989
Quadrant 1	.995	>.999
Quadrant 2	.996	>.999
Quadrant 3	.972	.999
Quadrant 4	.970	.999
SS & KB		
kreisende Bewegungen	.902	.994
horizontale Bewegungen	.904	.886
vertikale Bewegungen	.965	.907
keine Bewegung		
mod. Bass-Technik		

Anhang H – Darstellung der Ergebnisse ohne Ausreißerkontrolle

Tabelle H1 Übersicht der Zahnputzparameter (bestmögliches Putzen) an T1 und T2 ohne Ausreißerkontrolle.

Zahnputzparameter (bestmöglich)	T1		T2		<i>r</i> [CI 95%]			<i>Rho</i> [CI 95%]		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>						
Zahnkontaktzeit (ZKZ; s)	239,63	98,04	273,56	153,46	0,90	0,83	0,94	0,86	0,76	0,92
Okklusalflächen (s)	91,98	51,93	106,82	69,01	0,83	0,73	0,90	0,79	0,65	0,87
Vestibularflächen (s)	107,45	48,31	114,51	57,78	0,87	0,79	0,93	0,85	0,75	0,91
Oralflächen (s)	40,20	34,33	52,23	54,91	0,84	0,74	0,91	0,85	0,75	0,91
Anteil okklusal an ZKZ (%)	38,10	14,26	39,20	12,80	0,83	0,72	0,90	0,79	0,65	0,88
Anteil vestibulär an ZKZ (%)	46,22	12,64	44,04	13,90	0,80	0,68	0,88	0,82	0,70	0,89
Anteil oral an ZKZ (%)	15,68	10,72	16,70	11,46	0,77	0,63	0,86	0,78	0,64	0,87
Vestibularflächen										
Horizontale Bewegungen (s)	31,45	31,61	34,31	39,56	0,71	0,55	0,82	0,78	0,65	0,87
Kreisende Bewegungen (s)	69,60	51,93	71,89	54,64	0,87	0,79	0,92	0,83	0,71	0,90
Oralflächen										
Horizontale Bewegungen (s)	20,02	22,30	26,30	36,51	0,86	0,76	0,92	0,81	0,69	0,89
Vertikale Bewegungen (s)	15,50	23,44	19,53	33,16	0,81	0,69	0,89	0,68	0,50	0,81

Tabelle H2 Übersicht der Zahnputzparameter (gewöhnliches Putzen) an T1 und T2 ohne Ausreißerkontrolle.

<i>Zahnputzparameter (gewöhnlich)</i>	T1		T2		<i>r</i>			<i>rho</i>		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>		<i>[CI 95%]</i>			<i>[CI 95%]</i>	
Zahnkontaktzeit (ZKZ; s)	195,85	81,90	209,38	94,57	0,93	0,88	0,96	0,89	0,82	0,94
Okklusalflächen (s)	83,47	46,26	89,90	50,84	0,92	0,86	0,95	0,93	0,88	0,96
Vestibularflächen (s)	84,26	37,98	85,33	41,02	0,92	0,87	0,96	0,89	0,81	0,93
Oralflächen (s)	28,12	26,15	34,15	32,72	0,85	0,75	0,91	0,89	0,82	0,94
Anteil okklusal an ZKZ (%)	42,16	15,44	42,82	15,20	0,90	0,84	0,94	0,92	0,87	0,96
Anteil vestibulär an ZKZ (%)	44,47	13,27	42,05	12,33	0,89	0,81	0,93	0,87	0,78	0,92
Anteil oral an ZKZ (%)	13,37	10,53	15,13	10,64	0,87	0,78	0,92	0,87	0,79	0,93
Vestibularflächen										
Horizontale Bewegungen (s)	53,61	41,19	54,03	40,07	0,73	0,57	0,83	0,73	0,57	0,84
Kreisende Bewegungen (s)	10,90	12,53	15,64	20,92	0,81	0,69	0,89	0,76	0,62	0,86
Oralflächen										
Horizontale Bewegungen (s)	10,90	12,53	15,64	20,92	0,80	0,68	0,88	0,87	0,77	0,92
Vertikale Bewegungen (s)	14,58	22,39	15,37	20,36	0,89	0,82	0,94	0,90	0,82	0,94

11. Publikationsverzeichnis

Zum Zeitpunkt der Abgabe der vorliegenden Arbeit (12/2023) wurde der dazugehörige Artikel im Journal Plos One eingereicht, eine Rückmeldung der Reviewer steht aber noch aus. Ein Postervortrag auf der Generalversammlung der IADR in New Orleans ist geplant, der eingereichte Abstract wurde zum Zeitpunkt der Abgabe bereits angenommen.

Eingereichter Artikel

Weik, U., Sämann, T., Eidenhardt, Z., Shankar-Subramanian, S., Wöstmann, B., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. (o.J.). *Stability of tooth brushing performance.*

Vorbereiteter Postervortrag

Weik, U., Sämann, T., Eidenhardt, Z., Shankar-Subramanian, S., Wöstmann, B., Margraf-Stiksrud, J., & Deinzer, R. *Brushing teeth - true chaos or strong habit?* 102. Generalversammlung der IADR, New Orleans, 13.-16. März 2024

12. 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.

_____ Ort/Datum

_____ Unterschrift

13. Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei Frau Prof. Dr. Renate Deinzer, Leiterin des Instituts für Medizinische Psychologie der Justus-Liebig-Universität für die Möglichkeit danken, die vorliegende Arbeit anzufertigen. Ebenso bedanke ich mich für zuverlässige Betreuung dieser Arbeit durch Frau Dr. Ulrike Weik, die jederzeit mit Rat zur Seite stand und mir insbesondere bei den statistischen Teilen dieser Arbeit großen Beistand bot. Ohne die gute Zusammenarbeit aller Kolleg*innen im Institut für Medizinische Psychologie wäre es nicht möglich gewesen, eine solche Studie zu planen und durchzuführen, daher gilt mein Dank auch allen Mitarbeitenden des IMP. Ferner möchte ich auch den Mitarbeiter*innen der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik der Zahnklinik Gießen unter Leitung von Prof. Wöstmann danken, die uns bei der Studie mit wertvollem Input und zuverlässiger Logistik unterstützt haben. Abschließend gilt ein großer Dank meiner Familie, die mich während der ganzen Zeit durchgehend motiviert und unterstützt hat und dabei selbst auf einiges verzichtet hat, um mir das Erstellen dieser Arbeit zu ermöglichen.