

Vergleich von Videoanalyse und Motion Tracking System zur
Analyse des Zahnputzverhaltens

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

vorgelegt von Klein, Patrick
aus Engelskirchen

Gießen 2023

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde

des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Gutachterin: Prof. Dr. Carolina Ganß

Gutachterin: Prof. Dr. Marcella Esteves Oliveira

Tag der Disputation: 3. November 2023

Für meine Familie.

Vergleich von Videoanalyse und Motion Tracking System zur Analyse des
Zahnputzverhaltens

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
1.1 THEORETISCHER HINTERGRUND	2
1.1.1 PLAQUEENTSTEHUNG	2
1.1.2 FOLGEN DER PLAQUEENTSTEHUNG - KARIES	3
1.1.3 PLAQUEENTFERNUNG MIT HINBLICK AUF KARIESPRÄVENTION	4
1.1.4 ZAHNPUTZVERHALTEN UND DESSEN ERFOLG	5
1.2 BEOBACHTUNGSSTUDIEN	7
1.2.1 BISHERIGE ERGEBNISSE	7
1.2.2 DURCHFÜHRUNG EINER BEOBACHTUNGSSTUDIE	7
1.2.3 PROBLEM DER BEOBACHTUNGSSTUDIEN.....	8
1.3 MOTION TRACKING SYSTEM	8
1.4 ZIEL DER STUDIE.....	10
2 METHODEN UND PROBANDEN	11
2.1 STUDIENDESIGN.....	11
2.2 REKRUTIERUNG DER PROBANDEN.....	12
2.3 INFORMATION UND ZUSTIMMUNG.....	14
2.4 DAS MOTION TRACKING SYSTEM	14
2.4.1 AUFBAU UND MATERIAL	14
2.4.2 FUNKTIONSWEISE.....	16
2.5 DURCHFÜHRUNG DER STUDIE	18
2.5.1 SCREENINGTAG.....	21
2.5.2 VORBEREITUNG MOTION TRACKING SYSTEM - TEACHINGPROZESSE.....	22
2.5.3 UNTERSUCHUNGSTAG	26
2.6 DATENAUSWERTUNG.....	32
2.6.1 PARAMETER DER AUSWERTUNG.....	32
2.6.2 VIDEOAUSWERTUNG	35
2.6.3 QUALITÄTSSICHERUNG	43
2.7 KALIBRIERUNG DER VIDEOANALYSE.....	43
2.7.1 KAPPA KALKULATION MIT INTERACT.....	43
2.7.2 INTRARATER ÜBEREINSTIMMUNG.....	45
2.7.3 INTERRATER ÜBEREINSTIMMUNG.....	47

Vergleich von Videoanalyse und Motion Tracking System zur Analyse des
Zahnputzverhaltens

2.8 STATISTIK	48
2.8.1 FALLZAHLBERECHNUNG	48
2.8.2 STATISTISCHE VERFAHREN	49
<u>3 ERGEBNISSE</u>	50
3.1 ÜBEREINSTIMMUNG DER IDENTIFIZIERTEN BÜRSTENPOSITIONEN	50
3.2 ÜBEREINSTIMMUNG DER PUTZDAUERN	52
3.3 BETRACHTUNG DER BÜRSTSYSTEMATIK (TSI)	55
3.4 DARSTELLUNG DER EFFEKTE DER INSTRUKTION	56
3.5 EFFEKTE DER INSTRUKTION AUF DEN TSI	58
<u>4 DISKUSSION</u>	60
4.1 ERÖRTERUNG DER AKTUELLEN STUDIENLAGE	61
4.1.1 ZAHNPUTZANALYSE MITTELS MOTION TRACKING SYSTEM/COMPUTER-UNTERSTÜTZTEN SYSTEMEN ALS ERSATZ ZUR VIDEOANALYSE	61
4.1.2 LITERATUR ZUM PUTZVERHALTEN.....	68
4.1.3 LITERATUR ZU MUNDHYGIENEINSTRUKTIONEN.....	75
4.1.4 VERFÜGBARE DATEN ZUR VERWENDUNG DES TSI.....	87
4.2 DISKUSSION DER STUDIENERGEBNISSE	90
4.2.1 ÜBEREINSTIMMUNG DER ERGEBNISSE VON VIDEOANALYSE UND MOTION TRACKING SYSTEMS.....	90
4.2.2 PUTZVERHALTEN.....	94
4.2.3 ÜBEREINSTIMMUNG DER BEIDEN SYSTEME IN SESSION 2	96
4.2.4 ERFOLG DER MUNDHYGIENEINSTRUKTION	96
4.2.5 TSI-DATEN	98
4.4 FAZIT UND AUSBLICK	100
<u>5 ZUSAMMENFASSUNG</u>	102
<u>6 SUMMARY</u>	103
<u>7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</u>	104
<u>8 LITERATURVERZEICHNIS</u>	105
<u>9 PUBLIKATIONSVERZEICHNIS</u>	111
9.1 ARTIKEL	111

Vergleich von Videoanalyse und Motion Tracking System zur Analyse des
Zahnputzverhaltens

10 ERKLÄRUNG ZUR DISSERTATION.....	112
11 DANKSAGUNG	113
12 TABELLARISCHER LEBENSLAUF	114

1 Einleitung

Die dentale Plaque ist ein maßgebender Faktor in der Ätiologie der Karies. Zu einer ausreichenden Mundhygiene gehört in erster Linie das zweimalige Zähneputzen am Tag (Jepsen, 1998, Addy, 1998) mit fluoridierter Zahnpasta. Ziel dabei ist die Schaffung einer möglichst plaquefreien Zahnoberfläche. Die Zahnpasta erfüllt während des Zähneputzens im Wesentlichen zwei verschiedene Aufgaben: Einbringen von Wirkstoffen wie Fluoride und Säuberung sowie Politur der Zähne. Eine gründliche und ausführliche Zahnpflege wird durch die Anwendung von Zahnseide und Zahnzwischenraumbürsten, welche insbesondere die schwerzugänglichen Bereiche zwischen den Zähnen reinigen, ergänzt.

Das Mundhygieneverhalten hat sich in den letzten Jahren verändert. Noch 1997 wurde die Mundhygiene 35 bis 44-Jähriger in der Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS III) bei 73% der Frauen und 85% der Männer als schlecht eingestuft (Micheelis, 1999). „Schlechtes Mundhygieneverhalten“ bedeutete in dieser Studie, dass die Kriterien täglich zweimaliges Zähneputzen jeweils vor oder nach einer Mahlzeit mit einer Zahnputzdauer von mindestens zwei Minuten nicht erfüllt wurden (Micheelis, 1999). Im Vergleich dazu sind es nach Angaben der aktuellen Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) aus dem Jahre 2014 nur noch 68,7% der jungen Erwachsenen, die ein als schlecht klassifiziertes Mundhygieneverhalten aufweisen (Jordan et al., 2016).

1 Einleitung

1.1 Theoretischer Hintergrund

1.1.1 Plaquentstehung

In der Mundhöhle kommen ungefähr 700 Bakterienspezies vor (Aas et al., 2005), neuere Studien gehen sogar von bis zu 19000 Phylotypen aus (Keijser et al., 2008). Lebensraum vieler dieser Mikroorganismen ist der dentale Biofilm. Der Entstehung des dentalen Biofilms geht die Entwicklung des Pellikels auf der Schmelzoberfläche voraus (Listgarten, 1994). Das Pellikel besteht hauptsächlich aus adsorbierten Proteinen und Makromolekülen des Speichels und der Sulkusflüssigkeit (Hannig und Joiner, 2006). Man geht davon aus, dass nicht nur einzelne Proteine binden, sondern ganze Proteinaggregate (Hannig und Joiner, 2006), da die Dicke des Pellikels nach nur zwei Stunden schon zwischen 200 nm und 700 nm (Hannig, 1999) liegt.

Auf die Entwicklung des Pellikels folgt die Bildung des Biofilms. Dies beginnt zunächst mit der Assoziation von Mikroorganismen, dabei binden Bakterien aufgrund von physikalischen Kräften locker an die Zahnoberfläche. Nachfolgend können sich Bakterien während der Adhäsion dank spezieller Adhäsine an Rezeptoren des Pellikels fest verankern (Rateitschak et al., 2004, Whittaker et al., 1996). Verschiedene Studien haben das Vorhandensein dieser Rezeptoren innerhalb des Speichels oder des Pellikels untersucht (Duan et al., 1994, Gibbons et al., 1991, Ruhl et al., 2004).

Zu den Erstbesiedlern gehören vor allem Streptokokken und Aktinomyzeten (Rateitschak et al., 2004, Darveau et al., 1997). Viele Streptokokkenspezies bilden eine extrazelluläre Polysaccharidmatrix aus löslichen und unlöslichen Dextranen und Levanen (Gibbons und Nygaard, 1968). Diese extrazelluläre Matrix schützt die Bakterien (Rateitschak et al., 2004). Ferner kommt es zur Vermehrung der Bakterien und es entstehen Mikrokolonien (Rateitschak et al., 2004). Mikrokolonien sind diskrete in der Matrix eingeschlossene Gemeinschaften von Bakterienzellen. Diese Gemeinschaft kann Mikroorganismen einer oder verschiedener Arten umfassen (Costerton, 1999). Zwischen den Bakterien kommt es zur Aggregation (auch Koaggregation genannt). Gibbons & Nygaard berichteten erstmals 1970 über diese Aggregation (Gibbons und Nygaard, 1970), welche als Erkennung und Adhäsion zwischen genetisch unterschiedlichen Bakterien definiert ist (Kolenbrander, 1995).

Aus diesen, sich zu Komplexen gruppierenden Mikrokolonien entsteht schließlich der Biofilm. Dieser bietet seinen Mitgliedern Schutz und metabolische Vorteile (Rateitschak et al., 2004). Vor allem aufgrund von Zellteilung kommt es dann zum weiteren Dickenwachstum der Plaque (Listgarten, 1994).

1 Einleitung

1.1.2 Folgen der Plaqueentstehung - Karies

Die dentale Plaque führt nicht nur zur Gingivitis (Listgarten und Ellegaard, 1973), sondern dessen Mikroorganismen sind der Grund für eine der häufigsten oralen Erkrankungen: Karies.

Für die Entstehung von Karies gibt es drei Hauptfaktoren: die Plaque (Mikroorganismen), das Substrat (speziell niedermolekulare Kohlenhydrate) und den Wirt (Zahnhartsubstanz) (Meyer-Lückel, 2012). Hintergrund davon ist, „dass kariogene Mikroorganismen der Mundhöhle (Plaque) bei einem Überangebot an kariogenem Substrat [...] organische Säuren produzieren“ (Meyer-Lückel, 2012). Die organischen Säuren können durch die wässrige Hülle um die Schmelzkristalle in den Schmelz diffundieren und dissoziieren dort langsam. Die freiwerdenden Wasserstoffionen greifen die Kristallstruktur des Schmelzes an und führen so zu einer Demineralisierung der Zahnhartsubstanz. Solange organische Säuren produziert werden, hält die Phase der Demineralisierung an (Meyer-Lückel, 2012).

Neben diesen drei Hauptfaktoren gibt es noch viele weitere sekundäre Faktoren, wie beispielsweise Speichelfluss und -zusammensetzung, die Zusammensetzung des Substrats, Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, Zahnfehlstellungen, sozioökonomische Faktoren oder die Immunabwehr, die Einfluss auf die Kariesentstehung nehmen (Meyer-Lückel, 2012).

Dass die mechanische Plaqueentfernung essentiell für die orale Gesundheit ist, ist unbestritten (Axelsson und Lindhe, 1978, Axelsson und Lindhe, 1981, Lindhe et al., 1973, Lindhe und Nyman, 1975). Je weniger der Faktor Plaque vorhanden ist, desto geringer ist das Risiko für Karies. Dies wird in einem Artikel von Axelsson et al. (Axelsson et al., 2004) aus dem Jahr 2004 sehr deutlich. In der Studie wurden 375 Patienten 30 Jahre lang kariesprophylaktisch betreut und erhielten in verschiedenen Abständen Instruktionen und Motivationen zur Mundhygiene, sowie professionelle Zahnreinigungen. Von diesen 375 Patienten entwickelten immerhin 107 über den gesamten Zeitraum keine neuen kariösen Läsionen.

Zu Beginn der Studie im Jahr 1972 hatten die Probanden in der Gruppe der 51 bis 65-Jährigen (Jahrgang 1907-1921) durchschnittlich 20,1 Zähne. Im Gegensatz dazu hatte bei der abschließenden Untersuchung im Jahr 2002 die entsprechende Altersgruppe der 51 bis 65-Jährigen (in diesem Fall Jahrgang 1937-1951) nach 30 Jahren des Prophylaxeprogramms noch durchschnittlich 26,3 Zähne (Axelsson et al., 2004). Insgesamt mussten nur 21 Zähne von immerhin 70% der Probanden, die bis zum Ende

1 Einleitung

der Studie eingeschlossen werden konnten, aufgrund von Karies oder Parodontitis entfernt werden.

1.1.3 Plaqueentfernung mit Hinblick auf Kariesprävention

Im Jahr 2016 wurde von den beiden federführenden Gesellschaften Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) und Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK), sowie einiger weiterer beteiligten Gesellschaften, eine s2k-Leitlinie zur Kariesprophylaxe bei bleibenden Zähnen (DGZ und DGZMK, 2016) veröffentlicht.

In der Leitlinie wird in Bezug auf die mechanische Plaqueentfernung empfohlen, nach den Mahlzeiten mindestens zweimal täglich die Zähne mit fluoridhaltiger Zahnpasta zu putzen. Dadurch würden nicht nur der Biofilm reduziert, sondern auch Speisereste, die als Substrat für kariogene Mikroorganismen entfernt. Außerdem sollte die individuelle Putztechnik speziell in Hinblick auf systematisches Putzen optimiert werden (DGZ und DGZMK, 2016).

Bezugnehmend auf die Leitlinie zur Kariesprävention sollte, falls sich Speisereste in den Interdentalregionen nicht ausreichend entfernen ließen, auf die Anwendung von Hilfsmitteln für die Interdentalhygiene (Zahnseide, Interdentalbürsten) zurückgegriffen werden. Im Bereich der chemischen Biofilmentfernung wird lediglich bei „durchbrechenden bleibenden Zähnen oder im freiliegenden Wurzelbereich die professionelle Anwendung von Lacken mit mindestens 1% Chlorhexidin zur Kariesprävention empfohlen“ (DGZ und DGZMK, 2016).

Des Weiteren werden Prophylaxeprogramme empfohlen. Diese Programme bestehen in der Regel aus unterschiedlichen Maßnahmen, wie beispielsweise Information, Motivation und Instruktion des Patienten, sowie verschiedenen Formen der Fluoridapplikation.

Zu den Prophylaxeprogrammen gehören die fünf Abschnitte der Individualprophylaxe (abgekürzt IP). Diese gelten für die sechs bis 18-Jährigen Kinder und Jugendliche und sind durch den § 22 SGB V als Kassenleistung verankert.

Die IP1 beinhaltet den Mundhygienestatus, der die Mundhygiene und den Gingivazustand anhand eines geeigneten Indexes (z. B. Quigley-Hein-Index) beurteilt. Dazu kann auch das Anfärben der Zähne und das Anzeigen von Plaqueretentionsstellen gehören.

Die Mundgesundheitsaufklärung bei Kindern und Jugendlichen (IP 2) umfasst unter anderem die Aufklärung über Ursachen von Karies und Gingivitis sowie deren

1 Einleitung

Vermeidung, Ernährungshinweise oder praktische Übungen in der Anwendung von Mundhygienemaßnahmen.

Die IP 3 ist abgeschafft.

IP 4 beinhaltet die lokale Fluoridierung der Zähne und die zuvor durchgeführte Entfernung von weichen Zahnbelägen und Trockenlegung der Zähne.

Unter der Individualprophylaxe 5 wird die Versiegelung von bleibenden Molaren verstanden. Dies ist eine weitere Maßnahme, die die Autoren in ihrer Leitlinie zur Prävention von Karies empfehlen (DGZ und DGZMK, 2016).

In Bezug auf Fluoride sollte laut den Autoren grundsätzlich fluoridhaltiges Speisesalz im Haushalt verwendet werden. Zusätzlich könne die Anwendung von Zahnpasten mit erhöhter Fluoridkonzentration oder fluoridhaltigen Gelen, Lacken oder Spüllösungen (insbesondere bei kariesaktiven Patienten) indiziert sein. Im Bereich der Ernährung wird auch hier empfohlen, die Gesamtmenge der täglichen Zuckeraufnahme gering zu halten. Außerdem sollte die Anzahl zuckerhaltiger Mahlzeiten, Zwischenmahlzeiten und Getränke klein sein. „Speisen und Getränke ohne freien Zucker sollten bevorzugt werden“ (DGZ und DGZMK, 2016).

Der Speichel besitzt eine Karies protektive Funktion, da er durch ein Puffersystem die Neutralisation von Säuren beeinflusst, durch die Spülfunktion (Clearance) die Reinigung der Mundhöhle von Nahrungsbestandteilen ermöglicht, sowie eine remineralisierende Wirkung besitzt (Dawes, 2008). Durch das Kauen wird der Speichelfluss erhöht, daher empfehlen die Autoren der Leitlinie zuckerfreie Kaugummis insbesondere nach den Mahlzeiten zu kauen (DGZ und DGZMK, 2016).

1.1.4 Zahnputzverhalten und dessen Erfolg

Das Zähneputzen mittels Zahnbürste wird allgemein als universale orale Hygienemethode zur supragingivalen Plaqueentfernung angesehen (van der Weijden und Hioe, 2005). Die Verteilung der Nutzung von manuellen und elektrischen Zahnbürsten ist unterschiedlich. Laut dem deutschen Online-Portal für amtliche Statistiken verwendeten in Deutschland im Jahr 2020 rund 56% der Befragten keine elektrische Zahnbürste (Pawlik, 2020).

Anhand der Deutschen Mundgesundheitsstudien IV (Untersuchungsjahr 2005) (Micheelis und Schiffner, 2006) und V (Untersuchungsjahr 2014) (Jordan et al., 2016) lässt sich die Verteilung der Nutzung von elektrischer oder manueller Zahnbürste in den unterschiedlichen Altersklassen darstellen. Die bereits genannten Zahlen zur Gesamtbevölkerung von 2020 ähneln stark den Zahlen der 12-Jährigen Kinder im Jahr

1 Einleitung

2014 (Anteil elektrischer Zahnbürsten 45,6%). Im Vergleich zu 2005 (36,3%) bedeutet dies eine Steigerung an Nutzern elektrischer Zahnbürsten von 9,3% (Jordan et al., 2016). Noch deutlicher ist der Unterschied zum Jahr 1997, damals nutzten nur 14,6% der 12-Jährigen Kinder eine elektrische Zahnbürste (Micheelis und Schiffner, 2006).

Von den jüngeren Erwachsenen (35 – 44 Jahre) nutzten 2014 47,1% eine elektrische Zahnbürste (Jordan et al., 2016) im Vergleich zu 38,6% im Jahre 2005 (Micheelis und Schiffner, 2006). Diese Entwicklung lässt sich auch bei den jüngeren Senioren (65 – 74 Jahre) wiedererkennen. Während die Zahl der Nutzer einer elektrischen Zahnbürste 2014 bei 35,7% (Jordan et al., 2016) lag, waren es 2005 nur 18,3% (Micheelis und Schiffner, 2006).

Außerdem wurde in den Mundgesundheitsstudien nach gutem und schlechtem Mundhygieneverhalten unterschieden. Dabei wurde als gute Mundhygiene mindestens zweimal tägliches Zähneputzen und eine mindestens zweimalige Angabe von „nach einer Mahlzeit“ und/oder „vor dem Ins-Bett-Gehen“ sowie mindestens zwei Minuten Putzdauer definiert. Im Jahr 2005 wiesen demnach 41,9% der Kinder ein gutes Zahnputzverhalten auf. Dieser Wert steigerte sich im Jahr 2014 auf 45,1%. Auch bei den jüngeren Senioren gab es eine Steigerung von 2005 (22,6%) zu 2014 (32%) (Jordan et al., 2016). Hingegen unterschieden sich in der Gruppe der jüngeren Erwachsenen die Werte in den Jahren 2005 und 2014 kaum. Etwa jeder Dritte der Jüngeren Erwachsenen zeigte ein gutes Mundhygieneverhalten (Jordan et al., 2016).

Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass sich das Mundhygieneverhalten von 2005 zu 2014 nur gering verändert hat. Die Anzahl derjenigen, die mit elektrischer Zahnbürste putzten, ist in allen Altersgruppen leicht gestiegen. Im Gegensatz dazu ist die Häufigkeit des täglichen Zähneputzens bei den Kindern und Jüngeren Erwachsenen leicht zurückgegangen. Nur bei den Jüngeren Senioren hat diese etwas zugenommen.

Es gibt viele Studien, die die Effektivität des Zähneputzens mit manuellen oder elektrischen Zahnbürsten anhand von Plaque- oder Gingiva-Indizes überprüft haben (Muller-Bolla und Courson, 2013, Slot et al., 2012, Yaacob et al., 2014, Rosema et al., 2016). Durchschnittlich wird durch manuelles Zähneputzen der Wert eines Plaque-Index um 42% reduziert (Slot et al., 2012). Im Gegensatz zu Aussagen vieler medienwirksamen Werbekampagnen ist der Effekt beim Zähneputzen mit elektrischer Zahnbürste nicht wesentlich besser. Durch das Zähneputzen mit elektrischer Zahnbürste wird der Wert eines Plaque-Index durchschnittlich um 46% reduziert (Rosema et al.,

1 Einleitung

2016). Dies zeigt, dass sowohl bei der manuellen als auch bei der elektrischen Putzweise Verbesserungsmöglichkeiten bestehen. Außerdem muss beachtet werden, dass solche Indizes zwar von klinischer Relevanz sind, sie aber die Frage, ob ein Proband das erforderliche Zahnputzverhalten angenommen hat, nicht beantworten.

1.2 Beobachtungsstudien

1.2.1 Bisherige Ergebnisse

Es gibt nur wenige Beobachtungsstudien, die das Zahnputzverhalten analysiert haben (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Ganss et al., 2009, Schlueter et al., 2010, Winterfeld et al., 2015). Grundsätzlich lässt sich an diesen Studien erkennen, dass die Probanden unstrukturiert putzen, häufig zwischen den unterschiedlichen Arealen der beiden Kiefer wechseln und immer wieder die gleichen (vor allem oralen) Oberflächen auslassen. Dies gilt nicht nur für die Probanden, die manuell die Zähne putzen, sondern auch für diejenigen, die elektrisch putzen (Ganss et al., 2018). Man könnte nun davon ausgehen, es sei sinnvoll eine bestimmte Zahnputztechnik zu etablieren, um die Mundhygiene effektiv zu verbessern. Dabei stellt sich allerdings die Frage, welche Zahnputztechnik die effektivste ist. Ein Review von Muller-Bolla et al., welche sich auf die Effektivität der verschiedenen Putztechniken konzentrierte, zeigte, dass keine der Techniken gegenüber einer anderen in Bezug auf die Plaqueentfernung wesentlich besser zu sein scheint (Muller-Bolla, 2011). Es wird lediglich empfohlen in der ersten Dentition eine horizontale Putztechnik zu verwenden (Muller-Bolla und Courson, 2013, Muller-Bolla, 2011).

Ebenfalls wird von der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) in der Stellungnahme von 2007 keine bestimmte Putztechnik empfohlen (Dörfer, 2007). Auch andere Autoren weisen auf die fehlende Überlegenheit einer Putztechnik hin (Davies et al., 2003, Rugg-Gunn et al., 1979).

Einige Autoren empfehlen eine Systematik beim Zähneputzen anzuwenden (Dörfer, 2007, Winterfeld et al., 2015, Muller-Bolla, 2011, DGZ und DGZMK, 2016). Eine bestimmte Technik zu empfehlen scheint nach Ansicht des Autors dieser Studie aber nicht nötig.

1.2.2 Durchführung einer Beobachtungsstudie

Bei den bisherigen Beobachtungsstudien wurden die Probanden entweder während des Zähneputzens direkt beobachtet und die Putzbewegungen wurden notiert (Robinson, 1946, Graetz et al., 2013) oder sie wurden gefilmt (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Rugg-Gunn et al., 1979, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-

1 Einleitung

Gunn, 1984, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985, Macgregor und Rugg-Gunn, 1986, Macgregor et al., 1986, Ganss et al., 2009, Schlueter et al., 2010, Sandstrom et al., 2011, Sharma et al., 2012, Schlueter et al., 2013, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b). Bei wenigen wurde die Analyse durch die professionelle Verhaltensanalysesoftware INTERACT 15 (Mangold International GmbH, 2015) durchgeführt (Schlueter et al., 2013, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015, Winterfeld, 2015). Diese Software wurde erstmals von Winterfeld 2015 (Winterfeld et al., 2015) für solche Zwecke angewendet. Dabei wird das Video mehrfach in Zeitlupentempo angesehen und es werden die Ereignisse kodiert. Solange der Mund während des Zähneputzens geöffnet ist, kann das Putzverhalten sehr genau analysiert werden.

1.2.3 Problem der Beobachtungsstudien

Das Problem dieser Methode der Auswertung von Zahnputzverhalten ist, dass die Analyse mithilfe der Verhaltensanalysesoftware sehr zeitaufwendig ist. Sollen verschiedene Variablen untersucht werden, wie beispielsweise der Putzort oder die Putzmethode, muss das Video mehrmals abgespielt und analysiert werden. Dabei werden die unterschiedlichen Variablen nacheinander kodiert. In der Studie von Winterfeld 2015 (Winterfeld, 2015) hat jedes Video eines Probanden, bezogen auf das Zahnputzverhalten, dreimal den Kodierungsprozess in Zeitlupentempo durchlaufen (zusätzlich ein viertes Mal für die Verwendung von Zahnseide). Dies sorgt pro Proband für einen Zeitaufwand von ein bis zwei Stunden, was die Probandenzahl minimiert.

Ein weiteres Problem ist die Möglichkeit der Verdeckung des Sichtfelds der Kamera, beispielsweise durch Hände oder aufgrund eines geschlossenen Mundes während des Putzens. Je länger dieses Intervall ist, desto ungenauer werden die Ergebnisse sein.

Aufgrund des erheblichen Zeitbedarfs und der Möglichkeit der Verdeckung des Sichtfelds der Kamera besteht die Notwendigkeit nach einer Alternative. Erforderlich ist ein System, welches alle Bewegungen ohne Unterbrechung aufzeichnet und die Ergebnisse direkt nach dem Zähneputzen bereitstellt. Eine Kombination aus einem Motion Tracking System und einem Algorithmus, der die Daten auswertet, könnte genau dies bieten.

1.3 Motion Tracking System

Generell werden unter „Tracking“ die notwendigen Arbeitsschritte, die zur gleichzeitigen Verfolgung bewegter Objekte von Nöten sind, verstanden. Unter Motion Tracking

1 Einleitung

versteht man ein System, das Bewegungen erfassen und verfolgen kann und in ein von Computern lesbares Format umwandelt. Man unterscheidet das Tracking mit Markern und ohne Marker. Marker sind Gegenstände, die an den Objekten befestigt werden und von dem System erkannt werden. Durch diese Marker kann das System die Bewegung erfassen. Beim Tracking ohne Marker muss ein bestimmtes Muster oder eine Silhouette von dem System erkannt werden können. Da dies im Bereich des Zähneputzens nicht möglich ist, muss auf das Verfahren mit Markern zurückgegriffen werden. Ein Beispiel eines solchen Tracking Verfahrens mit Markern wurde von der Arbeitsgruppe Tjaden et al. 2015 vorgestellt (Tjaden et al., 2015).

Ein solches System wurde bereits für den Bereich der Zähneputzens entwickelt (Wolf et al., 2020). Es basiert auf Infrarottechnik. Sieben Kameras, die den Spektralbereich des Infrarotlichts (10^{-3} m und 10^{-6} m (Tipler, 2007)) erkennen können, filmen den Probanden. Jeweils ein Infrarotstrahlung emittierender Marker (auch genannt Tracker) ist an der Zahnbürste und ein weiterer über einen Helm am Kopf des Probanden befestigt. Diese Marker können über die Kameras vom System im dreidimensionalen Raum geortet werden. Dadurch, und durch vorherige Lernprozesse, weiß das System, wo sich der Zahnbürstenkopf und der Kiefer des Probanden im Raum befindet. Diese Ortsbestimmungen werden im 100 Hz Takt aufgezeichnet. Aus diesen Daten kann dann ein Algorithmus das Putzverhalten entsprechend der zu untersuchenden Parameter berechnen (Wolf et al., 2020).

1.4 Ziel der Studie

Ziel der Studie war es zu prüfen, wie exakt das Motion Tracking Verfahren das Putzverhalten analysiert und ob die Daten wahrheitsgemäß sind. Dies galt es durch einen Vergleich zwischen der etablierten Methode der Videoanalyse und dem neuen System des Motion Trackings herauszufinden.

Das Hauptziel der Studie war es,

- **die Übereinstimmung der von den beiden Systemen bestimmten Areale zu überprüfen.**
 - Dabei wurde die Sextantenbestimmung verglichen.
 - Es wurde die Zahnflächenbestimmung verglichen.
 - Und es wurde versucht, die Ursachen bei Inkongruenz der beiden Systeme zu bestimmen.

Darüber hinaus sollten folgenden Parameter des Putzverhaltens untersucht werden:

- Es wurden Putzdauer und Putzmuster bestimmt.
 - Dazu zählte die Bestimmung der erreichten Areale,
 - und die Putzdauer der einzelnen Areale.

Das **Nebenziel** der Studie war es, herauszufinden

- wie gut ein Index (Toothbrushing Systematic Index (Schlueter et al., 2018)) zur Überprüfung der Zahnputzsystematik auf beide Systeme angewandt werden kann. Dabei wurden folgende Parameter untersucht:
 - das Verhältnis der Ergebnisse von Videoanalyse zu Motion Tracking Analyse,
 - die Ergebnisse bezogen auf die Art der Zahnbürste,
 - und die Ergebnisse der einzelnen Parameter des TSI-Index.
- und ob das Motion Tracking System in der Lage ist, Veränderungen des Putzverhaltens nach Videoinstruktion darzustellen. Folgende Parameter wurden überprüft:
 - die Übereinstimmung der von den beiden Systemen bestimmten Areale,
 - die Putzdauer,
 - und die Errechnung des TSI-Index.

2 Methoden und Probanden

2.1 Studiendesign

Die vorliegende klinische Studie validiert ein Motion Tracking System zur Untersuchung des Zahnputzverhaltens im Vergleich zum Goldstandard der Videoanalyse. 103 Personen mit einem durchschnittlichen Alter von 37,37 ($\pm 14,7$) Jahren nahmen an der Studie teil. Der Ablauf der Studie ist dem folgenden Flowchart (Abbildung 1) zu entnehmen.

Das Motion Tracking Gerät ist ein System, das Bewegungen automatisiert erfasst und nach Einlernen bestimmter Raumpunkte in der Lage ist, Positionsdaten relativ zu bestimmten Orten zu generieren. Dazu wurden Probanden gebeten, sich wie gewohnt die Zähne zu putzen. Die dabei ausgeführten Bewegungen wurden zeitgleich mit einer Videokamera und dem Motion Tracking System aufgezeichnet. Für letzteres wurde eine Abformung des Oberkiefers und Unterkiefers genommen, um das System örtlich über die Position der Zähne einzulernen. Die Zahnbürsten wurden mit einem Sensor ausgestattet, der die Kommunikation mit Infrarotsensoren im Raum erlaubt. Über einen mit einem Sensor ausgestatteten Helm, den die Probanden trugen, konnten die Infrarotsensoren die Position des Probanden ständig feststellen.

Die Hälfte der Probanden putzte mit einer elektrischen Zahnbürste und die andere Hälfte mit einer manuellen Zahnbürste. Aus dem Personenkreis der 103 Probanden sahen 46 nach dem ersten Putzen ein Instruktionsvideo zu einer Zahnputzsystematik und putzen daraufhin unter erneuter Datenaufzeichnung nochmals.

Die mit beiden Systemen generierten Daten wurden miteinander verglichen, dabei diente die Videoanalyse als Standardverfahren. Zielkriterien waren die Übereinstimmung der Bürstenposition relativ zum Zahnbogen, sowie Parameter zum Putzverhalten (Bürstdauer insgesamt sowie in den verschiedenen Arealen des Zahnbogens und die Systematik) habituell und nach Instruktion.

Die Studie wurde anhand der ICH-Leitlinie zur guten klinischen Praxis auf Grundlage der Deklaration von Helsinki (World Medical, 2013) und nach positivem Votum der Ethik-Kommission (AZ 158/18) des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt.

Das Motion Tracking System wurde von Procter & Gamble entwickelt und zur Verfügung gestellt. Aufgrund der Größe und der Immobilität des Motion Tracking Systems wurde die Studie im Consumer Product Research Center (CPRC) von Procter & Gamble in Kronberg, Hessen (Deutschland), im Jahr 2018 durchgeführt.

2 Methoden und Probanden

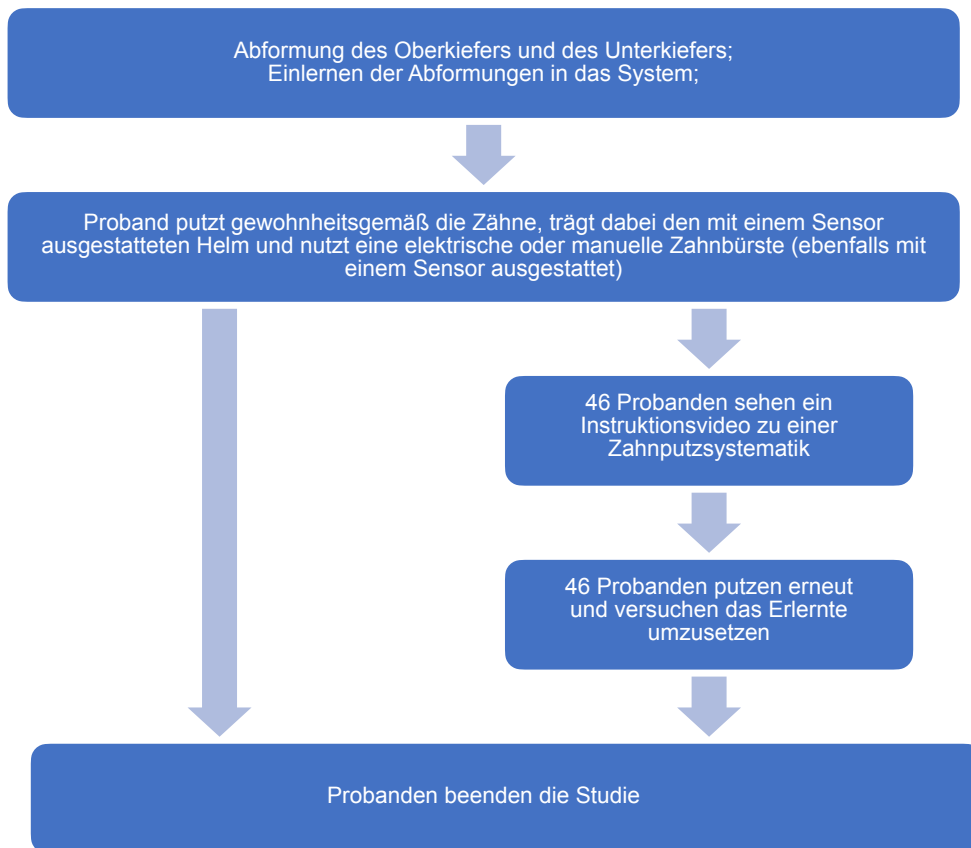


Abbildung 1: Flowchart über den Ablauf der Studie

2.2 Rekrutierung der Probanden

In Kooperation mit einer in Kronberg ansässigen zahnärztlichen Praxis wurden Patienten dieser Praxis über die Möglichkeit zur Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie informiert. Ziel war es 100 Probanden zu gewinnen. Zunächst wurden 116 Probanden rekrutiert, die zu dieser Zeit in und im Umfeld von Kronberg lebten.

2 Methoden und Probanden

Die Probanden mussten folgende Einschlusskriterien erfüllen, um an der Studie teilnehmen zu können:

- mindestens 18 Jahre alt sein
- eine unterschriebene Probandeninformation und Einwilligungserklärung vorlegen
- basierend auf einer medizinischen Anamnese in guter allgemeiner Gesundheit sein
- sie mussten zustimmen für die Dauer der Studie an keiner anderen Mundpflegestudie teilzunehmen
- sie mussten zustimmen, jegliche elektive zahnmedizinische Behandlung für die Dauer der Studie abzuwarten und jede nicht studienzugehörige Behandlung während der Studiendauer zu melden
- sie mussten zustimmen, zum geplanten Termin zu erscheinen und
- sie mussten zustimmen, den Studienablauf nach Vorgabe des Studiendesigns einzuhalten
- es musste eine vollständige Dentition vorhanden sein. Eine Ausnahme bestand, wenn Zähne aus kieferorthopädischen Gründen gezogen worden waren oder fehlende Zähne durch Brücken oder Implantate ersetzt worden waren.

Folgende Kriterien führten zum Ausschluss des Probanden aus der Studie:

- multiple offene kariöse Läsionen
- aktive Behandlungen einer Parodontitis
- festsitzende kieferorthopädische Apparaturen (Retainer waren erlaubt)
- das Vorhandensein einer mentalen oder physischen Behinderung, die die Mundhygienefähigkeit beeinflusst hätte oder einer Krankheit, die einer Behinderung der Untersuchung erwarten ließe oder eine risikolose Teilnahme an der Studie verhindert hätte.

Bereits bei der ersten Information in der zahnärztlichen Praxis über die Möglichkeit der Studienteilnahme wurden die möglichen Probanden nach diesen Kriterien befragt und es wurden nur Termine mit Personen vereinbart, die laut Aussage der Probanden den Kriterien entsprachen. Das Vorgehen bei der Terminvergabe wurde in einem standardisierten Rekrutierungsprotokoll festgehalten.

2 Methoden und Probanden

Es wurden mit 116 Personen Termine für den ersten Abschnitt der Studie (Screeningtag) ausgemacht. Dabei konnten 13 Probanden auf Grund des Nichterfüllens verschiedener Ein- und Ausschlusskriterien nicht in die Studie eingeschlossen werden. Schließlich nahmen 103 Personen an der Studie teil. 46 Probanden nahmen zusätzlich an dem zweiten Teil der Studie „Videoinstruktion“ teil.

2.3 Information und Zustimmung

Jeder Proband wurde vor der Untersuchung über den Ablauf der Studie aufgeklärt. Nach Prüfen der Einschluss- und Ausschlusskriterien wurde jedem Probanden fortlaufend ein vierstelliger Code zugeteilt, welcher auf allen Dokumente und IT Dateien (Fallbericht, Videos, Motion Tracking Dateien, Abformungen) festgehalten wurde. Dadurch wurden die personenbezogenen Daten anonymisiert. Der Name des Probanden zusammen mit dessen Code wurde nur auf der oben genannten Probandeninformation und Einwilligungserklärung, der allgemeinmedizinischen Anamnese und einer Schlüsselliste festgehalten, so dass nur durch Hilfe dieser Dokumente auf die wahre Identität der Person Rückschlüsse gewonnen werden konnte.

2.4 Das Motion Tracking System

Das Motion Tracking System basiert auf der Positionserkennung von Infrarotlicht emittierenden Markern (Tracker), die von mehreren Kameras wahrgenommen werden. Diese Tracker sind an Zahnbürste und am Kopf des Probanden über einen Helm befestigt. Durch vorherige Lernprozesse können nach Berechnung der Trackerposition die Positionen des Zahnbürstenkopfs und der Zähne berechnet werden. Das System errechnet aus den Positionen dann das Putzverhalten.

2.4.1 Aufbau und Material

Material:

- 8 Kameras mit Infrarotfilter (Modellname: Flir Grasshopper3 GS3-U3-23S6m mit Infrarot Bandpass Filter, Flir, Wilsonville, USA) (im Weiteren „Infrarotkamera“ genannt)
- Infrarot Sender an der Zahnbürste (im Weiteren „Zahnbürstentracker“ genannt)
- Infrarot Sender an einem Helm (im Weiteren „Helmtracker“ genannt)
- Infrarot Hardprobe
- Windows-Computer (Microsoft, Redmond, USA)
- Motion Tracking Software

2 Methoden und Probanden

Das Motion Tracking System besteht aus acht Infrarotkameras, die mit einem Computer verbunden sind. Sieben Kameras sind auf einem höhenverstellbaren Tisch mit Waschbecken befestigt. Es gibt drei Infrarotkameras, die auf der linken Seite des Tisches befestigt sind und drei Infrarotkameras, die parallel dazu auf der rechten Seite befestigt sind. Die Kameras sind so verteilt, dass ihr Sichtfeld einen möglichst großen Bereich, halbkreisförmig um den Probanden herum, abdeckt. Dadurch sollen möglichst alle Zahnbürstenpositionen registriert werden können. Eine siebte Kamera ist oberhalb der Probandenposition befestigt. Die Probandenposition befindet sich ungefähr 40 Zentimeter vor dem Tisch und ist mit Hilfe einer Markierung auf dem Boden, die dem Probanden die Stehposition anzeigt, dargestellt. Diese Kamera dient dazu die Position des Probandenkopfes zu detektieren. Zusätzlich ist auf der rechten Seite eine kleine Videokamera befestigt. Diese dient zum Erhalt einer zu den Motion Tracking Daten synchronen Videodatei. Dadurch erhält man eine visuelle Übersicht, um beispielsweise bei fehlenden Motion Tracking Daten Aufschluss über den Grund des Fehlens zu erhalten und es ermöglicht die Synchronisation der Auswertungen von Motion Tracking und Videoanalyse. Der Aufbau ist in folgender Abbildung 2 gezeigt. Außerdem gibt es ein Teachingpult (siehe Kapitel 2.5.2.1) mit einer weiteren Infrarotkamera.

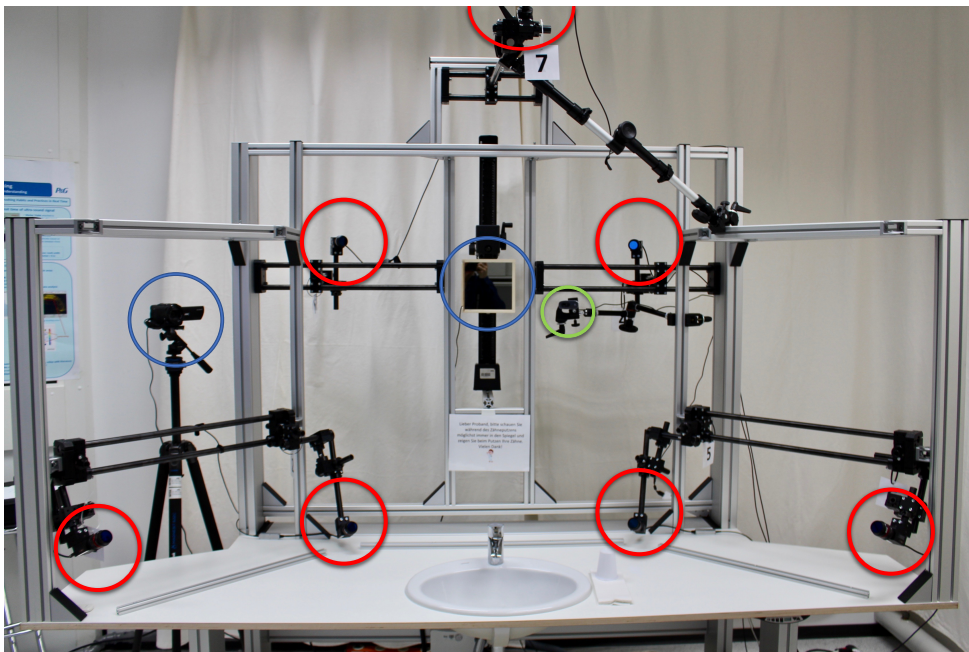


Abbildung 2: Aufbau der Studienapparatur, rote Kreise = Kamera mit Infrarotfilter, grüne Kreise = Motion Tracking Videokamera, blaue Kreise = Videokamera für Videoauswertung

2 Methoden und Probanden

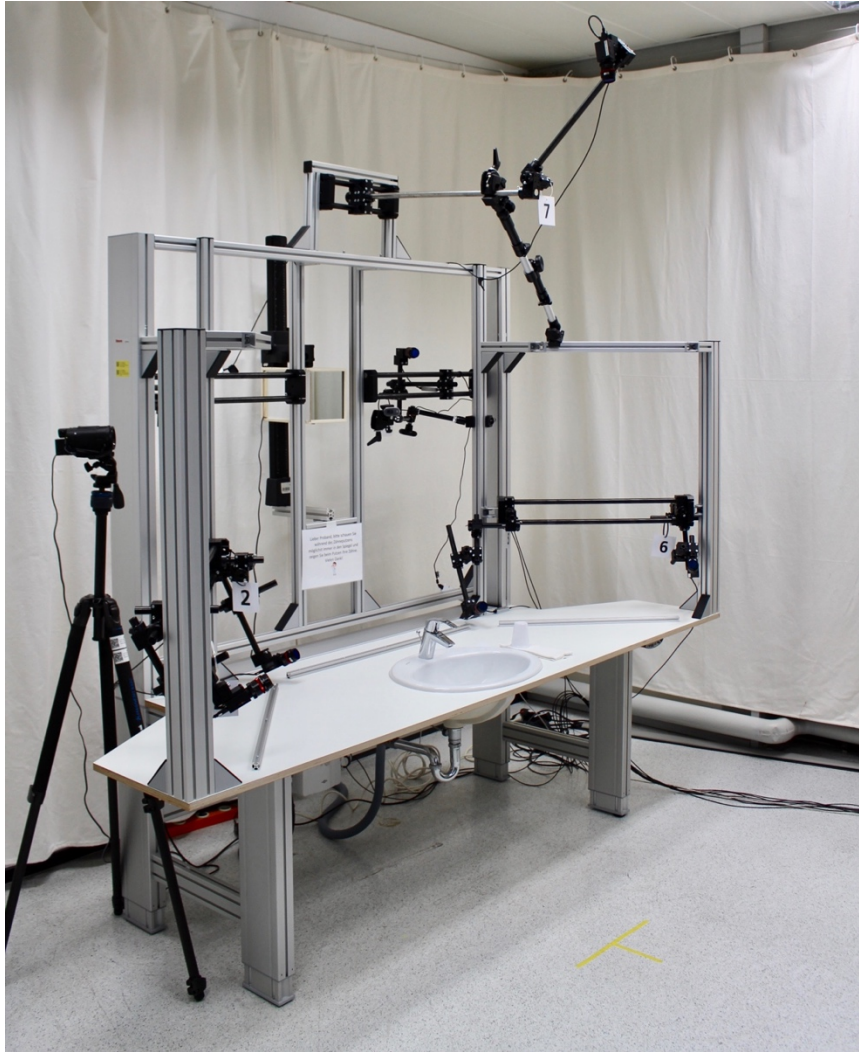


Abbildung 3: Versuchsaufbau: Das Motion Tracking System und die Videokameras waren in ein Waschbeckentisch integriert. Die sieben Infrarotkameras waren starr an einem Gerüst befestigt.

2.4.2 Funktionsweise

Die wesentlichen Bestandteile des Motion Tracking Systems sind die Kameras und die Tracker.

Es werden acht zwei Megapixel USB (Universal Serial Bus) 3.0 Kameras mit einem fixierten Fokus und einer 9 mm Linse verwendet (sieben für die Datenerhebung (siehe Abbildung 2) und eine für den sogenannten Teachingprozess am Teachingpult (siehe Kapitel 2.5.2.1)). Aus Gründen der Kontrastverbesserung wurden die Kameras mit einem Infrarotfilter ausgestattet.

Die Tracker bestehen aus dreizehn Infrarot LEDs (Light Emitting Diodes) welche mit einem Akkumulator (Akku) verbunden sind. Sie befinden sich in einem schützenden Kunststoffgehäuse, welches mittels Magnet an dem Probandenhelm oder mittels Magnet

an einem Verbindungsstück für die Zahnbürsten befestigt werden kann (siehe Abbildung 4).

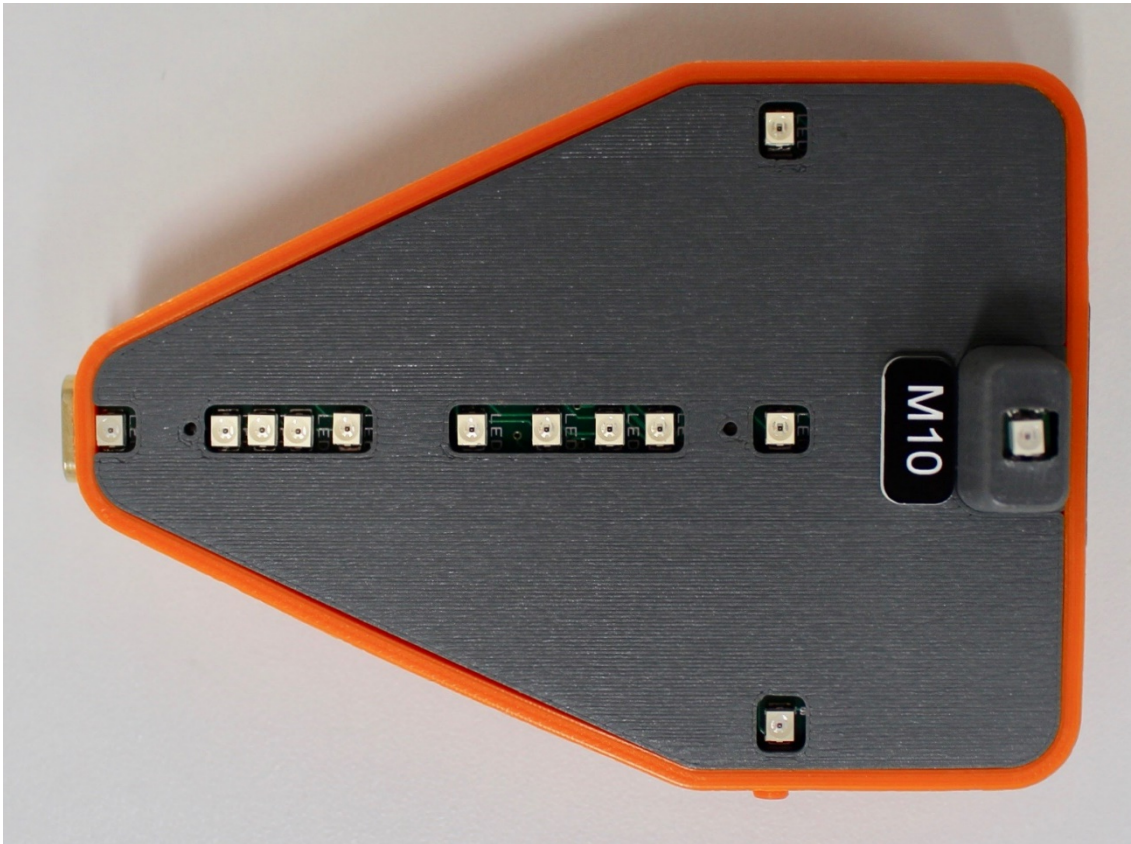


Abbildung 4: Infrarottracker; Diese Infrarottracker wurden an den Zahnbürsten (siehe Kapitel 2.5.2.2), an den Abformlöffeln (siehe Kapitel 2.5.2.1) und an dem Probandenhelm (siehe Kapitel 2.5.3.3.1.1) befestigt und dienen zur Positionserkennung.

Elf LEDs waren entlang der Längsachse des Trackers positioniert. Dabei lagen zehn LEDs auf einer Ebene (M_0 - M_9), die elfte LED (M_{10}) ist auf einer Erhöhung positioniert. Zwei weitere LEDs (M_{11} und M_{12}) sind in gleichem Abstand zur Längsachse beidseitig davon auf der Querachse positioniert. Der Schnittpunkt von Längs- und Querachse wird von der LED M_0 dargestellt.

Durch diese Anordnung kann das System die dreidimensionale Stellung des Trackers, die von der Kamera zweidimensional aufgenommen wird, berechnen. Dabei werden in einem ersten Schritt in jedem Videobild die exakten 2D (zweidimensionalen) Positionen jeder LED segmentiert. Im Videobild sehen alle LEDs gleich aus und können nicht voneinander unterschieden werden. Aus diesem Grund müssen die LEDs zugeordnet werden. In jedem Videobild, auf dem alle LED zu sehen sind, müssen die LEDs M_0 - M_9 auf einer geraden Linie liegen. Außerdem werden zwischen den LEDs weitere mögliche

2 Methoden und Probanden

gerade Linien gebildet. Aufgrund der Anordnung der weißen Klekse und der Linien zueinander, kann das System dann die Stellung des Trackers berechnen.

Um die tatsächliche räumliche Position des Trackers zu berechnen, ist die Kenntnis des Abstandes d_{03} zwischen M_0 und M_3 von Nöten. In einem Initialisierungs- und Verfeinerungsprozess werden dann über bestimmte Algorithmen und die Verwendung von linearer Triangulation die räumliche Position des Trackers berechnet. Die Position wird dann in ein Koordinatensystem transformiert und gespeichert. Für genauere Informationen wird an dieser Stelle auf den Artikel von (Tjaden et al., 2015) verwiesen. Durch die Veränderung des Abstandes zwischen den LED M_1 und M_2 können verschiedene Tracker gleichzeitig verwendet werden, ohne dass es zu Verwechslungen kommt. Dadurch können zeitgleich die Position der Zahnbürste und die Position des Kopfes des Probanden durch zwei verschiedene Tracker registriert werden.

Neben den normalen Trackern gibt es eine „Hardprobe“ (siehe Abbildung 5) mit einer Zeigespitze. Diese „Hardprobe“ kann, ähnlich wie die Infrarottracker, ein Infrarotsignal aussenden. Dem Motion Tracking System ist bekannt, wo sich die Zeigespitze im Verhältnis zum ausgesendeten Infrarotsignal der Hardprobe befindet. Dadurch kann die Hardprobe mittels Zeigespitze zum Detektieren und Speichern von Positionen verwendet werden. Diese wird für die Teachingprozesse der Abformungen benötigt (siehe Kapitel 2.5.2).

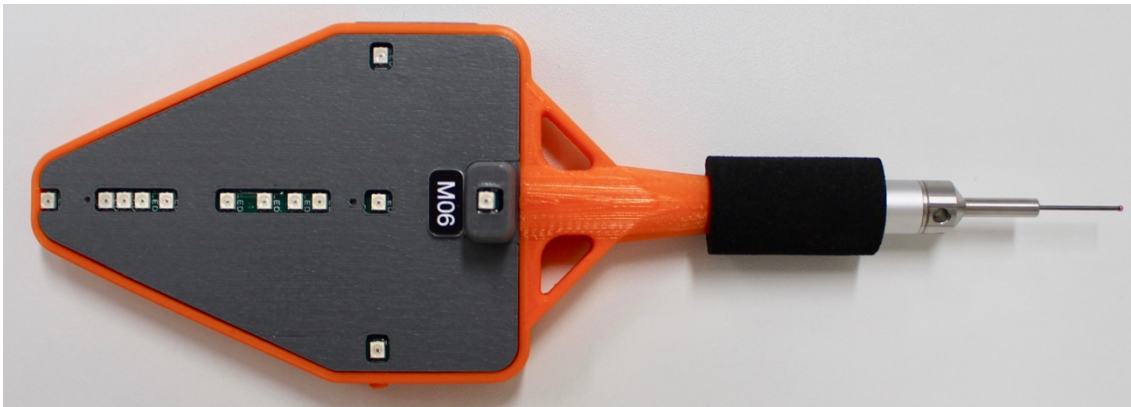


Abbildung 5: Hardprobe: Ein Infrarottracker ist starr mit einer Zeigespitze verbunden.

2.5 Durchführung der Studie

Pro Proband wurden zwei Termine vereinbart. Am ersten Termin (Screeningtag, siehe Kapitel 2.5.1) wurden die unter anderem Ein- und Ausschlusskriterien geprüft, informed consent eingeholt und die Kiefer abgeformt. Nach dem ersten Termin musste ein Teachingprozess stattfinden (siehe Kapitel 2.5.2.1). Dabei wurden einzeln die

2 Methoden und Probanden

Kieferabformungen und die darin enthaltenen Positionen der Zähne in das Motion Tracking System eingelernt.

Am zweiten Termin (Untersuchungstag, siehe Kapitel 2.5.3) wurde zunächst der Teachingprozess am Probanden durchgeführt. Dabei lernte das Motion Tracking System wo sich die zuvor eingelernten Kiefer im Mund des Probanden im Verhältnis zum Probandenhelm befanden.

Anschließend putzten sich die Probanden nach häuslicher Gewohnheit die Zähne und die Messdaten wurden erhoben.

46 weitere Probanden sahen nach dem ersten Zähneputzen ein Instruktionsvideo an, anschließend folgte ein erneutes Zähneputzen mit Datenerhebung.

2 Methoden und Probanden



2 Methoden und Probanden

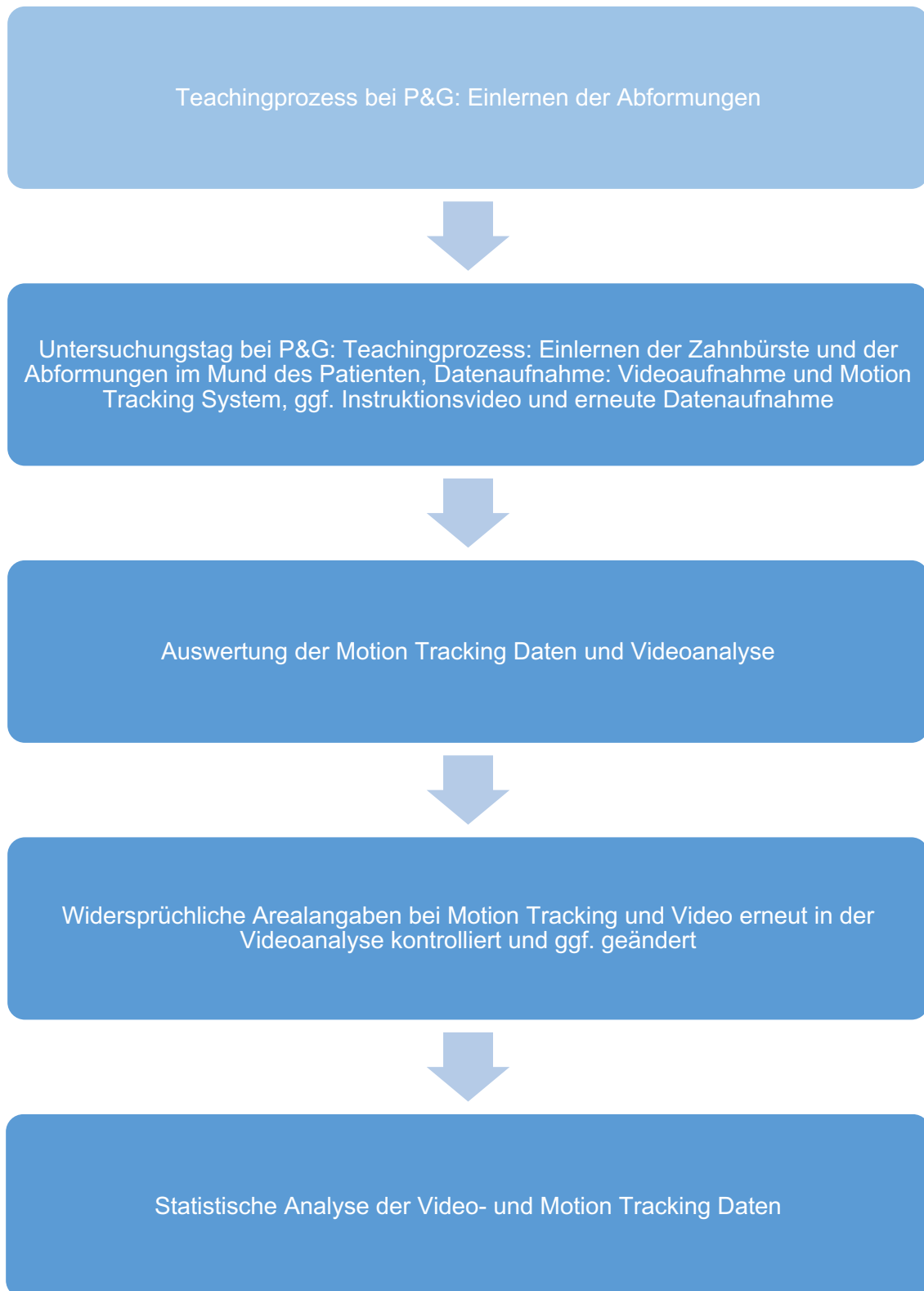


Abbildung 6: Flussdiagramm in Bezug auf den Ablauf der Studie.

2.5.1 Screeningtag

Zunächst wurde der Proband über den Hintergrund, den Sinn, den Ablauf und die Risiken der Studie aufgeklärt. Der Proband musste eine allgemeinmedizinische

2 Methoden und Probanden

Anamnese ausfüllen und die Probandeninformation und Einwilligungserklärung unterschreiben. Nach der Aufklärung des Probanden wurde dieser in einen zahnärztlichen Behandlungsraum geführt. Dort wurden die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft. Außerdem wurde ein digitaler Fallbericht ausgefüllt. Es wurde eine Abformung des Ober- und des Unterkiefers genommen. Als Abformlöffel diente dabei ein von Procter & Gamble entwickelter Kunststofflöffel (siehe Abbildung 7). Als Abformungsmaterial wurde Futar®D der Firma Kettenbach GmbH & Co. KG. aus Eschenburg gewählt. Die Abformung diente dem Motion Tracking System bei den verschiedenen „Teachingprozessen“.

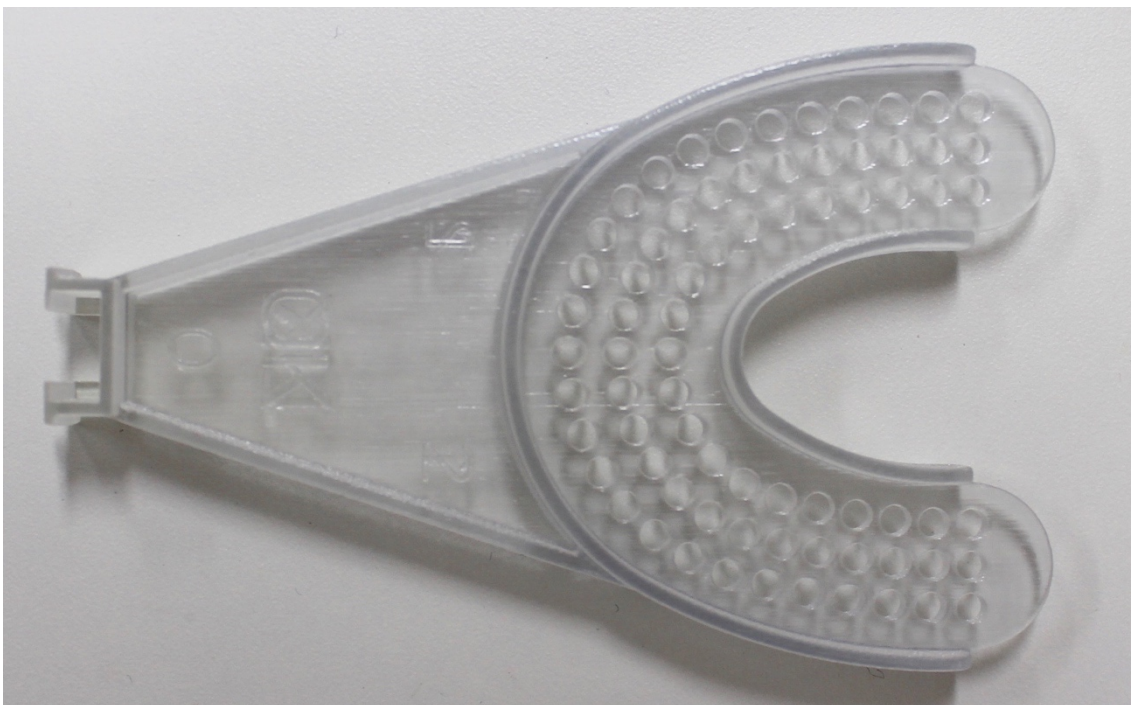


Abbildung 7: Abformlöffel: am Ende des Griffs ist ein Steckplatz in den ein Magnet zur Befestigung eines Trackers eingeführt werden kann.

2.5.2 Vorbereitung Motion Tracking System - Teachingprozesse

Für die Verwendung des Motion Tracking Systems waren Teachingprozesse erforderlich. Teachingprozesse sind Lernprozesse des Motion Tracking Systems. Sie sind unerlässlich, da der Ermittlung von Positionen im dreidimensionalen Raum nur Infrarotsignale dienen können, für die Analyse des Zahnputzverhaltens aber die genaue Position des Zahnbürstenkopfs und der Zähne notwendig sind. Es gibt einen Teachingprozess für die Abformungen, einen für die Zahnbürste und einen für die Kiefer. Bei den unterschiedlichen Teachingprozessen wird dem Motion Tracking System beigebracht, in welchem Verhältnis bestimmte Punkte zueinander und zu einer

2 Methoden und Probanden

Infrarotquelle im dreidimensionalen Raum stehen. Dabei geht man davon aus, dass die Infrarotquelle und die Punkte immer in einem festen Bezugsverhältnis zueinanderstehen. Verändert sich das Bezugsverhältnis, muss der Teachingprozess wiederholt werden.

Durch die Ermittlung der Position des Infrarotsignals des Infrarotracker kann das Motion Tracking System dann weitere Positionen, die vorher per Teachingprozess erlernt wurden, im Verhältnis zum Infrarotsignal errechnen. Die Teachingprozesse mussten für jeden Probanden einzeln erfolgen.

Es gibt ein Teachingpult mit Referenzvorrichtungen. Dort fanden die Teachingprozesse für die Zahnbürsten und für die Abformungen statt. Eine Kamera mit Infrarotfilter ist auf dieses Teachingpult gerichtet (siehe Abbildung 8).

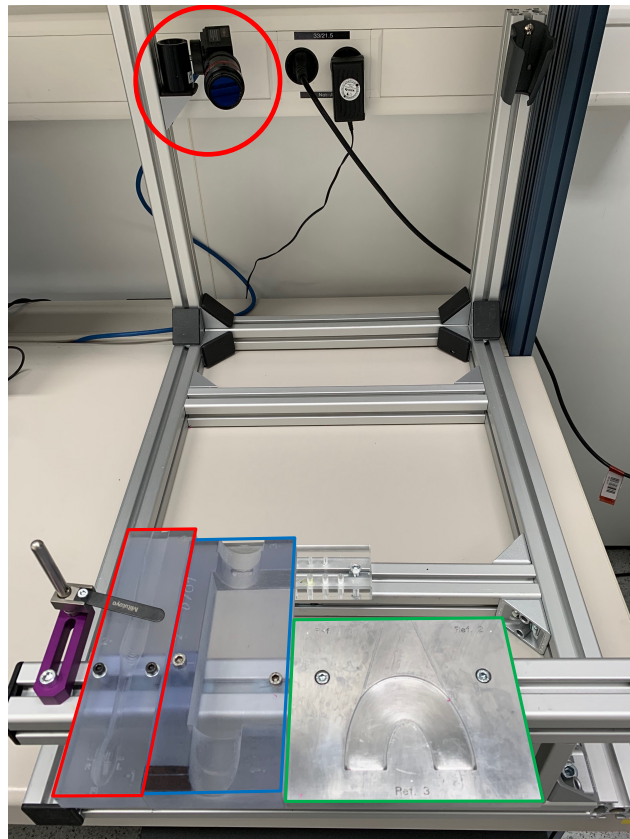


Abbildung 8: Teachingpult: roter Kreis = Infrarotkamera, rotes Viereck = Referenzplatte für manuelle Zahnbürste, blaues Viereck = Referenzplatte für elektrische Zahnbürste, grünes Viereck = Referenzplatte für Ober- und Unterkieferabformung

2.5.2.1 Teachingprozess Abformung

Der genormte Oberkieferabformlöffel wurde in der Referenzvorrichtung des Teachingpults befestigt (siehe Abbildung 9). Die genauen Maße des Abformlöffels sind dem Motion Tracking System bekannt. Am Griff des Abformlöffels wurde mittels Magnet

2 Methoden und Probanden

ein Infrarottracker befestigt. Dieser zeigte sowohl bei der Ober- als auch bei der Unterkieferabformung nach oben, in Richtung der virtuellen Zahnwurzeln.

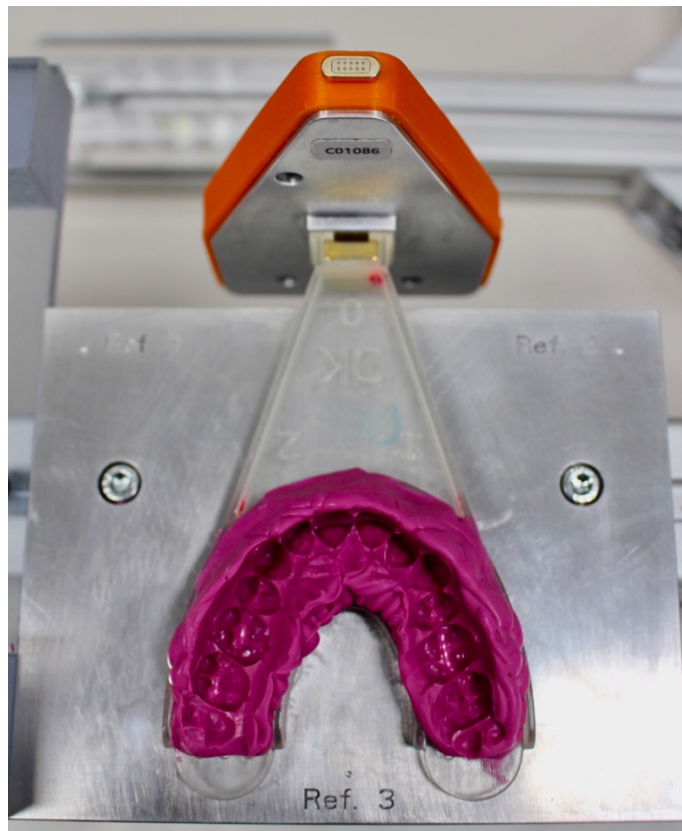


Abbildung 9: Teachingvorgang Oberkieferabformung

Zunächst musste überprüft werden, ob der Infrarottracker satt auf dem Löffel sitzt. Da das Motion Tracking System die Maße der Referenzvorrichtung und der Abformlöffel kennt, konnte per „One-Click-Calibration“ das Bezugsverhältnis zwischen Abformlöffel und Infrarottracker eingelernt werden. One-Click-Calibration bedeutet, dass man in der Motion Tracking Software nur einen Mausklick benötigt, um einen Teachingprozess durchzuführen. Dann wurden mittels Zeigespitze der Hardprobe (siehe Abbildung 5) die einzelnen Zähne in der Abformung eingelernt. Dabei wurden die mittigen Punkte der Inzisalfächen beziehungsweise der Okklusalfächen der Zähne 11 bis 17 und 21 bis 27, sowie der Approximalpunkt zwischen 11 und 21 nacheinander berührt (siehe Abbildung 10).

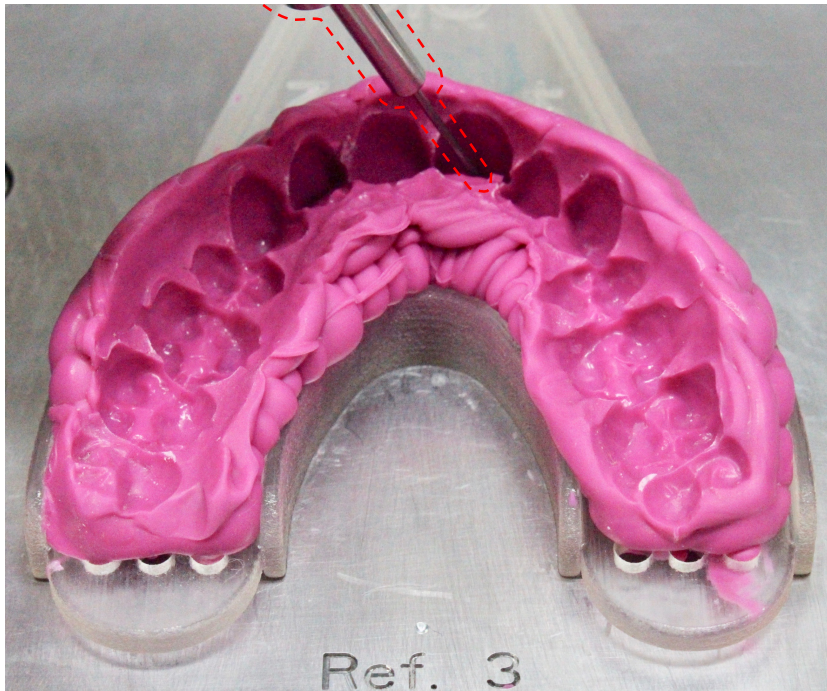


Abbildung 10: Einlernen der Zahnpositionen, rote gestrichelte Linie = Zeigespitze der Hardprobe

Das Motion Tracking System fragte dabei nacheinander die genannten Punkte ab. Man steuerte die einzelnen Punkte mit der Zeigespitze der Hardprobe an und ließ die Positionen vom Motion Tracking System speichern. Jeder Punkt wurde durch das Infrarotsignal der Hardprobe vom Motion Tracking System im dreidimensionalen Raum registriert. Damit waren die Positionen der Oberkieferzähne zueinander und im Verhältnis zum Abformlöffel erkannt und gespeichert.

Gleiches wurde mit der Unterkieferabformung vorgenommen. Dabei wurden die mittigen Punkte der Inzisalflächen beziehungsweise der Okklusalflächen der Zähne 31 bis 37 und 41 bis 47, sowie der Approximalpunkt zwischen 31 und 41 registriert.

2.5.2.2 Teachingprozess Zahnbürste

Während des Putzvorgangs musste die Position des Zahnbürstenkopfs registriert werden können. Dazu wurden die Zahnbürsten am Ende des Handstücks mit einem Infrarottracker ausgestattet. Vorher musste eingelernt werden, wo sich der Zahnbürstenkopf im Verhältnis zum Infrarottracker befand. Die Zahnbürste wurde dafür in der jeweiligen Referenzvorrichtung des Teachingpults positioniert (siehe Abbildung 11a + 11b). Es gab eine Vorrichtung für die elektrische Zahnbürste und eine für die manuelle Zahnbürste. Die Vorrichtungen waren so konzipiert, dass die Zahnbürsten nur in einer bestimmten Position eingelegt werden konnten. Die Dimension der Vorrichtungen und die der Zahnbürsten war dem Motion Tracking System bekannt.

2 Methoden und Probanden

Daher war dem System auch bekannt, wo sich der Bürstenkopf der jeweiligen Zahnbürste befindet, wenn sie in die Vorrichtung richtig eingespannt wurde. Per One-Click-Calibration konnte dann das Bezugsverhältnis von Infrarottracker zu Zahnbürste/Zahnbürstenkopf registriert werden. Damit war die Position des Bürstenkopfs im Verhältnis zum Infrarottracker gespeichert.



Abbildung 11a: Registrierungsposition manuelle Zahnbürste



Abbildung 11b: Registrierungsposition elektrische Zahnbürste, der Bürstenkopf konnte nachträglich aufgesteckt werden und war für den Teachingprozess nicht obligatorisch

2.5.3 Untersuchungstag

Am Untersuchungstag wurden die Probanden zunächst mit dem Studienraum vertraut gemacht und über den Ablauf informiert. Es wurde der Teachingprozess der Kiefer durchgeführt und den Probanden wurde die ihnen zugewiesene Aufgabe genau erläutert.

2.5.3.1 Aufgabe des Probanden

Die Aufgabe des Probanden bestand darin, sich die Zähne nach häuslicher Gewohnheit zu putzen. Dabei nutzten 52 Probanden eine elektrische Zahnbürste und 51 Probanden eine manuelle Zahnbürste. Ihren Gewohnheiten entsprechend wurde den Probanden für

2 Methoden und Probanden

die Studie eine elektrische oder eine manuelle Zahnbürste zugeteilt. Das manuelle Modell war die „Oral-B Indicator“ Zahnbürste (siehe Abbildung 12 a), das elektrische Modell war die „Oral-B Genius“ Zahnbürste mit dem „Cross Action Power“ Bürstenkopf (siehe Abbildung 12 b). Es wurde auf die Verwendung von Zahnpasta verzichtet, um bei der Auswertung der Videoaufnahmen eine bessere Sicht zu erhalten. Ein Waschbecken, Mundspülbecher und Papiertücher standen bereit. Die Probanden putzten nur einmal, die Datenerhebung per Videoaufnahme und per Motion Tracking System erfolgte gleichzeitig.

46 Probanden, die zufällig ausgewählt wurden, erhielten nach der ersten Datenerhebung eine Videoinstruktion. In diesem Videoclip wurde eine Systematik des Zähneputzens erklärt, jedoch keine Putztechnik. Den Probanden wurde dieser Videoclip nach der ersten Datenerhebung gezeigt. Danach wurde das Putzverhalten erneut mittels Videokamera und Motion Tracking System aufgezeichnet. Die Probanden wurden dazu aufgefordert sich die Zähne anhand dieser Systematik zu putzen.



Abbildung 12a: Oral-B Indicator,
Marktheidenfeld, Bayern, Deutschland



Abbildung 12b: Oral-B Genius mit Cross Action
Power Bürstenkopf, Marktheidenfeld, Bayern,
Deutschland

2 Methoden und Probanden

2.5.3.2 Beobachtung durch Videoaufnahme

2.5.3.2.1 Beschreibung des Aufbaus und der Materialien

Material:

- Zwei Videokameras (Sony FDR-AX33, Tokio, Japan)
- Zwei Speicherkarten (SanDisk Extreme PRO 128 GB Class 10, Western Digital Corporation, Milpitas, USA)
- Aufnahmebox aus Holz mit einem halbdurchlässigen Spiegel auf der dem Probanden zugewandten Seite

Eine Videokamera wurde in der Aufnahmebox positioniert, sodass sie das Gesicht des Probanden frontal aufnehmen konnte. Die Aufnahmebox verfügte auf der dem Probanden zugewandten Seite über einen halbdurchlässigen Spiegel. Dadurch konnte der Proband während des Zähneputzens sein Spiegelbild sehen und gleichzeitig konnte die Kamera den Probanden filmen. Der Bildausschnitt wurde sehr nah gewählt, sodass man den Mund gut erkennen konnte (siehe Abbildung 13). Die zweite Kamera wurde etwas weiter, schräg vom Probanden entfernt, positioniert, sodass ein größerer Ausschnitt gefilmt wurde und man die Haltung der Zahnbürste erkennen konnte (siehe Abbildung 13). Die Videokameras wurden über die Multikamerasteuerungsfunktion miteinander synchronisiert, so dass es bei Betätigung des Aufnahme Knopfes an einer Kamera dazu führte, dass beide Kameras die Aufnahme zeitgleich begannen und synchrone Videodateien entstanden.



Abbildung 13: finale Videodatei eines Probanden: links Nahaufnahme, rechts entfernte Aufnahme

2.5.3.2.2 Videoaufnahme

Der Proband wurde angewiesen sich auf eine Markierung auf dem Boden in Front der Aufnahmebox zu stellen. Es wurden vorbereitende Maßnahmen für die Datenaufnahme durch das Motion Tracking System getroffen (siehe Kapitel 2.5.3.3.1). Zunächst wurde ein Zettel mit dem vierstelligen Probandencode vor die Linse gehalten, um das Video später zuordnen zu können. Es wurde ein Signal per Laserpointer abgegeben. Dies

2 Methoden und Probanden

diente der zeitlichen Synchronisation der beiden Dateien (Videoergebnisse und Motion Tracking Ergebnisse) bei der Auswertung. Das Putzen erfolgte unbeobachtet.

2.5.3.2.3 Nachbereitung

Die zwei zeitlich synchronen Videodateien der beiden Videokameras wurden mittels der Videobearbeitungssoftware Adobe Premiere Pro CC (Adobe Premiere Pro CC, Adobe Systems Software Ireland Limited, Dublin, Republik von Irland) zu einer Videodatei zusammengeschnitten. Die beiden Videobilder (Seitenverhältnis 16:9) wurden nebeneinandergelegt, sodass ein Videoformat vom Seitenverhältnis 32:9 entstand. Dadurch war es bei der Auswertung möglich, dass bei schlechten Sichtverhältnissen der Frontalkamera, durch beispielsweise Hände vor dem Mund, mithilfe der zweiten Kamera trotzdem eine richtige Beurteilung zustande kommen konnte (siehe Abbildung 13).

2.5.3.3 Observation per Motion Tracking System

2.5.3.3.1 Vorbereitende Maßnahmen

Zu Beginn eines jeden Studientages wurde die Kalibrierung der sogenannten „Cluster“ kontrolliert. Als Cluster wird eine Einheit von verschiedenen Infrarotkameras bezeichnet. Innerhalb eines Clusters müssen die Kameras aufeinander abgestimmt werden, so dass alle die Position einer Infrarotquelle im dreidimensionalen Raum übereinstimmend registrieren. Eine Kamera kann zu mehreren Clustern gleichzeitig gehören.

Es gab zwei Cluster. Ein Cluster bestand aus sechs Kameras und diente der Positionserkennung des Zahnbürstentrackers. Das zweite Cluster bestand aus drei Kameras und diente der Positionserkennung des Helmtrackers. In jedem Cluster gab es eine Hauptkamera. Bei der Kalibrierung wurde die Abweichung in der Wahrnehmung einer Infrarotquelle einer jeden anderen Kamera des Clusters zur Hauptkamera gemessen. Überschritt die Abweichung ein Maß von 1,5 mm, wurde die Synchronisation zwischen dieser Kamera zur Hauptkamera neu kalibriert.

2.5.3.3.1.1 Teachingprozess Kiefer

Während des Putzvorgangs musste das Motion Tracking System die Position der Zähne im dreidimensionalen Raum registrieren können. Der Proband zog dafür einen Helm mit einem Infrarottracker (siehe Abbildung 14) an. Durch den satten Sitz stand der Helm in einem festen Verhältnis zum Oberkiefer. Am Griff des Abformlöffels wurde mittels Magnet ein Infrarottracker befestigt. Es wurde die Oberkieferabformung im Oberkiefer des Probanden eingesetzt. Der Proband sollte sich auf die Probandenposition vor das Motion Tracking System stellen. Mittels One-Click-Calibration konnten so die Positionen

2 Methoden und Probanden

der Zähne im Verhältnis zum Infrarottracker des Helms registriert werden. Aus dem vorherigen Teachingprozess der Abformung (siehe 2.5.2.1) und der registrierten Position des Helmtrackers konnte der Computer dann errechnen, wo sich die Zähne des Probanden im dreidimensionalen Raum befanden.

Das Gleiche wurde mit der Unterkieferabformung durchgeführt. Der Unterkiefer ist jedoch im Unterschied zum Oberkiefer beweglich. Aus diesem Grund wurden die Positionen des maximal geschlossenen Unterkiefers und die Position des maximal geöffneten Unterkiefers registriert.



Abbildung 14: Helm mit Infrarottracker

2.5.3.3.2 Datenaufnahme

Sobald die Aufnahme des Motion Tracking Systems und der Videokameras gestartet war, wurde ein Signal per Laserpointer gegeben. Dies diente der späteren Synchronisation der beiden Dateien (Videoergebnisse und Motion Tracking Ergebnisse) bei der Auswertung. Daraufhin konnte der Proband mit dem Zähneputzen beginnen. Die Positionen der beiden Infrarottracker wurden vom System im 100 Hz Takt registriert und gespeichert. Der Verlauf der Datenerhebung durch das Motion Tracking System wurde anhand eines standardisierten Protokolls festgehalten.

2.5.3.3.3 Kontrolle des Sitzes des Probandenhelms

Durch das Detektieren der Position des Infrarottrackers des Probandenhelms errechnete das Motion Tracking System im Nachhinein die Positionen der einzelnen Zähne während des Putzens. Diese konnten aber nur richtig berechnet werden, solange sich das

2 Methoden und Probanden

Positionsverhältnis des Probandenhelms zu den Kiefern nach dem „Teachingprozess Kiefer“ (siehe Kapitel 2.5.3.3.1.1) nicht mehr verändert hatte.

Kam es zum Verrutschen des Probandenhelms, wurden die Positionen der Zähne falsch berechnet. Ein sichtbares Verrutschen des Probandenhelms während der Studie bedeutete, dass der „Teachingprozess Kiefer“ wiederholt werden musste und die Datenerhebung erneut begonnen werden musste.

Um ein nicht sichtbares, nur geringes Verrutschen des Probandenhelms festzustellen, wurde nach jeder Datenerhebung der „Teachingprozess Kiefer“ wiederholt und als neue Datei für den jeweiligen Probanden gespeichert. Bei der Auswertung wurden die Dateien eines jeden Probanden auf Übereinstimmung überprüft. Nur wenn die Dateien übereinstimmten, konnte davon ausgegangen werden, dass der Probandenhelm nicht verrutscht war und die Datenerhebung dahingehend nicht beeinflusst wurde.

2.5.3.4 Videoinstruktion

In der Videoinstruktion wurde eine Zahnputzsystematik erklärt. Zunächst wurden die drei Flächen der Zähne, die beim Zähneputzen von Interesse sind, gezeigt und erklärt: die Innenfläche (entspricht oral), die Außenfläche (entspricht vestibulär/labial) und die Kaufläche (entspricht okklusal). Danach wurde eine Zahnputzsystematik erläutert.

2.5.3.4.1 Beschreibung der Systematik

Als Zahnputzsystematik wurde die von Rateitschak veröffentlichte Systematik verwendet (siehe Abbildung 15) (Rateitschak et al., 2004). Dabei sollen zunächst die Oralflächen, dann die Faszialflächen und zum Schluss die Kauflächen geputzt werden. Laut Rateitschak soll das Putzen für Rechtshänder (vice versa für Linkshänder) an den oralen Fläche der posterioren Zähne des Unterkiefers der rechten Seite begonnen werden. In dieser Studie wurden zur Vereinfachung der Auswertung die Rechtshänder sowie auch die Linkshänder instruiert an den oralen Fläche der posterioren Zähne des Unterkiefers der rechten Seite zu beginnen. Daraufhin wird zunächst nach anterior und dann zur kontralateralen Seite gewechselt. Fortgefahren wird dann mit den oralen Oberflächen des Oberkiefers; zunächst posterior links, dann anterior und dann posterior auf der kontralateralen Seite. Im Anschluss werden die vestibulären Flächen auf die gleiche Weise geputzt, dabei wird zunächst oben rechts posterior begonnen, dann anterior und dann posterior auf der kontralateralen Seite. Es wird dann in den Unterkiefer gewechselt, zunächst unten links posterior, dann anterior und dann posterior auf der kontralateralen Seite. Als letztes werden die okklusalen Flächen geputzt. Es wird zunächst unten rechts posterior begonnen und dann posterior auf der kontralateralen Seite geputzt.

2 Methoden und Probanden

Fortgefahren wird dann im Oberkiefer, zunächst oben links posterior und dann posterior auf der kontralateralen Seite (siehe Abbildung 15).

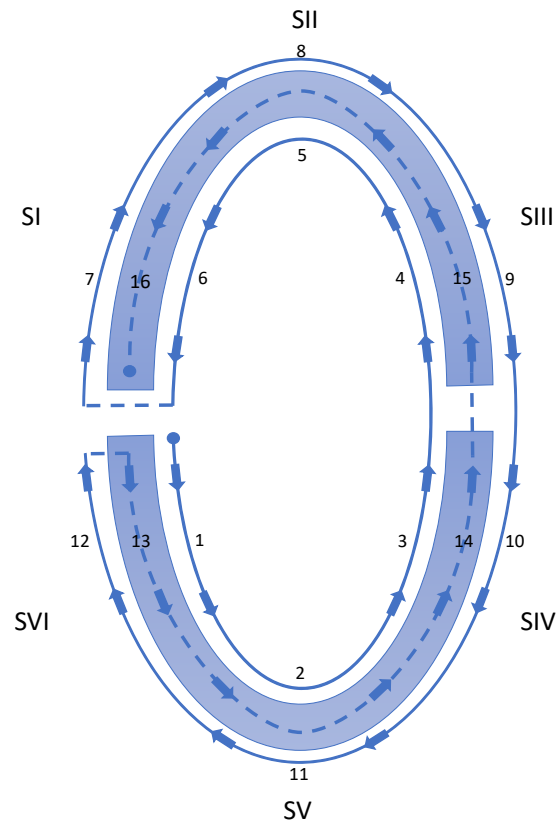


Abbildung 15: Putzsystematik nach Rateitschak (Rateitschak et al., 2004). Die Oberflächen (oral, vestibulär, okklusale) der Sextanten (SI – SVI) sollten in einer bestimmten Reihenfolge erreicht werden, durch Nummern und Pfeile gekennzeichnet. Begonnen wird mit der oralen Oberfläche von SVI und beendet wird die Systematik mit der okklusalen Oberfläche von SI.

2.6 Datenauswertung

2.6.1 Parameter der Auswertung

Für die Auswertung wurden zunächst die Kiefer in Sextanten unterteilt: Sextant 1 (S1) = Zahn 17 bis 14, Sextant 2 (S2) = Zahn 13 bis 23, Sextant 3 (S3) = 24 bis 27, Sextant 4 (S4) = 37 bis 34, Sextant 5 (S5) = 33 bis 43 und Sextant 6 (S6) = 44 bis 47. Außerdem wurden die Sextanten in drei verschiedenen Zahnflächen unterteilt (vestibulär, okklusale und oral). Dies ergab insgesamt 18 Areale. Eine Übersicht zeigt Abbildung 16.

2 Methoden und Probanden

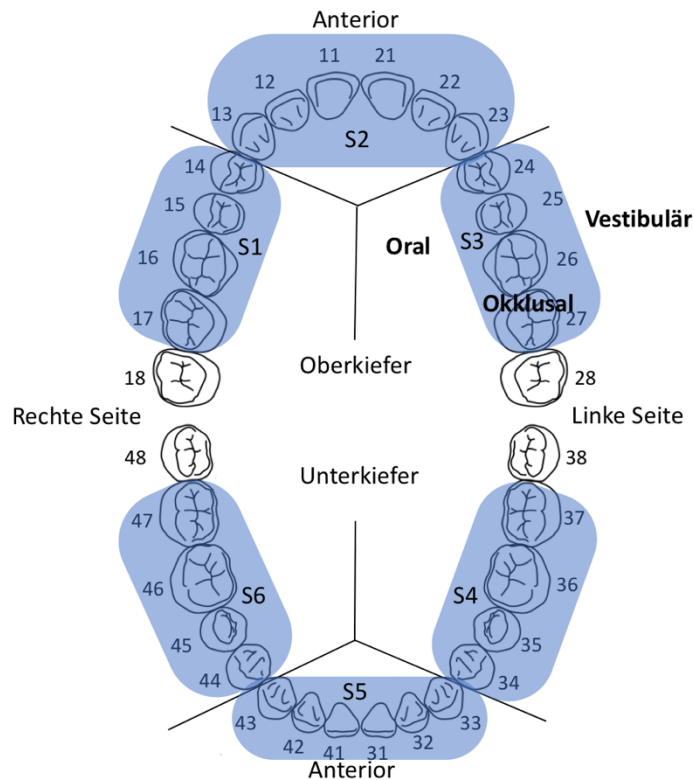


Abbildung 16: Aufteilung des Ober- und Unterkiefers in Sextanten (S1-S6 = blau); die dritten Molaren (weiß) gehören nicht zu den Sextanten; außen stehen die Zahnbezeichnungen nach dem System der Fédération Dentaire Internationale (FDI); die Zahnflächen sind ebenfalls bezeichnet: vestibulär, okklusal und oral; Darstellung modifiziert von P.K. aus der Arbeit von Winterfeld (Winterfeld et al., 2015)

Die Parameter der Auswertung basierten auf der Arbeit von Winterfeld (Winterfeld et al., 2015).

Tabelle 1: Parameter der Auswertung (Winterfeld et al., 2015)

Parameter	Beschreibung
Händigkeit	Die Hand, die zum Halten der Zahnbürste benutzt wird.
Totale Zahnputzdauer	Zeit zwischen der ersten Berührung der Zahnbürste mit den Zähnen und der letzten.
Effektive Zahnputzdauer	Zeit, in der die Zahnbürste auf den Zähnen agiert, dabei wird die Zeit für Spülen, Spucken und Pausen subtrahiert.
Putzereignisse (Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b)	Die Frequenz der Wechsel zwischen den Sextanten, den Oberflächen oder einer Kombination von beidem.

Neben den bereits bekannten Untersuchungsparametern wurde außerdem der TSI-Index (Schlueter et al., 2018) berechnet.

2 Methoden und Probanden

2.6.1.1 Toothbrushing Systematics Index (TSI)-Index (Schlueter et al., 2018)

Dieser Index ist in der Lage die Systematik des Zähneputzens aus Observationsdaten zu quantifizieren. Er besteht aus drei Komponenten: Vollständigkeit (alle Areale der Dentition werden erreicht), Isochronizität (alle Areale werden gleich lang geputzt) und Konsistenz (Vermeidung von häufigen Wechseln zwischen den Arealen). Dabei werden verschiedene Parameter in zwei Algorithmen eingeführt, welche jeweils ein Ergebnis zwischen 0 und 1 errechnen. Der erste Algorithmus berechnet die Konsistenz (C). Der zweite Algorithmus berechnet die Isochronizität (I), indirekt wird dabei auch die Vollständigkeit berechnet. Werden diese beiden Ergebnisse addiert, erhält man den TSI-Index. Das Ergebnis von 0 entspricht einem vollständigen Fehlen von Systematik, während das Ergebnis von 2 einem völlig systematischen Zähneputzen entspricht. In dieser Studie basiert er auf den Putzbewegungen, die auf den vestibulären und oralen Oberflächen stattgefunden haben. Diese führte zu 12 Regionen, während die inzisalen/okklusalen Regionen ignoriert wurden.

Formel der Konsistenz (=C):

$$C = \left(1 - \frac{b}{x}\right) * \frac{i}{n}$$

b = Anzahl an Wechseln zwischen den Arealen, x = Totale Putzdauer in Sekunden, i= erreichte Areale, n = totale Anzahl an erreichbaren Arealen im Mund, d = Putzdauer in einem Areal in Sekunden.

Formel der Isochronizität (=I):

$$I = 1 - \frac{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left[\frac{d}{x} - \frac{1}{x}\right]}{2 * \frac{n-1}{n^2}}$$

x = Totale Putzdauer in Sekunden, i= erreichte Areale, n = totale Anzahl an erreichbaren Arealen im Mund, d = Putzdauer in einem Areal in Sekunden.

Hypothetisch kann die Anzahl der Wechsel zwischen den Arealen höher sein, als die Putzdauer, gemessen in Sekunden. Dann wäre C = negativ. Um einen negativen TSI-Index Wert zu vermeiden, wird in diesen Fällen C = 0 gesetzt.

Formel des Toothbrushing Index (=TSI):

$$TSI\ Index = C + I$$

2.6.2 Videoauswertung

Die Videoauswertung erfolgte mit der Video Kodierungs- und Analysesoftware INTERACT 15 (INTERACT 15, Mangold International GmbH, Arnstorf, Deutschland). Die Benutzeroberfläche der Software ist in Abbildung 17 gezeigt. Dabei wurden die Videos ad hock kodiert. Es wurden den möglichen Variablen Codes zugeordnet. Jedem Code war wiederum eine Taste auf der Tastatur zugeteilt. In dieser Arbeit wurde das Kodierungssystem, welches von Winterfeld (Winterfeld et al., 2015) entwickelt wurde, als Muster angewendet. Auf diesem Muster basieren die Analyseschritte, die in 2.6.2.1 bis 2.6.2.2 dargestellt werden. Es konnten einzelne, andauernde und gleichzeitige Codes kodiert werden. Außerdem konnten verschiedene Ordner erstellt werden, in denen Codes enthalten waren. Die Videos wurden jeweils dreimal unter Verwendung der verschiedenen Codeordner analysiert (siehe 2.6.2.1 bis 2.7.2.2). Dadurch musste sich der Beobachter nicht auf alle möglichen Variablen gleichzeitig konzentrieren. Die Videos konnten in verlangsamer Geschwindigkeit angesehen werden. Der Beobachter konnte per Tastendruck oder Mausklick das Video entsprechend der Variablen kodieren. Dies wurde in einem Daten Set gespeichert. Eine Beschreibung der Rubriken, die bei der Benennung der Codes ausgefüllt wurden, anhand des INTERACT Benutzerhandbuchs, ist in Tabelle 2 zu finden.

2 Methoden und Probanden

Tabelle 2: Beschreibung der Rubriken der Abbildungen 18 und 22.

Rubrik	Beschreibung
Taste	Taste, die dem Code zugeordnet wurde
Code	Verhaltens-Code, den man aufzeichnen will
Dur	gesetzte Markierung: Code wird mit Dauer aufgezeichnet ohne Markierung: Code wird lediglich als Zeitpunkt ohne Dauer aufgezeichnet
AussL	Codes, die in dieser Rubrik die gleiche Nummer besitzen schließen sich gegenseitig aus
Klasse	Oberbegriff für verschiedene Codes
Lex. Kette	wurde nicht verwendet
Prefix	wurde nicht verwendet
EOC	wurde nicht verwendet

Datenset und Dauer der Codes Fenster, dass die momentan aktiven Codes anzeigt*

The screenshot displays the INTERACT software interface. At the top, there are menu options like 'Start', 'Bearbeiten', 'Auswerten', etc. Below the menu is a toolbar with icons for file operations and playback controls. The main area is divided into several sections:

- Codes:** A list of codes with columns for 'Tasth', 'Code', 'AussL', and 'Klasse'. The list includes codes like 'sync', 'manual_toothbrush', 'power_toothbrush', 'left_handed', and 'right_handed'.
- Videokontrolle:** A video player window showing a person brushing their teeth. The video title is 'INT 50fps 00:00:19:39 TC'.
- Codeklassen:** A window showing active codes, currently empty.
- Kodierfenster:** A small window for coding, showing a table with columns for 'Tasth', 'Code', 'AussL', and 'Klasse'.

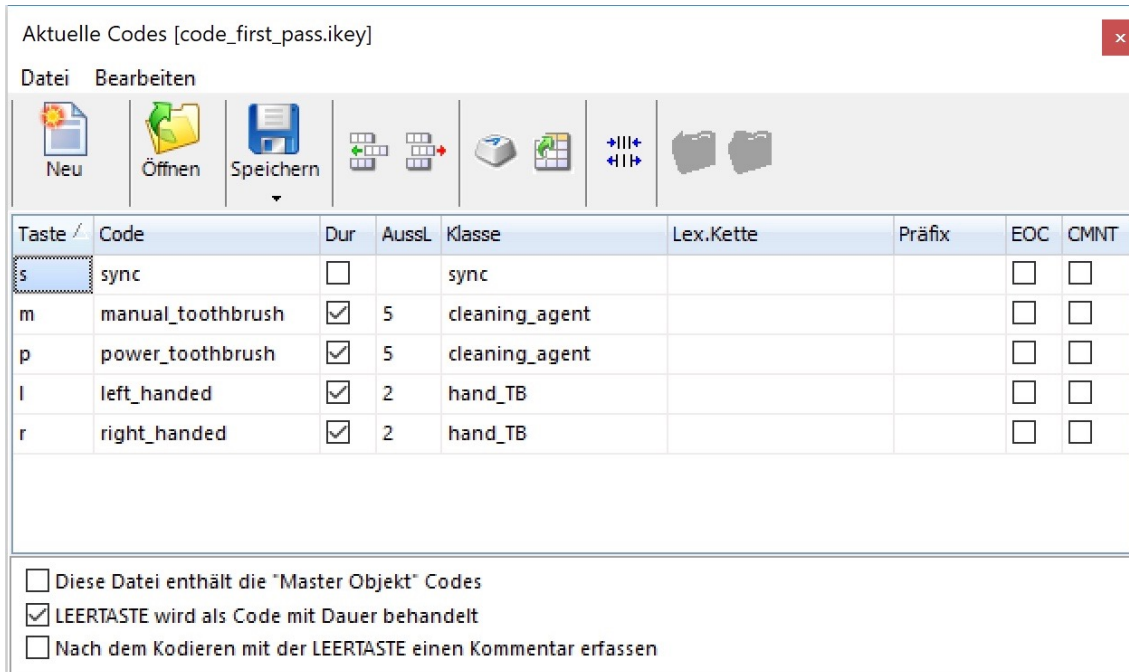
Fenster, das die kodierbaren Codes zeigt Videofenster**

Abbildung 17: Bildschirmfoto der Benutzeroberfläche in INTERACT (Mangold International GmbH, 2015). *Es wurden keine aktiven Codes angezeigt, da dies eine bereits kodierte Datei war. **Das Videofenster wurde für die Auswertung auf einem zusätzlichen Monitor vergrößert dargestellt, sodass man eine bessere Übersicht erhielt.

2 Methoden und Probanden

2.6.2.1 Analysedurchgang 1

Im ersten Durchgang der Analyse (siehe Abbildung 18) wurde der Zeitstempel für die Synchronisation (sync), die totale Zahnputzdauer, die Zahnbürstenart, manuell oder elektrisch, (cleaning_agent) und die Händigkeit (hand_TB) beim Zähneputzen kodiert.



Taste / Code	Dur	AussL	Klasse	Lex.Kette	Präfix	EOC	CMNT
s sync	<input type="checkbox"/>		sync			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
m manual_toothbrush	<input checked="" type="checkbox"/>	5	cleaning_agent			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
p power_toothbrush	<input checked="" type="checkbox"/>	5	cleaning_agent			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
l left_handed	<input checked="" type="checkbox"/>	2	hand_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
r right_handed	<input checked="" type="checkbox"/>	2	hand_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Diese Datei enthält die "Master Objekt" Codes
 LEERTASTE wird als Code mit Dauer behandelt
 Nach dem Kodieren mit der LEERTASTE einen Kommentar erfassen

Abbildung 18: Bildschirmfoto des ersten Analysedurchgangs; Auswertung der gesamten Putzzeit und der verwendeten Zahnbürste (manuell/elektrisch), Händigkeit (rechts/links) und Einsetzen eines Zeitstempels für die Synchronisation mit der Motion Tracking Auswertung (sync).

Sync

Es wurde ein Zeitstempel (sync) gesetzt, um die Synchronisation der Auswertung mit den Motion Tracking Daten zu ermöglichen. Bevor der Proband das Putzen der Zähne begann, wurde ein Zettel mit dessen Probandennummer in die Kamera gehalten. Dabei wurde per Laserpointer ein Lichtsignal auf den Zettel geleuchtet, welches als Synchronisationszeitpunkt diente. (Siehe Abbildung 19).

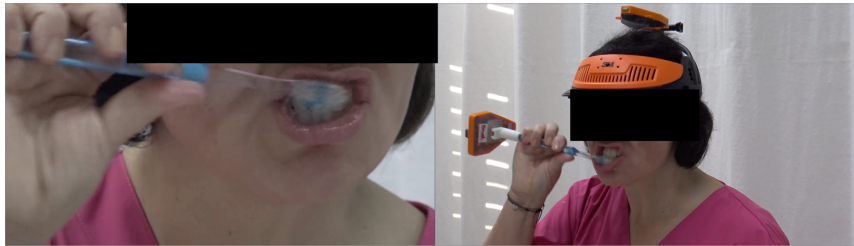


Abbildung 19: Laserpointersignal (roter Punkt im linken Bild) als Synchronisationszeitpunkt für die Auswertung von Videoanalyse und Analyse des Motion Tracking System. Der Code „Sync“ wurde gesetzt, sobald das Licht des Laserpointer das erste Mal zu sehen war. Bildschirmfoto von originalem Video.

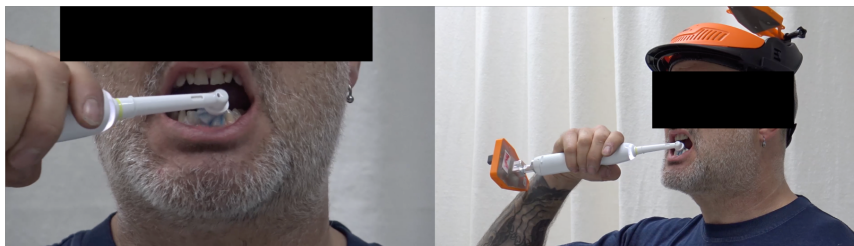
2 Methoden und Probanden

Cleaning_agent

Die totale Zahnputzdauer wurde über den Code „Toothbrush_manual“ beziehungsweise über den Code „Toothbrush_power“ gemessen. Dabei wurde die gesamte Putzzeit gemessen, bei Ereignissen wie Spülen, Spucken oder Pausen wurde nicht unterbrochen. Außerdem wurde dadurch die Zahnbürstenart (manuell oder elektrisch) kodiert. (Siehe Abbildung 20).



Manuelle Zahnbürste



Elektrische Zahnbürste

Abbildung 20: Die verschiedenen Zahnbürsten (Manuell und Elektrisch). Bildschirmfotos von originalen Videos.

Hand_TB

Die Händigkeit wurde über die Codes „left_handed“ (links) und „right_handed“ (rechts) kodiert. Sobald die Zahnbürste das erste Mal die Zähne berührte wurde der Code eingeloggt und sobald das Putzen beendet wurde, wurde der Code beendet. Falls während des Putzens die Hand gewechselt wurde, wurde entsprechend der Code geändert. (Siehe Abbildung 21).

2 Methoden und Probanden



Rechtshänder



Linkshänder

Abbildung 21: Händigkeit der Probanden (rechts oder links). Bildschirmfotos von originalen Videos.

2.6.2.2 Analysedurchgang 2

Im zweiten Durchgang der Analyse (siehe Abbildung 22) wurden das Areal (sextant_TB und surface_TB) und unspezifische Putzereignisse (unspecified_brushing_event) kodiert.

2 Methoden und Probanden

Aktuelle Codes [code_second_pass.ikey]

Datei Bearbeiten

Neu Öffnen Speichern

Taste /	Code	Dur	AussL	Klasse	Lex.Kette	Präfix	EOC	CMNT
1	sextant_1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	sextant_2	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	sextant_3	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	sextant_4	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	sextant_5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	sextant_6	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
q	sextant_1_6	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
w	sextant_2_5	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e	sextant_3_4	<input checked="" type="checkbox"/>	1	sextant_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	vestibular	<input checked="" type="checkbox"/>	2	surface_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	occlusal	<input checked="" type="checkbox"/>	2	surface_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0	oral	<input checked="" type="checkbox"/>	2	surface_TB			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b	break	<input checked="" type="checkbox"/>	4,2,1	unspecified_brushing_ev			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i	invisible	<input checked="" type="checkbox"/>	4,2,1	unspecified_brushing_ev			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
s	special_event	<input checked="" type="checkbox"/>	4,2,1	unspecified_brushing_ev			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c	class_insert	<input type="checkbox"/>	4,2,1	unspecified_brushing_ev			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Diese Datei enthält die "Master Objekt" Codes
 LEERTASTE wird als Code mit Dauer behandelt
 Nach dem Kodieren mit der LEERTASTE einen Kommentar erfassen

Abbildung 22: : Bildschirmfoto des zweiten Analysedurchgangs; Bestimmung der Sextanten (Sextant 1-6, Sextant_1_6, Sextant_2_5 und Sextant_3_4), Bestimmung der Oberfläche (vestibulär, okklusal und oral) und unspezifische Putz Ereignisse (Pause, unsichtbar, spezielles Ereignis und „class_insert“). Abkürzung TB = Toothbrush.

Sextant_TB

Das Areal wurde über die sich gegenseitig ausschließenden Codes „sextant_1“ bis „sextant_3_4“ kodiert. Diese Codes wurden kodiert, wenn der komplette Zahnbürstenkopf einen Bereich der Zähne berührte und dies länger als eine halbe Sekunde tat. Sobald die Zahnbürste weggenommen wurde, wurde das Ereignis gestoppt. Sobald die Mehrzahl der Borsten einen anderen Sextanten erreicht hatten, wurde durch den Code des neuen Sextanten der Code des alten Sextanten durch das automatische Ausschlussverfahren beendet. Bei gleichzeitigem Putzen zweier Sextanten blieb der Code des ersten Sextanten aktiv bis ein neuer Sextant vollständig erreicht wurde. Eine Ausnahme bildete „sextant_1_6“, „sextant_2_5“ und „sextant_3_4“. Diese wurden verwendet, wenn der Proband mit geschlossenen Kiefern die vestibulären Flächen beider Kiefer, der jeweiligen Sextanten 1 und 6, 2 und 5 beziehungsweise 3 und 4, gleichzeitig putzte. (Siehe Abbildung 23).

2 Methoden und Probanden



Abbildung 23: Die Sextanten (Sextant 1 bis Sextant 3_4), die von der Zahnbürste erreicht werden konnten. Bildschirmfotos von originalen Videos.

Surface_TB

Die drei möglichen Zahnflächen wurden über die Codes „vestibular“, „occlusal“ und „oral“ kodiert. Sobald der komplette Zahnbürstenkopf eine Oberfläche berührte und dies länger als eine halbe Sekunde tat, wurde ein Code eingeloggt. Sobald die Zahnbürste weggenommen wurde, wurde das Ereignis gestoppt. Sobald eine andere Oberfläche erreicht wurde, wurde durch den Code des neuen Sextanten der Code des alten Sextanten durch das automatische Ausschlussverfahren beendet. Bei gleichzeitigem Putzen zweier Oberflächen wurde die Oberfläche kodiert, die von dem größeren Anteil an Borsten berührt wurde. (Siehe Abbildung 24).

2 Methoden und Probanden



Abbildung 24: Die Zahnflächen (Oral, Vestibulär, Okklusal) die von der Zahnbürste erreicht werden können. Bildschirmfotos von originalen Videos.

Unspecified_brushing_event

Zur Klasse `unspecified_brushing_event` (unspezifisches Putzereignis) gehörten „Pause“ (break), „unsichtbar“ (invisible), „spezifisches Ereignis“ (specific event) und ein Klassenplatzhalter (class_insert). Falls einer dieser Codes kodiert wurde, wurden automatisch alle anderen Codes dieses Analysedurchgangs beendet.

Pause wurde kodiert, wenn der Proband eine Pause während des Putzens einlegte, zum Beispiel um Auszuspülen.

Unsichtbar wurde kodiert, wenn der Proband sich außerhalb des Sichtfelds der Kamera bewegte, wenn der Proband während des Putzens den Mund geschlossen hielt oder wenn die Position der Zahnbürste nicht eindeutig erkannt werden konnte. Sobald der Proband sich wieder eindeutig im Sichtfeld befand und die Position der Zahnbürste erkennbar war, wurde die Kodierung fortgeführt.

Spezifisches Ereignis wurde kodiert, wenn der Proband etwas Unvorhergesehenes tat, wie beispielsweise das Putzen der Zunge.

„Class_insert“ war ein Ereignis ohne Dauer. Es wurde kodiert falls bei einem Probanden am Ende der Kodierung kein anderes Ereignis der Klasse „Unspecified_brushing_event“ kodiert wurde. Es diente lediglich dazu die Klasse „Unspecified_brushing_event“ als Spalte in der Auswertung von INTERACT (Mangold International GmbH, 2015) einzufügen. Dies war für die Vereinheitlichung, Auswertung und den Vergleich der Daten per Algorithmus nötig.

2 Methoden und Probanden

2.6.3 Qualitätssicherung

Diese Studie wurde anhand der ICH-Leitlinie zur guten klinischen Praxis auf Grundlage der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Alle Probanden wurden detailliert über das Prozedere aufgeklärt. Die gesammelten Daten (Fallbericht, Videos und Motion Tracking Daten) wurden durch eine Verschlüsselung anonymisiert und archiviert. Die Liste zur Entschlüsselung, sowie die personenbezogenen Daten (Probandeninformation und Einwilligungserklärung, Anamnese und Strukturiertes Rekrutierungsprotokoll) wurden getrennt voneinander aufbewahrt. Die Verantwortlichkeiten wurden entsprechend des Studienprotokolls getragen. Der Untersucher wurde geschult und kalibriert anhand standardisierter Prozesse.

2.7 Kalibrierung der Videoanalyse

Bei Beobachtungsstudien ist es wichtig, andere davon zu überzeugen, dass das, was beobachtet wurde, weder die Wünsche des Forschers noch eine eigenwillige Weltsicht des Beobachters widerspiegelt (Bakeman und Gottman, 1997). Aus diesem Grund wurde die Analysequalität des Untersuchers durch die Berechnung der Interrater Übereinstimmung zwischen ihm und zwei erfahrenen Analysten bestimmt. Die Intrarater Übereinstimmung wurde zweifach kontrolliert: nach den Videoanalyseübungen bevor die Videoanalyse begann und nachdem die Hälfte der Videoanalyse fertiggestellt wurde. Die Übereinstimmungen wurde per Berechnung von Cohens Kappa Koeffizient (Cohen, 1960) bestimmt. Die Kalkulationen wurden mit dem „Kappa“ Tool von INTERACT 15 (INTERACT 15, Mangold International GmbH) durchgeführt.

2.7.1 Kappa Kalkulation mit INTERACT

Die finalen Kodierungsdaten der Auswertung eines Videos resultierten in zeitliche-ereignisbasierte sequenziellen Daten. Diese Daten konnten nicht in die normale Funktion zur Kappa-Berechnung eingefügt werden.

INTERACT stellt aus diesem Grund einen eigenen Kappa-Berechnungs-Algorithmus bereit. Dieser wird in der INTERACT Hilfe wie folgt beschrieben „[d]er durch INTERACT berechnete Kappa Koeffizient berücksichtigt die Tatsache, dass ein Beobachter mehr als einen Code zu einem Zeitpunkt vergeben kann, wohingegen der Standard Cohen’s Kappa dies nicht tut [...]. INTERACT berücksichtigt auch die Fälle, in denen ein Beobachter ein bestimmtes Verhalten entdeckt hat, wohingegen der Andere nichts entdeckt hat. Auch dies wird in den meisten Programmen zur Kappa Berechnung nicht berücksichtigt“ (Mangold International GmbH, 2015).

Für die Kappa Berechnung in INTERACT mussten zwei Voreinstellungen getroffen werden. Für Ereignisse, die mit einem Zeitstempel kodiert wurden (ohne Dauer, beispielsweise „Sync“), konnte ein Intervall definiert werden, in dem ein eventuell auftretendes passendes Ereignis des anderen Beobachters als Übereinstimmung gezählt wurde. Für zeitbasierte Ereignisse mit Dauer (beispielsweise „totale Putzdauer“) konnte eine prozentuale Überlappung eingestellt werden. Die voreingestellte Toleranz betrug 50%. Anhand dieser Einstellungen sucht INTERACT nach passenden Übereinstimmungen um Kappa zu berechnen. Der INTERACT Algorithmus macht sechs Durchgänge durch die Datensets, die von Bakeman beschrieben wurden (Bakeman et al., 2009):

1. Überlappungen: Beim ersten Durchgang werden zwei Ereignisse verknüpft, wenn ein identisches Ereignis im Datensatz des anderen Beobachters prozentual die Dauer des aktuellen Ereignisses überlappt, auch wenn das Ereignis des anderen Beobachters bereits verknüpft ist.
2. Toleranzübereinstimmung: Beim zweiten Durchgang werden zwei Ereignisse verknüpft, wenn die Differenz der Anfangszeiten zwischen dem aktuellen Ereignis und einem identischen Ereignis im Datensatz des anderen Beobachters in das Toleranzfenster fällt (d.h. kleiner oder gleich der angegebenen Toleranz ist), und wenn das Ereignis des anderen Beobachters noch nicht verknüpft ist.
3. Nicht verknüpfte Ereignisse innerhalb der Toleranz: Im dritten Durchgang werden zwei Ereignisse verknüpft, wenn der Unterschied der Anfangszeiten zwischen dem aktuellen Ereignis und einem Ereignis im Datensatz des anderen Beobachters in das Toleranzfenster fällt und das Ereignis des anderen Beobachters noch nicht verknüpft ist. Wenn mehrere Ereignisse in das Toleranzfenster fallen, wird das erste ausgewählt.
4. Alle Ereignisse innerhalb der Toleranz: Beim vierten Durchgang werden zwei Ereignisse verknüpft, wenn die Differenz der Anfangszeiten zwischen dem aktuellen Ereignis und einem Ereignis im Datensatz des anderen Beobachters in das Toleranzfenster fällt, selbst wenn das Ereignis des anderen Beobachters bereits verknüpft ist. Wenn mehrere Ereignisse innerhalb des Toleranzfensters liegen, wird das letzte ausgewählt.
5. Andere Ereignisse: Im fünften Durchgang werden alle verbleibenden nicht verknüpften Ereignisse verknüpft, wenn ein Ereignis im Datensatz des anderen Beobachters P% die Dauer des aktuellen Ereignisses überlappt.
6. Beim sechsten Durchlauf werden alle verbleibenden nicht verknüpften Ereignisse mit einem Null-Ereignis des anderen Beobachters verknüpft.

2 Methoden und Probanden

2.7.2 Intrarater Übereinstimmung

Zu Beginn der Analyse wurden zehn Videos ausgewählt. Es wurden fünf Videos aus der Studie von Winterfeld (Winterfeld, 2015) gewählt, die jeweils einen Probanden mit manueller Zahnbürste zeigten. Außerdem wurden fünf Videos aus einer weiteren Zahnputzstudie (Ganss et al., 2018) gewählt, die Probanden mit elektrischer Zahnbürste zeigten. Diese Videos wurden jeweils zweimal vom Untersucher ausgewertet um die Intrarater Übereinstimmung zu messen (siehe Tabelle 3). Nachdem die Hälfte der Studienvideos analysiert worden waren, wurden die oben genannten zehn Videos erneut analysiert um eine mögliche Abweichung der Analyse auszuschließen (siehe Tabelle 4). Die Übereinstimmungskalkulationen wurden mithilfe von INTERACT durchgeführt, dabei wurden folgende Parameter eingestellt: gleiche Codes wurden registriert, wenn sie mindestens 85% überlappten und ihr Start in einem Toleranzfenster von 24 fps (= 0,96 Sekunden) lag. Die Untersucherübereinstimmung für Klassen wird als Kappa Koeffizient dargestellt. Die Übereinstimmung der einzelnen Codes wird als Prozentangabe dargestellt. Es gibt die prozentuale Übereinstimmung der ersten Auswertung gegenüber der zweiten beziehungsweise dritten Auswertung und die prozentuale Übereinstimmung der zweiten beziehungsweise dritten Auswertung gegenüber der ersten Auswertung. Außerdem wird der Durchschnitt dieser beiden Ergebnisse aufgezeigt.

2 Methoden und Probanden

Tabelle 3: Intrarater Übereinstimmung bevor die Analyse begann;

Klasse (grau) Code (weiß)	Prozentuale Übereinstimmung		durchschnittliche prozentuale Übereinstimmung	Kappa Koeffizient
	erste Auswertung gegenüber zweiter Auswertung	zweite Auswertung gegenüber erster Auswertung		
Händigkeit				1
Rechts	100	100	100	
Links	100	100	100	
Zahnoberfläche				0,92
Vestibulär	96,0	99,1	97,5	
Okklusal	94,4	94,0	94,2	
Oral	93,6	91,2	92,4	
Sextant				0,91
Sextant 1	88,3	94,7	91,5	
Sextant 2	91,4	95,4	93,4	
Sextant 3	98,5	96,7	97,6	
Sextant 4	94,4	98,8	96,6	
Sextant 5	97,5	95,7	96,6	
Sextant 6	98,6	100	99,3	
Sextant 1_6	95,0	75,0	85,0	
Sextant 2_5	92,2	80,4	86,3	
Sextant 3_4	92,8	77,1	85,0	

2 Methoden und Probanden

Tabelle 4: Intrarater Übereinstimmung nachdem die Hälfte der Videos analysiert wurde;

Klasse (grau) Code (weiß)	Prozentuale Übereinstimmung		durchschnittliche prozentuale Übereinstimmung	Kappa Koeffizient
	erste Auswertung gegenüber dritter Auswertung	dritte Auswertung gegenüber erster Auswertung		
Händigkeit				1
Rechts	100	100	100	
Links	100	100	100	
Zahnoberfläche				0,84
Vestibulär	92,6	91,0	91,8	
Okklusal	80,1	79,3	79,7	
Oral	95,0	94,3	94,6	
Sextant				0,84
Sextant 1	90,8	85,6	88,2	
Sextant 2	89,5	89,5	89,5	
Sextant 3	95,0	98,1	96,6	
Sextant 4	89,1	94,8	91,9	
Sextant 5	87,7	88,7	88,2	
Sextant 6	96,3	79,6	88,0	
Sextant 1_6	68,8	75,6	72,2	
Sextant 2_5	67,9	86,8	77,3	
Sextant 3_4	90,0	57,4	73,7	

2.7.3 Interrater Übereinstimmung

Zur Bestimmung der Interrater Übereinstimmung wurden die gleichen zehn Videos wie zuvor (Kapitel 2.7.2) verwendet. Die Videos stammen aus den Studien von Winterfeld (Winterfeld, 2015) und Ganss (Ganss et al., 2018). Aufgrund der hohen Anzahl an Videos, die diese beiden Autoren analysiert haben, gelten sie als erfahrene Analysten. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse ihrer Auswertung genutzt um die Analysequalität des Untersuchers (P.K.) zu messen.

Fünf Videos sind aus der Studie von Winterfeld (Winterfeld, 2015), dabei wurde die Auswertung von Winterfeld als Referenz genutzt und fünf Videos sind aus der Studie von Ganss (Ganss et al., 2018), dabei wurde die Auswertung des Untersuchers (Duran) der genannten Studie (Ganss et al., 2018) als Referenz genutzt. Für die Berechnung wurden dieselben Parameter, wie bei der Intrarater Übereinstimmung, eingestellt: gleiche Codes wurden registriert, wenn sie mindestens 85% überlappten und ihr Start in einem Toleranzfenster von 24 fps (= 0,96 s) lag. Die Untersucherübereinstimmung für Klassen wird als Kappa Koeffizient dargestellt. Die Übereinstimmung der einzelnen

2 Methoden und Probanden

Codes wird als Prozentangabe dargestellt. Es gibt die prozentuale Übereinstimmung der Auswertung von Duran/Winterfeld gegenüber der Auswertung des Untersuchers und die prozentuale Übereinstimmung der Auswertung des Untersuchers gegenüber der Auswertung von Duran/Winterfeld. Außerdem wird der Durchschnitt dieser beiden Ergebnisse aufgezeigt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Interrater Übereinstimmung bevor die Analyse begann

Klasse (grau) Code (weiß)	Prozentuale Übereinstimmung		durchschnittliche prozentuale Übereinstimmung	Kappa Koeffizient
	Duran/ Winterfelds Auswertung gegenüber Kleins Auswertung	Kleins Auswertung gegenüber Duran/ Winterfelds Auswertung		
Händigkeit				1
Rechts	100	100	100	
Links	100	100	100	
Zahnoberfläche				0,8
Vestibulär	95,5	95,3	95,4	
Okklusal	78,5	90,2	84,4	
Oral	92,2	77,2	84,7	
Sextant				0,86
Sextant 1	89,1	90,3	89,7	
Sextant 2	93,6	80,6	87,1	
Sextant 3	82,7	96,1	89,4	
Sextant 4	92,3	92,4	92,3	
Sextant 5	97,8	88,7	93,2	
Sextant 6	96,1	94,1	95,1	
Sextant 1_6	73,1	95,0	84,0	
Sextant 2_5	76,1	95,1	85,6	
Sextant 3_4	66,0	89,3	77,6	

2.8 Statistik

2.8.1 Fallzahlberechnung

Die Stichprobengröße basierte auf den vorgängigen Studien unserer Arbeitsgruppe (Ganss et al., 2018, Ganss et al., 2009, Schlueter et al., 2013, Schlueter et al., 2010, Winterfeld et al., 2015), die gezeigt haben, dass eine Gruppengröße von etwa 100 Personen geeignet ist, ein breites Spektrum an Zahnputzverhalten zu repräsentieren und statistisch fundierte Vergleiche der interessierenden Parameter zu ermöglichen.

Eine Interventionsstudie (Schlueter et al., 2013, Schlueter et al., 2010), die darauf abzielte, die Effekte verschiedener Arten von Mundhygieneinstruktionen zu vergleichen, hat gezeigt, dass eine Gruppengröße von 30 Personen in jedem Studienarm ausreichend Daten für eine statistische Analyse liefert.

Daher wurden für den Vergleich der Ergebnisse des Motion Tracking Systems mit den Ergebnissen der Videobeobachtung als Standardverfahren 100 Probanden und für die Beantwortung der Frage, ob Motion Tracking die Effekte einer Mundhygieneinstruktion abbilden kann, 40 Probanden vorgesehen.

2.8.2 Statistische Verfahren

Die Daten wurden zunächst auf hinreichende Normalverteilung geprüft (Kolmogorov-Smirnov-Test). Da sich für viele Variablen signifikante Abweichungen zeigten, wurden generell nicht-parametrische Testverfahren gewählt, die Lage- und Streumaße werden als Median mit Minima/Maxima angegeben, die graphische Darstellung erfolgt entsprechend mit Boxplots.

Die mit beiden Beobachtungsmethoden übereinstimmend kodierten Bürstenpositionen wurden als prozentualer Anteil an der Gesamtzahl kodierter Positionen dargestellt, zudem wurde Cohen's Kappa bestimmt. Die Einordnung der Kappa Koeffizienten erfolgte nach Landis und Koch (Landis und Koch, 1977). Um mögliche Muster bei den Nichtübereinstimmungen zu erkennen, wurde eine Heatmap der Konfusionsmatrix erstellt.

Vergleiche unabhängiger Daten (Putzdauer und Indexwerte vor und nach Instruktion) wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, für Vergleiche abhängiger Daten (Putzdauern oder Indexwerte aus den beiden Beobachtungsmethoden) wurde der Wilcoxon-Test verwendet.

Um die Übereinstimmung der TSI-Werte aus dem Motion Tracking mit denen aus der Videobeobachtung als Standardmethode zu beschreiben, wurden Bland-Altman-Analysen (Giavarina, 2015) durchgeführt. Es wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, um zu bewerten, ob die Größenordnung der Werte eine Auswirkung auf die Übereinstimmung (proportionaler Bias) hat, mit den Mittelwertdifferenzen wurde ein t-Tests für einer Stichprobe durchgeführt, um zu untersuchen, ob ein systematischer Bias vorliegt.

3 Ergebnisse

3.1 Übereinstimmung der identifizierten Bürstenpositionen

Im ersten Teil der Studie wurde das spontane Putzverhalten der insgesamt 103 eingeschlossenen Probanden aufgezeichnet.

Tabelle 6 stellt den prozentualen Anteil der mit beiden Beobachtungsmethoden übereinstimmend identifizierten Bürstenpositionen für verschiedene Bereiche dar.

Für die Flächen (okklusal/inzisal, vestibulär, oral) wurde die Bürstenposition ebenso wie für die Sextanten (laterale und anteriore Sextanten von Ober- und Unterkiefer) zu über 90% von beiden Systemen übereinstimmend identifiziert, dabei lag dieser Prozentsatz für die manuellen Bürsten etwas höher als für die Elektrischen ($p \leq 0.001$). Für die Areale (Sextanten x Flächen) lag der Anteil übereinstimmend identifizierter Positionen insgesamt etwas niedriger, ähnlich wie für die Sextanten konnte die Position manueller Bürsten etwas besser übereinstimmend identifiziert werden ($p \leq 0,05$), als die der elektrischen. Die Kappa-Koeffizienten lagen insgesamt zwischen 0,817 und 0,911.

Tabelle 6: Prozentualer Anteil übereinstimmend identifizierter Bürstenpositionen (Median (Min; Max)) sowie Kappa-Koeffizienten für alle Areale (Sextant und Fläche übereinstimmend) sowie für Sextanten und Flächen einzeln. Die Werte sind für die Gesamtgruppe (n=103) und getrennt nach Putzen mit manuellen (n=51) und elektrischen Bürsten (n=52) aufgeführt.

		Prozent	Kappa
Areale			
	Gesamt	87,8 (50,0;96,9)	0,830
	Manuell	90,3 (50,0;96,9)	0,842
	Elektrisch	86,5 (63,8;96,5)	0,817
Sextanten			
	Gesamt	94,3 (67,0;100,0)	0,899
	Manuell	95,9 (67,0;100,0)	0,911
	Elektrisch	92,4 (75,0;100,0)	0,886
Flächen			
	Gesamt	93,3 (70,0;100,0)	0,827
	Manuell	93,6 (70,0;100,0)	0,828
	Elektrisch	92,9 (70,0;100,0)	0,826

Das Histogramm (Abbildung 25) zeigt die Verteilung der Probanden nach dem prozentualen Anteil übereinstimmend identifizierter Bürstenpositionen für die Areale. Dabei zeigt sich für 40,8% der Probanden eine Übereinstimmung von 90% und mehr

3 Ergebnisse

und für 79,6% eine Übereinstimmung von $\geq 80\%$. Nur bei 20,4% der Probanden fand sich eine Übereinstimmungsrate von weniger als 80%.

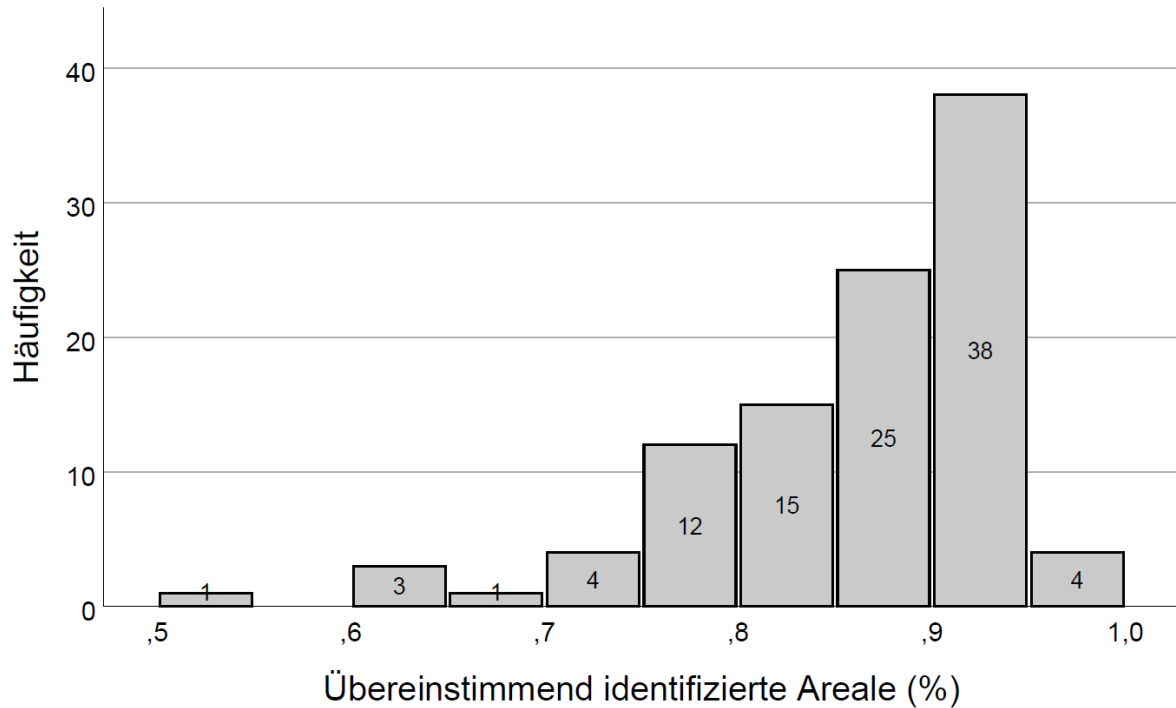


Abbildung 25: Verteilung der Probanden (n = 103) nach prozentuaem Anteil übereinstimmend identifizierten Bürstenpositionen.

Die Übereinstimmung zwischen Videobeobachtung und Motion Tracking wurde unter Kodierung in Halbsekundenabschnitte durchgeführt. Insgesamt ergab dies 22757 Halbsekundenintervalle, die auf Übereinstimmung überprüft wurden (ausgeschlossen sind dabei die Halbsekundenintervalle, in denen keine Videokodierung stattfinden konnte). Davon wurden 3211 Halbsekundenintervalle nicht übereinstimmend kodiert.

Die Abbildung 26 stellt dar, in welchen Bereichen diese nicht übereinstimmenden Kodierungen lokalisiert waren. Dabei zeigt sich, dass die überwiegende Zahl unterschiedlich kodierter Positionen (n = 3187) direkt benachbarte Regionen betrafen (zum Beispiel MT: Sextant 1 okklusal und VB: Sextant 1 vestibulär), während nur wenige in voneinander entfernten Regionen kodiert wurden (zum Beispiel MT: Sextant 1 okklusal und VB: Sextant 3 okklusal).

3 Ergebnisse

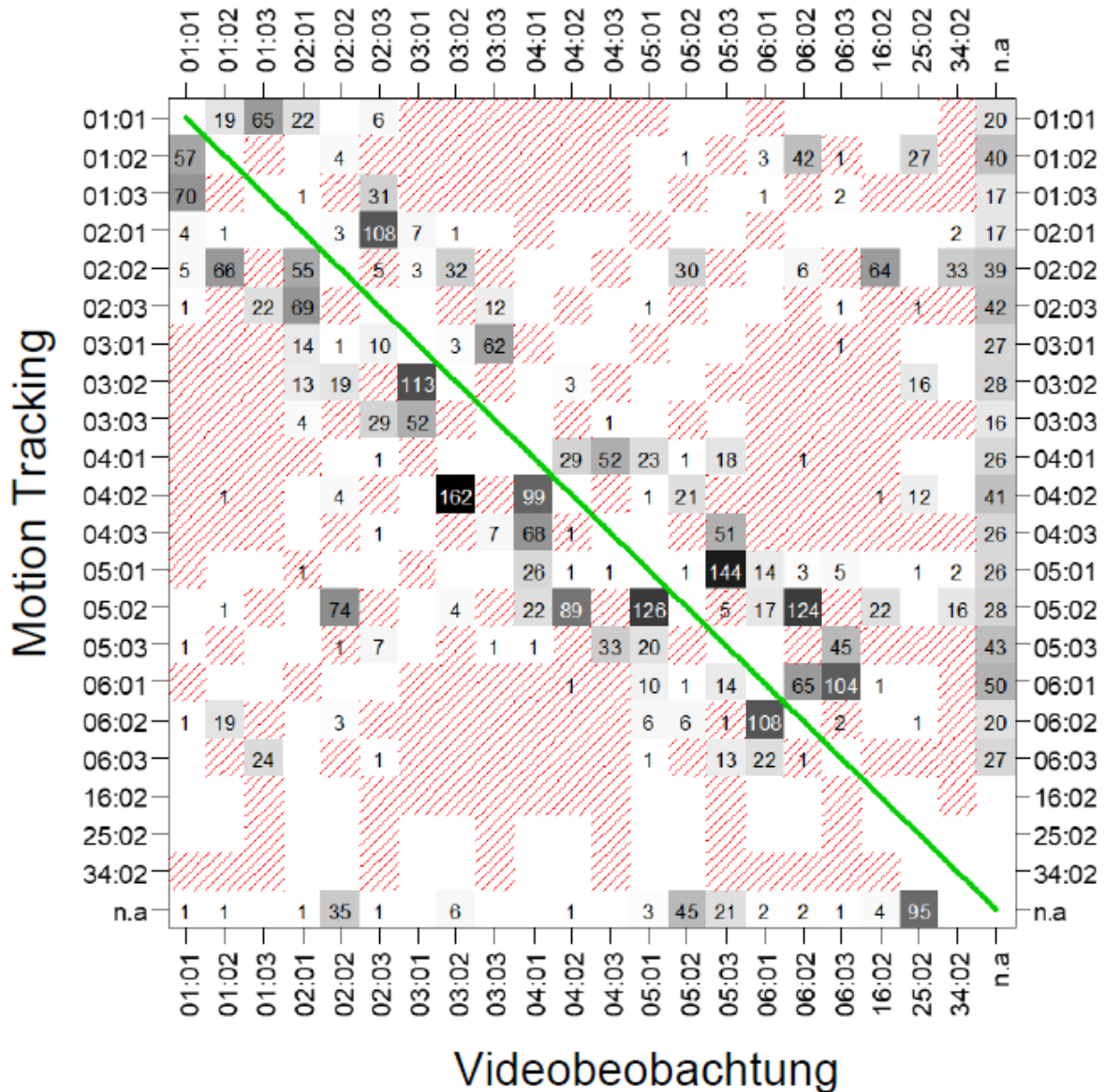


Abbildung 26: Heatmap der Konfusionsmatrix (aus: (Ganss et al., 2020)). Das erste Ziffern paar auf den Achsen bezeichnet den Sextanten (01-06; 16, 25 und 34 = Putzen der rechten, anterioren und linken Sextanten bei geschlossenem Kiefer), das zweite Ziffern paar die Fläche (01 = okklusal/inzisal, 02 = vestibulär, 03 = oral). Richtige Klassifizierungen, die durch die diagonale Linie angezeigt werden, sind nicht dargestellt. Die Zahlen und die entsprechende Grauschattierung geben die Gesamtzahl der nicht übereinstimmend kodierten Areale an. Rot schattierte Bereiche zeigen nicht benachbarte (d. h. problematischere) Fehlkodierungen an, z. B. gegenüberliegende Seiten des Kiefers.

3.2 Übereinstimmung der Putzdauern

Tabelle 7 zeigt die Putzdauer insgesamt ($n = 103$) und nach Bürstenart mit manuellen ($n = 51$) und elektrischen Bürsten ($n = 52$) getrennt. Die Mediane zeigten für alle Vergleiche zwischen Videoanalyse und Motion Tracking nur geringe Unterschiede, auch wenn für elektrische Bürsten Signifikanz erreicht wurde.

3 Ergebnisse

Tabelle 7: Putzdauer gesamt und nach Bürstenart (s; Median (Min; Max)).

	Videobeobachtung	Motion Tracking	p - Wert
Gesamt	126,2 (54,4; 396,7)	128,5 (53,5; 396,3)	p = 0,104
Manuell	125,3 (54,4; 255,2)	123,9 (53,5; 268,2)	p = 0,966
Elektrisch	129,0 (54,6; 396,7)	131,1 (54,8; 396,3)	p = 0,037

Die Putzdauer (s) für die Areale ist in Abbildung 27 a, b dargestellt. Die Putzdauern der verschiedenen Regionen variierten deutlich. Generell wurden die Oralflächen numerisch kürzer gebürstet als die Vestibulärflächen, welche in den Frontzahnsextanten am längsten überhaupt erreicht wurden. Dieses Bild wurde von Motion Tracking ebenso abgebildet wie durch Videobeobachtung, es zeigten sich nur geringe nicht signifikante Unterschiede mit Ausnahme der folgenden vier Areale: 01:02 (10,8 (0,0; 45,4) gegenüber 11,3 (3,2; 46,9), $p < 0,001$), 02:02 (14,3 (3,4; 69,9) gegenüber 18,1 (1,9; 75,3); $p < 0,001$), 06:02 (12,2 (2,4; 34,2) gegenüber 8,1 (0,0; 30,4); $p < 0,001$) und 06:03 (5,5 (0,0; 22,3) gegenüber 4,6 (0,0; 22,0); $p < 0,001$).

3 Ergebnisse

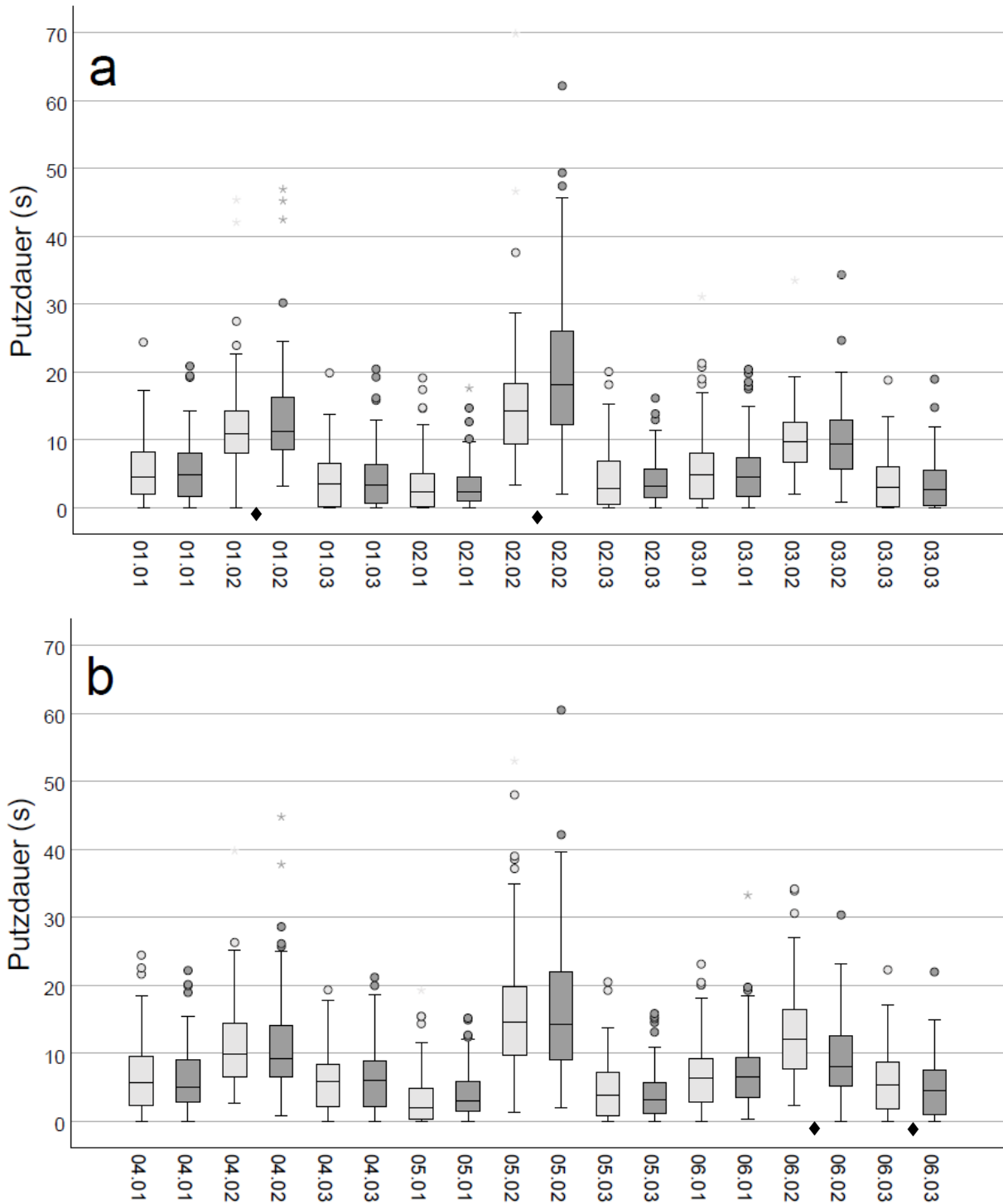


Abbildung 27: Boxplot für die Putzdauer (s) in den Arealen. Das erste Ziffernpar bezeichnet den Sextanten (01-06), das zweite Ziffernpar die Fläche (01 = okklusall/inzisal, 02 = vestibulär, 03 = oral). Hellgrau: Videobeobachtung, Dunkelgrau: Motion Tracking; a: Oberkiefer, b: Unterkiefer. Kreise: Werte, die mehr als den 1,5-fachen Interquartilsabstand vom dritten bzw. ersten Quartil entfernt sind, Sterne: Werte, die mehr als den 2,5-fachen Interquartilsabstand vom dritten bzw. ersten Quartil entfernt sind. Rauten unterhalb der Nulllinie bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen Videobeobachtung und Motion Tracking.

3 Ergebnisse

3.3 Betrachtung der Bürstsystematik (TSI)

Tabelle 8 zeigt den TSI-Index sowie seine einzelnen Bestandteile Isochronizität, Konsistenz und die Anzahl der Ereignisse. Generell lagen die Indexwerte, die nach Videobeobachtung erreicht wurden, höher als die durch Motion Tracking gemessenen (für alle Vergleiche $p < 0,001$), die Anzahl der Ereignisse war dagegen durchgehend höher (für alle Vergleiche $p < 0,001$).

Tabelle 8: TSI und seine Einzelkomponenten Isochronizität und Konsistenz sowie Ereignisse gesamt (G) sowie aufgeteilt nach manuellen (M) und elektrischen (E) Bürsten nach Videobeobachtung (VB) und Motion Tracking (MT); alle als Median (Min; Max).

		TSI	Isochronizität	Konsistenz	Ereignisse
G	VB	1,31 (0,59; 1,71)	0,74 (0,45; 0,93)	0,74 (0,01; 0,93)	31 (10; 113)
	MT	1,09 (0,45; 1,67)	0,71 (0,36; 0,88)	0,43 (0,00; 0,83)	54 (19; 287)
M	VB	1,26 (0,70; 1,70)	0,74 (0,48; 0,91)	0,58 (0,20; 0,86)	28 (11; 89)
	MT	0,80 (0,45; 1,52)	0,71 (0,36; 0,88)	0,21 (0,00; 0,71)	71 (24; 287)
E	VB	1,34 (0,59; 1,71)	0,75 (0,45; 0,93)	0,60 (0,01; 0,93)	35 (10; 113)
	MT	1,24 (0,64; 1,67)	0,71 (0,39; 0,85)	0,57 (0,00; 0,83)	42 (19; 128)

Die Bland-Altman Analyse (Abbildung 28) zeigte einen signifikanten systematischen Bias, dabei war der Indexwert aus dem Motion Tracking niedriger als nach der Videobeobachtung. Für die manuelle Bürste betrug die entsprechende mittlere Differenz ($VB - MT \pm SD$) $0,36 \pm 0,23$ ($p < 0,001$) und für die elektrische Bürste $0,10 \pm 0,1$ ($p < 0,001$). Ein proportionaler Bias lag nicht vor.

3 Ergebnisse

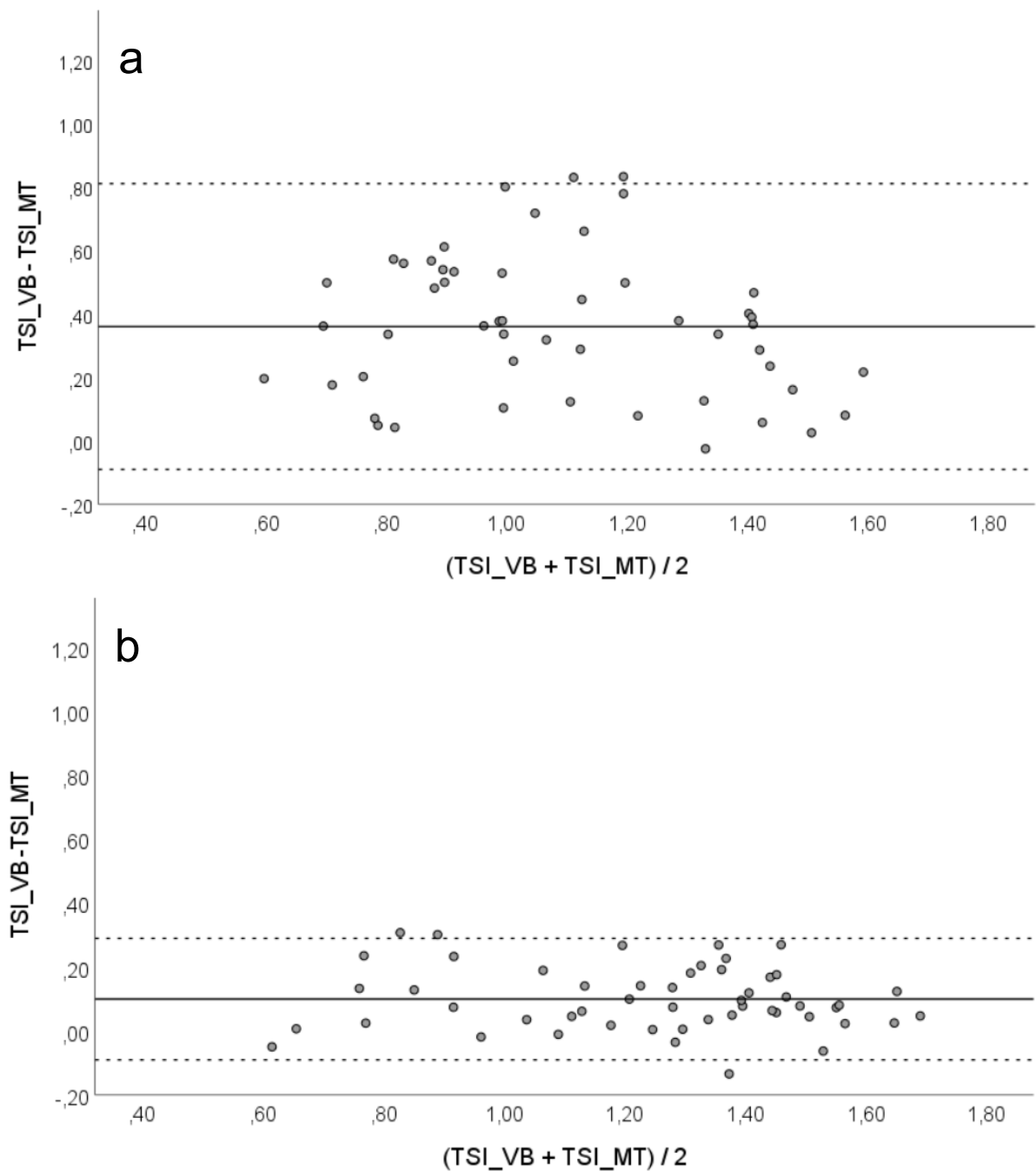


Abbildung 28: Bland Altman Plots für den TSI für Bürsten mit manueller (a) und elektrischer (b) Zahnbürste. Die durchgezogenen Linien kennzeichnen den arithmetischen Mittelwert, die gestrichelten 1,96 x SD.

3.4 Darstellung der Effekte der Instruktion

Sechszundvierzig Probanden nahmen zusätzlich zum ersten Teil der Studie auch am zweiten Teil der Studie teil und putzten nach einer Videoinstruktion erneut die Zähne.

3 Ergebnisse

Vor Instruktion wurden die Vestibulärflächen am längsten erreicht, dies zeigte sich sowohl in der Videobeobachtung als auch bei Motion Tracking. Nach der Instruktion verringerte sich die Putzdauer vestibulär deutlich (VB und MT: p jeweils $< 0,001$) während sich die Putzdauer oral verlängerte (VB und MT: p jeweils $< 0,05$), im Bereich der Okklusal/Inzisalflächen blieb die Putzdauer ähnlich (VB: $p = 0,803$, MT: $p = 0,894$). Damit wurde die Putzdauer in Bezug auf die Zahnflächen deutlich gleichmäßiger (Abbildung 29).

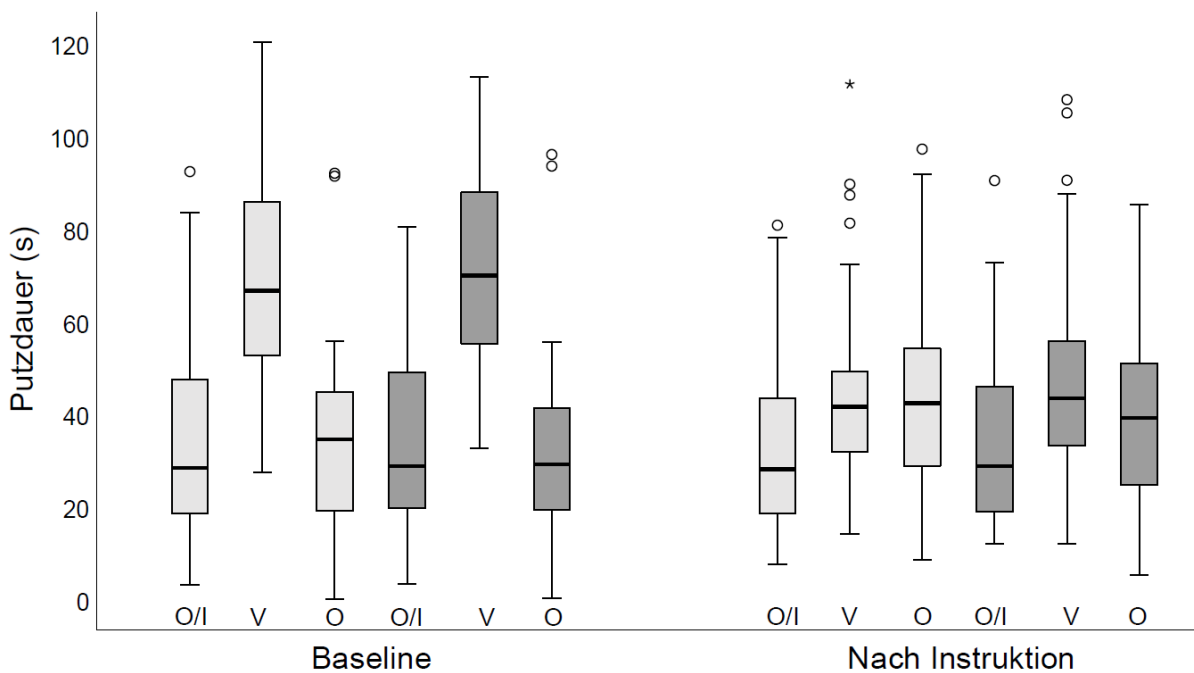


Abbildung 29: Boxplots für die Putzdauer im Bereich der verschiedenen Zahnflächen (O/I: okklusal/inzisal, V: vestibulär, O: oral) vor (Baseline) und nach Instruktion. Kreise: Werte, die mehr als den 1,5-fachen Interquartilsabstand vom dritten bzw. ersten Quartil entfernt sind, Sterne: Werte, die mehr als den 2,5-fachen Interquartilsabstand vom dritten bzw. ersten Quartil entfernt sind. Hellgrau: Videobeobachtung, Dunkelgrau: Motion Tracking.

Tabelle 9 zeigt, dass sich die Putzdauern nach Instruktion auch für die Betrachtung der Areale numerisch gleichmäßiger darstellten als vor der Instruktion. Diese Veränderungen bilden sich für das Motion Tracking in ähnlicher Weise ab, wie nach der Videobeobachtung.

3 Ergebnisse

Tabelle 9: Putzdauern (s; Median (Min; Max)) vor (Baseline) und nach Instruktion (n = 46). Das erste Ziffern paar bezeichnet den Sextanten (01-06), das zweite Ziffern paar die Fläche (01 = okklusal/inzisal, 02 = vestibulär, 03 = oral).

	Videobeobachtung			Motion Tracking		
	01.01	01.02	01.03	01.01	01.02	01.03
Baseline	4,6 (0,0;15,8)	10,5 (3,2;42,1)	3,8 (0,0;19,9)	4,5 (0,0;20,9)	11,5 (3,2;46,9)	3,4 (0,0;(20,4)
Instruktion	6,4 (0,8;16,1)	5,8 (0,0;23,8)	6,2 (0,0;17,0)	5,5 (1,0;18,8)	6,4 (0,0;24,8)	6,0 (0,0;16,9)
	02.01	02.02	02.03	02.01	02.02	02.03
Baseline	2,4 (0,0;17,4)	12,4 (3,4;26,3)	4,0 (0,0;20,1)	2,4 (0,0;17,6)	15,9 (4,8;49,4)	3,5 (0,0;16,2)
Instruktion	2,3 (0,0;20,7)	7,9 (1,4;26,1)	6,4 (0,0;16,8)	3,6 (0,2;26,5)	8,8 (1,8;42,8)	5,1 (0,0;16,0)
	03.01	03.02	03.03	03.01	03.02	03.03
Baseline	4,3 (0,0;31,1)	10,1 (2,1;19,3)	3,2 (0,0;18,8)	4,6 (0,0;20,4)	8,4 (1,6;34,3)	2,3 (0,0;19,0)
Instruktion	5,7 (1,0;16,4)	6,3 (1,2;18,3)	5,5 (0,0;17,0)	5,7 (0,3;17,2)	5,3 (1,5;21,3)	5,1 (0,0;16,5)
	04.01	04.02	04.03	04.01	04.02	04.03
Baseline	7,5 (0,0;24,5)	9,5 (2,7;25,2)	6,5 (0,0;17,0)	5,9 (0,2;20,0)	8,0 (0,8;28,6)	7,3 (0,0;21,2)
Instruktion	5,8 (1,5;16,8)	6,4 (1,2;19,7)	9,2 (0,0;18,3)	4,9 (1,4;16,1)	6,5 (0,2;18,2)	9,7 (0,0;18,5)
	05.01	05.02	05.03	05.01	05.02	05.03
Baseline	2,3 (2,3;14,4)	13,3 (3,9;26,3)	4,4 (0,0;19,3)	3,0 (0,0;15,2)	12,8 (2,7;33,1)	3,8 (0,0;15,9)
Instruktion	2,0 (0,0;12,5)	7,1 (0,0;21,3)	4,2 (0,0;22,0)	2,9 (0,4;11,6)	7,9 (0,1;25,5)	3,9 (0,0;13,6)
	06.01	06.02	06.03	06.01	06.02	06.03
Baseline	7,3 (0,0;20,1)	10,6 (2,4;22,0)	6,9 (0,0;22,3)	6,7 (0,4;33,3)	7,8 (0,0;19,8)	6,2 (0,0;22,0)
Instruktion	4,2 (0,3;16,3)	6,2 (2,0;19,49)	8,1 (0,1;27,2)	4,9 (0,3;16,5)	5,4 (0,2;11,4)	7,4 (0,2;26,6)

3.5 Effekte der Instruktion auf den TSI

Der TSI erhöhte sich nach Instruktion signifikant (VB und MT: p jeweils < 0,001), ebenso wie seine beiden Einzelkomponenten Isochronizität und Konsistenz (VB und MT: jeweils p < 0,001; Abbildung 30). Das Motion Tracking ergab zwar eine deutlich höhere Anzahl

3 Ergebnisse

von Ereignissen als die Videobeobachtung (Baseline: VB 27 (10; 94), MT 48,5 (19; 246); nach Instruktion: VB 13 (8; 73), MT 20,5 (11; 103)), die prozentuale Reduktion der Ereignisse durch die Instruktion war jedoch für beide Beobachtungssysteme ähnlich (VB: 48,1%. MT: 42,3%).

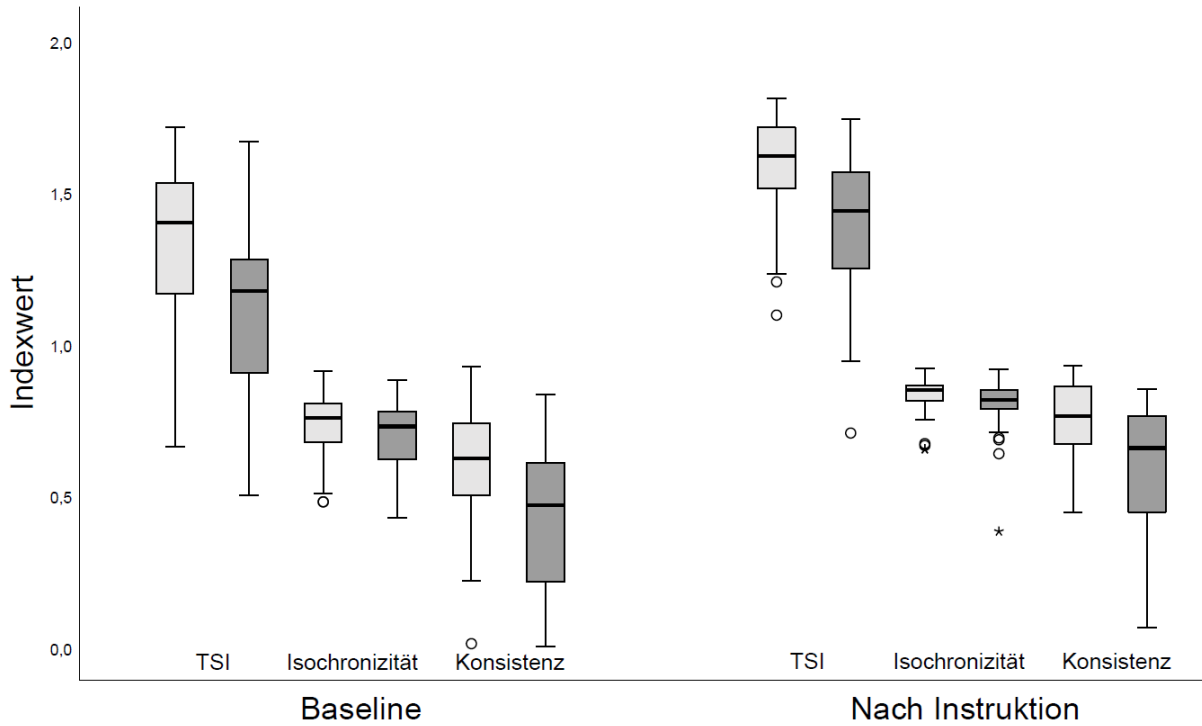


Abbildung 30: Boxplots für den TSI und seine Einzelkomponenten; hellgrau: Videobeobachtung, dunkelgrau: Motion Tracking.

4 Diskussion

Beobachtungsstudien bilden seit langem die Grundlage der Untersuchung von Zahnputzverhalten (Honkala et al., 1986, Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Rugg-Gunn et al., 1979, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Ganss et al., 2018, Winterfeld, 2015, Ganss et al., 2009, Harnacke et al., 2015). Die Technik des Filmens der Probanden durch einen Spiegel wurde bereits häufig erfolgreich angewandt und hat einen vernachlässigbaren geringen Einfluss auf das Verhalten des Probanden (Macgregor und Rugg-Gunn, 1986, Rugg-Gunn und Macgregor, 1978). Es gibt viele Studien, die das Putzverhalten mit manuellen Zahnbürsten untersucht haben (Honkala et al., 1986, Macgregor und Rugg-Gunn, 1986, Macgregor et al., 1986, Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984, Schlueter et al., 2010, Schlueter et al., 2013, Ganss et al., 2009, Winterfeld et al., 2015). Laut Muller-Bolla et al. könne die manuelle Zahnbürste langfristig vermutlich als die kostengünstigste Methode der Mundhygiene angesehen werden (Muller-Bolla, 2011). Auch Loe beschreibt sie als einfaches, benutzerfreundliches, weit verbreitetes und erschwingliches Mittel (Loe, 2000). Dennoch nutzt heutzutage eine nicht unerhebliche Anzahl an Personen eine elektrische Zahnbürste. Beispielsweise sind es unter den 12-Jährigen Kindern in Deutschland annähernd die Hälfte (45,6%) (Jordan et al., 2016). Da es bisher nur eine Studie gibt, die das Putzverhalten mit elektrischer Zahnbürste untersucht hat (Ganss et al., 2018), waren weitere Untersuchungen erforderlich.

In Zeiten der Digitalisierung können alte analoge Methoden durch neue Computer-unterstützte Methoden ersetzt werden. Durch diese Umstellung auf neue Systeme entfallen häufig die beschwerlichen Nachteile der alten Methoden. Allerdings muss ein neues System seine Funktionstauglichkeit zunächst unter Realbedingungen beweisen, um das alte System ablösen zu können.

Die vorliegende Studie stellt eine Validierung des neu entwickelten Motion Tracking Systems dar. Sie untersucht die Funktionstauglichkeit der Analyse von Zahnputzverhalten durch das Motion Tracking System im Vergleich zur alten, bewährten Methode der Videobeobachtung. Dabei wurde sowohl das alltägliche Zahnputzverhalten von Probanden mit manueller, als auch von Probanden mit elektrischer Zahnbürste analysiert, um bei der Validierung ein weites Spektrum an möglichen Verhaltensweisen

abzudecken. Außerdem konnten dadurch weitere interessante Daten, vor allem im Bereich des Zahnputzverhaltens mit elektrischer Zahnbürste, erhoben werden.

Bei der Recherche der vorhandenen Literatur ist die geringe Anzahl an Studien, die den Erfolg von Zahnputzinstruktionen untersucht haben (Schlueter et al., 2010, Addy et al., 1999, Renton-Harper et al., 1999), auffällig. Da in diesem Bereich noch mehr Untersuchungen notwendig sind, wurde das Design der vorliegenden Studie derart gestaltet, dass einem Teil der Untersuchungsgruppe, nach dem ersten Zähneputzen, eine Zahnputzsystematik mittels Videoinstruktion vermittelt wurde. Durch das zweite Zähneputzen dieser Probanden konnte darüber hinaus überprüft werden, ob das Motion Tracking System auch auf Veränderungen im Verhalten eines Probanden reagiert. Wie oben beschrieben, sind die Auswirkungen des Filmens auf das Verhalten der Probanden nur gering (Macgregor und Rugg-Gunn, 1986).

Um die hier vorliegenden Ergebnisse einzuordnen, war zunächst die Erörterung der gegenwärtigen Studienlage notwendig. Dabei wurde sich mit Literatur zu Alternativen der Videobeobachtung, zum Putzverhalten und zu Instruktionmethoden befasst.

4.1 Erörterung der aktuellen Studienlage

4.1.1 Zahnputzanalyse mittels Motion Tracking System/Computer-unterstützten Systemen als Ersatz zur Videoanalyse

Da die Verwendung eines Motion Tracking Systems zur Zahnputzverhaltensanalyse noch sehr neu ist, gibt es zu der Thematik noch wenige Daten. Es gibt keine Publikation, die ein genau solches System darstellt oder untersuchte. Allerdings gibt es Studien, die Systeme zur Analyse des Zahnputzverhaltens vorstellen, die ebenfalls Computer-unterstützt sind.

Im Jahr 2014 wurde von Yuki Tosaka eine Studie veröffentlicht, in der ein System verwendet wurde, das Zahnputzbewegung und Putzdruck anhand eines dreidimensionalen Beschleunigungsnehmers und eines Dehnungsmessstreifens gemessen hat (Tosaka et al., 2014). Diese Messinstrumente wurden an einer manuellen Zahnbürste befestigt. Es wurde untersucht, ob durch die Analyse von Zahnputzzyklen die Charakteristiken des Zähneputzens aufgezeigt und Unterschiede in körperlicher Bewegung und Kraft je nach Putzort festgestellt werden können.

In die Studie wurden 20 gesunde weibliche Dentalhygienikerinnen eingeschlossen. Sie putzten die labiale Oberfläche des rechten, mittleren Schneidezahns (RMS) des

4 Diskussion

Oberkiefers und die linguale Oberfläche des linken, ersten Molars (LEM) des Unterkiefers jeweils zweimal für 10 Sekunden. Zur Auswertung wurden die zehn repräsentabelsten Zyklen der beiden Durchgänge einer jeden Probandin genutzt. Das zur Aufzeichnung erforderliche Koordinatensystem wurde durch die Befestigung des dreidimensionalen Beschleunigungsmessers an der Zahnbürste vorgegeben. Die X-Achse war entlang der Putzachse (z. B. rechts-links bei RMS) festgelegt, dazu lotrecht die Y-Achse entlang der Linie oben-unten und die Z-Achse, ebenfalls lotrecht, entlang der Linie vestibulär-oral. Ein Computerprogramm errechnete die Dauer eines Gesamtzyklus und die Dauer der ersten und zweiten Hälfte eines jeden Zyklus, sowie die Range der Entfernung von jeder Achse (X-, Y-, und Z-Achse), die 3-D Range und die Range der Putzkraft.

Bei allen untersuchten Variablen wurden signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der labialen Oberfläche des RMS und der lingualen Oberfläche des LEM festgestellt. Die durchschnittliche Dauer eines totalen Zyklus betrug bei RMS 220 ms (4,5 Hz) und 236 ms (4,2 Hz) bei LEM. Der durchschnittliche Unterschied der 3-D Range betrug 6,7 mm (RMS = 12,5 mm / LEM = 19,2 mm). Dabei war der deutlichste Unterschied auf der X-Achse ersichtlich 6,0 mm (RMS = 10,6 mm / LEM = 16,6 mm). Die Range der Putzkraft betrug bei LEM 0,95 N und bei RMS 0,62 N.

Insgesamt ließ sich sagen, dass an der lingualen Oberfläche des linken, ersten Molars des Unterkiefers ein Zyklus länger dauerte, die Range der Entfernung größer war und eine größere Range der Putzkraft verwendet wurde als an der labialen Oberfläche des rechten, mittleren Schneidezahns.

Die Autoren dieser Studie zählen als mögliche Ursachen für die Unterschiede in Druck und Kraft zwischen RMS und LEM die Abweichungen der Seiten (labial und lingual, sowie rechts und links), der Positionen (anterior und posterior) und der Zahngröße auf (Tosaka et al., 2014).

In einer Studie von Wiegand et al. (Wiegand et al., 2013) wurde gezeigt, dass die lingualen Bereiche mit mehr Kraft geputzt wurden. Die Autoren führen dies auf die schwierigere Erreichbarkeit der Bereiche zurück. Auch nach Ansicht der Autoren der oben beschriebenen Studie sei die Oberfläche des LEM generell die am schwersten zu erreichende Oberfläche aufgrund des Zungendrucks und des Würgereflexes. Außerdem könnten für die Unterschiede die anatomischen Begebenheiten des menschlichen Körpers (stärkere Flexion des Handgelenks) ursächlich sein.

4 Diskussion

Die Ergebnisse der durchschnittlichen Putzkraft betragen 0,90 N an der Putzposition des RMS und 1,04 N an der Putzposition des LEM. Im Vergleich mit anderen Studien seien diese Werte gering.

Einschränkungen der Studien waren zum einen die Positionierung des dreidimensionalen Beschleunigungsmessers. Dieser war am Ende des Handgriffs der Zahnbürste befestigt und maß somit nicht die exakte Beschleunigung des Zahnbürstenkopfes, sondern nur die Beschleunigung am Ende des Handgriffs. Dadurch wurde beispielsweise bei Winkelbewegungen der Zahnbürste nicht die exakte Bewegung des Zahnbürstenkopfes wiedergegeben. Außerdem wurde die Bewegung des Patientenkopfes nicht gemessen und somit auch nicht berücksichtigt.

Zum anderen wurden in die Studie nur Dentalhygienikerinnen eingeschlossen, um die experimentelle Streuung gering zu halten. Zusätzlich fanden zwei Durchgänge statt, aus denen die jeweils zehn repräsentabelsten Zyklen zur Auswertung genutzt wurden. Dies bedeutet, dass dieses System nur an einem ganz geringen Anteil der großen Bandbreite an verschiedenen Zahnbürstennutzern getestet und genutzt worden ist. Zudem ist von einem höheren Maß an Mundhygienebewusstsein bei Dentalhygienikerinnen auszugehen und damit spiegelt die gewählte Untersuchungsgruppe nicht die Breite der Bevölkerung wider.

Insgesamt wurde in dieser Studie zwar ein Computer-unterstütztes System zur Untersuchung von Zahnputzverhalten präsentiert, dies scheint jedoch nicht in der Lage zu sein, das gesamte Putzverhalten eines Probanden analysieren zu können. Im Rahmen eines vorgegebenen Putzbereichs scheint das System Putzverhaltensdaten liefern zu können. Diese sind allerdings aufgrund der fehlenden Analyse der Kopfbewegungen des Probanden während des Zähneputzens nur begrenzt verlässlich.

Eine weitere Studie, in der eine Computer-unterstützte Kontrolle des Zahnputzverhaltens untersucht wurde, veröffentlichten Graetz et al. 2013 (Graetz et al., 2013). Darin wurde ein neu entwickeltes smartes digitales Zahnputzkontroll- und Zahnputztrainingsystem verwendet (DTS = digital toothbrush monitoring and training system). Auch in dieser Studie wurde ein drei-Achsen-Beschleunigungsnehmer am Handstück der Zahnbürste befestigt. Außerdem wurde über einen Sensor, der in einem Brillengestell integriert war, die Neigung des Probandenkopfes gemessen.

An der Studie nahmen 21 Studierende der Zahnmedizin (Durchschnittsalter $22,7 \pm 2,87$ Jahre) teil. 11 Teilnehmer wurden der Untersuchungsgruppe zugewiesen (DTSG = digital toothbrush monitoring and training system group) und 10 Teilnehmer der Kontrollgruppe (COG = control group).

4 Diskussion

Die Studie umfasste vier Besuche der Probanden am Untersuchungszentrum. Beim ersten Besuch (T0) wurde der Parodontale Screening Index (PSI) erhoben und das Vorhandensein von Weichgewebsläsionen kontrolliert. Außerdem analysierte ein Untersucher ihr Zahnputzverhalten. Dabei wurde die Richtigkeit der Ausführung der modifizierten Bass Technik (MBT) durch eine Summation aus Punkten für den Zahnbürstenwinkel, für die Art der Putzbewegung und für die Putzzeit bewertet. Um einen vergleichbaren Ausgangszustand zu erhalten, erhielten die Probanden zu diesem Zeitpunkt eine professionelle Zahnreinigung.

Es folgten 36 Stunden ohne jegliche Mundhygiene. Beim zweiten Besuch (T1, 36 h nach T0) wurden die Probanden verbal in der modifizierten Basstechnik und einer bestimmten Putzfolge instruiert. Eine Beschreibung am Modell unterstützte die Instruktion. Die Putzfolge ähnelte der in der vorliegenden Studie verwendeten Putzfolge (siehe Kapitel 2.5.3.4.1). Es wurde der PSI, der Plaque Index (PI), der Gingiva Index (GI) und das Vorhandensein von Weichgewebsläsionen kontrolliert. Ein Untersucher bewertete die Verwendung der MBT anhand des genannten Punktesystems. Zusätzlich wurde die Untersuchungsgruppe angeleitet, während der 6 Wochen Observationszeit (T1 bis T2), das digitale Gerät (DTS) täglich zur Verbesserung ihrer Zahnputzperformance zu nutzen. Dabei wurde die Software auf dem patienteneigenen Laptop installiert. Die Kontrollgruppe erhielt keine weitere Instruktion.

Zum Zeitpunkt T2 erhob ein Untersucher erneut Plaque- und Parodontalindizes (PSI, PI, GI), untersuchte die Existenz von Weichgewebsläsionen und analysierte das Zahnputzverhalten. Die durch das DTS eines jeden Probanden der Gruppe DTSG erhobenen Daten wurde überspielt. Es folgten acht Wochen in denen alle Probanden nur mit ihren eigenen Mundhygienemitteln putzten. Nach dieser Zeit (T3) wurden die Untersuchungen, analog zu T2, erneut durchgeführt.

Die Auswertung der Ergebnisse der parodontalen Parameter PSI und GI ergab keinen Unterschied zwischen den beiden Gruppen. In Bezug auf die Verwendung der MBT ließ sich feststellen, dass zu Beginn der Studie 50% der Probanden der Kontrollgruppe und 27% der Untersuchungsgruppe die MBT vollständig ausführten. Von T1 zu T2 verbesserten in der Kontrollgruppe 20% und in der Untersuchungsgruppe 73% der Probanden ihre Putztechnik. Zum Zeitpunkt T3 waren es schließlich 40% der Kontrollgruppe und 80% der Untersuchungsgruppe, die die MBT vollständig anwandten. Die Putzzeit verlängerte sich in der Untersuchungsgruppe von T1 ($180,5 \pm 1,8$ s) zu T2 ($213,8 \pm 57,1$ s), während sie in der Kontrollgruppe ungefähr gleich blieb (T1: $180,8 \pm 0,6$ s / T2: $162,1 \pm 43,3$ s). Dennoch betrug sie auch bei der Untersuchungsgruppe zum Zeitpunkt T3 wieder nur $163,7 \pm 21,9$ s.

4 Diskussion

Bei Betrachtung der Anzahl der Probanden mit der Existenz von Weichgewebläsionen fiel auf, dass zum Zeitpunkt T2 signifikant mehr Probanden in der Untersuchungsgruppe (n=8) betroffen waren als in der Kontrollgruppe (n=2). In Bezug auf den Plaque Index (PI) ließ sich bei der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untersuchungen feststellen. Bei der Untersuchungsgruppe hingegen waren die Werte von T2 zu T1 signifikant geringer, sowohl oral, als auch bukkal.

Die Studie sagt aus, dass die meisten Probanden durch die Nutzung des DTS die MBT und die Putzreihenfolge für eine anhaltende Zeit übernehmen. Anhand der verbesserten Ergebnisse der MBT in der Untersuchungsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe von T1 zu T2 kann man schlussfolgern, dass das System einen Beitrag zu dieser Besserung geleistet hat. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass es das Zahnputzverhalten zu einem gewissen Grad erkannt hat. Ob es das genaue Zahnputzverhalten (inklusive der Zeiten der geputzten Areale) darstellen kann, lässt sich anhand dieser Studie nicht sagen.

Vorteil des Systems ist, dass es sich relativ einfach in die alltägliche häusliche Mundhygieneroutine integrieren lässt. Jedoch muss man auch die deutliche Limitation der Studie anmerken. Die Probandenanzahl war sehr gering und bestand nur aus Mundhygiene-motivierten zahnmedizinischen Studierenden. Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten, wäre eine Studie mit größerer Probandenanzahl notwendig. Außerdem fehlt eine Validierung des Systems, inwiefern es das Putzverhalten wirklich erkennt.

Im Jahr 2015 wurde eine Untersuchung von Inada et al. veröffentlicht (Inada et al., 2015), in der das optische dreidimensionale Bewegungsanalysesystem „The Vicon system“ (Inter-Reha Co. Ltd., Tokyo, Japan), welches ebenfalls ein Motion Capture System ist, zur Anwendung kam. Es besteht aus sechs CCD-Kameras (charge-coupled device) und 16 lichtreflektierenden Markern. Die Kameras wurden, ähnlich wie beim Motion Tracking System dieser Studie, um den Probanden herum aufgebaut. Die Marker wurden an verschiedenen Stellen des Körpers der Probanden und der Zahnbürste befestigt.

Ziel war es, die sich wiederholende Bewegung der Zahnbürste als Frequenz und die verschiedenen Winkel von Schulter, Ellbogen und Handgelenk zum Boden während des Zähneputzens zu erfassen, deren Veränderung zu berechnen und statistisch zu analysieren. Neun Dentalhygienikerinnen wurden gebeten die bukkalen und palatinalen Oberflächen der oberen Molaren habituell für 15 s zu putzen, jeweils dreimal in jedem Areal (n = 4: palatinal und bukkal rechte Oberkiefer-Molarenregion, sowie palatinal und bukkal linke Oberkiefer-Molarenregion).

4 Diskussion

Als Ergebnis zeigte sich eine höhere Zahnputzbewegungsfrequenz auf der linken Seite, als auf der rechten Seite, sowohl palatinal (4,36 Hz vs. 4,20 Hz) als auch bukkal (4,56 Hz vs. 3,91 Hz). Dies könnte mit der Eigenschaft, dass alle Probanden Rechtshänder waren, zusammenhängen.

Alle Bewegungen von Schulter, Arm und Handgelenk während des Putzens liefen synchron ab und das Putzen wurde durch koordinierte Bewegungen der Gelenke gesteuert. Die Putzfrequenz eines Probanden wurde durch die stabilisierenden Bewegungen des Ellbogen generiert (Inada et al., 2015).

Der Aufbau und die Analyse der Bewegungen schienen mit dem System gut zu funktionieren. Jedoch untersuchte es nur die Frequenz von (Putz-)Bewegungen und nicht das genaue Putzverhalten. Auch wurde das zu putzende Areal den Probanden genau vorgegeben und nicht von dem System selber kodiert. Dies ist im Vergleich zum System der vorliegenden Studie eine deutliche Limitation. Die Autoren schrieben, dass der gleichzeitige Vergleich verschiedener Putzbewegungen in jedem Areal extrem komplex sei, aufgrund der großen Vielfalt an Bewegungen. Daher seien nur die oberen Molaren untersucht worden.

Beim Vergleich dieses Systems und des Motion Tracking Systems lassen sich große Ähnlichkeiten finden, jedoch scheint das Motion Tracking System umfangreichere und genauere Putzanalysen zu ermöglichen.

Eine Studie, die der hier vorgestellten Untersuchung anhand des Studienziels und der Ergebnisse besonders nahe kommt, ist die Studie von Huang und Lin aus dem Jahr 2016 (Huang und Lin, 2016). Es wurde das Zahnputzverhalten mittels manueller Zahnbürste untersucht und die Anwendung der modifizierten Bass Zahnputztechnik kontrolliert. Jedoch waren die Herangehensweise und das Setup anders. Dieses System nutzte eine Smartwatch, einen Tablet Computer und einen Cloudspeicher zur Analyse des Zahnputzverhaltens. Am Griff der Zahnbürste waren mehrere Magnete befestigt. Die Smartwatch war ausgestattet mit einem Beschleunigungsnehmer, einem Gyroskop, einem Schwerkraftmesser, einem magnetischen Sensor und einem Mikrofon.

Verschiedene definierte Datensätze des Zähneputzens wurden verwendet, um das maschinelle Lernen des Systems zu trainieren und zu kalibrieren. Über die Magnete an der Zahnbürste und die Bewegung des Arms nahm die Smartwatch die Zahnbürstenbewegungen wahr. Diese wurden an den Tablet Computer übermittelt, der als Schnittstelle diente und die erhaltenen Datensätze in der Cloud speicherte, sowie dem Probanden eine Rückmeldung über sein Putzverhalten mitteilte.

4 Diskussion

Zwölf Teilnehmer nahmen an der Studie teil. Diese wurden zunächst in der Anwendung der modifizierten Bass Technik unterrichtet. Jeder Proband sollte für 14 Tage zweimal täglich für etwa zwei Minuten zu Hause in Verbindung mit dem System die Zähne putzen. Zu Beginn jeder Putzsession mussten die Teilnehmer dem System 16 verschiedene Zahnareale aufzeigen. In der zweiten Phase putzten alle Teilnehmer für weitere sieben Tage zweimal täglich die Zähne, allerdings ohne die vorherige Kennzeichnung der Areale.

Laut den Autoren betrug die Erkennungspräzision des Systems 85,6%. Vor allem weit und deutlich auseinanderliegende Areale, wie Areale im Ober- und Unterkiefer, konnten von dem System genau voneinander unterschieden werden. Fehler machte das System vor allem im Areal des vestibulären Unterkiefer-Frontzahnbereichs, welches in 18% der Fälle als vestibuläres Areal des Frontzahnoberkiefers erkannt wurde. Des Weiteren wurden fälschlicherweise 17% des linken Unterkiefermolarenbereichs als linguales Areal des Unterkieferfrontzahnbereichs erfasst und 8,1% des rechten Oberkiefermolarenbereichs als lingualer Oberkieferfrontzahnbereich identifiziert.

Ein weiterer Teil der Untersuchung bestand aus zwei Abschnitten. Im ersten Teil putzten neun Freiwillige jedes Areal mit 30 Putzbewegungen. Im zweiten Experiment putzten drei Teilnehmer jedes Areal jeweils mit einer anderen Anzahl an Putzbewegungen (n = 10, 20 und 30). Laut den Autoren zeigte diese Untersuchung eine Fehlerrate von nur 10,3% in der Erkennung der Anzahl der Zahnputzbewegungen. Außerdem zeigten die Ergebnisse des zweiten Teils, dass „insuffizientes Zähneputzen verlässlich von dem System erkannt werden kann“ (Huang und Lin, 2016).

Das System scheint einen sehr ähnlichen Ansatz zu verfolgen wie das Motion Tracking System, auch erreicht es eine hohe Präzision. Jedoch lässt sich der Studie nicht genau entnehmen wie die Kontrolle auf Richtigkeit der Messung stattgefunden hat. Außerdem war die Probandenzahl von nur zwölf Teilnehmern sehr gering. Daher ist für dieses System eine nachvollziehbare Validierung mit einer wesentlich höheren Probandenzahl erforderlich.

Die hier dargestellten bereits existierenden Computer-unterstützten Systeme zur Analyse von Zahnputzverhalten bieten verschiedene analytische Eigenschaften, die die Videobeobachtung nicht oder nur teilweise ermöglicht. Das von Tosaka vorgestellte System misst die Bewegungsrange der Zahnbürste und den Putzdruck an einem vorgegebenen Putzort (Tosaka et al., 2014). Das DTS System verbessert die Nutzung der modifizierten Bass Putztechnik bei Probanden (Graetz et al., 2013). Mit dem System,

4 Diskussion

welches in dem Artikel von Inada vorgestellt wird, lassen sich Bewegungsfrequenzen beim Zähneputzen messen (Inada et al., 2015).

Diese genannten Eigenschaften sind zwar hilfreich um weitere Informationen über das Zahnputzverhalten zu erhalten, das Hauptaugenmerk sollte bei der Videobeobachtung aber auf den erreichten Putzarealen und der dort verwendeten Putzzeit liegen. Die drei genannten Systeme können diese Informationen nicht analysieren. Nur in der zuletzt aufgezeigten Studie von Huang und Lin, wird ein System präsentiert, das das Putzverhalten analysiert (Huang und Lin, 2016). Allerdings wurde nicht über eine Validierung des Systems berichtet, so dass die Ergebnisse infrage gestellt werden müssen.

Abschließend lässt sich feststellen, dass eine Analyse des Zahnputzverhaltens mit allen bisher vorgestellten Computer-unterstützten Systemen nicht in der detaillierten Form möglich ist, wie sie die Videobeobachtung ermöglicht.

4.1.2 Literatur zum Putzverhalten

Das Ziel dieser Studie war die Validierung des Motion Tracking Systems. Das Motion Tracking System soll in Zukunft die Analyse von Zahnputzverhalten anhand der genannten Parameter übernehmen. Um die Resultate aus der Analyse des Motion Tracking Systems vergleichen zu können, wird nun auf die vorhandenen Ergebnisse aus vorangegangenen Studien zum Thema Zahnputzverhalten eingegangen.

Die ersten ausführlichen Untersuchungen zum Zahnputzverhalten von Probanden wurde von Andrew J. Rugg-Gunn und I. D. M. Macgregor an der Universität von Newcastle in den 1970er Jahren durchgeführt (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Rugg-Gunn et al., 1979). Dabei wurde der Grundstein der heutzutage verwendeten Videoanalyse gelegt. Der Untersuchungsaufbau war meist sehr ähnlich: die Probanden putzten sich vor einem halbdurchlässigen Spiegel die Zähne und wussten, dass sie beobachtet, jedoch nicht, dass sie gefilmt wurden. Auch die zu untersuchenden Parameter waren größtenteils dieselben: die Gesamtputzzeit, die geputzten Areale, die Zeit, die für die einzelnen Areale verwendet wurde und die Putztechnik der einzelnen Areale. Es gab acht Areale im Oberkiefer und acht im Unterkiefer (jeweils okklusale, orale und vestibuläre auf der rechten und linken Seite im posterioren Bereich und jeweils vestibuläre und orale im anterioren Bereich). Die Ergebnisse von Linkshändern wurden umgekehrt.

Die erste Studie von 1978 schloss 84 Probanden im Alter von fünf, elf und 18 bis 22 Jahren ein (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978). Die durchschnittliche Putzzeit

4 Diskussion

einschließlich Spülen und Ausspucken betrug bei den Kindern (5-11 Jahre) $60,3 \pm 23,8$ s und bei den Erwachsenen $39,1 \pm 16,6$ s. Dabei haben drei Viertel aller Probanden über 80% der Zeit mit wirklichem Putzen (ohne Spülen und Ausspucken) verbracht.

Während die jüngeren Kinder (5-Jährige) im Durchschnitt nur ein Viertel aller Flächen putzten, stieg der Anteil bei den 11-Jährigen auf etwa die Hälfte und bei den Erwachsenen auf zwei Drittel. Prozentual gab es in allen Altersklassen keinen Unterschied im Seitenverhältnis (links zu rechts). Insgesamt wurden die Zähne des Unterkiefers zeitlich länger als die des Oberkiefers geputzt. Die 5-Jährigen nutzten 75% der Zeit zur Säuberung der beiden anterioren vestibulären Flächen. Dies relativierte sich bei den 11-Jährigen zu 37% und zu 20% bei den Erwachsenen. Dagegen nahm der prozentuale Anteil der Putzzeit der okklusalen Flächen mit dem Alter zu. Die geringste Zeit wurde zum Putzen der lingualen Flächen genutzt (2% bei den 11-Jährigen, 5% bei den 5-Jährigen und 10% bei den Erwachsenen). Dabei wurden die anterioren lingualen Flächen eher geputzt als die posterioren.

In Bezug auf die Putztechnik wurde festgestellt, dass die unter 18-Jährigen hauptsächlich die horizontale Putztechnik und die Erwachsenen die vertikale Putztechnik verwendeten. Die rollende Putztechnik nutzte nur ein Proband der jüngsten Altersgruppe, niemand der 11-Jährigen und zwölf Probanden der Erwachsenenengruppe. Insgesamt verwendeten 84% der Probanden mehr als eine Putztechnik und bei 22% der Areale wurde ebenfalls mehr als eine Putztechnik angewandt.

Laut den Autoren dieser Studie führe die Methode des Filmens des Zähneputzens zu reproduzierbaren Daten und sei damit ein geeignetes Hilfsmittel zur Untersuchung von Zahnputzverhalten (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978). Die einzige kritische Anmerkung ihrerseits war, dass die Hand der Probanden gelegentlich die ipsi-laterale Seite verdecke und es damit auf dieser Seite zu einer leicht reduzierten Bewertung gekommen sein könne (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978).

1979 wurde eine Studie von der Autorengruppe veröffentlicht, welche die Putzzeit und die Anzahl von Zahnputzbewegungen von 85 Schulkindern untersuchte (Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a). Die Kinder waren zwischen 11 und 13 Jahren alt und der Studienablauf war wie in der oben genannten Studie. Zusätzlich ist festzustellen, dass ein „Hin-und-Her“-Schrubben als zwei Schrubbbewegungen gerechnet wurde.

Die durchschnittliche Putzzeit inklusive Spülen und Ausspucken betrug $60,3 \pm 23,8$ s. Die reine durchschnittliche Putzzeit betrug $52,1 \pm 22,0$ s. 62% putzten nicht länger als eine Minute und 10% putzten länger als anderthalb Minuten. Nur 4% der Zeit wurden verwendet um die lingualen Zahnflächen zu reinigen. Die Unterkieferzähne wurden etwas länger (60% der Zeit) geputzt als die Oberkieferzähne (40% der Zeit). Die

4 Diskussion

durchschnittliche Anzahl an Schrubbbewegungen lag bei 397 ± 224 und bezogen auf ein Areal bei je 44,8.

In einer weiteren Studie von Rugg-Gunn und Macgregor von 1979 wurde das Zahnputzverhalten in Relation zu Plaque und Gingivitis Indices gestellt (Rugg-Gunn et al., 1979). Bei 57 13-Jährigen wurde zunächst der Gingiva-Index (Loe und Silness, 1963) gemessen, dann wurde das Zähneputzen gefilmt und schließlich wurde der Plaque Index (Silness und Loe, 1964) erhoben. Es wurde untersucht, welche Areale geputzt wurden, welche Zahnputztechnik angewandt wurde und wieviel Zahnputzbewegungen stattfanden.

Durchschnittlich 51 s (Spannweite 20-85 s) putzten die Schüler ihre Zähne. Im Unterschied zu den vorherigen Studien gab es nur zwölf Areale. Die okklusalen Zahnflächen der posterioren Bereiche wurden nicht in die Untersuchung inkludiert. Total ergab das 684 Areale bei 57 Probanden. Insgesamt wurden davon 43% nicht geputzt. Die restlichen Areale wurden zu 41% mit kurzen horizontalen Bürstenbewegungen geputzt, 13% mit langen horizontalen Bewegungen, 36% mit vertikalen Putzbewegungen, 6% mit der Rolltechnik und 4% mit der zirkulären Putzmethode.

Der Plaqueindex betrug im Durchschnitt 0,54 und der Gingiva-Index 0,67. Bezogen auf die Areale wurde an den unteren posterioren lingualen Flächen die höchsten Plaquewerte und an den oberen anterioren palatinalen, sowie den unteren anterioren bukkalen Flächen die geringsten Plaquemengen gemessen. Der Gingiva-Index zeigte ähnliche Minima und Maxima.

Insgesamt wurden die meisten Areale mit kurzen horizontalen Putzbewegungen gebürstet (n = 161). Daraufhin folgte die vertikale Putzmethode (n = 141). Die zirkuläre Putzmethode wurde nur in 14 Arealen angewandt.

Bei 63% der Areale, die mit kurzen horizontalen Bewegungen gebürstet wurden, wurde eine Anzahl von 1 bis 30 Bewegungen gezählt. Bei den langen horizontalen Putzbewegungen lag der größte Anteil ebenfalls in der Range von 1 bis 30 Bewegungen (39%), ein kleiner Anteil von 4% lag allerdings in der Range von 181 bis 210 Bewegungen. Bei der vertikalen (34%) und der rollenden Putzmethode (79%) wurden ebenfalls hauptsächlich 1 bis 30 Bewegungen ausgeführt. Nur bei der zirkulären Putzmethode liegt die Range mit der höchsten Beteiligung (50%) bei 31 bis 60 Bewegungen.

Die Autoren schließen aus der Studie, dass keine Putztechnik in allen Arealen einer anderen wirklich überlegen ist. Vielmehr sei vermutlich für jedes Areal eine andere Putztechnik von Vorteil. So sei die zirkuläre Methode an anterioren und linken bukkalen

4 Diskussion

Flächen, die lange horizontale Putzmethode an rechten bukkalen Flächen und die vertikale Putzmethode an lingualen Flächen von Vorteil. Außerdem stellten sie fest, dass viele Probanden, die die horizontale Putzmethode nutzten, zwar die inzisalen zwei Drittel der Zahnkrone putzten, jedoch nicht das wichtige gingivale Drittel (Rugg-Gunn et al., 1979).

1984 wurde eine Studie der Autorengruppe veröffentlicht, die Unterschiede im Putzverhalten zwischen Nicht-Rauchern und Rauchern untersuchte (Macgregor und Rugg-Gunn, 1984). Grundlage war dabei, dass laut verschiedenen Publikationen Raucher eine schlechtere Mundhygiene haben (Pindborg, 1949, Kristoffersen, 1970, Modeer et al., 1980)) und mehr entzündliche Parodontalerkrankungen (Sheiham, 1971, Modeer et al., 1980, Preber et al., 1980) aufweisen. Dabei wurden nach den bereits oben genannten Vorgehensweisen 50 männliche Probanden (18 bis 22 Jahre alt) mittels Videoanalyse untersucht, die zur Hälfte aus Rauchern und zur anderen Hälfte aus Nicht-Rauchern bestand.

Das Ergebnis zeigte, dass die Raucher durchschnittlich etwas weniger Zeit mit dem Zähneputzen verbrachten, als die Nicht-Raucher ($31,1 \pm 13,1$ s im Vergleich zu $34,4 \pm 12,1$ s). In Bezug auf die verschiedenen Areale gab es keine großen Unterschiede, außer, dass die Nicht-Raucher etwas mehr die lingualen Bereiche putzten. Von den Rauchern ließen acht Probanden die lingualen Bereiche komplett aus, im Gegensatz zu zwei Probanden bei den Nicht-Rauchern.

Im Jahr 1985 veröffentlichte die Autorengruppe eine Studie, die die Zahnputzzeit und die Anzahl der Putzbewegungen mittels Videoanalyse von 60 Erwachsenen untersuchte (Macgregor und Rugg-Gunn, 1985). Die Probanden waren zwischen 18 und 22 Jahren alt und teilten sich in 50 Männer und 10 Frauen auf. Dies war ein unausgeglichenes Verhältnis, welches jedoch keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen zeigte. Durchschnittlich putzten die Probanden 33 ± 12 s. Dies ist knapp die Hälfte der Zeit, die Robinson 1946 ermittelt hatte (Robinson, 1946).

97% der Probanden putzten unter einer Minute und niemand putzte länger als 70 s. Die Anzahl an Probanden, die kürzer als 60 s putzte, war in dieser Studie größer (Macgregor und Rugg-Gunn, 1985) als in der oben genannten Studie (Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a). Während der gesamten Putzzeit führten die Probanden 302 ± 122 Putzbewegungen aus. Dabei fand die Mehrzahl im Unterkiefer statt (54%). Insgesamt wurden nur 12% der Bewegungen auf den lingualen Zahnflächen ausgeführt. Beide

4 Diskussion

Ergebnisse stimmen mit den Resultaten aus der Studie von 1979 (Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a) überein.

Nachdem die Autorengruppe um Macgregor und Rugg-Gunn schon einige Studien im Bereich der Videoanalyse publiziert hatten, untersuchten sie 1986 den Effekt des Filmens auf Probanden (Macgregor und Rugg-Gunn, 1986). Es wurde die Frage geklärt, inwiefern das Wissen gefilmt zu werden, das Zahnputzverhalten von Probanden beeinflusst. Hierfür nutzten sie Ergebnisse aus zwei Studien.

Die Auswertungen von 30 Probanden aus einer Studie von 1978 (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978), die nicht wussten, dass sie gefilmt werden, wurden eingeschlossen. Dazu wurden die Ergebnisse von 60 Probanden, die wussten, dass sie gefilmt werden, in Vergleich gesetzt.

Es zeigte sich keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtlänge des Zähneputzens zwischen den beiden Gruppen. In Bezug auf die prozentualen Anteile der Bereiche, die geputzt wurden, ließen sich zwei geringfügige Unterschiede feststellen. Die informierte Gruppe putzte zu einem größeren Anteil, die okklusalen Flächen im Unterkiefer und die lingualen Flächen in beiden Kiefern, als die nicht informierte Gruppe.

Die Autoren schlossen daraus, dass das Filmen keinen deutlichen Effekt auf die Zahnputzperformance von Probanden zu haben scheint (Macgregor und Rugg-Gunn, 1986). In wenigen Bereichen schien das Filmen zwar einen kleinen Einfluss zu nehmen, jedoch wurde davon die totale Zahnputzzeit nicht beeinflusst.

In den letzten Jahren hat sich noch eine weitere Autorengruppe mit dem Zahnputzverhalten von Probanden beschäftigt und dies anhand von Observationsstudien ausgewertet (Schlueter et al., 2010, Schlueter et al., 2013, Ganss et al., 2009, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015). Die erste Studie wurde 2008 durchgeführt und untersuchte das Putzverhalten von 103 nicht-instruierten Probanden (Ganss et al., 2009). Diese erhielten zunächst einen Fragebogen zu ihrem Putzverhalten und putzten sich dann die Zähne, mit dem Wissen observiert zu werden. Ähnlich wie in den Studien von Macgregor und Rugg-Gunn (Macgregor und Rugg-Gunn, 1986, Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984) wurde auch in diesen Studien ein halbdurchlässiger Spiegel verwendet, hinter dem eine Videokamera das Putzverhalten der Probanden filmte. Die Kamera war für die Probanden nicht sichtbar. Die Probanden nutzten ihre eigene Zahnbürste, die mit zwei Dehnungsmessgeräten verbunden war.

4 Diskussion

Sie sollten zunächst habituell putzen und dann ein zweites Mal quadrantenweise. Die Putzzeit, Putztechnik (modifizierte Basstechnik, kreisend, horizontal/schrubbend, horizontal kreisen, vertikal/schrubbend) und der maximale und minimale Putzdruck wurden berechnet. Zehn Probanden wurden gebeten, nach dem ersten Putzdurchgang einen zweiten Durchgang ohne die Messgeräte durchzuführen, um die Reproduzierbarkeit zu überprüfen. Das Ergebnis zeigte keinen Unterschied. Zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit der gesamten Methode sollten weitere zehn Probanden nach zehn Tagen erneut putzen. Auch dabei fielen keine signifikanten Unterschiede auf. Die Ergebnisse zeigten, dass die durchschnittliche Putzzeit $96,6 \pm 6,2$ (max.: 215 s) betrug und die Probanden mit durchschnittlich $2,3 \pm 0,7$ N (max. 10,5 N) putzten. Die Mehrheit nutzte zirkuläre Putzbewegungen (73,8%), 13,6% putzten mit horizontal/zirkulären Bewegungen, 8,7% mit horizontal/schrubbenden Bewegungen und 3,9% mit vertikalen/ausstreichenden Bewegungen. Auffallend war, dass keiner der Probanden eine spezielle Technik, beispielweise die modifizierte Basstechnik, verwendete (Ganss et al., 2009).

Im Jahr 2014 wurde eine weitere Studie von dieser Autorengruppe veröffentlicht, die das Zahnputzverhalten und die Nutzung von Zahnseide bei jungen Erwachsenen untersuchte (Winterfeld et al., 2015). 101 Probanden nahmen an der Studie teil. Ziel der Studie war es die folgenden Parameter des habituellen Zähneputzens von Probanden zu bestimmen: Zahnputzzeit, Art der Putzbewegung, Zahnputzmuster, Nutzung von Zahnseide in Approximalbereichen und die Technik der Zahnseidenanwendung. In einem als Badezimmer gestalteten Untersuchungsraum befand sich hinter einem parabolischen Spiegel eine Videokamera, die die Probanden während des Zähneputzens und der Nutzung der Zahnseide filmte. Zahnbürste und Zahnseide standen bereit. Die Videoaufnahmen wurden mit der Observationssoftware INTERACT (Mangold International GmbH, 2015) ausgewertet. Diese Studie bildete den Grundstein für die auch in der vorliegenden Arbeit verwendete Methodik.

Die durchschnittliche Putzzeit betrug $162,5 \pm 73,9$ s und war damit deutlich länger als in den oben vorgestellten Studien der Autorengruppe Rugg-Gunn und Macgregor (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Rugg-Gunn et al., 1979, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984), sowie von Ganß (Ganss et al., 2009).

Es war bekannt, dass Probanden wesentlich mehr Zeit zum Putzen der vestibulären Flächen verwendeten, als zum Putzen der oralen Flächen (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a). Dies wurde in der Studie von Winterfeld

4 Diskussion

nochmal besonders deutlich: mehr als doppelt so lange putzten die Probanden die vestibulären Flächen (etwa 70 s) im Gegensatz zu den oralen (etwa 30 s). Sechszwanzig Probanden erreichten alle vestibulären und oralen Flächen (12 Areale). Im Gegensatz dazu gab es 39 Probanden, die nur weniger als 9 Areale erreichten.

In Bezug auf die Putztechnik zeigte sich, dass zirkuläre und horizontale Putzbewegungen vor allem auf den vestibulären Flächen angewandt wurden. Außerdem wurden die posterioren oralen Flächen hauptsächlich mit horizontalen Putzbewegungen gebürstet. Hingegen wurden die anterioren oralen Flächen vor allem mit vertikalen Bewegungen gesäubert. Dies entsprach größtenteils den Ergebnissen von Ganß (Ganss et al., 2009), aber nur teilweise den Ergebnissen der Studie von Rugg-Gunn (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978). Bei der Untersuchung der Erwachsenen in der Studie von Rugg-Gunn et al. wurde zwar im posterioren, oralen Bereich auch hauptsächlich mit kurzen, horizontalen Bewegungen geputzt, aber im vestibulären Bereich wurden vornehmlich vertikale Bewegungen genutzt (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978).

Zahnseide wurde von 47 Probanden verwendet, davon nutzten sie aber nur fünf der Probanden in jedem Approximalraum. Insgesamt gab es nur einen Probanden, der nach der Definition der Autoren die Zahnseidenteknik richtig anwandte und alle Approximalräume reinigte (Winterfeld et al., 2015).

Die bisher hier aufgeführten und die meisten in der Literatur beschriebenen Studien konzentrierten sich auf das Putzverhalten von Nutzern manueller Zahnbürsten. 2017 wurde von Ganß et al. eine Studie veröffentlicht, die das Putzverhalten von Nutzern elektrischer Zahnbürsten untersuchte. Verglichen wurde Putzverhalten bei Anwendung einer manuellen Zahnbürste in der gleichen Probandenkohorte (Ganss et al., 2018).

Die Probanden sollten sich mit einer manuellen und mit einer elektrischen Zahnbürste gewohnheitsgemäß die Zähne putzen. Die Ergebnisse zeigten, dass die elektrische Zahnbürste zeitlich etwas länger genutzt wurde als die manuelle. Wie schon in den bereits beschriebenen Studien (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Winterfeld et al., 2015), erreichten auch in dieser Studie nahezu alle Probanden jede vestibuläre Fläche, unabhängig von der Zahnbürstenart (manuell: 100%; elektrisch: 96,8%). Jedoch alle oralen Flächen erreichten nur 44,2% der Probanden mit der manuellen und 58,9% der Probanden mit der elektrischen Zahnbürste. Ebenso fanden sich in Bezug auf die Wechsel zwischen den Arealen und in Bezug auf die Putzbewegungen nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Zahnbürstentypen. Die für die elektrische Zahnbürste empfohlene passive

4 Diskussion

Putztechnik (Ganss et al., 2018) wurde immerhin von 28% mehr als die Hälfte der Zeit und von 21,1% mehr als zwei Drittel der Zeit angewandt. Da in dieser Hinsicht das Putzverhalten bei Nutzung der elektrischen Zahnbürste sehr ähnlich zu der mit der manuellen ist, vermuten die Autoren ein verankertes Bewegungsmuster (Ganss et al., 2018).

Bei Betrachtung jeder der hier aufgeführten Studien zeigt sich ein geringes durchschnittliches Alter der Probanden (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Rugg-Gunn et al., 1979, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984, Winterfeld et al., 2015). Inkludiert wurden Kinder, Jugendliche oder junge Erwachsene. Nur in einer Studie (Ganss et al., 2009) betrug das Durchschnittsalter immerhin 31,6 (± 6) Jahre. Es zeigt den Bedarf nach Studien mit einem höherem Durchschnittsalter, das dem Querschnitt der Bevölkerung (Deutschland = ca. 44 Jahre (Bevölkerungsforschung, 2020)) eher entspricht. Außerdem bedarf es weiteren Studien, die das Zahnputzverhalten mit elektrischen Zahnbürsten analysieren.

Die vorliegende Studie liefert hierzu Daten. Durch die Erleichterung der Analyse von Zahnputzbewegungen, kann das Motion Tracking System in Zukunft weitere Studien ermöglichen.

4.1.3 Literatur zu Mundhygieneinstruktionen

Die dentale Plaque ist ein Grund für das Entstehen von Gingivitis, Parodontitis und Karies. Aus diesem Grund spielt das regelmäßige Zähneputzen eine Hauptrolle in der Verhinderung dieser drei oralen Krankheiten (Axelsson und Lindhe, 1978). Es gibt eine Reihe von Studien, die die Effektivität von mechanischer Plaquekontrolle in der Prävention von Gingivitis und der Progression von Parodontitis demonstriert haben (Lindhe und Nyman, 1975, Lovdal et al., 1961, Ramfjord et al., 1973). Van der Weijden und Hioe bestätigten, dass durch die Plaqueentfernung bei der täglichen Mundhygiene Gingivitis und Parodontitis verhindert werden können (van der Weijden und Hioe, 2005, Petersen und Ogawa, 2005).

Es gibt einige Studien, die die Effektivität der Plaquereduktion durch das Zähneputzen mit manueller, sowie elektrischer Zahnbürste untersucht haben (Van der Weijden et al., 1993, Creeth et al., 2009, Honkala et al., 1986, Macgregor et al., 1986). Systematische Übersichtsarbeiten haben ergeben, dass bei manuellem Zähneputzen als gewichtetes arithmetisches Mittel ein Plaquewertindex um 42% reduziert wird (Slot et al., 2012). Im Unterschied dazu hat eine systematische Übersichtsarbeit von Rosema et al. ergeben,

4 Diskussion

dass bei elektrischem Zähneputzen als gewichtetes arithmetisches Mittel ein Plaquewertindex um 46% reduziert wird (Rosema et al., 2016). Das bedeutet, dass durch einmaliges Zähneputzen noch nicht einmal die Hälfte der Menge an Plaque von den Zähnen entfernt wird. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, in wie weit Mundhygieneinstruktionen und -motivationen dies verbessern können.

Da es dabei noch deutlichen Verbesserungsbedarf gibt, werden Mundhygieneinstruktionsstudien in Zukunft weiterhin einen wichtigen Teil der Wissenschaft einnehmen. Das Motion Tracking System könnte dabei ein wichtiges Auswertungstool übernehmen und sollte daher ebenfalls in diesem Bereich auf seine Tauglichkeit geprüft werden.

Daher wurden in der vorliegenden Studie Daten zum Erfolg einer Videoinstruktion auf die Umsetzung der Mundhygiene mit dem neuen Motion Tracking System erhoben. Um diese mit Daten aus anderen Studien vergleichen zu können, wird zunächst auf die vorhandene Literatur zu Mundhygieneinstruktionen eingegangen.

Eine der wichtigsten Studien ist die von Axelsson und Lindhe, die von 1971 an 480 Personen in einem engmaschigen Präventionsprogramm untersuchten (Axelsson und Lindhe, 1978). Diese wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine Testgruppe von 324 Personen und eine Kontrollgruppe von 156 Personen. Die Probanden wurden jeweils in drei Altersgruppen eingeteilt (I < 35-jährig, II 36-50-jährig und III > 50-jährig). Zu Beginn der Studie befanden sich alle Probanden hinsichtlich des sozio-ökonomischen Status, der oralen Hygiene, der Inzidenz von Gingivitis und der Karieserfahrung auf einem ähnlichen Niveau. Alle Probanden wurden zu Beginn der Studie einer umfangreichen Untersuchung unterzogen: es wurde der orale Hygienestatus, die gingivale Entzündung, die Taschentiefe, das Attachmentlevel und DMF-T und DMF-S Werte dokumentiert, außerdem wurde eine röntgenologische Untersuchung durchgeführt und vorhandene Karies behandelt. Des Weiteren wurden die Probanden ausführlich über ihren oralen Status aufgeklärt und bekamen eine professionelle Zahnreinigung.

Die Probanden der Kontrollgruppe wurden daraufhin nach 12 und 24 Monaten erneut einbestellt und es wurden nur Behandlungen durchgeführt, wenn der Zahnarzt diese für indiziert hielt. Dabei wurde nicht über die zur Verfügung stehenden Mundhygienemittel geredet und die Probanden wurden nicht motiviert, die Mundhygiene zu verbessern.

Im Gegensatz dazu wurden die Probanden der Testgruppe in den ersten zwei Jahren alle zwei Monate einbestellt. Sie bekamen eine professionelle Zahnreinigung, sowie Instruktionen und Übungen zu Mundhygienetechniken. Jede Sitzung dauerte ungefähr 30 Minuten. Dabei wurde die dentale Plaque angefärbt und die Bass-Zahnputzmethode

4 Diskussion

erläutert. Außerdem wurde Zahnseide und Zahnstocher für die Säuberung der Interdentalräume empfohlen. Danach wurden die Zähne gereinigt, Zahnstein entfernt und eine Wurzelglättung durchgeführt. Im dritten Jahr wurde dieses Procedere alle drei Monate wiederholt.

Am Ende der drei Jahre untersuchte man die gleichen Parameter wie bei der Baseline Sitzung. Während sich der orale Hygienestatus in der Kontrollgruppe nur geringfügig verbesserte, verbesserte sich dieser bei der Testgruppe deutlich (62,4% zu 17,4% (I), 61,9% zu 19,1% (II) und 63% zu 17,8% (III)). Auch die Ergebnisse von gingivaler Entzündung und Taschentiefe reduzierten sich in der Testgruppe. Hingegen nahm die durchschnittliche Taschentiefe in der Kontrollgruppe sogar etwas zu (I: +0,5 mm, II: +0,6 mm, III: +0,5 mm), das durchschnittliche Plaque Score Level veränderte sich kaum. Das Attachmentlevel blieb in der Testgruppe unverändert, in der Kontrollgruppe verschlechterte sich das Attachmentlevel etwas (I: -0,5 mm, II: -0,8 mm, III: -0,8 mm). Hinsichtlich der radiologischen und klinischen Untersuchungen wurde in der Testgruppe fast keine neuen Kariesläsionen festgestellt, nur innerhalb der Altersgruppe I wurden durchschnittlich 0,1 Flächen neuer zerstörter beziehungsweise gefüllter Zahnflächen diagnostiziert.

Axelsson et al. führten diese Studie weitere drei Jahre, von 1975 bis 1978, fort (Axelsson und Lindhe, 1981). Dabei verloren sie 14 Probanden aus der Testgruppe und 10 Probanden aus der Kontrollgruppe. Die Probanden der Kontrollgruppe wurden weiterhin jeweils nach 12 Monaten und die Probanden der Testgruppe wurden weiterhin alle drei Monate erneut einbestellt. Das Procedere wurde nicht verändert. Sechs Jahre nach der Baseline Untersuchung wurden die gleichen Parameter erneut erhoben. Nachdem sich der Hygienestatus in der Testgruppe bereits in den ersten drei Jahren deutlich verbessert hatte, optimierte er sich in den darauffolgenden drei Jahren nochmal geringfügig (jeweils circa 5% Verbesserung). Im Gegensatz dazu stagnierte der Hygienestatus in der Kontrollgruppe von 1975 bis 1978 oder verschlechterte sich sogar. Die Ergebnisse der Untersuchung gingivaler Entzündungen veränderte sich von der ersten finalen Untersuchung 1975 zu der zweiten finalen Untersuchung 1978 in der Testgruppe kaum. Bei der Kontrollgruppe nahm der Gingivitis Score sogar minimal zu (jeweils etwa 3%). Die Häufigkeitsverteilung von Sondierungstiefen > 3 mm veränderte sich in der Testgruppe über die drei folgenden Jahre nur wenig und blieb sehr gering (durchschnittliche Anzahl an Messstellen >3 mm pro Proband: Baseline: I: 3,5, II: 8,3, III: 1,7; 3 Jahre: I: 0,3, II: 0,5, III: 0,4; 6 Jahre: I: 0,4, II: 0,2, III: 0,6). Hingegen steigerten sich diese Werte in der Kontrollgruppe weiterhin (durchschnittliche Anzahl an Messstellen >3 mm pro Proband: Baseline: I: 2,2, II: 6,6, III: 10,6; 3 Jahre: I 2,9, II: 10,0,

4 Diskussion

III: 13; 6 Jahre: I: 7,6, II: 11,7, III: 18,0). In den Testgruppen gab es im Durchschnitt keine signifikanten Veränderungen des Attachmentlevels über die sechs Jahre, jedoch bewegte es sich bei der Kontrollgruppe in die negative Richtung. Bis auf wenige Personen entwickelten die Probanden der Testgruppe keine Karies während des Untersuchungszeitraums. Dagegen entstanden in der Kontrollgruppe durchschnittlich 7,4 (Gruppe I), 5,4 (Gruppe II) und 4,2 (Gruppe III) neue Kariesläsionen.

Im Jahr 2004 veröffentlichte Axelsson et al. die Ergebnisse nach 30 Jahren Fortführung des Hygieneprogramms (Axelsson et al., 2004). Nach der Publikation der 6-Jahres-Ergebnisse wurden nur noch die Probanden der Testgruppe fortlaufend untersucht. Es fand eine Einteilung anhand der bisherigen Karieserfahrung in drei Risikogruppen statt, die das Prophylaxe Intervall bestimmten (R1: (60% der Probanden): alle 12 Monate, R2: (30% der Probanden) alle 6 Monate, R3: (10% der Probanden) alle 3 Monate).

Der durchschnittliche Zahnverlust über die gesamte Zeit war in allen Altersgruppen der Testgruppe sehr gering (I: 0,4, II: 0,7, III: 1,8). Der Hauptgrund für verlorene Zähne waren stiftgetragene Kronen. Aufgrund von Karies oder Parodontitis gingen nur 21 Zähne verloren.

Interessant war der Vergleich der Anzahl vorhandener Zähne der 51- bis 65-Jährigen der Gruppe 1 im Jahr 2002 zu der Gruppe 3 im Jahr 1972. 60% der Probanden dieser Altersgruppe (Gruppe 3) hatten im Jahr 1972 durchschnittlich ≥ 20 Zähne und 20% der Probanden ≥ 26 Zähne. Die zu vergleichenden Zahlen aus dem Jahr 2002 waren $\geq 95\%$ und $\geq 65\%$. Dies zeigt, dass die Probanden, die 2002 51 bis 65 Jahre alt waren und 30 Jahre am Hygieneprogramm teilgenommen hatten, noch deutlich mehr Zähne in situ hatten, als die Probanden, die 1972 zwischen 51 und 65 Jahre alt waren und kein Hygieneprogramm erhielten.

In Bezug auf die durchschnittlich von Plaque befallenen Zahnflächen betrug der Wert im Jahr 2002 $< 20\%$ in allen drei Altersgruppen. Außerdem entwickelte sich bei 107 der 257 Probanden über die gesamte Zeit keine neue Karies. Die durchschnittliche Anzahl an neuen Kariesflächen über den gesamten Zeitraum betrug 1,2 in der Altersgruppe 1, 1,7 in der Altersgruppe 2 und 2,1 in der Altersgruppe 3. Bei Betrachtung des Attachmentlevels zeigte sich nur ein geringer Verlust von etwa 0,2 mm an den bukkalen Flächen in der Altersgruppe 1. An allen anderen Flächen und Altersgruppen gab es entweder keinen Unterschied oder sogar in der Altersgruppe 2 einen Zuwachs von bis zu etwa 0,4 mm an den mesialen Flächen.

4 Diskussion

Diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass ein Präventionsprogramm, welches Probanden dazu anregt, sich angemessene Mundhygieneverhaltensweisen anzueignen, in der Lage ist, die Progression von parodontalen Erkrankungen und Karies bei Erwachsenen zu reduzieren (Axelsson und Lindhe, 1981). Im Gegensatz dazu schlussfolgerte Axelsson aus den Ergebnissen der Kontrollgruppe, dass eine allgemeinzahnärztliche Betreuung ohne zusätzlichen Fokus auf Mundhygiene die Progression von Karies und parodontalen Krankheiten in einer Erwachsenenpopulation nicht verhindern würde (Axelsson und Lindhe, 1981).

Bei dieser Studie war der professionelle Aufwand, den die Forschungsgruppe für den Erhalt der guten Mundhygiene der Testgruppe aufgebracht hat, immens. Der Standard an Mundhygiene, der in dieser Studie erreicht wurde, scheint aus praktischer Sicht, das maximale erreichbare Level zu sein (Glavind et al., 1981). Dies lässt sich natürlich nicht auf eine ganze Bevölkerung ausdehnen.

Es gibt weitere Studien zu Mundhygieneinstruktion und -motivation, die sich auf einfachere Methoden konzentriert haben (Renton-Harper et al., 1999, Addy et al., 1999, Renton-Harper et al., 2001, Schlueter et al., 2010, Schlueter et al., 2013, Glavind und Zeuner, 1986, Glavind et al., 1981).

In einer Studie von Glavind et al. aus dem Jahr 1981 wurden drei verschiedene Methoden zum Erlernen der Mundhygiene getestet (Glavind et al., 1981). 37 Probanden wurden in drei Gruppen aufgeteilt: eine Gruppe, die ein Handbuch zur Selbstinstruktion erhielt, eine Gruppe, die von einem Dentalhygieniker instruiert wurde und eine Gruppe, die nur eine kurze Broschüre über die Bass Zahnputztechnik erhielt (minimale Instruktion). Über eine Zeit von sechs Monaten wurde die Mundhygiene regelmäßig überprüft.

Zu Beginn (in Woche 2) verbesserte sich der durchschnittliche prozentuale Anteil von Zahnflächen mit Plaque (nach dem Zähneputzen) deutlich in allen drei Gruppen (Selbstinstruktion: 30,6% zu 12,3%, Dentalhygieniker: 36,5% zu 13,9% und minimale Instruktion: 32,4% zu 17,3%). Von da ab stagnierten die Werte über die restliche Versuchsdauer. Es gab zwischen den drei verschiedenen Gruppen keine signifikanten Unterschiede nach sechs Monaten (Selbstinstruktion: 20,4%, Dentalhygieniker: 22,1% und minimale Instruktion: 19,7%), so dass man alle drei Methoden als ähnlich effizient ansehen konnte.

4 Diskussion

Analoge Handbücher, wie in der Studie von Glavind et al. (Glavind et al., 1981), sind in der heutigen digitalen Welt nicht mehr zeitgemäß. Der Einzelunterricht in oraler Hygiene, wie er in den Studien von Axelsson (Axelsson und Lindhe, 1978, Axelsson und Lindhe, 1981) stattgefunden hat, könnte zum Beispiel durch eine Videoinstruktion ersetzt werden.

In der Studie von Glavind et al. aus dem Jahr 1985 nutzte man ein Instruktionsvideo, um ein Handbuch zur Selbstinstruktion zu unterstützen (Glavind und Zeuner, 1986). 24 Probanden wurden in zwei Gruppen aufgeteilt (TV-Gruppe und Kontrollgruppe). Alle Probanden bekamen zu Beginn eine professionelle Zahnreinigung. Zwei Wochen später erhielten beide Gruppen ein Handbuch, in dem optimale Mundhygiene instruiert wurde. Außerdem stellte man ihnen Utensilien zur Mundhygiene zur Verfügung (Zahnbürste, Interdentalbürste, Zahnstocher, einen beleuchteten Spiegel und Plaquetabletten). Die TV-Gruppe bekam daraufhin eine Woche später eine Videoinstruktion von 12 Minuten zu sehen, in der die im Handbuch erklärten Punkte visuell dargestellt wurden. Die Probanden der TV-Gruppe befragte man, ob sie das Video als hilfreich empfanden. 83% der Probanden der TV-Gruppe hielten das Sehen der Videoinstruktion für vorteilhaft.

Nach acht Wochen wurde das Vorkommen von Plaque an vier Oberflächen aller Zähne gemessen. Im Durchschnitt reduzierte sich die Plaquemenge um ungefähr die Hälfte. Das durchschnittlich prozentuale Vorkommen von dento-gingivaler Plaque unterschied sich zwischen den beiden Gruppen, wie zu Beginn der Studie (TV-Gruppe: 62%, Kontrollgruppe: 58%), auch nach acht Wochen nur sehr gering (TV-Gruppe: 28%, Kontrollgruppe: 22%). Trotz der positiven Einstellung der Versuchsgruppe gegenüber der Videounterweisung, bringt es nach Ansicht der Autoren dieser Studie (Glavind und Zeuner, 1986), keinen wirklichen zusätzlichen Vorteil.

Eine Videoinstruktion wurde ebenfalls in einer Studie von Addy et al. genutzt (Addy et al., 1999). Das Ziel dieser Studie war es ein Instruktionsvideo für eine oszillierend-rotierende elektrische Zahnbürste zu erstellen und zu evaluieren. Es wurden zwei Instruktionsmittel miteinander verglichen, zum einen das Instruktionsvideo und zum anderen die der elektrischen Zahnbürste beiliegende Beschreibung. Es sollte die Menge an entfernter Plaque gemessen werden. Die Studie war als eine 2-Phasen-Studie geplant, einfach verblindet, randomisiert und im cross-over-Design. 24 gesunde Freiwillige (3 Probanden fielen während der Studie aus / Durchschnittsalter: 28) nahmen an der Studie teil und wurden zuvor in zwei Gruppen aufgeteilt: VN (Video first) Gruppe

4 Diskussion

und NV (No Video first) Gruppe. Die VN Gruppe bekam zuerst das Instruktionsvideo zu sehen und sollte dementsprechend die Zähne putzen. Zwei Wochen später erhielten sie die Beschreibung der elektrischen Zahnbürste als Instruktion. Die NV Gruppe sollte zunächst anhand der beiliegenden Beschreibung die Zähne putzen und dann zwei Wochen später anhand der Videoinstruktion. Bei Verwendung der Videos als Instruktionsmittel, wurde dieses auch während des Putzens der Probanden abgespielt (watch-and-follow). Eine Zeit von zwei Minuten wurde während des Putzens den Probanden vorgegeben.

Man akzeptierte, dass es eine Beeinflussung der Resultate in der zweiten Periode durch die Ereignisse der ersten Periode geben könnte. Es wurden nur Probanden ausgewählt, die noch nie mit einer elektrischen Zahnbürste geputzt hatten. Man entwarf das Instruktionsvideo entsprechend der Zahnputzvorgehensweise, die in dem mit dem Gerät gelieferten Beipackzettel beschrieben wurde.

Zu Beginn der Studie fand eine professionelle Zahnreinigung statt. Danach wurde das Zähneputzen für 48 Stunden ausgesetzt. Die Zähne der Probanden wurden vor und nach dem Zähneputzen mit Erythrosin eingefärbt und es wurden die Plaqueflächen aller bewertbaren bukkalen und palatinalen/lingualen Zahnflächen aufgezeichnet. Entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit erhielten die Probanden ihre Instruktionsmittel. Zwei Wochen nach der ersten Phase wurde der Vorgang wiederholt und die Gruppen wurden durch die jeweils andere Methode instruiert.

In der ersten Periode war die Plaqueentfernung in der Videogruppe überwiegend signifikant größer als in der Gruppe mit geschriebener Broschüre (Reduktion um 83,3% (VN) und um 73,6% (NV)). In der zweiten Periode haben beide Gruppen eine größere Plaqueentfernung erzielt als in der ersten Phase (Reduktion um 87,7% (VN) und 77% (NV)). Der Unterschied zwischen beiden Gruppen betrug jeweils ungefähr 10%. Die Gruppe VN hat in beiden Phasen ein etwas besseres Ergebnis erzielt als die Gruppe NV. Insgesamt haben beide Gruppen in beiden Phasen gute Ergebnisse erzielt.

Dennoch lässt sich feststellen, dass die Videoinstruktion an einer nur sehr kleinen Anzahl an Probanden getestet wurde. Pro Phase haben maximal elf Probanden anhand der Videoinstruktion geputzt. Außerdem gab es keine Überprüfung, ob die Probanden die instruierte Zahnputzmethode überhaupt umgesetzt haben. Die Probanden hätten auch eine bereits verinnerlichte Methode, die gute Resultate in der Plaquereduktion aufweist, anwenden können, die dann zu solchen Ergebnissen geführt hat.

Ein Jahr später wiederholte die Forschungsgruppe um Addy und Renton-Harper diese Untersuchung mit einem neuen Zahnbürstenmodell (Renton-Harper et al., 1999). Das

4 Diskussion

Studiendesgin war sehr ähnlich wie in der oben beschriebenen Studie (Addy et al., 1999). Allerdings fand keine zweite Phase der Studie statt. Es nahmen 52 Probanden an der Studie teil (Durchschnittsalter: 36).

Die Ergebnisse zeigten, dass die Gruppe, die nach Anleitung des Instruktionsvideos putzte (Gruppe V), ihren prozentualen Plaquewert um durchschnittlich 69,7% reduzierte. Im Gegensatz dazu, reduzierte die Gruppe, die anhand der Broschüre ihre Zähne putzte (Gruppe L), ihren prozentualen Plaquewert nur um durchschnittlich 59,5%. Lingual erreichte die Gruppe V eine 18,5% bessere Plaquereduktion als die Gruppe L. Bukkal betrug der Unterschied nur 4,4% (nicht signifikant $p=0,26$).

Auch bei dieser Studie war die Anzahl der Probanden, die durch das Video instruiert wurden, klein (26 Probanden). Außerdem wurde, wie bei der ersten Studie, das Einhalten der instruierten Putzsystematik nicht kontrolliert.

Es bleibt festzuhalten, dass die instruierte Putzsystematik sehr ähnlich zu der in vorliegender Studie war. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass in der Studie von Renton-Harper et al. (Renton-Harper et al., 1999) die Probanden nicht instruiert wurden, die Okklusalfächen zu putzen und keine genaue Reihenfolge der Putzareale vorgegeben wurde. Vermutlich lassen sich ihre Ergebnisse in der Entfernung der Plaque dennoch gut auf unsere Studie übertragen.

Im Jahr 2000 wurde eine weitere ähnliche Studie von Renton-Harper et al. durchgeführt (Renton-Harper et al., 2001). Hintergrund dieser Untersuchung waren Laborrobotertests (Ernst et al., 1997), die zeigten, dass durch die Verbesserung der Bürstenkopfbewegung bei neueren elektrischen Zahnbürsten, die Effektivität der Plaquereduktion an künstlichen Zähnen gesteigert werden konnte. Mittels Videounterweisung sollte in dieser Studie das Ziel verfolgt werden, eine Gruppe von Experten für das Reinigen von Zähnen mit oszillierenden Zahnbürsten zu bilden, um die hohe Reproduzierbarkeit von Robotern zu imitieren. Diese Expertengruppe sollte für den Vergleich der Reinigungskraft von vier verschiedenen Kombinationen aus Bürstenkopf und Bürstenkörper einer elektrischen Zahnbürste eingesetzt werden. 24 Personen nahmen daran teil (Durchschnittsalter: 26,8). Die Probanden bekamen zum Üben alle die gleiche Kombination aus Bürstenkopf (EB9 Bürstenkopf von Braun AG, Kronberg, Deutschland) und Bürstenkörper (D7 Modell von Braun AG, Kronberg, Deutschland). Bei der gesamten Studie wurde mit Zahnpasta geputzt. Zunächst wurde anhand einer Videounterweisung und unter Aufsicht eines Dentalhygienikers der Umgang mit der Zahnbürste geübt. Zu Hause sollten die Probanden das Erlernte mit der Zahnbürste zweimal täglich für 8-12 Wochen weiterüben. Währenddessen fand eine Überprüfung und Remotivation des Erlernten

4 Diskussion

durch die Videounterweisung und die Kontrolle des Dentalhygienikers zu drei Zeitpunkten statt. Daraufhin begann die Untersuchung.

An Tag 1 putzten die Probanden mit ihrer habituellen Zahnbürste zeitgleich mit der abgespielten Videoinstruktion. Dann putzten sie sich vier Tage lang nicht die Zähne. An Tag 5 wurden ihre Zähne angefärbt und die Plaqueareale dokumentiert. Dann wurde erneut in Einklang mit der Videounterweisung und der jeweils zugeordneten Zahnbürstenkombination geputzt. Erneut wurden die Zähne angefärbt und die Plaqueareale dokumentiert. Daraufhin fand ein „wash-out“ von mindestens zweieinhalb Tagen statt, währenddessen die Probanden ihre habituelle Mundhygiene anwandten. Zwischen den Untersuchungen wurde wie in den ersten 8-12 Wochen verfahren.

Den Studiendurchlauf hat jeder Proband weitere dreimal mit den restlichen drei Zahnbürstenkombinationen wiederholt.

Durchschnittlich wurden je nach Zahnbürstenkombination zwischen 84,6% und 89,6% Plaque entfernt. Das beste individuelle Ergebnis war 97,3% Reduktion. Insgesamt wurde durchschnittlich bukkal besser als lingual/palatinal (mind. 80% Reduktion), anterior besser als posterior (mind. 81,8% Reduktion) und der Oberkiefer besser als der Unterkiefer (mind. 81,6% Reduktion) geputzt.

Außerdem wurde erneut gezeigt, dass durch eine „Watch-and-follow“ Videoinstruktion und langes Training bei Probanden ein besonders hohes Level an Plaqueentfernung durch Zähneputzen erzielt werden kann. Wie in dieser Studie ersichtlich war, funktioniert dies auch bei viertägiger Zahnputzkarenz.

Auch bei dieser Studie blieb die Frage offen, ob die Probanden auch wirklich die gezeigte Zahnputzsystematik umsetzten, ungeklärt. Ein System, welches dies einfach und unkompliziert untersucht, wäre hilfreich gewesen.

Schließlich gibt es noch eine weitere Forschungsgruppe, die sich mit dem Thema der Mundhygieneinstruktion befasst hat (Schlueter et al., 2010, Schlueter et al., 2013). In einer Studie von 2009 (Schlueter et al., 2010) wurden 99 Probanden (77 Probanden beendeten die Studie komplett) in drei Gruppen aufgeteilt, welche auf unterschiedliche Weise in der Verwendung der modifizierten Bass Zahnputztechnik (MBT) und der Rateitschak Zahnputzsystematik (Rateitschak et al., 2004) instruiert wurden. Es gab eine Kontrollgruppe mit 27 Probanden (keine Instruktion), eine Broschüren-Instruktionsgruppe mit 24 Probanden (verbale Instruktion unter Hilfenahme einer Broschüre) und eine Demonstrationsgruppe mit 26 Probanden (verbale Instruktion, unterstützt durch ein Modell, keine Broschüre) (Durchschnittsalter: 26,6). Außerdem

wurde den Probanden der Versuchsgruppen erklärt, dass eine Zahnputzsession etwa 3 Minuten dauere.

Die Probanden wurden zu Beginn der Studie während des Zähneputzens gefilmt (Baseline Filming). Daraufhin fand für die beiden Versuchsgruppen die erste Instruktion statt und es folgten 2 Wochen Übungszeit. Nach 2 Wochen wurden alle Gruppe erneut einbestellt und sollten sich die Zähne putzen. Dies wurde erneut gefilmt (Post-Instruction Filming). Für die beiden Versuchsgruppen fand danach eine Remotivation statt. Daraufhin gab es wieder eine zweiwöchige Übungszeit für die Versuchsgruppen. Alle Gruppen wurden erneut einbestellt und sollten die Zähne putzen. Die wurde erneut auf Video aufgezeichnet.

Da die Kontrollgruppe nicht ohne Instruktion bleiben sollte, wurde sie zum Schluss ebenfalls instruiert und daraufhin erneut beim Zähneputzen gefilmt, ohne Übungszeit. Ihnen wurde ebenfalls die MBT und die Zahnputzsystematik nach Rateitschak (Rateitschak et al., 2004) per verbaler Instruktion mithilfe von einer Demonstration am Modell vermittelt.

Der Erfolg der Instruktionen wurde durch ein kompliziertes Punktesystem beurteilt. Dabei spielte die richtige Abfolge der Zahnputzsystematik, die Übernahme der Zahnputzmethode und die zeitliche Länge des Zähneputzens eine Rolle. Für genauere Hinweise wird an dieser Stelle auf die Studie verwiesen (Schlueter et al., 2010). Nach der ersten Instruktion haben 19% der Broschüren-Instruktionsgruppe und 41% der Demonstrationsgruppe die MBT vollständig umgesetzt. Nach der zweite Instruktion betragen die Prozentzahlen 25% in der Broschüren-Instruktionsgruppe und immerhin 62% in der Demonstrationsgruppe. 8% der Broschüren-Instruktionsgruppe haben ihr Zahnputzverhalten nicht verändert. In der Kontrollgruppe, bei der zum Schluss ebenfalls eine Instruktion stattgefunden hat, haben 20% die MBT übernommen, während 4% keine Veränderung zeigten.

Hinsichtlich der Zahnputzsystematik zeigten sich bessere Erfolge. Nach der ersten Instruktion übernahmen in beiden Versuchsgruppen 36% vollständig die Systematik. 20% in der Broschüren-Instruktionsgruppe und 32% in der Demonstrationsgruppe zeigten keine positive Veränderung. Nach der Remotivation nutzten 63% in der Broschüren-Instruktionsgruppe und 48% in der Demonstrationsgruppe die vorgegebene Reihenfolge richtig. 11% der Broschüren-Instruktionsgruppe und 10% der Demonstrationsgruppe erhielten nach der Remotivation hinsichtlich der Putzsystematik 0 Punkte.

4 Diskussion

Nach der Instruktion der Kontrollgruppe während des letzten Besuchs übernahmen 36% vollständig die Systematik, dies entspricht dem Wert der Versuchsgruppen nach der ersten Instruktion. Nur 5% der Kontrollgruppe erzielten einen Wert von 0 Punkten.

12% der Broschüren-Instruktionsgruppe und 28% der Demonstrationsgruppe übernahmen sowohl die MBT, als auch die Zahnputzsystematik nach der ersten Instruktion vollständig. Nach der Remotivation steigerten sich die Zahlen auf 16% in der Broschüren-Instruktionsgruppe und 38% in der Demonstrationsgruppe. Im Gegensatz dazu waren es nur 14% der Kontrollgruppe die nach der Kontrollgruppen-Instruktion beide instruierte Maßnahmen vollständig übernahmen.

Die Länge des Zähneputzens steigerte sich ebenfalls von der Baseline-Untersuchung von 30% in beiden Versuchsgruppen, die länger als 180 Sekunden putzten, auf 88% in der Broschüren-Instruktionsgruppe und 89% in der Demonstrationsgruppe, die nach der Remotivation länger als 180 Sekunden putzten. Bei der Kontrollgruppe war es eine Zunahme von 37%, die beim dritten Termin länger als 180 Sekunden putzten, zu 85% nach der Instruktion am vierten Termin. Auffällig war, dass auch bei der Kontrollgruppe eine Zunahme der Putzzeit bereits an den ersten beiden Terminen ersichtlich war, obwohl sie bis dato keine Instruktion erhielten.

Abschließend kann man sagen, dass insgesamt die Instruktionmethode der Demonstration einen größeren Erfolg gezeigt hat als die der Broschüren-Instruktion. Dies entspricht auch dem Ergebnis der oben genannten Studien (Addy et al., 1999, Renton-Harper et al., 1999).

Allerdings ist auch festzustellen, dass es einfacher schien, die Putzsystematik von einer Broschüre zu erlernen als durch die Demonstration, da nach der zweiten Instruktion mehr Probanden aus der Broschüren-Instruktionsgruppe die Systematik vollständig durchführten als aus der Demonstrationsgruppe.

Interessanterweise waren die Ergebnisse der Kontrollgruppe nach der Instruktion während des vierten Besuchs nur geringfügig niedriger als die Ergebnisse der Demonstrationsgruppe nach der ersten Instruktion und der zweiwöchigen Übungszeit. Dies zeigt, dass die zweiwöchige Übungszeit einen nur sehr geringen Effekt auf den Erfolg einer Instruktion hat. Dies wurde in der Diskussion von Schlüter et. al mit einer weiteren Studie (Weeks und Anderson, 2000), die sich mit dem Erlernen von Bewegungen im Sport durch Videodemonstrationen, untermauert. Dabei zeigte sich, dass die Performance von Bewegungen direkt nach der Demonstration ähnlich erfolgreich war, wie 48 h nach der Instruktion.

Ferner wurde in der Studie festgestellt, dass Probanden vor allem Schwierigkeiten hatten, die Systematik richtig zu befolgen, wenn sie nicht an der richtigen Stelle starteten (Schlueter et al., 2010).

In Folge dessen wurde von der oben genannten Autorengruppe eine weitere Studie veröffentlicht, welche die Untersuchung der Beziehung zwischen Plaquescore und videoüberwachter Zahnputzperformance nach zwei verschiedenen Instruktionmethoden thematisierte (Schlueter et al., 2013). Grundlage dieser Studie war eine größere Untersuchung, von der die Daten über die Übernahme von Zahnputztechnik und Zahnputzreihenfolge in der oben beschriebenen Studie bereits präsentiert wurden (Schlueter et al., 2010). Die Methodik wurde zuvor oben erklärt und nur durch eine zusätzliche Messung des nach Turesky modifizierten Quigley-Hein Plaque Index (Quigley und Hein, 1962, Turesky et al., 1967) zum Zeitpunkt Baseline und nach dem jeweiligen Zähneputzen ergänzt (Schlueter et al., 2013).

Die Ergebnisse zeigten erwartungsgemäß keinen signifikanten Unterschied des T-QHI zu Beginn der Studie (Baseline) zwischen den Gruppen. Auch die Messung nach der ersten Instruktion zeigte zwar eine signifikante Reduktion des T-QHI bei allen Gruppen, jedoch auch zu diesem Zeitpunkt differierten die Ergebnisse zwischen den einzelnen Gruppen nicht, auch nicht im Vergleich zu der Kontrollgruppe. Die Erhebung des T-QHI nach dem Remotivationsintervall offenbarte erneut gleiche Ergebnisse bei allen drei Gruppen. Es konnte zudem keine deutliche Verbesserung zur vorherigen Messung festgestellt werden.

Schließlich ließ sich Folgendes anhand der beiden Studien feststellen. Eine vollständige Umsetzung der Putztechnik und/oder der Putzreihenfolge führte zu keiner signifikanten Verbesserung des T-QHI. Des Weiteren erhöhten sich zwar die Prozentzahlen der Probanden, die die Technik und die Reihenfolge übernahmen vom Zeitpunkt „post-Instruktion“ zu „post-Remotivation“, jedoch blieb die Schnittmenge derjenigen, die zu beiden Zeitpunkten Technik und/oder Sequenz übernahmen, gering. Dies ließ die Autoren darauf schließen, dass verschiedene Probanden entweder die Technik oder die Sequenz zu verschiedenen Zeitpunkten übernahmen.

Zum Teil sahen die Verfasser den Hawthorne Effekt als Ursache für die geringen Unterschiede in den einzelnen Gruppen. Unter dem Hawthorne Effekt versteht man die Veränderung des natürlichen Verhaltens von Probanden, aufgrund der Tatsache, dass sie wissen, dass sie an einer Studie teilnehmen und unter Beobachtung stehen. Dieser

4 Diskussion

Effekt kann laut einer Studie bis zu 27% der Verbesserung eines Plaqueindex bei Untersuchung über sechs Monaten unter Beobachtung ausmachen (Feil et al., 2002). Außerdem hielten sie die verlängerten Putzzeiten (Schlueter et al., 2010) für einen Grund, da diese laut weiteren Studien (Van der Weijden et al., 1993, Williams et al., 2004) zu einer erhöhten Plaqueentfernung geführt haben können (Schlueter et al., 2013).

Bei Betrachtung der genannten Studien zeigen sich unterschiedliche Erfolgsaussichten in der Anwendung verschiedener Instruktionmethoden. Zunächst lässt sich anhand Axelssons Studien (Axelsson und Lindhe, 1978, Axelsson und Lindhe, 1981) feststellen, dass sich die Inzidenz von kariösen und parodontalen Erkrankungen durch Instruktion und regelmäßige Remotivation in der richtigen Ausführung von Mundhygiene reduzieren lassen. Welche Instruktionmethode die Erfolgreichste ist, bleibt jedoch ungeklärt, auch aufgrund fehlender einheitlicher Analysemethoden, die alle vorhandenen Instruktionmethoden (Broschüren-, Merkblatt-, Video-, Modell-, persönliche Instruktion) miteinander vergleicht. Es gibt Studien von Glavind et al. und Glavind und Zeuner, die zwischen verschiedenen Instruktionmethoden keinen Unterschied feststellen konnten (Glavind et al., 1981, Glavind und Zeuner, 1986). Im Gegensatz dazu sind aber auch Studienergebnisse von Renton-Harper et al. (Renton-Harper et al., 2001) verfügbar, die einen Vorteil in der Verwendung von Videoinstruktionen (im Vergleich zu Broschüren oder Merkblättern (Addy et al., 1999) (Renton-Harper et al., 1999)) sehen; oder Studien, die einen Vorteil in der Verwendung einer Demonstration am Modell gegenüber einer Broschüreninstruktion festmachen (Schlueter et al., 2010).

Letztendlich lässt sich ein Vorteil bei der Verwendung von Videoinstruktionen vermuten. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie für die Mundhygieneeinweisung die Form der Videoinstruktion gewählt. Dadurch erhoffte man sich weitere Erkenntnisse im Bereich der Videoinstruktion. Außerdem bot sich somit die Möglichkeit in einem zweiten Teil der vorliegenden Untersuchung das Motion Tracking System auf die Wahrnehmung von Veränderung in der Verhaltensweise der Probanden zu überprüfen.

4.1.4 Verfügbare Daten zur Verwendung des TSI

Der „Toothbrushing Systematic Index“ (Zahnputz Systematik Index – TSI) (Schlueter et al., 2018) ist ein neu entwickelter Index zur Beurteilung des systematischen Zähneputzens. Er wurde bis zum Zeitpunkt der vorliegenden Studie nur anhand älterer Observationsstudien getestet. Die Überprüfung der Funktionalität an einer aktuellen

4 Diskussion

Studie und inwieweit sich verändertes Zähneputzen, aufgrund einer Instruktion des Probanden, auf den Index auswirken, standen noch aus. Daher gibt es bis zum jetzigen Zeitpunkt nur Daten dieser ersten Veröffentlichungsstudie (Schlueter et al., 2018), die hier zu präsentieren sind.

Wie in den oben genannten Studien (Macgregor und Rugg-Gunn, 1986, Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Rugg-Gunn et al., 1979, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984, Ganss et al., 2009, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015) zu erkennen ist, werden vor allem linguale Bereiche beim Zähneputzen ausgelassen und vestibuläre Bereich vermehrt geputzt. Außerdem lässt sich anhand dieser Publikationen feststellen, dass die Probanden häufig zwischen Arealen wechseln und die Zahnputzzeit stark variiert. Daher scheint ein systematisches Vorgehen beim Zähneputzen wichtig. Laut den Autoren des Index gehören zu einer Zahnputzsystematik die Vollständigkeit, die Isochronizität und die Konsistenz (Schlueter et al., 2018).

Unter Vollständigkeit wird das Erreichen aller Areale verstanden. Unter Isochronizität verstehen die Autoren die gleichmäßige Verteilung der Zahnputzzeit auf alle zu putzenden Areale und unter Konsistenz wird das Vermeiden häufiger Wechsel zwischen den Arealen verstanden.

Ziel der Studie war es ein Indexsystem zu entwickeln, das eine differenzierte Bewertung des Putzverhaltens ermöglicht, indem alle Komponenten der Putzsystematik (Vollständigkeit, Isochronizität und Konsistenz) unabhängig von vorgegebenen Bewegungsmustern berücksichtigt werden. Außerdem sollte der Index anhand von theoretischen Daten und einer Observationsstudie der Autorengruppe (Schlueter et al., 2010) (siehe Kapitel 4.1.3) mit klinischen Daten validiert werden.

Die Berechnung des TSI wurde bereits im Abschnitt Material & Methoden erklärt (siehe Kapitel 2.6.1.1). Der TSI-Wert liegt zwischen 0 und 2, während 0 nicht systematisches Putzen anzeigt, ist ein Wert nahe 2 mit sehr systematischem Putzen verbunden.

Im ersten Schritt wurden zur Validierung theoretische Daten verwendet, die in allen Bereichen von sehr systematisch (bspw. alle 16 Areale werden geputzt) zu sehr unsystematisch (bspw. nur ein Areal wurde geputzt) reichten. Außerdem wurden Putzzeiten von 30 bis 480 s angenommen.

Im zweiten Schritt wurden klinische Daten von den Probanden verwendet, die die angelernte Systematik vollständig ausführten und mit den Daten der Baselineuntersuchung verglichen (Gruppe COMP). Außerdem wurde zusätzlich der TSI für alle Probanden der Studie berechnet (Gruppe CLIN), um die Auswirkungen von Instruktionen unter klinischen Verhältnissen zu kontrollieren. Bei Berechnung der

4 Diskussion

klinischen Daten wurden jeweils zwei TSI Werte berechnet, einmal bezogen nur auf die vestibulären und oralen Flächen (v/o) und einmal auf alle Zahnflächen (all).

Die theoretischen Ergebnisse zeigen TSI Werte von 0,0 bis 1,97. Bei Betrachtung der einzelnen Werte zeigt sich, dass der TSI in Zusammenhang mit den angegebenen Parametern geeignete Werte reflektiert.

Die klinischen Ergebnisse zeigen sowohl bei der Gruppe COMP-all eine Steigerung des TSI von $1,2 \pm 0,18$ zu $1,51 \pm 0,09$, als auch bei der Gruppe COMP-v/o von $1,30 \pm 0,26$ zu $1,74 \pm 0,09$.

In der Gruppe CLIN kann zwischen den Probanden in der Kontrollgruppe und denen in der Instruktionsgruppe unterschieden werden. Der TSI der Probanden in der Kontrollgruppe verändert sich kaum zu den einzelnen Zeitpunkten. Außer zu dem Zeitpunkt (T3), an dem auch diese Gruppe eine Instruktion erhielt, verbessert sich der TSI Wert (CLIN-v/o Control: BL: 1,15; T1: 1,24; T2: 1,18; T3: 1,72). Bei der Instruktionsgruppe (CLIN-v/o) gibt es eine Verbesserung von BL (TSI = 1,25) zu T1 (TSI = 1,69), allerdings nach der Remotivation (T2 = 1,72) kann keine weitere signifikante Verbesserung gemessen werden.

Diese Ergebnisse zeigen die erwartete Steigerung des TSI Werts von der Baselineuntersuchung zu der vollständig ausgeführten Zahnputzsystematik nach Rateitschak (Rateitschak et al., 2004) eindrucksvoll. Dennoch erreichte keiner der Probanden den maximalen Wert von 2,0. Nach Ansicht der Autoren liegt dies am Einzelwert der Isochronizität (I-Wert). Die Probanden wurden nicht instruiert die okklusalen Flächen genauso lange zu putzen wie die anderen Flächen. Daher erreicht der I-Wert nicht besonders hohe Werte. Aus diesem Grund ist der durchschnittliche Wert der COMP-v/o Gruppe höher als der der COMP-all Gruppe. Vermutet wird, dass ein weiterer Grund für die nicht erreichten Maximalwerte darin liegt, dass die Probanden nicht instruiert worden sind jedes Areal exakt gleich lange zu putzen.

Die Werte der CLIN Gruppe zeigen, dass der TSI zum einen Änderungen widerspiegeln kann, die nur eine Verbesserung und keine Perfektion der Systematik darstellt, sowie zum anderen eine gewisse Robustheit gegenüber nicht instruierten Putzern behält.

Generell sind die Autoren der Ansicht, dass ein Patient zwar auf der einen Seite individuell beraten werden müsse, da bei jeder Person die intraorale Situation unterschiedlich ist und daher entsprechend spezifische Pflegehinweise notwendig sind. Auf der anderen Seite konnte durch diesen Index trotzdem eine standardisierte Bewertung des systematischen Zähneputzens möglich gemacht werden.

4.2 Diskussion der Studienergebnisse

Ziel der ausgewählten Untersuchungsgruppe war es ein breites Spektrum an Zahnputzverhalten zu untersuchen und das Motion Tracking System anhand verschiedenster Putzbewegungen zu validieren. Das Durchschnittsalter von 37,3 Jahre der 103 eingeschlossenen Probanden liegt nahe dem durchschnittlichen Alter der deutschen Bevölkerung von gut 44 Jahren (Bevölkerungsforschung, 2020). In dieser Hinsicht bildet die Probandengruppe wesentlich mehr den Bevölkerungsquerschnitt ab, als viele der vorausgegangenen Zahnputzstudien (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Rugg-Gunn et al., 1979, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984, Winterfeld et al., 2015, Ganss et al., 2009).

Im Gegensatz dazu entspricht die Geschlechterverteilung der vorliegenden Studie (Frauen: 66% / Männer: 34%) nur zu einem gewissen Grad der Bevölkerung Deutschlands (Frauen: 51% / Männer: 49% ((Destatis), 2020). Dies hat aber scheinbar kaum Einfluss auf die Ergebnisse der Studie genommen, wie an den ähnlichen Ergebnissen in Bezug auf das Zahnputzverhalten anderer Studien ersichtlich wird (siehe Kapitel 4.1.2 und 4.2.2). Die Geschlechterverteilung der vorliegenden Studie entspricht damit Studien wie der von Graetz et al. (Frauen: 71% / Männer: 29%) (Graetz et al., 2013).

Die Versuchspersonen wurden durch eine allgemein Zahnärztliche Praxis rekrutiert und es ist davon auszugehen, dass sie dadurch ein breites Spektrum an Zahnputzverhalten widerspiegeln.

4.2.1 Übereinstimmung der Ergebnisse von Videoanalyse und Motion Tracking Systems

Die vorliegende Studie ist die erste umfassende Bewertung eines Motion Tracking Systems als Instrument zur Beobachtung des Zahnputzverhaltens. Ansprüche, die an eine Alternative zu der als Goldstandard geltenden Videobeobachtung gestellt werden, sind die Möglichkeit der Verhaltensanalyse sowohl von manuellen als auch von elektrischen Putzern, ein geringer zeitlicher Aufwand für die Auswertung und die Eigenschaft, Verhaltensveränderungen nach einer Instruktion wahrzunehmen. Wichtigstes Merkmal der Validierung sind übereinstimmende Ergebnisse der beiden Systeme in der Verhaltensanalyse. Um dies zu kontrollieren wurde die standardisierte Videobeobachtung wie bereits in anderen Studien (Ganss et al., 2009, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015), durchgeführt. Anhand dieser Ergebnisse wurde die Analyseleistung des Motion Tracking Systems gemessen. Die Übereinstimmung der Halbsekundenintervalle beider Systeme wurde berechnet.

4 Diskussion

Die Unterteilung der Ergebnisse in Halbsekundenintervalle hat den Hintergrund, dass bei der Kodierung der Videobeobachtung die Betrachtung der Videos in einer Geschwindigkeit zwischen 0,1 und 0,3 geschieht. Die Auflösung der Videokamera hat eine Bildrate von 50 Hz. Daraus wurde definiert, dass die Kodierung der Videos mit einem kleinen Sicherheitsabstand auf mindestens 0,5 s genau ist. Das bedeutet, dass jede Veränderung, die länger als eine halbe Sekunde anhält, wahrnehmbar und kodierbar ist. Im Gegensatz dazu muss gesagt werden, dass das Motion Tracking System mit 100 Hz kodiert und damit von dieser Seite aus eine höhere Genauigkeit möglich wäre. Hier ist die Videobeobachtung der limitierende Faktor.

Mit einem Median von 87,8% lag die Übereinstimmungsrate sehr hoch, bei 40,8% der Probanden lag eine Übereinstimmung von 90% und mehr vor. Keines der vergleichbaren Systeme weist höhere Werte auf. Einzig das in der Studie von Huang et al. (Huang und Lin, 2016) vorgestellte System stellt eine fast ähnlich gut Präzisionsrate von 85,6% dar. Allerdings gab es in der Studie die bereits oben genannten Limitationen, wie die sehr geringe Probandenzahl und die nicht durchschaubare Validierung des Systems.

Der Kappa Koeffizient ist ein statistisches Maß um die Urteilsübereinstimmung von zwei Beurteilern zu messen (McHugh, 2012). Im Bereich der Videoanalyse wird für die Kalibrierung des Auswertungsvermögens eines Beobachters der Kappa Koeffizient berechnet. Dies dient der Untersuchung über die Übereinstimmung der Ergebnisse zweier verschiedener Beobachter oder zur Überprüfung der Konstanz eines einzelnen Beobachters.

Zur Kalibrierung des Beobachters der vorliegenden Studie wurde im Vorfeld der Studie die intra-rater und die inter-rater Reliabilität zu einem erfahrenen Beobachter untersucht (siehe Kapitel 2.7). Vergleicht man diese Übereinstimmungsrate mit denen von Videobeobachtung und Motion Tracking System wird das Niveau der Übereinstimmung deutlich. Der Kappa Koeffizient für die Übereinstimmung eines erfahrenen Beobachters mit dem Beobachter dieser Studie lag bei 0,80 bzw. 0,86 (Zahnoberfläche; Sextant). Die intra-rater Werte, das heißt die Übereinstimmungsrate des Beobachters zu verschiedenen Zeitpunkten, betrug in der ersten Untersuchung 0,92 bzw. 0,91 und in der zweiten Untersuchung jeweils 0,84. Diese Werte liegen alle in dem Bereich, in dessen die Werte des Kappa-Koeffizienten der Validierungsstudie fallen.

Dies zeigt, dass sowohl die Übereinstimmung bei der Videoanalyse durch zwei verschiedene, erfahrene Beobachter, als auch die Konstanz bei der Beurteilung gleicher Videos durch einen Beobachter nicht besser als die Übereinstimmung zwischen einem

4 Diskussion

Videobeobachter und dem Motion Tracking System ist. Somit lässt sich feststellen, dass die Deckungsgleichheit der Ergebnisse zwischen Videoanalyse und Motion Tracking System ähnlich gut sind, wie innerhalb des Goldstandards der Videoanalyse. Das Motion Tracking System bietet also einen ähnlichen Standard für die Zahnputzverhaltensanalyse wie die Videoanalyse.

Die Übereinstimmung der Kodierung der Halbsekundenintervalle von Videoanalyse und Motion Tracking System war bei 3211 Intervallen von insgesamt 22757 kodierten Halbsekundenintervallen nicht korrekt. Davon waren über 99% in benachbarten Regionen. Darunter versteht man Bereiche, die nebeneinanderliegen wie zum Beispiel die Regionen „Sextant 1 vestibulär“ und „Sextant 1 okklusal“ oder die Regionen „Sextant 1 vestibulär“ und „Sextant 2 vestibulär“. Häufige Ursache dieser Diskrepanz war das Putzen der Probanden in diesen Übergangsbereichen. Dies lässt sich am einfachsten an einem Beispiel veranschaulichen.

Angenommen ein Proband putzt zunächst den „Sextant 1 vestibulär“. Daraufhin putzt er fünf Sekunden lang mittels horizontalem Schrubben die vestibulären Oberflächen in der Region der Prämolaren und des Eckzahns oben rechts (Zahn 15 - 13). Die genaue Begrenzung der Sextanten 1 und 2 liegt zwischen Zahn 13 und 14. Das Motion Tracking System ortet in einer halben Sekunde 50 mal die Position der Zahnbürste (100 Hz) und bestimmt damit das geputzte Areal. Dadurch wird jedes Mal ein Wechsel zwischen zwei Arealen vom System erkannt. Das von den 50 Bestimmungen am häufigsten vorkommende Areal wurde dann für dieses Halbsekundenintervall festgelegt. In dem Beispiel wäre es dann „Sextant 2 vestibulär“.

Im Gegensatz dazu geht der Untersucher von seiner subjektiven Wahrnehmung aus. Dieser sieht, dass der Proband zunächst nur den Sextant 1 geputzt hat. In den darauffolgenden fünf Sekunden putzt er hauptsächlich den Sextant 1 (Zahn 15 und 14) vestibulär. Auch wenn die Zahnbürste auch immer wieder den Zahn 13 und gegebenenfalls auch mal den Zahn 12 berührt (Sextant 2), folgt daraus aufgrund der Trägheit der Beobachtung nicht unbedingt eine Kodierung in einen Sextantenwechsel. Dagegen reichen aber schon 0,26 s innerhalb einer halben Sekunde für das Motion Tracking System aus, in denen sich die Zahnbürste in dem Areal „Sextant 2 vestibulär“ befindet, so dass es dieses andere Areal kodiert.

Das ist ein wesentlicher Grund für die Summe der nicht übereinstimmenden Halbsekundenintervalle. Ein Untersucher sieht aufgrund seiner subjektiven Wahrnehmung keine Notwendigkeit für eine Änderung der Kodierung, während das

4 Diskussion

Motion Tracking System durch seine hohe Anzahl an Ortungen eine genaue zeitliche Mehrheit messen kann.

Dieses Fehlermodell kann sogar noch durch einen Putzbereich von vier Arealen potenziert werden. Putzt ein Proband in der Prämolaren-/ Eckzahnregion vestibulär bei geschlossenen Kiefern Ober- und Unterkiefer gemeinsam, sind es vier verschiedene Areale, die das Motion Tracking System ortet. Ein Beobachter kodiert jedoch eher nur den kombinierten Sextant 1 und 6, da er subjektiv immer nur ganz kurze, nicht zu kodierende Berührungen der anderen Sextanten wahrnimmt.

Die restlichen 24 nicht übereinstimmend kodierten Halbsekundenintervalle betrafen nicht benachbarte Regionen. Dadurch, dass keine fehlerhafte Kombination zweier Areale eine Halbsekundenintervallanzahl von 5 übersteigt (vergleiche Heatmap, Abbildung 26), ist hierbei nicht von einem prinzipiellen Fehler auszugehen. Ursachen dafür sind vermutlich Messfehler des Motion Tracking Systems oder eine geringfügig zu langsame Kodierung bei der Videobeobachtung nach einem Arealwechsel. Da dies aber nur etwa 0,1% der Zeit ausmacht, sind diese Fehlkodierungen jedoch vernachlässigbar.

Die Übereinstimmung der beiden Systeme war bei manuellen Putzern etwas höher als bei elektrischen Putzern. Da manuelle Putzer selber aktiv putzen müssen und nicht, wie beim passiven Putzen mit der elektrischen Zahnbürste nur die einzelnen Areale ansteuern, könnte vermutet werden, dass manuelle Putzer sich selber mehr im Spiegel kontrollieren als elektrische Putzer. Dadurch haben sie gegebenenfalls den Mund deutlicher geöffnet, was es vereinfachen könnte, die richtige Position der Zahnbürste zu kodieren.

Weiterhin fand sich ein geringer Unterschied in der Übereinstimmungsrate der Sextanten (91,1%) zu den drei Zahnflächen (vestibulär, okklusal, oral) (89,9%). Die Analyse des motorischen Verhaltens auf einem zweidimensionalen Bildschirm durch einen menschlichen Untersucher unterscheidet sich jedoch wesentlich von der Verfolgung der Bewegungen eines Objekts in einem dreidimensionalen Raum durch eine Maschine.

Während die menschliche Beobachtung leicht situativ reagieren kann, erfordert die maschinelle Beobachtung feste Einstellungen und Algorithmen. Hinsichtlich der Identifizierung der unterschiedlichen Sextanten stellt dies für das Motion Tracking System nur ein geringes Problem dar. Jedoch stellte es bei der Unterscheidung zwischen Okklusal- und Glattflächen eine bedeutende Herausforderung dar.

4 Diskussion

Bei der Videobeobachtung wurde die Zahnfläche kodiert, auf die der Großteil der Zahnbürstenborsten wirkte. Dies ist jedoch ein Parameter, der nicht auf das Motion Tracking System übertragen werden konnte. Daher wurden Vorversuche durchgeführt, um einen Schwellenwinkel der Zahnbürste relativ zum Zahnbogen zu finden, der am besten zu den Ergebnissen der Videobeobachtungen passte. Schließlich stellte sich heraus, dass ein Winkel von 20° der Zahnbürste relativ zur Kauebene geeignet war, um das orale und vestibuläre Putzen vom okklusalen Putzen der Seitenzähne zu unterscheiden. Für die Frontzähne eignete sich ein Winkel von 13°, um das Zähneputzen oral und vestibulär zu inzisal zu unterscheiden.

Bei der Untersuchung der Belastbarkeit der Ergebnisse wurde festgestellt, dass Änderungen des Winkels von etwa 2-3° insgesamt keinen großen Einfluss haben. Es lässt sich also festhalten, dass bereits optimale Winkel gewählt wurden und es hier kein wesentliches Potenzial für weitere Verbesserungen gibt. Dies ist möglicherweise auf die Variation der von einem menschlichen Beobachter subjektiv angewendeten Schwellenwerte zurückzuführen, während der Schwellenwert im Motion Tracking System fest und konsistent angewendet wird.

Da die Unterscheidung zwischen Putzen von Okklusal- und Glattflächen immer noch eine häufige Ursache für Fehlpaarungen war, sollten weitere Anstrengungen zur Verfeinerung des Systems angestrebt werden.

4.2.2 Putzverhalten

Es wurde bereits häufig gezeigt, dass die Zahnputzdauer ein fundamentaler Faktor suffizienter Mundhygiene ist (Muller-Bolla, 2011, Creeth et al., 2009, dos Santos et al., 2011). In einer Studie wurde berichtet, dass die Dauer des Zähneputzens den größten Effekt auf die Plaqueentfernung haben soll (Honkala et al., 1986). Dennoch gibt es unterschiedliche Angaben über die richtige Putzdauer. Die allgemein empfohlenen Zahnputzzeiten variieren zwischen 120 s (ADA, 2019) und 180 s (Renggli H.H., 1984). Eine weitere Studie zeigte, dass der Haupteffekt des Putzens auf die Plaquereduktion nach 30 s Putzzeit pro Quadrant erreicht wurde (dies entspricht einer Gesamtputzdauer von 120 s) (Van der Weijden et al., 1993).

Die durchschnittliche Putzzeit in der vorliegenden Studie lag weit über den empfohlenen zwei Minuten (VO: 137,6 s / MT: 141,3 s). Im Vergleich mit den älteren Videobeobachtungsstudien aus den 1970er Jahren (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984, Macgregor und Rugg-Gunn, 1985) haben sich die

4 Diskussion

Zeiten wesentlich verlängert und betragen teilweise gut das Dreifache der damals gemessenen Putzzeiten. Sie bewegen sich in einem ähnlichen Bereich wie die Putzzeiten aus den aktuelleren Studien um die Autorengruppe von Ganss et al. (Ganss et al., 2009, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015). Insgesamt lässt sich eine deutliche Zunahme der Zahnputzdauer über die letzten Jahre feststellen. Ursache dafür kann die zunehmende Akzeptanz der Wichtigkeit von prophylaktischen Maßnahmen zur Kariesvorbeugung sein.

Die geringste Putzzeit eines Probanden in der vorliegenden Studie betrug knapp unter einer Minute während die längste 6,5 Minuten betrug.

Bei der Unterteilung der Putzzeiten auf die Zahnbürstenart fällt auf, dass die Ergebnisse ziemlich genau denen der bisher einzig vorhandenen Observationsstudie zu elektrischen Zahnbürsten (Ganss et al., 2018), entspricht. Bei beiden Studien betrug die durchschnittliche Putzzeit mit der elektrischer Zahnbürste 145 s. Bei der manuellen Zahnbürste gab es einen geringfügigen Unterschied von 2 Sekunden zwischen den beiden Studien. Dies unterstreicht die Repräsentativität der in der vorliegenden Studie teilgenommenen Probanden und auch der genutzten Methoden.

Die absolute Zahnputzdauer mag zwar mit der Reduktion der Plaque korrelieren, jedoch lässt sich daran nicht erkennen, inwiefern der Proband jedes Areal sorgfältig geputzt hat. Probanden nutzen wesentlich mehr Zeit zum Putzen der vestibulären als der oralen Zahnflächen, oder lassen vor allem letztere sogar ganz aus. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die Erkenntnisse älterer Studien (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979b, Macgregor und Rugg-Gunn, 1984, Ganss et al., 2009, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015). Außerdem passt dies zu den Ergebnissen von Cumming & Loe aus dem Jahr 1973. Demzufolge ist in den oralen Bereichen des Zahnbogens mehr Plaque zu finden, als in den vestibulären (Cumming und Loe, 1973).

Sowohl die Ergebnisse der Videobeobachtung als auch die des Motion Tracking Systems belegen die ungleiche Zeitverteilung beim Putzen der verschiedenen Areale des Zahnbogens. In Anbetracht der Tatsache, dass Okklusalfächen der Selbstreinigung unterliegen und daher in der Regel nicht zu den Plaqueretentionsstellen gehören, ist der Befund, dass der geringste Anteil der Putzzeit auf die okklusalen/inzisalen Bereiche entfielen, ein erfreuliches Ergebnis. Dennoch ist anhand der Abbildung 27 deutlich die unausgeglichene Verteilung der Zeiten zu Gunsten der vestibulären Flächen und zu Ungunsten der oralen Flächen erkennbar.

4 Diskussion

4.2.3 Übereinstimmung der beiden Systeme in Session 2

Bei Betrachtung der Übereinstimmungsrate der Ergebnisse von Videoanalyse und Motion Tracking System der 46 Probanden, die zusätzlich am Instruktionsteil der Studie teilnahmen, fällt eine kleine Differenz zwischen der Baselineuntersuchung und der Instruktionsuntersuchung auf. Während die Übereinstimmungsrate der 46 Probanden zur Baselineuntersuchung einen ähnlichen Wert erreichte wie die gesamte Untersuchungsgruppe, war die Übereinstimmungsrate im zweiten Durchgang etwas geringer. Über den Hintergrund dieses Befundes kann jedoch nur spekuliert werden.

Da das Zeigen des Instruktionsvideos und die zweite Putzsesssion direkt nach der ersten Putzsesssion durchgeführt wurden, behielten die Probanden den Kopftracker auf und es fand kein erneuter Teachingprozess statt, in dem es zu Fehlern hätte kommen können. Zudem wurden auch die Kameras, sowohl die des Motion Tracking Systems, als auch die der Videoanalyse, nicht bewegt. Die Probanden wurden gebeten, sich während der gesamten Zeit vorsichtig zu bewegen, so dass der Kopftracker nicht verrutschen sollte. Selbstverständlich kann es trotzdem zu minimalen Bewegungen des Kopftrackers gekommen sein. Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass dies zu größeren Fehlern geführt hat.

Der Grund für die Abweichung könnte aber auch in der Videoanalyse zu suchen sein. Der Beobachter hatte persönlich das Instruktionsvideo im Vorfeld der Durchführung der Studie erstellt und kannte die Zahnputzsystematik nach Rateitschak (Rateitschak et al., 2004) sehr gut. So kann vermutet werden, dass es bei der Analyse der Videos zu einem Bias kam. Trotz der Begutachtung der Videos in Slowmotion Geschwindigkeit, war es nicht immer eindeutig, welches Areal der Hauptteil der Borsten der Zahnbürste berührte. In diesen Fällen tendierte der Beobachter möglicherweise dann eher zu dem Areal, welches nach Definition der Systematik in dem Moment das richtige war.

Zusammenfassend lässt sich jedoch feststellen, dass das Motion Tracking System trotz der etwas geringeren Übereinstimmung zur Videobeobachtung in der Lage ist, Veränderung im Putzverhalten nach einer Instruktion darzustellen.

4.2.4 Erfolg der Mundhygieneinstruktion

Es gibt einige Studien, die den Erfolg von Mundhygienestudien anhand der Plaquelevel der Probanden bewerteten (Axelsson und Lindhe, 1978, Axelsson und Lindhe, 1981, Axelsson et al., 2004, Glavind et al., 1981, Glavind und Zeuner, 1986, Renton-Harper et

4 Diskussion

al., 2001). Inwiefern diese Probanden die instruierte Technik oder Systematik tatsächlich übernehmen wurde bisher wenig untersucht. Die in der vorliegenden Studie gezeigte Systematik zielt vor allem darauf ab, den Probanden deutlich zu machen, dass alle Areale der Zähne geputzt werden müssen und dies zeitlich gleichmäßig, mit möglichst wenigen Wechseln zwischen den Arealen, stattfinden sollte.

Anhand der Ergebnisse lässt sich erkennen, dass die Probanden zu Beginn einen Großteil der Zeit für das Putzen der Vestibulärflächen verwendeten. Vor allem die vestibuläre Frontzahnregion, die die Probanden gut im Spiegel sehen konnten und auf die sie vermutlich aus ästhetischen Gründen viel Wert legten, wurde lange geputzt. Dies passt zu den bekannten und in anderen Studien schon ausführlich beschriebenen Ergebnissen.

Durch die Instruktion änderte sich die zeitliche Verteilung und die Zeitspannen, die für die einzelnen Areale aufgebracht wurden, näherten sich deutlich an. Während sich die Zeiten für vestibuläres Putzen stark verkürzten, verlängerten sich diese für orales und okklusales Putzen.

Wie schon in den oben genannten Studien beschrieben, scheint es keinen eindeutigen Konsens zur Frage der überlegenden Instruktionmethode zu geben (Addy et al., 1999, Glavind et al., 1981, Renton-Harper et al., 1999). Dennoch ließ sich ein geringer Vorteil bei der Methode der Videoinstruktion vermuten. Unsere Ergebnisse können die Frage nach der richtigen Instruktionmethode nicht beantworten. Dies war auch nicht das Ziel der Studie. Aber sie zeigen, dass die Nutzung einer Videoinstruktion zur Anlernung einer Zahnputzsystematik sehr gut funktioniert.

Generell scheint diese Methodik auch in anderen Bereichen vorteilhaft zu sein. Ein Beispiel dafür sind die zahlreichen Instruktionvideos auf der online Videoplattform YouTube (www.youtube.com), welche dort auch als „Tutorial“ bezeichnet werden. Hintergrund ist die Tatsache, dass die Form der Bewegung demonstriert wird und die gesprochene Instruktion teilt die neue Information dem Probanden mit (Hodges und Franks, 2002). Im Gegensatz dazu muss bei reiner verbaler Instruktion der Proband sich zunächst die Bewegung vorstellen, um sie erlernen zu können (Annett, 1996).

Schlüter et al. (Schlueter et al., 2010) fanden in ihrer Untersuchung heraus, dass eine zweiwöchige Übungsphase in Bezug auf die Zahnputzsystematik keinen Effekt auf die Performance der Probanden hatte, im Gegensatz zu der Gruppe, die nur ein einziges Mal instruiert wurde (jeweils 36%). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie keine weitere Kontrolle des Übungserfolgs durchgeführt. Die Autoren regten jedoch

4 Diskussion

Langzeitstudien über sechs Monate (oder länger) an. Diese könnten mehr Informationen hinsichtlich einer dauerhaften Implementierung von Putzabfolgen bringen (Schlueter et al., 2010).

Mithilfe des Motion Tracking Systems könnte eine solche Langzeitkontrolle des Erfolgs von Instruktionen in Zukunft wesentlich zeitsparender und mit bedeutend mehr Putzdurchgängen durchgeführt werden.

Die Nutzung von Langzeitlernprozessen wird von Neurowissenschaftlern als Vorteil angesehen. Wie aus einem Artikel aus der Neurowissenschaft hervorgeht, ist ein Lernprozess, der aus langen Intervallen zwischen den Lerneinheiten besteht („spaced learning“), wesentlich effektiver als die Konzentration der Lerneinheiten auf einen einzigen Moment („massed learning“) (Smolen et al., 2016). Dies gilt insbesondere auch für motorische Lernprozesse (Shea et al., 2000), zu dem das Zähneputzen gehört.

4.2.5 TSI-Daten

4.2.5.1 TSI in Session 1

Neben den bereits aufgeführten Punkten sollte in dieser klinischen Studie der Grad des systematischen Zähneputzens anhand des TSI-Index (Schlueter et al., 2018) bestimmt werden. In dem Index wird Zähneputzen als systematisch angesehen, wenn alle Areale der Dentition erreicht werden, die Putzzeit gleichmäßig in allen Arealen verteilt wird und häufige Wechsel zwischen den Arealen vermieden werden. Dabei zeigten sich zwischen den Ergebnissen der Videoanalyse und denen des Motion Tracking Systems deutliche Unterschiede. Die Median Werte des TSI nach Berechnung durch die Ergebnisse der Videoanalyse zur Baseline Untersuchung (manuell = 1,26 / elektrisch = 1,34) entsprechen ziemlich genau denen der Baseline Untersuchung aus der Veröffentlichung von Schlüter et al. (COMP-v/o: 1,30 / CLIN-v/o: Kontrollgruppe 1,15; Instruktionsgruppe: 1,25) (Schlueter et al., 2018). Auch die Einzelwerte von Isochronizität und Konsistenz ähneln sich sehr.

Dennoch ist dies noch von einer vollständig durchgeführten Systematik entfernt. Aufgrund der Tatsache, dass es 16 zu putzende Areale gibt, gäbe es im Idealfall nur 15 Wechsel zwischen den Arealen und dementsprechend nur 15 Ereignisse. Doch in der Realität liegen die Ereignisanzahlen deutlich höher. Dies beeinflusst negativ die Werte der Konsistenz. Im Durchschnitt sind die Werte der Isochronizität etwas besser als die der Konsistenz. Das zeigt, dass die Probanden habituell mehr darauf achten, die Putzzeit gleichmäßig auf die zu putzenden Areale aufzuteilen, als häufige Wechsel zwischen den Arealen zu vermeiden.

4 Diskussion

Im Gegensatz dazu ergab die Errechnung des TSI aus der Verhaltensanalyse des Motion Tracking Systems andere Resultate. Während die Werte für das elektrische Putzen nur eine geringe Differenz aufweisen (VB: 1,34 / MT: 1,24), ist der Unterschied bei den Nutzern einer manuellen Zahnbürste deutlich (VB: 1,26 / MT: 0,80). Dies entstammt vor allem aus einem großen Unterschied in der Anzahl der Ereignisse und damit in dem Wert der Konsistenz, während die Werte der Isochronizität ähnlich bleiben. Aufgrund der hohen Auflösung von 100 Ortungen pro Sekunde (100 Hz) und seines strikten Algorithmus ist das Motion Tracking System in der Lage, nahezu jeden Arealwechsel wahrzunehmen, sei er auch noch so kurzzeitig. So kann es einen vorübergehenden Arealwechsel von theoretisch 0,01 Sekunden wahrnehmen. Dies ist ein Grund für die Differenz in der Anzahl der Ereignisse.

Da der Unterschied aber auch nach der Aggregation der Daten in mit der Videoanalyse vergleichbare Intervalle bestehen blieb, kann dies nur zum Teil die Ursache der Abweichung sein.

Ein weiterer Grund wäre, wie in Kapitel 4.2.1 bereits beschrieben, die subjektive Wahrnehmung des menschlichen Beobachters. Während sich beim Putzen in Übergangsregionen der Algorithmus des Motion Tracking Systems an definierte Regeln hält, interpretiert der Beobachter das Verhalten gegebenenfalls und entscheidet nicht jedes noch so kurzzeitige Überschreiten der Arealmarkierung zu kodieren. Dies führt somit zu einer Differenz in der Anzahl der Ereignisse. Da laut Definition die Anzahl der Ereignisse den Wert der Konsistenz beeinflusst, sind bei diesem Wert deutliche Unterschiede zwischen Motion Tracking System und Videoanalyse zu erkennen.

4.2.5.2 TSI in Session 2

Wie bereits oben beschrieben (siehe Kapitel 4.2.4) wurde die instruierte Zahnputzsystematik in der vorliegenden Studie von vielen Probanden gut erlernt und wiedergegeben. Der Erfolg der Instruktion wurde durch die Steigerungen der TSI-Werte deutlich.

Die durchschnittlichen TSI-Werte der Probanden der vorliegenden Studie nach der Instruktion lagen knapp unter dem Wert, der bereits oben aus der Studie von Schlüter et al. (Schlueter et al., 2018) genannt wurde ($1,74 \pm 0,09$). Der Wert aus der Studie von Schlüter et al. bildete den Durchschnittswert derjenigen Probanden, die die Systematik vollständig korrekt übernahmen. Es war zu erwarten, dass die Durchschnittswerte der vorliegenden Studie (1,59 (VB); 1,40 (MT)) etwas darunterlagen, denn diese Werte bilden den Durchschnitt aller Probanden, die am zweiten Durchgang der vorliegenden

4 Diskussion

Studie teilnahmen. Darunter gab es Probanden, die die Systematik vollständig korrekt ausführten und Probanden, die die Systematik nur teilweise korrekt ausführten.

Die größte Verbesserung zeigte sich bei der Auswertung durch das Motion Tracking System der manuellen Putzer (Baseline = 0,93, nach Instruktion = 1,34). Dies begründet sich vor allem durch die deutliche Verringerung der Anzahl an Ereignissen und der damit zusammenhängenden Zunahme des Konsistenzwertes. Der Wert der Isochronizität lag schon vor der Instruktion etwas höher als der Wert der Konsistenz und veränderte sich nur gering, nachdem die Probanden die Instruktion erhielten. Ein Grund dafür könnte das Instruktionsvideo sein. Darin wurde zwar ein zeitlich gleichmäßiges Putzen aller Areale instruiert, mehr Bedeutung wurde aber dem Einhalten der richtigen Reihenfolge, und damit einer geringeren Anzahl an Wechslen zwischen den Arealen, beigemessen. Dies scheint sich in der Entwicklung der Werte widerzuspiegeln.

Um eine ähnliche Steigerungsrate bei der Isochronizität zu erhalten, wie bei der Konsistenz, sollte in zukünftigen Studien und Instruktionen der Proband noch mehr auf die Wichtigkeit der gleichmäßigen Putzlänge aller Areale aufmerksam gemacht werden.

4.4 Fazit und Ausblick

Die Verwendung eines Motion Tracking Systems ist eine neue Methode zur Analyse von Zahnputzverhalten. Die Videoanalyse und das Motion Tracking System sind in der Nutzung sehr verschieden, die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen dennoch eindeutig, dass beide Methoden Zahnputzverhalten gleichermaßen abbilden.

Die Ergebnisse für die Position der Zahnbürste pro Zeitpunkt, die Gesamtputzzeit und die Putzzeit pro Areal sind sehr ähnlich. Bei der Messung durch das Motion Tracking System sind die Anzahl an Wechslen zwischen den Arealen des Zahnbogens zwar höher als bei der Videoanalyse, jedoch ist die Korrelation der Werte zwischen den beiden Methoden hoch. Durch die höher gemessene Anzahl an Wechslen durch das Motion Tracking System sind die Werte des TSI niedriger, im Vergleich zum TSI nach der Instruktion jedoch in gleichem Verhältnis zu den Ergebnissen der Videoanalyse.

Motion Tracking

- ist ein angemessenes Mittel zur Ermittlung der Position der Zahnbürste im Verhältnis zur Dentition
- ist in der Lage das Maß an Zahnputzsystematik zu ermitteln
- ist in der Lage Veränderungen nach einer Instruktion zu messen

4 Diskussion

- kann sowohl mit manueller, als auch mit elektrischer Zahnbürste verwendet werden.

Während die Videoanalyse eine sehr zeitaufwendige Analyseform darstellt, bringt das Motion Tracking System neben der deutlichen Zeitersparnis in der Ausführung, viele weitere Vorteile. So ist es möglich, auch bei geschlossenem Mund des Probanden das Putzverhalten richtig zu analysieren. Aufgrund der zeitsparenden Analyse bietet es die Möglichkeit Studien mit wesentlich höheren Probandenanzahl durchzuführen und die Durchführung von Langzeitstudien wird vereinfacht. Die digitale Struktur des Systems ermöglicht eine genaue Analyse und Beschreibung des Putzverhaltens sofort nach der Aufzeichnung, so dass dies in den klinischen Alltag eingebunden werden kann. Somit kann es auch im Rahmen von Prophylaxesitzungen zur Motivation der Probanden dienen.

Durch die fortlaufende Weiterentwicklung des Systems wird es in Zukunft möglich sein, die Unterteilung des Gebisses noch kleiner zu gestalten und für jeden einzelnen Zahn die Putzzeit der einzelnen Oberflächen zu berechnen. Im Rahmen der Videoanalyse ist dies nicht durchführbar. Zusätzlich wird es durch Fortschritte in Software und Design noch mehr Möglichkeiten bei der Verwendung im klinischen Alltag geben.

Neben Putzort und Putzsystematik kann in der Videoanalyse auch die Putztechnik analysiert werden. Selbst wenn die Putzsystematik wesentlich wichtiger ist als die Putztechnik, wäre es wünschenswert, wenn das Motion Tracking System auch diese auswerten könnte. Für einen menschlichen Beobachter ist es einfach, verschiedene dreidimensionale Bewegungen zu bestimmten Putztechniken zu kategorisieren. Allerdings stellt dies für festgelegte Algorithmen ein noch nicht vollständig überwindbares Hindernis dar.

In diesem Zusammenhang wurde bereits in einer anderen Studie maschinelles Lernen anfänglich verwendet, um ein als korrekt definiertes Zahnputzverhalten von allen anderen Zahnbürstenverhalten zu unterscheiden (Huang und Lin, 2016). Dies ist jedoch sicherlich noch ein Feld für zukünftige Forschung und die Weiterentwicklung des Motion Tracking Systems.

5 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden deskriptiven Beobachtungsstudie war es, eine neue, Computer-unterstützte Technik (Motion Tracking System (MT)) anhand einer etablierten und als Goldstandard geltenden Technik (Videobeobachtung (VB)) zur Analyse des habituellen Zahnputzverhaltens zu validieren. Es wurden die Auswertungen des Putzverhaltens beider Systeme von 103 Probanden miteinander verglichen.

Alle Probanden putzten anhand ihrer habituellen Gewohnheiten die Zähne, je nach Vorliebe mit elektrischer ($n = 52$) oder manueller ($n = 51$) Zahnbürste. Dabei wurden sie für die Videoauswertung mit zwei Videokameras gefilmt. Währenddessen wurden durchgehend die Positionen zweier Infrarottracker, die an der Zahnbürste und an einem Helm des Probanden befestigt waren, von sieben Infrarotkameras bestimmt.

Die Analyse der Videosequenzen wurde mit der Verhaltensanalysesoftware INTERACT 15 durchgeführt. Die erfassten Positionsdaten des Motion Tracking Systems wurden von einem Algorithmus ausgewertet. Bei beiden Verfahren wurden die Bürstenpositionen, die Putzdauer und ein systematischer Zahnputz Index (TSI Index) bestimmt.

46 Probanden nahmen zusätzlich an einem zweiten Teil der Studie teil. Dieser umfasste eine Videoinstruktion zu systematischem Zähneputzen und daraufhin ein erneutes Zähneputzen. Es wurden die gleichen Parameter untersucht.

Es zeigte sich eine Übereinstimmung der Zahnputzareale bei beiden Systemen von 87,8%. In der Literatur lässt sich bisher kein validiertes System finden, welches ähnlich gute Ergebnisse liefert. Die durchschnittliche Putzzeit lag weit über den empfohlenen zwei Minuten (Jordan et al., 2016) und bewegt sich im Bereich aktueller Studien (Ganss et al., 2009, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015). Wie auch in früheren Studien (Rugg-Gunn und Macgregor, 1978, Macgregor und Rugg-Gunn, 1979a), wurde mehr Zeit zum Putzen vestibulärer Flächen als oraler Flächen verwendet. Deutliche Unterschiede zwischen den beiden Beobachtungsmethoden zeigte sich bei der Erhebung des TSI Index (VB: 1,31; MT: 1,09). Während die Ergebnisse der VB der Literatur (Schlueter et al., 2018) entsprechen, kann die hohe Auflösung von 100 Ortungen pro Sekunde (100 Hz) des MT als Ursache der geringeren TSI Werte betrachtet werden. Der Erfolg der Videoinstruktion wurde nicht nur anhand der Zeitspannen für die einzelnen Areale (vestibulär versus oral), die sich stark annäherten, ersichtlich, sondern auch anhand der TSI Werte, die sich deutlich steigerten.

Das Motion Tracking System ist eine neue Methode, die gleichermaßen Zahnputzverhalten abbildet, wie die bewehrte Methode der Videoanalyse. Im Gegensatz dazu bietet sie Vorteile, wie einen automatisierten Ablauf und die sofortige Bereitstellung der Ergebnisse.

6 Summary

The aim of the present descriptive observation study was to validate a new, computer-assisted technology (Motion Tracking System (MT)) based on an established technology (video observation (VB)) to analyse the habitual toothbrushing behaviour. The evaluations of both systems of 103 subjects were compared.

Using their habitual habits, all subjects brushed their teeth, depending on their preference with electrical (n = 52) or manual (n = 51) toothbrush. They were filmed with two video cameras for the video evaluation. In the meantime, the positions of two infrared trackers, which were attached to the toothbrush and a helmet of the subject, were determined by seven infrared cameras.

The analysis of the video sequences was carried out with the professional behaviour analysis software INTERACT 15. The recorded position data of the Motion Tracking System were evaluated by an algorithm. In both procedures, the toothbrush positions, the brushing duration and the Systematic Toothbrushing Index (TSI Index) were determined.

46 subjects also took part in a second part of the study. This included a video instruction for systematic toothbrushing and another toothbrushing session. The same parameters were examined.

The median proportion of identically classified toothbrush positions in both systems was 87.8%. So far, there is no validated system in the literature, which delivers similarly good results. The average brushing time was far above the recommended two minutes (Jordan et al., 2016) and is in the field of current studies (Ganss et al., 2009, Ganss et al., 2018, Winterfeld et al., 2015). As in previous studies (Rugg-Gunn and MacGregor, 1978, MacGregor and Rugg-Gunn, 1979a), more time was used to clean vestibular areas than oral areas.

There were clear differences between the two observation methods when the TSI Index was evaluated (VB: 1.31; MT: 1.09). While the results of the VB correspond to the literature (Schlueter et al., 2018), the high resolution of 100 locations per second (100 Hz) of the MT can be regarded as the cause of the lower TSI values. The success of the video instruction was not only evident on the basis of the time spans for the individual areas (vestibular versus oral), which equalised after instruction, but also on the basis of the TSI values, that increased significantly.

The Motion Tracking System is a new, suitable tool, that observes toothbrushing behaviour as good as the established method of video analysis. In contrast, it offers advantages, such as an automated process and the immediate provision of the results.

7 Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
BL	Baseline
CCD	charge-coupled device
COG	control group
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DMF-S	Decayed Missing Filled Surface Index
DMF-T	Decayed Missing Filled Tooth Index
DTS	smart digital toothbrush monitoring and training system
DTSG	digital toothbrush monitoring and training system group
fps	frames per second
GI	Gingiva Index
IP	Individualprophylaxe
IT	Informationstechnik
LED	Light Emitting Diodes
MBT	Modifizierte Bass Technik
MT	Motion Tracking System
PI	Plaque Index
PSI	Parodontaler Screening Index
P&G	Procter and Gamble
T-QHI	nach Turesky modifizierter Quigley-Hein Plaque Index
TSI	Toothbrushing Systematic Index
T1	Untersuchungszeitpunkt 1
T2	Untersuchungszeitpunkt 2
T3	Untersuchungszeitpunkt 3
USB	Universal Serial Bus
VB	Videobeobachtung

8 Literaturverzeichnis

- AAS, J. A., PASTER, B. J., STOKES, L. N., OLSEN, I. & DEWHIRST, F. E. 2005. Defining the normal bacterial flora of the oral cavity. *J Clin Microbiol*, 43, 5721-32.
- ADA, THE AMERICAN DENTAL ASSOCIATION 2019. *Oral Health Topics - Toothbrushes* [Online]. Aufrufbar: <https://www.ada.org/resources/research/science-and-research-institute/oral-health-topics/toothbrushes> [Zugriffsdatum: 05.02.2022].
- ADDY, M., RENTON-HARPER, P., WARREN, P. & NEWCOMBE, R. G. 1999. An evaluation of video instruction for an electric toothbrush. Comparative single-brushing cross-over study. *J Clin Periodontol*, 26, 289-93.
- ADDY, M. A., P.; LANG, NIKLAUS P.; ATTSTROM, ROLF; LOE, HARALD; 1998. Consensus Report of Group A. *Proceedings of the European Workshop on Mechanical Plaque Control*.
- ANNETT, J. 1996. On knowing how to do things: a theory of motor imagery. *Brain Res Cogn Brain Res*, 3, 65-9.
- AXELSSON, P. & LINDHE, J. 1978. Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. *J Clin Periodontol*, 5, 133-51.
- AXELSSON, P. & LINDHE, J. 1981. Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. Results after 6 years. *J Clin Periodontol*, 8, 239-48.
- AXELSSON, P., NYSTROM, B. & LINDHE, J. 2004. c. *J Clin Periodontol*, 31, 749-57.
- BAKEMAN, R. & GOTTMAN, J. M. 1997. *Observing Interaction: An Introduction to Sequential Analysis*. 2nd edition ed. Cambridge, United Kingdom u.a.
- BAKEMAN, R., QUERA, V. & GNISCI, A. 2009. Observer agreement for timed-event sequential data: a comparison of time-based and event-based algorithms. *Behav Res Methods*, 41, 137-147.
- BEVÖLKERUNGSFORSCHUNG, B. F. 2020. *Durchschnittsalter der Bevölkerung in Deutschland (1871-2018)* [Online]. Aufrufbar: <https://www.bib.bund.de/Permalink.html?id=10208850> [Zugriffsdatum: 02.04.2020].
- COHEN, J. 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- COSTERTON, J. W. 1999. Introduction to biofilm. *Int J Antimicrob Agents*, 11, 217-21; discussion 237-9.
- CREETH, J. E., GALLAGHER, A., SOWINSKI, J., BOWMAN, J., BARRETT, K., LOWE, S., PATEL, K. & BOSMA, M. L. 2009. The effect of brushing time and dentifrice on dental plaque removal in vivo. *J Dent Hyg*, 83, 111-6.
- CUMMING, B. R. & LOE, H. 1973. Consistency of plaque distribution in individuals without special home care instruction. *J Periodontal Res*, 8, 94-100.
- DARVEAU, R. P., TANNER, A. & PAGE, R. C. 1997. The microbial challenge in periodontitis. *Periodontol 2000*, 14, 12-32.
- DAVIES, R. M., DAVIES, G. M. & ELLWOOD, R. P. 2003. Prevention. Part 4: Toothbrushing: what advice should be given to patients? *Br Dent J*, 195, 135-41.
- DAWES, C. 2008. Salivary flow patterns and the health of hard and soft oral tissues. *J Am Dent Assoc*, 139 Suppl, 18S-24S.
- DESTATIS, S. B. 2020. *Bevölkerungsstand* [Online]. destatis.de. Aufrufbar: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html [Zugriffsdatum: 20.04.2020].
- DGZ & DGZMK. 2016. *Kariesprophylaxe bei bleibenden Zähnen – grundlegende Empfehlungen (S2k)* [Online]. awmf.org: Deutsche Gesellschaft für

- Zahnerhaltung (DGZ) Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK). Aufrufbar: <http://www.dgzmk.de/zahnaerzte/wissenschaftsforschung/leitlinien/details/document/kariesprophylaxe-bei-bleibenden-zaehnen-grundlegende-empfehlungen-s2k.html> [Zugriffsdatum: 19.04.2019].
- DÖRFER, C. E., SCHIFFNER, U. & STAEHLE, H. J. 2007. Häusliche mechanische Zahn- und Mundpflege - Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 62, 616-620.
- DOS SANTOS, A. P., NADANOVSKY, P. & DE OLIVEIRA, B. H. 2011. Inconsistencies in recommendations on oral hygiene practices for children by professional dental and paediatric organisations in ten countries. *Int J Paediatr Dent*, 21, 223-31.
- DUAN, Y., FISHER, E., MALAMUD, D., GOLUB, E. & DEMUTH, D. R. 1994. Calcium-binding properties of SSP-5, the *Streptococcus gordonii* M5 receptor for salivary agglutinin. *Infect Immun*, 62, 5220-6.
- ERNST, C. P., WILLERSHAUSEN, B., DRIESEN, G., WARREN, P. R. & HILFINGER, P. 1997. A robot system for evaluating plaque removal efficiency of toothbrushes in vitro. *Quintessence Int*, 28, 441-5.
- FEIL, P. H., GRAUER, J. S., GADBURY-AMYOT, C. C., KULA, K. & MCCUNNIFF, M. D. 2002. Intentional use of the Hawthorne effect to improve oral hygiene compliance in orthodontic patients. *J Dent Educ*, 66, 1129-35.
- GANSS, C., DURAN, R., WINTERFELD, T. & SCHLUETER, N. 2018. Tooth brushing motion patterns with manual and powered toothbrushes-a randomised video observation study. *Clin Oral Investig*, 22, 715-720.
- GANSS, C., KLEIN, P., GIESE-KRAFT, K. & MEYNER, M. 2020. Validation of motion tracking as tool for observational toothbrushing studies. *PLoS One*, 15, e0244678.
- GANSS, C., SCHLUETER, N., PREISS, S. & KLIMEK, J. 2009. Tooth brushing habits in uninstructed adults--frequency, technique, duration and force. *Clin Oral Investig*, 13, 203-8.
- GIAVARINA, D. 2015. Understanding Bland Altman analysis. *Biochem Med (Zagreb)*, 25, 141-51.
- GIBBONS, R. J., HAY, D. I. & SCHLESINGER, D. H. 1991. Delineation of a segment of adsorbed salivary acidic proline-rich proteins which promotes adhesion of *Streptococcus gordonii* to apatitic surfaces. *Infect Immun*, 59, 2948-54.
- GIBBONS, R. J. & NYGAARD, M. 1968. Synthesis of insoluble dextran and its significance in the formation of gelatinous deposits by plaque-forming streptococci. *Arch Oral Biol*, 13, 1249-62.
- GIBBONS, R. J. & NYGAARD, M. 1970. Interbacterial aggregation of plaque bacteria. *Arch Oral Biol*, 15, 1397-400.
- GLAVIND, L. & ZEUNER, E. 1986. Evaluation of a television-tape demonstration for the reinforcement of oral hygiene instruction. *J Clin Periodontol*, 13, 201-4.
- GLAVIND, L., ZEUNER, E. & ATTSTROM, R. 1981. Oral hygiene instruction of adults by means of a self-instructional manual. *J Clin Periodontol*, 8, 165-76.
- GRAETZ, C., BIELFELDT, J., WOLFF, L., SPRINGER, C., EL-SAYED, K. M., SALZER, S., BADRI-HOHER, S. & DORFER, C. E. 2013. Toothbrushing education via a smart software visualization system. *J Periodontol*, 84, 186-95.
- HANNIG, M. 1999. Ultrastructural investigation of pellicle morphogenesis at two different intraoral sites during a 24-h period. *Clin Oral Investig*, 3, 88-95.
- HANNIG, M. & JOINER, A. 2006. The structure, function and properties of the acquired pellicle. *Monogr Oral Sci*, 19, 29-64.

- 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. *J Periodontol*, 86, 101-7.
- HODGES, N. J. & FRANKS, I. M. 2002. Modelling coaching practice: the role of instruction and demonstration. *J Sports Sci*, 20, 793-811.
- HONKALA, E., NYSSONEN, V., KNUUTTILA, M. & MARKKANEN, H. 1986. Effectiveness of children's habitual toothbrushing. *J Clin Periodontol*, 13, 81-5.
- HUANG, H. & LIN, S. 2016. Toothbrushing Monitoring using Wrist Watch *Proceedings of the 14th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems CD-ROM*. Stanford, CA, USA: Association for Computing Machinery.
- 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. *Clin Oral Investig*, 19, 1451-62.
- JEPSEN, S. L., NIKLAUS P.; ATTSTROM, ROLF; LOE, HARALD 1998. The Role of Manual Toothbrushes in Effective Plaque Control: Advantages and Limitations. *Proceedings of the European Workshop on Mechanical Plaque Control*.
- JORDAN, A. R., MICHEELIS, W. & CHOLMAKOW-BODECHTEL, C. 2016. Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). *Materialienreihe / Institut der Deutschen Zahnärzte*. Köln.
- KEIJSER, B. J., ZAURA, E., HUSE, S. M., VAN DER VOSSEN, J. M., SCHUREN, F. H., MONTIJN, R. C., TEN CATE, J. M. & CRIELAARD, W. 2008. Pyrosequencing analysis of the oral microflora of healthy adults. *J Dent Res*, 87, 1016-20.
- KOLENBRANDER, P. E. 1995. Coaggregations among oral bacteria. *Methods Enzymol*, 253, 385-97.
- KRISTOFFERSEN, T. 1970. Periodontal conditions in Norwegian soldiers--an epidemiological and experimental study. *Scand J Dent Res*, 78, 34-53.
- LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-74.
- LINDHE, J., HAMP, S. & LOE, H. 1973. Experimental periodontitis in the beagle dog. *J Periodontal Res*, 8, 1-10.
- LINDHE, J. & NYMAN, S. 1975. The effect of plaque control and surgical pocket elimination on the establishment and maintenance of periodontal health. A longitudinal study of periodontal therapy in cases of advanced disease. *J Clin Periodontol*, 2, 67-79.
- LISTGARTEN, M. A. 1994. The structure of dental plaque. *Periodontol 2000*, 5, 52-65.
- LISTGARTEN, M. A. & ELLEGAARD, B. 1973. Experimental gingivitis in the monkey. Relationship of leukocyte counts in junctional epithelium, sulcus depth, and connective tissue inflammation scores. *J Periodontal Res*, 8, 199-214.
- LOE, H. 2000. Oral hygiene in the prevention of caries and periodontal disease. *Int Dent J*, 50, 129-39.
- LOE, H. & SILNESS, J. 1963. Periodontal Disease in Pregnancy. I. Prevalence and Severity. *Acta Odontol Scand*, 21, 533-51.
- LOVDAL, A., ARNO, A., SCHEI, O. & WAERHAUG, J. 1961. Combined effect of subgingival scaling and controlled oral hygiene on the incidence of gingivitis. *Acta Odontol Scand*, 19, 537-55.
- MACGREGOR, I. D. & RUGG-GUNN, A. J. 1979a. Survey of toothbrushing duration in 85 uninstructed English schoolchildren. *Community Dent Oral Epidemiol*, 7, 297-8.

- MACGREGOR, I. D. & RUGG-GUNN, A. J. 1979b. A survey of toothbrushing sequence in children and young adults. *J Periodontal Res*, 14, 225-30.
- MACGREGOR, I. D. & RUGG-GUNN, A. J. 1984. Uninstructed toothbrushing behaviour in young adults in relation to cigarette smoking in Newcastle. *Community Dent Oral Epidemiol*, 12, 358-60.
- MACGREGOR, I. D. & RUGG-GUNN, A. J. 1985. Toothbrushing duration in 60 uninstructed young adults. *Community Dent Oral Epidemiol*, 13, 121-2.
- MACGREGOR, I. D. & RUGG-GUNN, A. J. 1986. Effect of filming on toothbrushing performance in uninstructed adults in north-east England. *Community Dent Oral Epidemiol*, 14, 320-2.
- MACGREGOR, I. D., RUGG-GUNN, A. J. & GORDON, P. H. 1986. Plaque levels in relation to the number of toothbrushing strokes in uninstructed English schoolchildren. *J Periodontal Res*, 21, 577-82.
- MANGOLD INTERNATIONAL GMBH, M. I. G. 2015. INTERACT. 14.5.5.0 ed.: Mangold International GmbH.
- MCHUGH, M. L. 2012. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem Med (Zagreb)*, 22, 276-82.
- MEYER-LÜCKEL, H. P., SEBASTIAN; EKSTRAND, KIM R (HRSG.) 2012. *Karies. Wissenschaft und klinische Praxis.*, Thieme.
- MICHEELIS, W. & SCHIFFNER, U. (eds.) 2006. *Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005*, Köln: Deutscher Zahnärzte Verl.
- MICHEELIS, W. R., ELMAR 1999. Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie - DMS III : Ergebnisse, Trends und Problemanalysen auf der Grundlage bevölkerungsrepräsentativer Stichproben in Deutschland 1997. In: MICHEELIS, W. (ed.) *Materialienreihe / Institut der Deutschen Zahnärzte*. Köln.
- MODEER, T., LAVSTEDT, S. & AHLUND, C. 1980. Relation between tobacco consumption and oral health in Swedish schoolchildren. *Acta Odontol Scand*, 38, 223-7.
- MULLER-BOLLA, M. & COURSON, F. 2013. Toothbrushing methods to use in children: a systematic review. *Oral Health Prev Dent*, 11, 341-7.
- MULLER-BOLLA, M. C., F.; MANIÈRE-EZVAN, A.; VIARGUES, P.; 2011. Toothbrushing: which methods to use? *Revue d'Odonto-Stomatologie*, 40, 239-260.
- PAWLIK, V. 2020. *Ranking der beliebtesten Marken von elektrischen Zahnbürsten in Deutschland in den Jahren 2017 bis 2020*. [Online]. de.statista.com: Statista GmbH. Aufrufbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171577/umfrage/verwendete-marken-von-elektrischen-zahnbursten/> [Zugriffsdatum: 28.01.2021].
- PETERSEN, P. E. & OGAWA, H. 2005. Strengthening the prevention of periodontal disease: the WHO approach. *J Periodontol*, 76, 2187-93.
- PINDBORG, J. J. 1949. Tobacco and gingivitis; correlation between consumption of tobacco, ulceromembranous gingivitis and calculus. *J Dent Res*, 28, 460-3.
- PREBER, H., KANT, T. & BERGSTROM, J. 1980. Cigarette smoking, oral hygiene and periodontal health in Swedish army conscripts. *J Clin Periodontol*, 7, 106-13.
- QUIGLEY, G. A. & HEIN, J. W. 1962. Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. *J Am Dent Assoc*, 65, 26-9.
- RAMFJORD, S. P., KNOWLES, J. W., NISSLE, R. R., SHICK, R. A. & BURGETT, F. G. 1973. Longitudinal study of periodontal therapy. *J Periodontol*, 44, 66-77.

- RATEITSCHAK, K. H., WOLF, H. F. & RATEITSCHAK, E. M. 2004. *Parodontologie*, Stuttgart [u.a.], Thieme.
- RENGGLI, H. H., MÜHLEMANN, H. R., & RATEITSCHAK K. H. 1984. *Parodontologie*, Stuttgart, Thieme.
- RENTON-HARPER, P., ADDY, M. & NEWCOMBE, R. G. 2001. Video instruction to establish a panel of experts to compare tooth cleaning by 4 electric toothbrushes. *J Clin Periodontol*, 28, 917-22.
- RENTON-HARPER, P., ADDY, M., WARREN, P. & NEWCOMBE, R. G. 1999. Comparison of video and written instructions for plaque removal by an oscillating/rotating/reciprocating electric toothbrush. *J Clin Periodontol*, 26, 752-6.
- ROBINSON, H. B. 1946. Toothbrushing habits of 405 persons. *J Am Dent Assoc*, 33, 1112-7.
- ROSEMA, N., SLOT, D. E., VAN PALENSTEIN HELDERMAN, W. H., WIGGELINKHUIZEN, L. & VAN DER WEIJDEN, G. A. 2016. The efficacy of powered toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. *Int J Dent Hyg*, 14, 29-41.
- RUGG-GUNN, A. J. & MACGREGOR, I. D. 1978. A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. *J Periodontal Res*, 13, 382-9.
- RUGG-GUNN, A. J., MACGREGOR, I. D., EDGAR, W. M. & FERGUSON, M. W. 1979. Toothbrushing behaviour in relation to plaque and gingivitis in adolescent schoolchildren. *J Periodontal Res*, 14, 231-8.
- RUHL, S., SANDBERG, A. L. & CISAR, J. O. 2004. Salivary receptors for the proline-rich protein-binding and lectin-like adhesins of oral actinomyces and streptococci. *J Dent Res*, 83, 505-10.
- SANDSTROM, A., CRESSEY, J. & STECKSEN-BLICKS, C. 2011. Tooth-brushing behaviour in 6-12 year olds. *Int J Paediatr Dent*, 21, 43-9.
- SCHLUETER, N., KLIMEK, J. & GANSS, C. 2013. Relationship between plaque score and video-monitored brushing performance after repeated instruction--a controlled, randomised clinical trial. *Clin Oral Investig*, 17, 659-67.
- SCHLUETER, N., KLIMEK, J., SALESCHKE, G. & GANSS, C. 2010. Adoption of a toothbrushing technique: a controlled, randomised clinical trial. *Clin Oral Investig*, 14, 99-106.
- SCHLUETER, N., WINTERFELD, K., QUERA, V., WINTERFELD, T. & GANSS, C. 2018. Toothbrushing Systematics Index (TSI) - A new tool for quantifying systematics in toothbrushing behaviour. *PLoS One*, 13, e0196497.
- SHARMA, S., YELURI, R., JAIN, A. A. & MUNSHI, A. K. 2012. Effect of toothbrush grip on plaque removal during manual toothbrushing in children. *J Oral Sci*, 54, 183-90.
- SHEA, C. H., LAI, Q., BLACK, C. & PARK, J.-H. 2000. Spacing practice sessions across days benefits the learning of motor skills. *Human Movement Science*, 19, 737-760.
- SHEIHAM, A. 1971. Periodontal disease and oral cleanliness in tobacco smokers. *J Periodontol*, 42, 259-63.
- SILNESS, J. & LOE, H. 1964. Periodontal Disease in Pregnancy. II. Correlation between Oral Hygiene and Periodontal Condition. *Acta Odontol Scand*, 22, 121-35.
- SLOT, D. E., WIGGELINKHUIZEN, L., ROSEMA, N. A. & VAN DER WEIJDEN, G. A. 2012. The efficacy of manual toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. *Int J Dent Hyg*, 10, 187-97.
- SMOLEN, P., ZHANG, Y. & BYRNE, J. H. 2016. The right time to learn: mechanisms and optimization of spaced learning. *Nat Rev Neurosci*, 17, 77-88.
- TIPLER, P. A. M., GENE 2007. *Physik Für Wissenschaftler und Ingenieure*, Heidelberg, Spektrum, Akad. Verl.

- TJADEN, H., SCHWANECKE, U., STEIN, F. & SCHÖMER, E. High-Speed and Robust Monocular Tracking. *VISAPP* (3), 2015. 462-471.
- TOSAKA, Y., NAKAKURA-OHSHIMA, K., MURAKAMI, N., ISHII, R., SAITOH, I., IWASE, Y., YOSHIHARA, A., OHUCHI, A. & HAYASAKI, H. 2014. Analysis of tooth brushing cycles. *Clin Oral Investig*, 18, 2045-53.
- TURESKY, S., GILMORE, N. D. & GLICKMAN, I. 1967. Calculus inhibition by topical application of the chloromethyl analogue of Vitamin C. *J Periodontol*, 38, 142-7.
- VAN DER WEIJDEN, G. A. & HIOE, K. P. 2005. A systematic review of the effectiveness of self-performed mechanical plaque removal in adults with gingivitis using a manual toothbrush. *J Clin Periodontol*, 32 Suppl 6, 214-28.
- VAN DER WEIJDEN, G. A., TIMMERMAN, M. F., NIJBOER, A., LIE, M. A. & VAN DER VELDEN, U. 1993. A comparative study of electric toothbrushes for the effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration. Timerstudy. *J Clin Periodontol*, 20, 476-81.
- WEEKS, D. L. & ANDERSON, L. P. 2000. The interaction of observational learning with overt practice: effects on motor skill learning. *Acta Psychol (Amst)*, 104, 259-71.
- WHITTAKER, C. J., KLIER, C. M. & KOLENBRANDER, P. E. 1996. Mechanisms of adhesion by oral bacteria. *Annu Rev Microbiol*, 50, 513-52.
- WIEGAND, A., BURKHARD, J. P., EGGMANN, F. & ATTIN, T. 2013. Brushing force of manual and sonic toothbrushes affects dental hard tissue abrasion. *Clin Oral Investig*, 17, 815-22.
- WILLIAMS, K., FERRANTE, A., DOCKTER, K., HAUN, J., BIESBROCK, A. R. & BARTIZEK, R. D. 2004. One- and 3-minute plaque removal by a battery-powered versus a manual toothbrush. *J Periodontol*, 75, 1107-13.
- 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. *Clin Oral Investig*, 19, 851-8.
- WINTERFELD, T. M. 2015. *Toothbrushing and flossing habits in young adults : a video-based observational study*. Universitätsbibliothek Gießen.
- WOLF, M., KLEIN, P., ENGELMOHR, R., ERB, J. & GUBLER, R. 2020. Data on toothbrushing study comparing infrared-based motion tracking versus video observation. *Data Brief*, 31, 105867.
- WORLD MEDICAL, A. 2013. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310, 2191-4.
- YAACOB, M., WORTHINGTON, H. V., DEACON, S. A., DEERY, C., WALMSLEY, A. D., ROBINSON, P. G. & GLENNY, A. M. 2014. Powered versus manual toothbrushing for oral health. *Cochrane Database Syst Rev*, CD002281.

9 Publikationsverzeichnis

9.1 Artikel

GANSS, C., KLEIN, P., GIESE-KRAFT, K. & MEYNER, M. 2020. Validation of motion tracking as tool for observational toothbrushing studies. *PLoS One*, 15, e0244678.

WOLF, M., KLEIN, P., ENGELMOHR, R., ERB, J. & GUBLER, R. 2020. Data on toothbrushing study comparing infrared-based motion tracking versus video observation. *Data Brief*, 31, 105867.

10 Erklärung zur Dissertation

„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

11 Danksagung

Zunächst möchte ich meiner Dissertationsbetreuerin Professorin Dr. Carolina Ganß meinen aufrichtigen Dank für ihre wissenschaftliche Inspiration, ihre hervorragende Unterstützung und ihre Ermutigung für den Fortschritt der Dissertation aussprechen.

Außerdem gilt ein großer Dank auch meiner Zweitbetreuerin Dr. Katja Giese-Kraft für ihre konstruktive Kritik, die zur Bereicherung der Qualität der Dissertation beigetragen hat, und für ihre freundschaftliche Zusammenarbeit.

Zutiefst dankbar bin ich meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben. Sie unterstützen mich in jeder Lebenslage und haben immer ein offenes Ohr.

Ich bedanke mich bei meinen Großeltern, die der Ursprung meiner Möglichkeiten sind und die immer für mich da sind.

Außerdem möchte ich meiner Freundin Michelle meine Anerkennung für ihre Unterstützung und ihren motivierenden Beistand aussprechen.

12 Tabellarischer Lebenslauf

-entfällt-