

Der Toothbrushing Systematic Index - eine neue Analysemethode des Zahnputzverhaltens

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Winterfeld, Katrin, geb. Huck

aus Baden-Baden

Gießen 2019

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive
Zahnheilkunde
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,
unter der kommissarischen Leitung von Prof. Dr. Bernd Wöstmann,
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

1. Gutachter: Prof. Dr. Carolina Ganß
2. Gutachter: Prof. Dr. Stefan Rüttermann

Tag der Disputation: 18.11.2019

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS	I-III
1. EINLEITUNG	1
2. ZIEL DER STUDIE	4
3. GRUNDLAGENSTUDIE 2005	5
3.1 Studiendesign 2005	5
3.2 Ethikvotum 2005	5
3.3 Verantwortlichkeiten 2005	5
3.4 Studienablauf und Visiten	6
3.5 Erhebung des Plaqueindex	9
3.6 Mundhygieneunterweisung	10
3.7 Videoaufzeichnung	12
3.8 Auswertungskriterien	13
4. MATERIAL UND METHODEN	14
4.1 Verantwortlichkeiten und Studienablauf	14
4.2 Drop-outs	16
4.3 Gruppeneinteilung	16
4.4 Videomaterial	17
4.5 Videoanalyse mit INTERACT (Mangold 2011)	18
4.6 Codierschema	21
4.7 Plaqueindex	23
4.8 Kalibrierung	23
4.8.1 Bestimmung des Kappakoeffizienten mit INTERACT	24
4.8.2 Interraterkalibrierung	26
4.8.3 Intraraterkalibrierung	27
4.9 Die Entwicklung des Toothbrushing Systematic Index (TSI)	29
4.9.1 Der Index C	29
4.9.2 Der Index I	30
4.9.3 Der TSI	31
4.10 Validierung des TSI	32
4.10.1 Theoretische Validierung des TSI	32
4.10.2 Klinische Validierung des TSI	35
4.11 Statistik	37

5. ERGEBNISSE	38
5.1 Ergebnisse der simulierten Sequenzen	38
5.1.1 Isochronal simulierte Sequenzen	38
5.1.2 Nicht isochronal simulierte Sequenzen	39
5.2 Ergebnisse für die Teilnehmer aller Studienzeitpunkte	41
5.2.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten	42
5.2.2 Veränderung der Systematik Index Werte	48
5.2.3 Veränderungen im Plaqueindex	49
5.3 Ergebnisse für die Studienteilnehmer nach perfekter Adaptation der Systematik nach Rateitschak	51
5.3.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten	51
5.3.2 Veränderung der Systematik Index Werte	54
5.3.7 Veränderungen im Plaqueindex	55
5.4 Veränderungen im Systematikverhalten in Abhängigkeit des Putzverhaltens zu Studienbeginn	56
5.5 Veränderungen im Systematikverhalten nach Mundhygieneunterweisung im Vergleich zu Studienbeginn	62
5.6 Fallbeispiele	67
6. DISKUSSION	72
6.1 Diskussion der Methode	72
6.1.1 Videoaufnahmen	72
6.1.2 Gruppeneinteilung und Instruktionmethode	73
6.1.3 Plaqueindex	73
6.1.4 Codiersystem und Beobachtungssoftware	74
6.1.5 Reaktionszeit und Kalibrierung	75
6.1.6 Toothbrushing Systematic Index (TSI)	75
6.1.6.1 Der Index C	76
6.1.6.2 Der Index I	78
6.1.6.3 Computergenerierte Sequenzen	78
6.2 Diskussion der Ergebnisse	79
6.2.1 Ergebnisse der simulierten Sequenzen	79
6.2.1.1 Abbildungsvermögen und Grenzen des TSI anhand simulierter Sequenzen	79
6.2.1.2 Der TSI in klinischer Anwendung	80
6.2.2 Ergebnisse der Teilnehmer aller Studienzeitpunkte	81
6.2.2.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten	81
6.2.2.2 Veränderung der Systematik Index Werte	85
6.2.2.3 Veränderungen im Plaqueindex	85
6.2.3 Ergebnisse der Studienteilnehmer nach perfekter Adaptation der Systematik nach Rateitschak	87

6.2.3.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten	87
6.2.3.2 Veränderung der Systematik Index Werte	88
6.3 Diskussion der TSI Parameter	89
6.4 Ausblick	92
7. ZUSAMMENFASSUNG	93
8. SUMMARY	96
9. LITERATURVERZEICHNIS	98
10. PUBLIKATIONSVERZEICHNIS	103
11. ERKLÄRUNG ZUR DISSERTATION	104
12. DANKSAGUNG	105

1. Einleitung

Der Gebrauch der Zahnbürste ist die einfachste und effektivste Methode, um dentale Plaque zu reduzieren und damit Karies und anderen plaqueassoziierten Erkrankungen vorzubeugen (Loe et al. 1965). Um dentale Plaque vollständig entfernen zu können, ist die Einhaltung einer Zahnputzsystematik unabdingbar, da nur auf diese Weise die Reinigung aller Zahnflächen sicher gestellt werden kann (Honkala 1984). Neben einer Zahnputzsystematik wird die Einhaltung einer ausreichend langen Putzzeit, zweimal tägliches Zähneputzen, sowie die Verwendung einer Zahnputztechnik als Parameter für gutes Mundhygieneverhalten angesehen (Gallagher et al. 2009). Bereits Kindern soll ein Verständnis von guter Mundhygiene vermittelt werden. Dies geschieht im Rahmen der seit 1988 im Sozialgesetzbuch verankerten Gruppen- und Individualprophylaxe, welche die gesetzlichen Krankenversicherungen (GKV) in Zusammenarbeit mit den örtlichen Zahnärzten verpflichten, Erkrankungen an Zähnen und Zahnhalteapparat von Kindern und Jugendlichen frühzeitig zu erkennen und vorzubeugen, sowie die Kostenübernahme dafür sicherzustellen (Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V), Gesetzliche Krankenversicherung 20.12.1988a, 20.12.1988b). Die Erlernung einer Zahnputzsystematik zur Entfernung der dentalen Plaque steht dabei im Vordergrund der Mundhygieneerziehung. Die Kinder und Jugendlichen werden im Zuge der Prophylaxeprogramme in der Zahnputzsystematik „KAI“ instruiert. Bei „KAI“ werden zuerst die Kauflächen (K) mit horizontalen, dann die Außenflächen (A) mit kreisenden und abschließend die Innenflächen (I) mit auswischenden Bürstbewegungen geputzt (Thumeyer und Buschmann 2012). Mit fortschreitendem Alter und der Zunahme der geistigen und motorischen Reife soll allmählich die Systematik nach „KAI“ in die mehr elaborierte Zahnputztechnik nach Bass übergehen (Bass 1948, 1954; Thumeyer und Buschmann 2012).

Obwohl auch noch im jungen Erwachsenenalter viele Elemente der Systematik nach „KAI“ im Zahnputzverhalten beobachtet werden können (Winterfeld et al. 2015), fällt in zahlreichen Beobachtungsstudien auf, dass die Innenflächen (Oralflächen) am wenigsten geputzt werden und mehr Plaque aufweisen als die Außenflächen (Vestibulärflächen) (Cumming und Loe 1973; Macgregor und Rugg-Gunn 1979a, 1979b, 1985; Macgregor et al. 1986).

Die Anforderungen, welche an eine systematische Zahnputzweise gestellt werden, sind allerdings bislang unklar ausformuliert: Es soll in stets der gleichen Reihenfolge geputzt

werden, es soll gleichmäßig geputzt werden und es soll vollständig geputzt werden (Bass 1948; 1954; Wolf et al. 2004).

Ausgehend von diesen Anforderungen wurden in den vergangenen Jahrzehnten systematische Putzkonzepte mit unterschiedlichen Ansätzen entwickelt. Dabei wird entweder getrennt nach Ober- und Unterkiefer geputzt (Sandström et al. 2011) oder das systematische Putzen nach Zahnflächen empfohlen. Bereits 1954 schlägt Bass die Einhaltung einer bestimmten Putzreihenfolge vor, welche mit der Reinigung der Außenflächen (Vestibulärflächen) und Kauflächen (Okklusalfächen) aller Zähne beginnt. Anschließend sollen die Innenflächen (Oralflächen) der Seitenzähne und zum Schluss die Oralflächen der Frontzähne gereinigt werden. Dieses Verständnis von Putzsystematik findet sich auch in der Empfehlung zur Putzsystematik nach „KAI“ für Kinder wieder (Thumeyer und Buschmann 2012). Für Erwachsene empfiehlt die Landeszahnärztekammer Hessen ein systematisches Putzen „[...] immer am letzten Zahn beginnend und langsam nach vorne wandernd, um beim letzten Zahn auf der Gegenseite aufzuhören.“ (Landeszahnärztekammer Hessen 2018). In Anbetracht der Tatsache, dass Patienten den Oralflächen während des Putzens am wenigsten Beachtung schenken, (Macgregor und Rugg-Gunn 1985; Robinson 1946) entwickelte Rateitschak eine Systematik, die mit der Reinigung der Oralflächen im linken Unterkiefer beginnt. Von dort ausgehend werden zunächst alle Oralflächen im Unterkiefer und anschließend im Oberkiefer gereinigt. Im linken Oberkiefer angekommen, erfolgt dann der Wechsel auf die Vestibulärflächen des Oberkiefers und abschließend auf die Vestibulärflächen des Unterkiefers. Danach werden alle Okklusalfächen gereinigt. Rateitschak bezieht eine klare Stellung zur Zahnpflege: *„Wichtiger ist weniger die Technik, sondern die Effizienz der Reinigung, die Systematik des Vorgehens und die „Schadensfreiheit“ der Ausführung.“* (Wolf et al. 2004).

In Beobachtungsstudien konnte jedoch nachgewiesen werden, dass Patienten der Forderung, eine gezeigte Putzsystematik einzuhalten, nur bedingt nachkommen können.

In einer videogestützten Beobachtungsstudie aus dem Jahr 1984 (Honkala) waren nur 14 % der Kinder in der Lage die zuvor erteilten Mundhygieneinstruktionen zu befolgen. 54 % der Kinder putzten zwar alle Zahnflächen, jedoch nicht in der vorgesehenen Reihenfolge. Auch unterschiedliche Instruktionsmethoden (Schlueter et al. 2010) führten bei maximal 63 % der Probanden zur exakten Übernahme einer gezeigten Zahnputzsystematik.

Ohne die Einhaltung einer Putzsystematik kann die Reinigung aller Zahnflächen nicht überblickt und die Reduzierung der dentalen Plaque nicht gewährleistet werden. In zahlreichen videobasierten Beobachtungsstudien (Macgregor und Rugg-Gunn 1979a, 1979b, 1984, 1985, 1986; Macgregor et al. 1986; Rugg-Gunn und Macgregor 1978; Rugg-Gunn et al. 1979; Winterfeld et al. 2015) zeigte sich, dass bestimmte Areale im Mund länger und häufiger gereinigt werden als andere. So wird der vestibuläre Frontzahnbereich bevorzugt aufgesucht, wohingegen ein Defizit in der Reinigung der Oralflächen, insbesondere im Seitenzahnbereich, besteht.

Interessanterweise lässt sich neben bevorzugt aufgesuchten Zahnflächen auch eine Tendenz im Zahnputzverhalten erkennen, bestimmte Areale in ähnlicher Reihenfolge aufzusuchen (Macgregor und Rugg-Gunn 1979a; Winterfeld et al. 2015). Unser Zahnputzverhalten unterliegt wahrscheinlich festgelegten Gewohnheitsmustern, die eine individuell charakteristische Putzsequenz abbilden (Mierau et al. 1989). Auch unterschiedliche Methoden der Mundhygieneinstruktion führen nur eingeschränkt zum Durchbrechen des gewohnten Putzverhaltens (Schlueter et al. 2010).

Um die dentale Plaque und plaqueassoziierte Erkrankungen weiterhin zu minimieren, müssen alle Zahnflächen, insbesondere auch die Oralflächen, gereinigt werden. Um dies zu erreichen, erscheint die Einhaltung einer definierten Putzreihenfolge (Systematik) sinnvoll. Jedoch ist es in Anbetracht der individuell festgelegten Gewohnheitsmuster fraglich, ob Systematikanweisungen, welche starren Schemata folgen, zielführend sind. Da es darüber hinaus keinen Unterschied in der Putzeffizienz zu geben scheint, unabhängig mit welcher Zahnfläche eine Putzsystematik begonnen wird (van der Sluijs et al. 2018), sollten flexiblere Systeme mit einfachen konkreten Mundhygieneanweisungen in Betracht gezogen werden. Unter Umständen folgen bereits charakteristisch festgelegte Gewohnheiten einer individuellen Systematik und werden als solche nicht erkannt. Um dies überprüfen zu können, ist eine Größe notwendig, die vollständiges und systematisches Putzverhalten abbilden kann.

2. Ziel der Studie

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, einen Index zu entwickeln, der systematisches Zahnputzverhalten zu quantifizieren vermag.

Dazu wurden schrittweise folgende Fragestellungen bearbeitet:

- Wie kann systematisches Zähneputzen definiert werden?
- Wie kann diese Definition in einen mathematischen Algorithmus übersetzt werden?
- Wie kann dieser Algorithmus in einen Index überführt werden?
- Bildet dieser Index systematisches Zähneputzen anhand simulierter Daten sinnvoll ab?
- Bildet dieser Index systematisches Zähneputzen anhand klinischer Daten sinnvoll ab?

3. Grundlagenstudie 2005

Die vorliegende Dissertationsschrift nutzt Videoaufzeichnungen, die im Jahr 2005 im Rahmen einer Beobachtungsstudie aufgenommen wurden (Schlueter et al. 2010; 2013). Diese Videoaufzeichnungen sind für die hier vorliegende Arbeit besonders gut geeignet und wurden mit der professionellen Beobachtungssoftware INTERACT (Mangold 2011) unter den neuen Fragestellungen reanalysiert. Die Vorstellung der Methodik der damaligen Studie ist für das Verständnis und den Aufbau der vorliegenden Dissertationsschrift unabdingbar. Aus diesem Grund wird im Nachfolgenden zunächst der Studienaufbau aus dem Jahr 2005 beschrieben.

3.1 Studiendesign 2005

Bei der Studie aus dem Jahr 2005 handelte es sich um eine prospektive, randomisierte Studie, die in der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt wurde. Es konnten insgesamt 98 Probanden, von denen 77 Probanden die Studie beendeten, eingeschlossen werden. Ziel der Studie war, zu untersuchen, ob Mundhygieneinstruktionen (Zahnputztechnik, Zahnputzsystematik und Zahnputzdauer) durch eine rein mündliche Erklärung an einem Faltblatt erlernbar sind oder ob eine zusätzliche Demonstration am Modell das Erlernen verändert oder verbessert. Die Instruktionen beinhalteten Übungsphasen und eine Remotivation. Um einen möglichen Lerneffekt darzustellen, gab es eine nicht instruierte Kontrollgruppe. Alle Studienteilnehmer wurden in drei Studiensitzungen während des Zähneputzens gefilmt, um den Lernerfolg zu dokumentieren.

3.2 Ethikvotum 2005

Die Planung und Durchführung der Studie richtete sich nach den Grundsätzen der Deklaration von Helsinki und wurde von der Ethik-Kommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen genehmigt (Nr.05/05).

Für die vorliegende Dissertationsschrift wurde eine Ergänzung des bestehenden Ethikvotums eingereicht und von der Kommission als positiv bewertet.

3.3 Verantwortlichkeiten 2005

Die Studie aus dem Jahr 2005 wurde in der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt. Es wurde ein standardisiertes

Verfahren in Bezug auf die Erhebung des Plaqueindex, der Erteilung der Mundhygieneinstruktionen und der Videoaufnahme angewendet. Alle im Jahr 2005 beteiligten Untersucher kalibrierten sich vor Studienbeginn (Abb. 1).

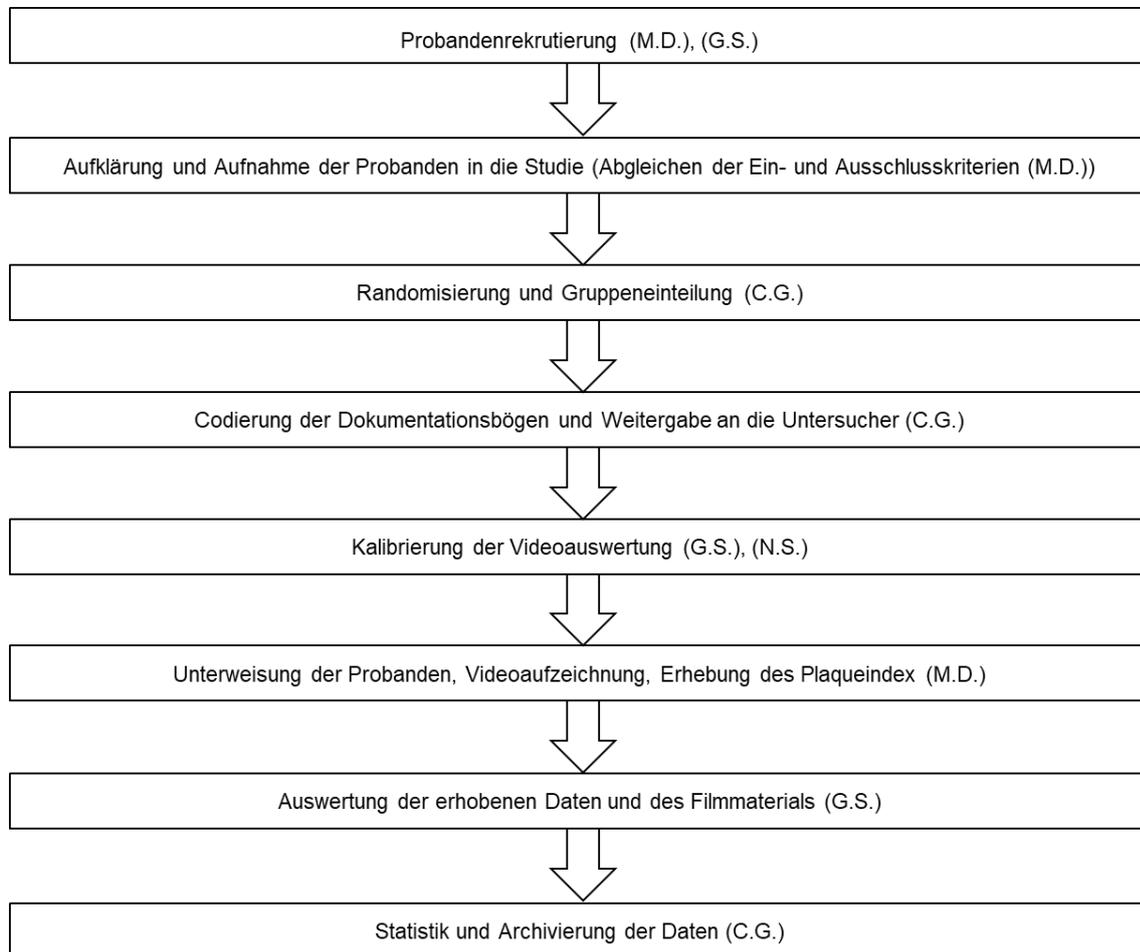


Abbildung 1: Verantwortliche und deren Aufgaben innerhalb der Studie im Jahr 2005.

Prof. Dr. med. dent. Carolina Ganß **(C.G.)**, Studienleiterin, Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen

Prof. Dr. med. dent. Nadine Schlüter **(N.S.)**, Untersucher 3, Universitätsklinikum Freiburg, Abteilung für Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde; Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

Micah Dixon **(M.D.)**, Untersucher 1

Guido Saleschke **(G.S.)**, Untersucher 2

3.4 Studienablauf und Visiten

Waren zu Beginn der zweiten Sitzung alle Voraussetzungen zur Studienteilnahme erfüllt und bestand weiterhin Interesse von Seiten des Probanden an der Studie teilzunehmen, erhielt der Studienteilnehmer eine professionelle Zahnreinigung (PZR).

Die PZR wurde bei allen Studienteilnehmern ohne Berücksichtigung der Studiengruppenzugehörigkeit durchgeführt, um einen vergleichbaren Mundhygienezustand herzustellen. Ein neuer Termin wurde frühestens nach 14 Tagen vereinbart, da die Bildung einer reifen dentalen Plaque einen durchschnittlichen Zeitraum von mindestens sieben Tagen benötigt (Loe et al. 1965). Der gewählte Abstand zwischen den Sitzungen gewährleistete, dass bei der Plaquemessung nicht der Erfolg der PZR, sondern der Erfolg der Mundhygieneunterweisung des Probanden überprüft wurde. Um die Effektivität der in der Klinik durchgeführten Mundhygienemaßnahmen beurteilen zu können, war den Probanden an den Studientagen die häusliche Mundhygiene untersagt. Alle Probanden erhielten in der ersten Sitzung drei identische Zahnbürsten (Elmex Kariesschutz Inter X Mittel; GABA GmbH, Münchenstein, Schweiz), mit denen sie fortan ihre häusliche Mundhygiene durchzuführen hatten und welche sie zu den Studienterminen stets mitbringen sollten. In jeder Sitzung wurde bei allen Probanden die Effektivität der Mundhygiene nach dem Putzvorgang durch Anfärben der Plaque mit einem Plaquerevelator (0,5 % Erythrosinlösung) überprüft und der nach Turesky modifizierte Plaqueindex nach Quigley und Hein (T-QHI) erhoben (Quigley und Hein 1962; Turesky et al. 1967). Jeder Proband wurde im Verlauf jeder Sitzung gefilmt. Der Ablauf der einzelnen Sitzungen unterschied sich je nach Gruppenzugehörigkeit der Probanden und soll nun getrennt beschrieben werden (Abb. 2).

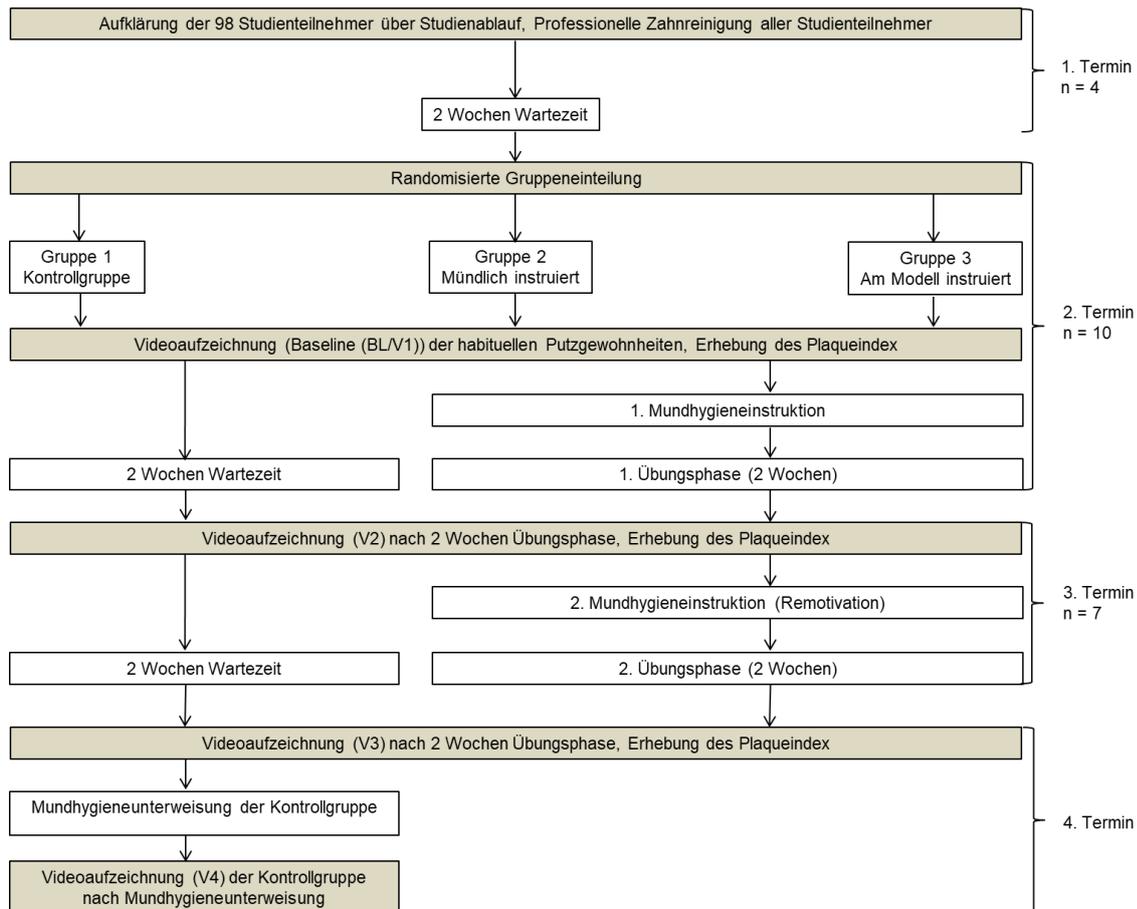


Abbildung 2: Flowchart des Studienablaufs im Jahr 2005.

n=Anzahl der Studienteilnehmer, welche die nachfolgenden Termine nicht mehr wahrgenommen haben. Insgesamt 21 Drop-outs. Von anfangs 98 Studienteilnehmern beendeten 77 Studienteilnehmer die Studie; **BL/V1**=Baseline/Videoaufzeichnung 1; **V2**=Videoaufzeichnung 2 (1. Instruktionvideo der Instruktionsgruppe); **V3**=Videoaufzeichnung 3 (2. Instruktionvideo der Instruktionsgruppe); **V4**=Videoaufzeichnung 4 (betrifft nur Kontrollgruppe; Videoaufzeichnung nach einmaliger Mundhygieneinstruktion)

Gruppe 1: Diese Gruppe diente als Kontrollgruppe und erhielt daher mit Ausnahme der letzten Sitzung zu keinem Zeitpunkt eine Mundhygieneinstruktion. Die Probanden wurden nach Einschluss in die Studie zunächst während des habituellen Mundhygieneverhaltens gefilmt (Videoaufzeichnung 1 (BL/V1)). Danach erfolgte eine PZR. Beim folgenden Termin, zwei Wochen später, wurde wieder das habituelle Mundhygieneverhalten aufgezeichnet (Videoaufzeichnung 2 (V2)). Nach Ablauf weiterer zwei Wochen wurde wieder das habituelle Mundhygieneverhalten der Probanden aufgezeichnet (Videoaufzeichnung 3 (V3)). Damit die Probanden der Kontrollgruppe auch einen Nutzen aus der Studie hatten, erhielten sie in dieser Sitzung im Anschluss an die dritte Videoaufzeichnung ebenfalls eine Mundhygieneinstruktion und wurden nochmals nach der Unterweisung gefilmt (Videoaufzeichnung 4 (V4)).

Probanden der Kontrollgruppe lieferten im Verlauf der Studie vier Videoaufzeichnungen.

Gruppe 2: In dieser Gruppe sollte der Erfolg einer mündlichen Mundhygieneunterweisung mit zweiwöchiger Übungsphase überprüft werden. Wie in Gruppe 1 wurden zuerst die habituellen Mundhygienegewohnheiten aufgezeichnet (BL/V1). Nach erfolgter PZR wurde den Probanden mündlich, anhand eines Faltblatts, eine Mundhygieneunterweisung gegeben. Im Folgetermin, zwei Wochen später, wurde zu Beginn des Termins die Umsetzung der erhaltenen Mundhygieneunterweisung aufgezeichnet (V2). Nach einer PZR erhielten die Probanden eine erneute mündliche Mundhygieneinstruktion per Faltblatt (Remotivation). Nach weiteren zwei Wochen wurde die Effektivität der Remotivation überprüft. Hier erfolgte wieder eine Videoaufzeichnung (V3). Probanden der Instruktionsgruppe lieferten im Verlauf der Studie drei Videoaufzeichnungen.

Gruppe 3: In dieser Gruppe sollte der Erfolg der Mundhygieneinstruktion durch eine Demonstration einer Zahnputztechnik und Zahnputzsystematik an einem Modell überprüft werden. Der Ablauf in Gruppe 3 entspricht dem der Gruppe 2. Neben der mündlichen Instruktion erhielten diese Probanden zusätzlich eine Demonstration der durchzuführenden Mundhygienemaßnahmen an einem Zahnmodell. Die Remotivation wurde auf die gleiche Weise durchgeführt. Probanden der Instruktionsgruppe lieferten im Verlauf der Studie drei Videoaufzeichnungen.

3.5 Erhebung des Plaqueindex

Im Anschluss an die Videoaufzeichnungen des Putzvorgangs wurde der Plaqueindex an den Vestibulär- und Oralflächen für jeden Zahn erhoben, um den Erfolg des Putzens dokumentieren zu können. Hierfür wurden die Zähne mit einem Plaquerevelator (Erythrosin 0,5 %) angefärbt und die so dargestellte Plaquemenge nach dem T-QHI (Quigley und Hein 1962; Turesky et al. 1967) dokumentiert. Sechs Grade werden unterschieden:

Grad 0:	keine Plaque
Grad 1:	Plaquesinseln im zervikalen Bereich des Zahnes
Grad 2:	dünnes, kontinuierliches Plaqueband (bis zu 1 mm breit) am zervikalen Rand
Grad 3:	ein mehr als 1 mm breites Plaqueband, das weniger als ein Drittel der Zahnkrone bedeckt
Grad 4:	Plaque, die mehr als ein Drittel, aber weniger als zwei Drittel der Zahnkrone bedeckt
Grad 5:	Plaque, die zwei Drittel oder mehr der Zahnkrone bedeckt

3.6 Mundhygieneunterweisung

Die Probanden der Instruktionsgruppen (Gruppe 2 und 3) erhielten hinsichtlich der durchzuführenden Mundhygienemaßnahmen Informationen über die einzuhaltende Putzdauer, die zu verwendende Zahnputztechnik und Zahnputzsystematik.

Die Probanden erhielten die Information über die empfohlene Putzdauer von drei Minuten (Schlueter et al. 2010; 2013).

Die Probanden erhielten eine Unterweisung in die modifizierte Zahnputztechnik nach Bass (1948, 1954). Diese Technik beinhaltet Rüttelbewegungen und eine abschließende Auswischbewegung zur Zahnkrone hin (koronal) (Landeszahnärztekammer Hessen 2018).

Den Probanden wurde die Putzsystematik nach Rateitschak erläutert (Abb. 3).

In Anlehnung an die Beobachtungsstudien von Macgregor und Rugg-Gunn (Macgregor und Rugg-Gunn 1979b; Rugg-Gunn und Macgregor 1978), wurden für die Erläuterung der Mundhygieneinstruktionen die Kiefer in Sextanten unterteilt (Abb. 4).

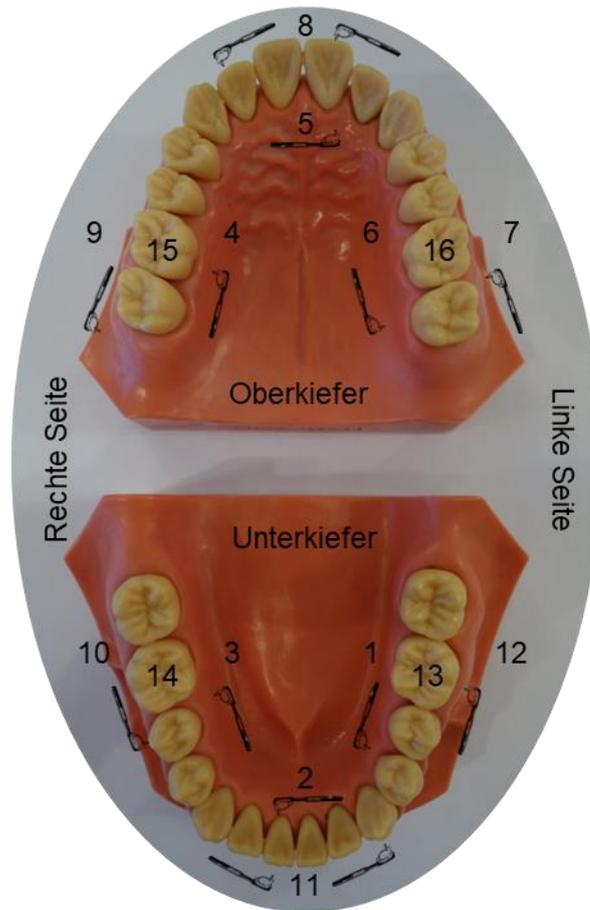


Abbildung 3: Zahnputzsystematik nach Rateitschak.

Die Zahlen 1-16 stehen in aufsteigender Reihenfolge für die Abfolge der zu putzenden Flächen.

1-6 = Innenflächen (Oralflächen), 7–12 = Außenflächen (Vestibulärflächen), 13–16 = Kauflächen (Okklusalfächen).

Begonnen wird oral im linken Unterkiefer (1). Es erfolgt die Reinigung aller Oralflächen im Unterkiefer (1-3). Im rechten Unterkiefer (3) angekommen wird nach oral in den rechten Oberkiefer (4) gewechselt. Es erfolgt die Reinigung aller Oralflächen im Oberkiefer (4–6). Im linken Oberkiefer (6) angekommen, wird nun auf die Vestibulärflächen (7) gewechselt. Dann erfolgt zuerst die Reinigung der Vestibulärflächen des Oberkiefers (7-9) und anschließend des Unterkiefers (10-12). Die Reinigung der Vestibulärflächen endet schließlich im linken Unterkiefer (12). Die Reinigung der Okklusalfächen beginnt im linken Unterkiefer (13) und endet im linken Oberkiefer (16) (13-16).

Die Putzreihenfolge 1-16 bezieht sich auf Rechtshänder. Linkshändern wurde die Systematik nach Rateitschak invertiert (gespiegelt) beigebracht (3-2-1-6-5-4-9-8-7-12-11-10-14-13-16-15).

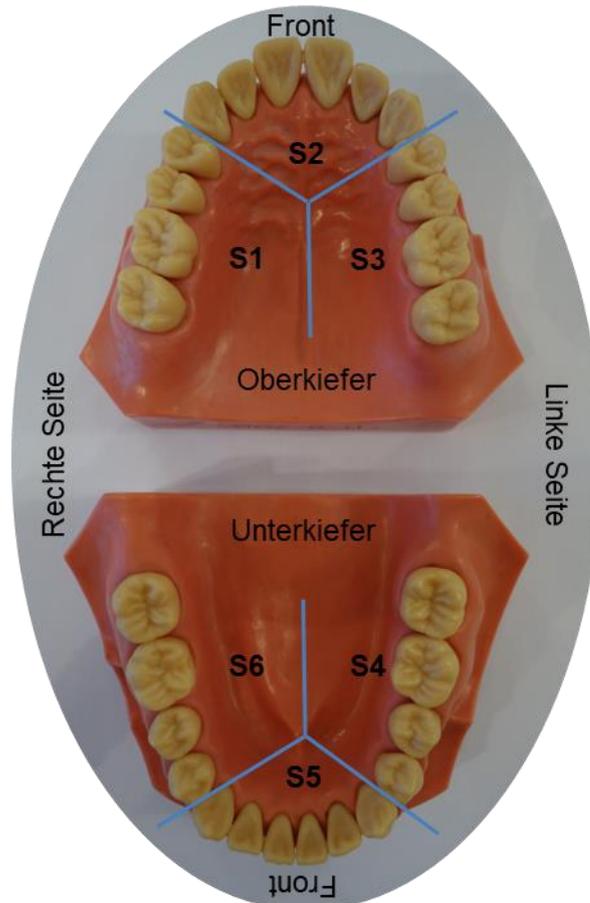


Abbildung 4: Aufteilung der beiden Kiefer in Sextanten (S1-S6). S1-S3 beschreiben die Sextanten des Oberkiefers. S4-S6 beschreiben die Sextanten des Unterkiefers. S1 und S6 befinden sich auf der rechten Seite beider Kieferhälften. S3 und S4 befinden sich auf der linken Seite beider Kieferhälften. S2 und S5 kennzeichnen den Frontzahnbereich im Ober- bzw. Unterkiefer.

3.7 Videoaufzeichnung

Ab Termin zwei begann jeder weitere Termin mit dem Filmen des Putzverhaltens der Probanden. Zur besseren Auswertbarkeit wurde während des Putzvorgangs auf die Verwendung einer Zahnpaste verzichtet. Für die Zeit der Videoaufzeichnung befanden sich die Probanden grundsätzlich alleine im Raum, um sich nicht zusätzlich zur Kamera durch den Untersucher beobachtet zu fühlen.

Die Probanden wurden vor einem Spiegel im Fokus der Kamera positioniert. Die Videoaufzeichnungen wurden mit einer digitalen Videokamera durchgeführt, die die Bilder an einen angeschlossenen PC übermittelte.

3.8 Auswertungskriterien

Um zu ermitteln inwieweit die Probanden, die in der Mundhygieneinstruktion erteilten Informationen über Putzdauer, Zahnputztechnik und Zahnputzsystematik adaptiert hatten, wurden Bewertungsindices entwickelt.

Die Putzdauer wurde über eine Stoppuhr ermittelt. Eine Einteilung erfolgte in Putzdauer größer bzw. kleiner/gleich drei Minuten.

Der Plaqueindex wurde für jeden Zahn an jeder Glattfläche (vestibulär/oral) bestimmt. Anschließend wurden für jeden Sextanten pro Glattfläche (vestibulär/oral) Mittelwerte erhoben.

Um festzustellen in welchem Umfang die modifizierte Zahnputztechnik nach Bass (Bass 1948, 1954) erlernt wurde, wurden die beiden Kiefer in Sextanten unterteilt.

Die Erlernbarkeit wurde pro Sextant (S1-S6) pro Fläche (vestibulär/oral) gemessen, woraus sich 12 (6 Sextanten x 2 Flächen) Messstellen ergaben. Der durchschnittliche Adaptationsindex wurde aus den 12 Messstellen für jeden Probanden ermittelt und der Grad der Adaptation bestimmt:

- Grad 1: „Putztechnik nicht adaptiert“ (unzureichende Rüttelbewegungen, falsche Auswischbewegung, falscher Anstellwinkel zwischen Zahnbürste und Zahn).
- Grad 2: „Putztechnik teilweise adaptiert“ (die Rüttelbewegung oder die Auswischbewegung wurde korrekt ausgeführt).
- Grad 3: „Putztechnik vollständig adaptiert“ (Sowohl die Horizontal- als auch die Vertikalbewegungen wurden korrekt ausgeführt, der Anstellwinkel zwischen Zahnbürste und Zahn wurde beachtet) (Schlueter et al. 2010).

Um die Adaptation der Putzsystematik zu erfassen, wurde ein Bewertungsindex von 0-16 erstellt. Null bedeutet, dass an der falschen Stelle mit dem Putzen begonnen wurde, wohingegen 16 für eine korrekt ausgeführte Putzreihenfolge steht. Es musste in der chronologisch richtigen Reihenfolge von eins bis 16 geputzt werden, um die vollen 16 Punkte zu erhalten. Putzte ein Proband beispielsweise nur bis Punkt sieben in der korrekten Reihenfolge, erhielt er sieben Punkte.

4. Material und Methoden

4.1 Verantwortlichkeiten und Studienablauf

An der vorliegenden Studie waren eine Studienleiterin (C.G.) und zwei Untersucher, Untersucher 1 (K.W.) und Untersucher 2 (T.W.) beteiligt, sowie eine weitere Person (N.S.). Unterstützend war ein Psychologe (V.Q.), (Ph.D., Professor. Department of Behavioral Science Methods, University of Barcelona) an der Herleitung des Toothbrushing Systematic Index beteiligt. Zur besseren Übersicht sind die Verantwortlichen und deren Aufgabenbereich in einem Flowchart dargestellt (Abb. 5).

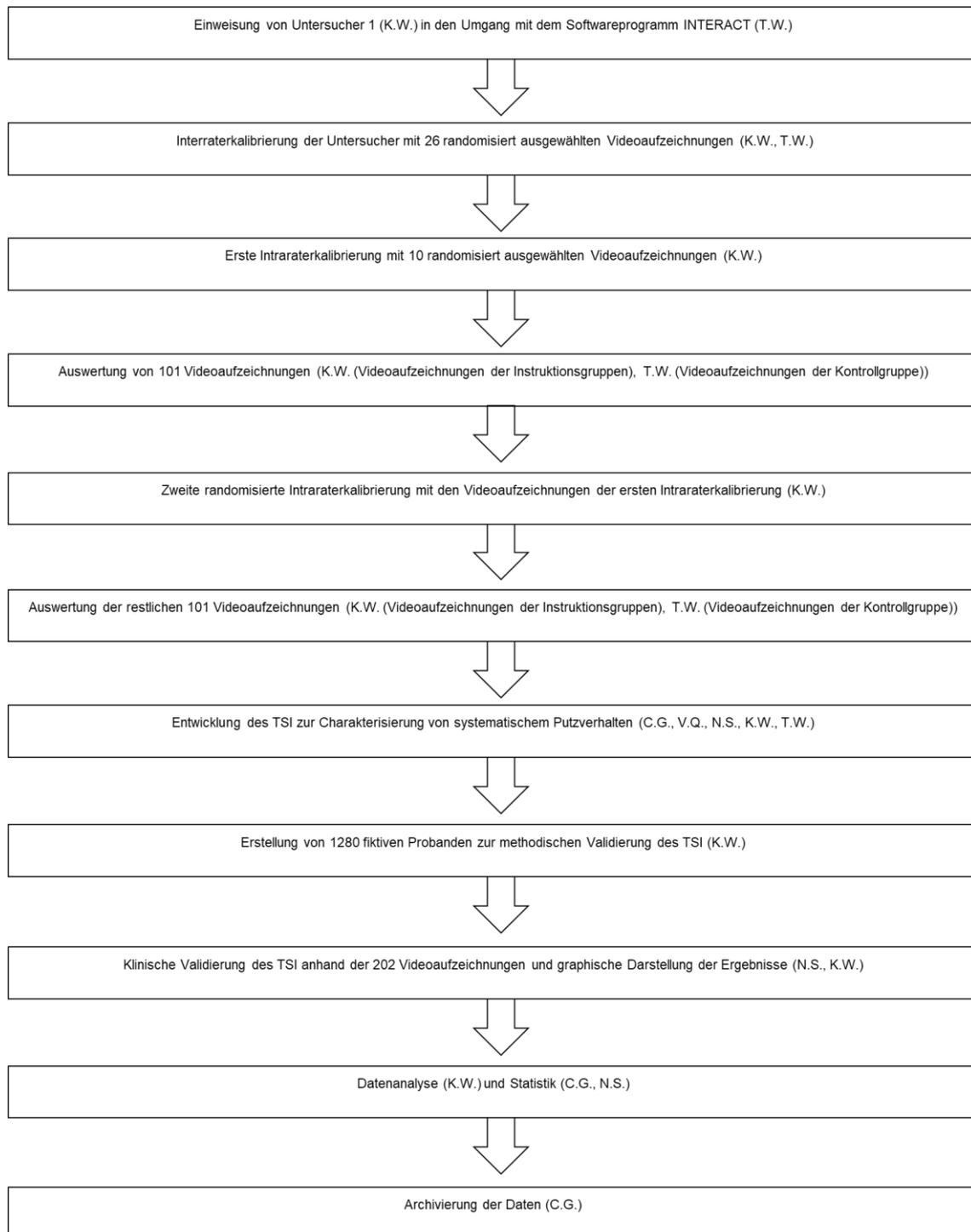


Abbildung 5: Verantwortlichkeiten und Aufgabenaufteilung

Prof. Dr. med. dent. Carolina Ganß **(C.G.)**, Studienleiterin; Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen

Prof. Dr. med. dent. Nadine Schlüter **(N.S.)**; Universitätsklinikum Freiburg, Abteilung für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde; Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

Katrin Winterfeld **(K.W.)**, Untersucher 1

Dr. med. dent. Tobias Winterfeld **(T.W.)**, Untersucher 2

Vicenç Quera **(V.Q.)**, Ph.D., Professor, Department of Behavioral Science Methods, University of Barcelona

4.2 Drop-outs

Es konnten 63 Probanden in die Studie eingeschlossen werden. Die Studie aus dem Jahr 2005 zählte 77 Probanden (Probandenzahl nach Drop-outs), welche die Studie erfolgreich beendet hatten. Im Verlauf aller Videoauswertungen der ehemals 77 eingeschlossenen Probanden, fiel auf, dass bei neun Probanden mindestens eine Videoaufzeichnung bereits nach fünf Minuten aussetzte, obwohl die Probanden noch weiter putzten. Bei fünf weiteren Probanden waren bei mindestens einer Videoaufzeichnung mehr als 30 % der Gesamtputzdauer nicht auswertbar, da die Probanden den Kamerafokus zwischenzeitlich verlassen hatten. Aus diesem Grund wurden diese 14 Probanden für diese Studie ausgeschlossen. Vier weitere Probanden waren nur zu den ersten beiden Terminen erschienen und lieferten daher nur zwei Videoaufzeichnungen. Diese Probanden konnten für zwei der drei in der vorliegenden Studie erstellten Datensätze verwendet werden (Abb. 6).

4.3 Gruppeneinteilung

Die Gruppeneinteilung der vorliegenden Studie fasst die beiden Instruktionsgruppen aus dem Jahr 2005 zu einer Instruktionsgruppe zusammen (Abb. 6). Die Kontrollgruppe wurde übernommen. Es wurden drei Datensätze, für welche die Gruppeneinteilung in Kontroll- und Instruktionsgruppe gilt, erstellt:

1. Der Datensatz CLIN beinhaltet 59 der 63 eingeschlossenen Probanden, die an allen Studienterminen teilgenommen hatten und diente der klinischen Validierung des entwickelten Toothbrushing Systematic Index (TSI) und der Darstellung des TSI unter klinischen Bedingungen.
2. Sechszwanzig der 63 eingeschlossenen Probanden übernahmen nach einmaliger Mundhygieneunterweisung die Zahnputzsystematik nach Rateitschak vollständig und bilden den Datensatz COMP (Vollständig Adaptierte Systematiker). Sie definieren den „Goldstandard“ und beschreiben den Maximalwert, den der TSI unter klinischen Bedingungen annehmen kann. Die 26 Probanden waren im Jahr 2005 anhand eines Punktschemas identifiziert worden und sind für die vorliegende Studie übernommen worden.
3. Um Auswirkungen von Veränderungen im Putzverhalten auf den entwickelten TSI besser veranschaulichen zu können, wurde der Datensatz TSI-ANALYSE (Abb. 6) erstellt. Dafür wurden alle 63 eingeschlossenen Probanden anhand ihres TSI zu Studienbeginn (Baseline) in Quartile (16/16/16/15 Probanden) eingeteilt. Für jedes Quartil wurden die TSI-Parameter Gesamtputzdauer, Wechselhäufigkeit, Anzahl

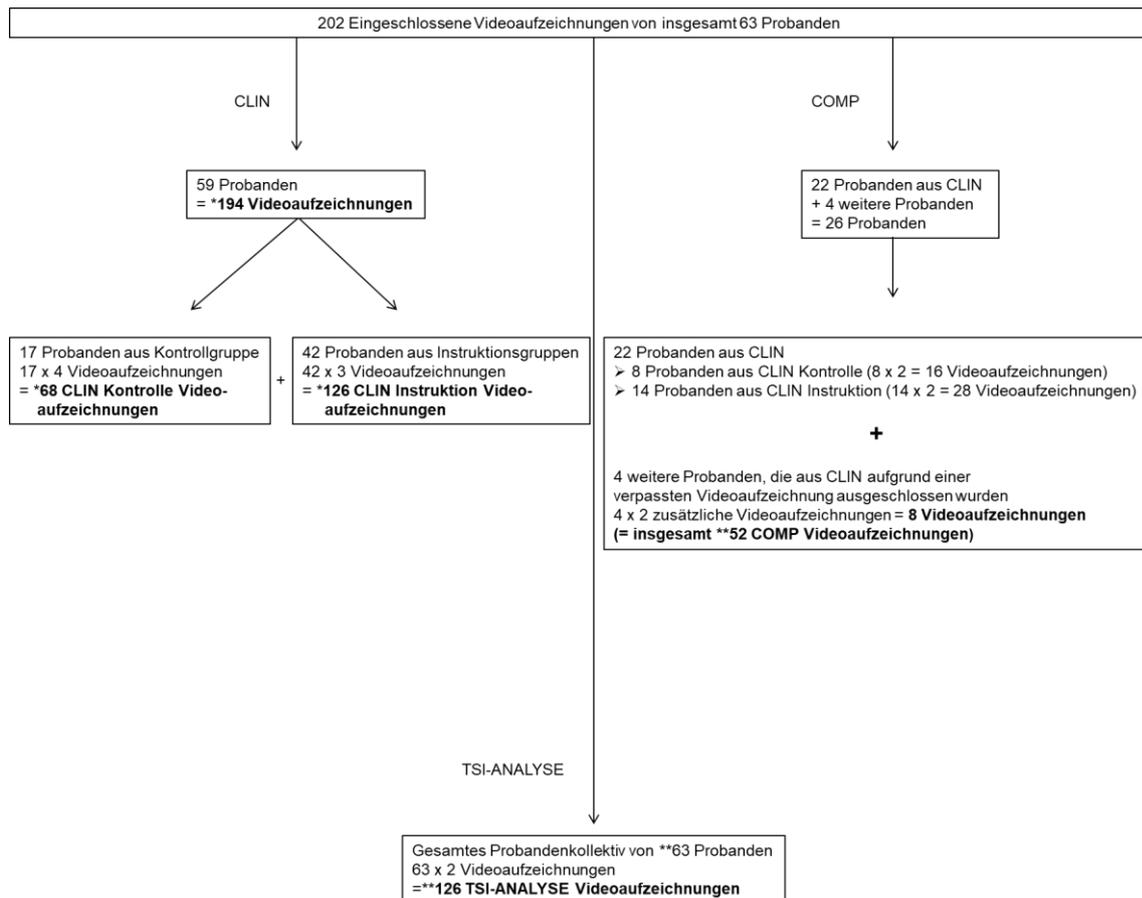
erreichter Areale und Isochronalität vor und nach einmaliger Mundhygieneinstruktion bestimmt.

4.4 Videomaterial

Von allen 63 eingeschlossenen Probanden lagen insgesamt 202 Videoaufzeichnungen vor (Abb. 6). Neunundfünfzig der 63 eingeschlossenen Probanden waren zu allen Studienterminen erschienen. Vier Probanden der 63 eingeschlossenen Probanden waren nur zur Baselineuntersuchung (BL/V1) und zum ersten Instruktionstermin (V2) erschienen.

- (1) Datensatz CLIN: Neunundfünfzig der 63 eingeschlossenen Probanden waren zu allen Terminen erschienen und lieferten jeweils vier Videoaufzeichnungen, wenn sie der Kontrollgruppe (BL/V1, V2, V3, V4) angehörten, beziehungsweise drei Videoaufzeichnungen, wenn sie der Instruktionsgruppe (BL/V1, V2, V3) zugehörig waren. Alle Videoaufzeichnungen der 59 Probanden (insgesamt 194 Videoaufzeichnungen) fanden in der klinischen Analyse Berücksichtigung. Dieser Datensatz wird fortan unter dem Begriff CLIN zusammengefasst (Abb. 6).
- (2) Datensatz COMP: Sechszwanzig der 63 eingeschlossenen Probanden übernahmen nach einmaliger Mundhygieneinstruktion die erläuterte Putzsystematik nach Rateitschak vollständig (Abb. 6). Vier der 26 eingeschlossenen Probanden waren nur zur Baselineuntersuchung (BL/V1) und zum ersten Instruktionstermin (V2) erschienen. Da für den Datensatz COMP genau diese Videoaufzeichnungen relevant waren, konnten diese vier Probanden zur Vergrößerung des Datensatz zusätzlich eingeschlossen werden.
- (3) Datensatz TSI-ANALYSE: Für diesen Datensatz wurden jeweils die Baselineaufnahme (BL/V1) und die Videoaufzeichnung nach einmaliger Mundhygieneinstruktion (V2 bzw. V4) benötigt. Es konnten daher alle 63 Probanden in diesen Datensatz eingeschlossen werden (Abb. 6).

Für die Datensätze COMP und TSI-ANALYSE wurde auf die Videoaufzeichnung der zweiten Mundhygieneinstruktion (V3) im Gegensatz zum Datensatz CLIN verzichtet. Dies wurde so vorgenommen, da auf diese Weise auch die Videoaufzeichnungen nach einmaliger Mundhygieneinstruktion der Kontrollgruppe (V4) eingeschlossen werden konnten und die Probandenzahl dadurch von 42 instruierten Probanden auf 63 instruierte Probanden vergrößert werden konnte (Abb. 6).



*pro Proband alle Videoaufzeichnungen eingeschlossen (BL/V1, V2 bzw. V4, V3)

**pro Proband zwei Videoaufzeichnungen eingeschlossen (BL/V1, V2 bzw. V4)

Abbildung 6: Verteilung der 202 eingeschlossenen Videoaufzeichnungen auf die drei Datensätze CLIN, COMP und TSI-ANALYSE. Für die Datensätze COMP und TSI-ANALYSE waren jeweils nur die Baselineaufnahme (BL/V1) und die Videoaufzeichnung nach einmaliger Mundhygieneinstruktion (V2 bzw. V4) von Bedeutung. Der Datensatz CLIN hingegen beinhaltet alle Videoaufzeichnungen (BL/V1-V3 bzw. V4), die im Verlauf der Studie aufgenommen wurden.

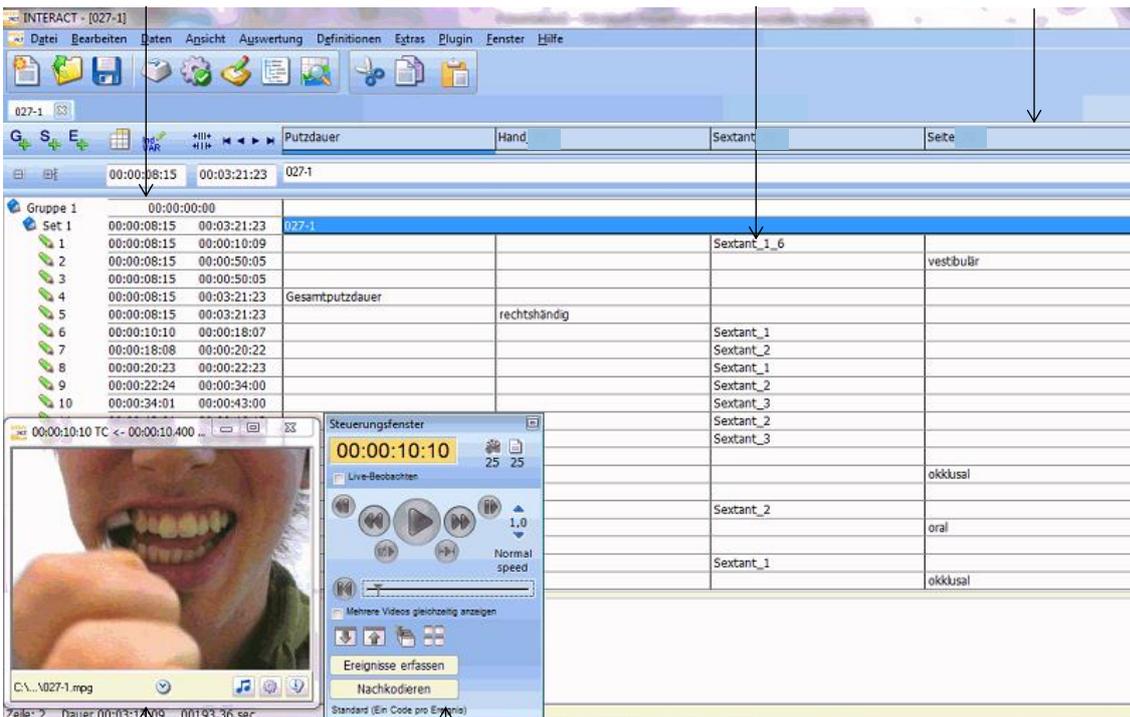
4.5 Videoanalyse mit INTERACT (Mangold 2011)

Die Videoaufzeichnungen aus dem Jahr 2005 wurden für die vorliegende Studie mit der professionellen Analyse- und Beobachtungssoftware INTERACT (Mangold 2011) erneut ausgewertet. In INTERACT konnten die Videoaufzeichnungen direkt geöffnet und analysiert werden (Abb. 7).

Datenset mit Zeitintervall des jeweils codierten Ereignisses

Code

Aktive Codes zur Videoanalyse



Gruppenname	Startzeit	Endzeit	Code	Aktive Codes zur Videoanalyse
Gruppe 1	00:00:00:00			
Set 1	00:00:08:15	00:03:21:23	027-1	
1	00:00:08:15	00:00:10:09	Sextant_1_6	vestibulär
2	00:00:08:15	00:00:50:05		
3	00:00:08:15	00:00:50:05		
4	00:00:08:15	00:03:21:23	Gesamtputzdauer	
5	00:00:08:15	00:03:21:23		rechtshändig
6	00:00:10:10	00:00:18:07	Sextant_1	
7	00:00:18:08	00:00:20:22	Sextant_2	
8	00:00:20:23	00:00:22:23	Sextant_1	
9	00:00:22:24	00:00:34:00	Sextant_2	
10	00:00:34:01	00:00:43:00	Sextant_3	
			Sextant_2	okkusal
			Sextant_2	oral
			Sextant_1	okkusal

Videodatei

Steuerungsfenster zur Navigation innerhalb der Videodatei

Abbildung 7: Screenshot der Benutzeroberfläche der professionellen Analyse- und Beobachtungssoftware INTERACT (Mangold 2011). Geöffnet ist eine Videodatei, welche mit Hilfe des Steuerungsfensters angehalten, vor- oder zurückgespult oder in Slowmotion abgespielt werden kann. Über die Tastatur wird das zu codierende Ereignis eingegeben und im Datenset vermerkt.

Zur Charakterisierung des Zahnputzverhaltens wurden in Analogie zur Studie von Winterfeld (2015) folgende Putzparameter definiert (Tab. 1):

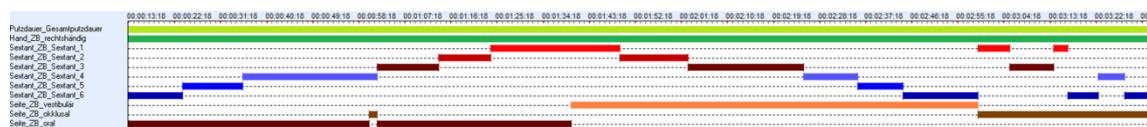
Tabelle 1: Festgelegte Parameter des Zahnputzverhaltens (Winterfeld 2015)

Parameter	Definition
Händigkeit	Hand, mit welcher geputzt wurde (rechts, links oder abwechselnd)
Gesamtputzzeit	Zeit zwischen dem ersten Kontakt Zahnbürste/Zahn und dem letzten Kontakt zwischen Zahnbürste/Zahn
eigentliche Gesamtbürstzeit (Honkala 1984)	Zeit, die ausschließlich für das Zähneputzen aufgewendet wurde. Gesamtputzzeit abzüglich der Putzpausen oder besonderen Ereignisse wie Mundausspülen, Zungenreinigung, etc.
Startregion	Erstes Putzareal (Kombination aus Fläche (oral, vestibulär, okklusal) und Sextant (S1-S6 oder Kombinationen aus Sextanten S1_6, S2_5, S3_4))
Putzregion (Macgregor und Rugg-Gunn 1979a)	okklusal, vestibulär, oral

Für die Putzparameter wurden Codes (Abb. 9-10) definiert.

Für die Videoanalyse wurden Ober- und Unterkiefer in Sextanten unterteilt.

Da jeder Code mit einer Tastenkombination (Hotkey) belegt wurde, war es möglich, jedes Putzereignis mit dem entsprechenden Hotkey zu codieren, während INTERACT (Mangold 2011) dies in einer Datentabelle zusammenfasste und eine Zeitleiste (im Folgenden Time-Line-Chart) zur besseren Visualisierung erstellte (Abb. 8).

**Abbildung 8:** Screenshot einer Time-Line-Chart (Mangold 2011)

Die Time-Line-Chart setzt sich aus zwei Codiervorgängen zusammen. Die oberen beiden grünen Balken entstammen dem ersten Codiervorgang und kennzeichnen die Gesamtputzzeit sowie die Händigkeit.

Im zweiten Codiervorgang wurden die Sextanten (blau: Unterkiefer; S4-S6; rot: Oberkiefer; S1-S3) sowie die Putzflächen (Brauntöne: vestibulär, oral, okklusal) codiert.

Aus den auf diese Weise erstellten Time-Line-Charts kann abgelesen werden, wie lange der Proband ein bestimmtes Putzareal gereinigt hat.

Wie die oben dargestellte Time-Line-Chart veranschaulicht, können Ereignisse simultan (z.B. Sextant 1 vestibulär geputzt) erfasst und codiert werden. Der Wechsel

eines Sextanten oder der Fläche hebt den zuvor codierten Sextanten bzw. die zuvor codierte Fläche auf. Zur Minimierung der Falschcodierung wurden zwei Codiervorgänge pro Videoaufzeichnung angesetzt. Jede Videoaufzeichnung wurde zweimal vollständig angeschaut und analysiert.

4.6 Codierschema

Für die Videoanalyse wurden zwei Codiervorgänge (Abb. 9-10) angesetzt.

Im ersten Codiervorgang (Abb. 9) wurden die Gesamtputzdauer in Sekunden und die Händigkeit erfasst. Beide Ereignisse wurden simultan erfasst und codiert.

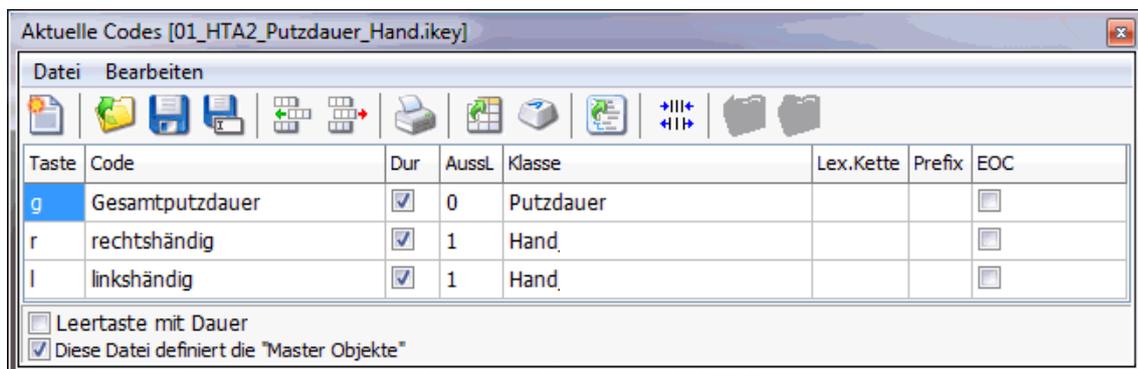


Abbildung 9: Screenshot der Parameter des ersten Codiervorgangs. Codiert wurden die Gesamtputzdauer (**Putzdauer**) und die Händigkeit (rechts/links) (**Hand**) (Mangold 2011).

Für den Erhalt der Gesamtputzdauer wurde ab dem ersten Bürstkontakt bis zur letzten Putzbewegung codiert. Für Pausen, Mund ausspülen oder ähnliche Ereignisse wurde dieses Ereignis nicht ausgesetzt, um einen Zeitwert für den gesamten Putzvorgang zu erhalten. Die reine Putzdauer, der Kontakt zwischen Zahnbürste und Zähnen, wurde im Nachhinein errechnet (Gesamtbürstdauer).

Die Putzhand (rechts, links) oder Wechsel der Händigkeit innerhalb eines Putzvorganges wurden ebenfalls im ersten Codiervorgang erfasst. Als Rechts- bzw. Linkshänder wurde ein Proband eingestuft, wenn er mehr als 75 % seiner Gesamtbürstdauer mit der rechten beziehungsweise linken Hand geputzt hat.

Im zweiten Codiervorgang (Abb. 10) wurden die Sextanten sowie die erreichten Flächen und undefinierte Putzereignisse erfasst. Die Sextanten sowie die erreichten Flächen konnten immer nur isoliert codiert werden, sodass ein Wechsel in einen neuen Sextanten oder auf eine neue Fläche den zuvor codierten Sextanten bzw. die zuvor codierte Fläche aufhob. Eine simultane Codierung von Sextant und Fläche war möglich und gewollt.

The screenshot shows a window titled 'Aktuelle Codes' with a menu bar 'Datei Bearbeiten' and a toolbar. Below is a table with columns: Taste, Code, Dur, Aussl, Klasse, Lex.Kette, Prefix, and EOC. The table lists 15 rows of coding parameters. The first six rows are 'Sextant' events (1-6). The next three rows are 'Fläche' events (0-2). The last six rows are 'Undef_Putzereignis' events (p, b, n). At the bottom, there are two checkboxes: 'Leertaste mit Dauer' (checked) and 'Diese Datei definiert die "Master Objekte"' (unchecked).

Taste	Code	Dur	Aussl	Klasse	Lex.Kette	Prefix	EOC
1	Sextant_1	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Sextant			<input type="checkbox"/>
2	Sextant_2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	Sextant			<input type="checkbox"/>
3	Sextant_3	<input checked="" type="checkbox"/>	3	Sextant			<input type="checkbox"/>
4	Sextant_4	<input checked="" type="checkbox"/>	4	Sextant			<input type="checkbox"/>
5	Sextant_5	<input checked="" type="checkbox"/>	5	Sextant			<input type="checkbox"/>
6	Sextant_6	<input checked="" type="checkbox"/>	6	Sextant			<input type="checkbox"/>
q	Sextant_1_6	<input checked="" type="checkbox"/>	7	Sextant			<input type="checkbox"/>
w	Sextant_2_5	<input checked="" type="checkbox"/>	8	Sextant			<input type="checkbox"/>
e	Sextant_3_4	<input checked="" type="checkbox"/>	9	Sextant			<input type="checkbox"/>
0	vestibulär	<input checked="" type="checkbox"/>	10	Fläche			<input type="checkbox"/>
9	okklusal	<input checked="" type="checkbox"/>	11	Fläche			<input type="checkbox"/>
8	oral	<input checked="" type="checkbox"/>	12	Fläche			<input type="checkbox"/>
p	Pause	<input checked="" type="checkbox"/>	13	Undef_Putzereignis			<input type="checkbox"/>
b	Besonderes_Ereignis	<input checked="" type="checkbox"/>	14	Undef_Putzereignis			<input type="checkbox"/>
n	nicht_erkennbar	<input checked="" type="checkbox"/>	15	Undef_Putzereignis			<input type="checkbox"/>

Leertaste mit Dauer
 Diese Datei definiert die "Master Objekte"

Abbildung 10: Screenshot der Parameter des zweiten Codiervorgangs. Codiert wurden die geputzten Sextanten (**Sextant**) und erreichten Flächen (**Fläche**), sowie undefinierte Putzereignisse (**Undef_Putzereignis**) (Mangold 2011). Zusätzlich zu **Sextant_1-Sextant_6**, wurden die Parameter **Sextant_1_6**, **Sextant_2_5** und **Sextant_3_4** eingeführt, um das gleichzeitige Putzen der Vestibulärflächen bei Kieferschluss codieren zu können.

Zur besseren Auswertbarkeit und in Anlehnung an die Studie von Macgregor und Rugg-Gunn (1979a) wurden Ober- und Unterkiefer in Sextanten aufgeteilt. Die Sextanten eins bis sechs werden im Folgenden mit S1 bis S6 abgekürzt. Zusätzlich wurden die Parameter Sextant_1_6, Sextant_2_5 und Sextant_3_4 eingeführt, wenn in zwei Sextanten gleichzeitig geputzt wurde. Dies war der Fall, wenn die Vestibulärflächen bei Kieferschluss gereinigt wurden. Ein Sextant wurde als erreicht codiert, wenn der komplette Bürstenkopf den Zähnen des entsprechenden Sextanten auflag und eine Putzbewegung von mindestens einer Sekunde erkennbar war. Das Ereignis wurde beendet, wenn ein neuer Sextant geputzt wurde oder der Proband den Putzvorgang abbrach. Ein neuer Sextant wurde erst dann codiert, wenn alle Borsten der Zahnbürste den neuen Sextanten erreicht hatten und den bisher codierten Sextanten verlassen hatten.

Bei der Codierung der Zahnflächen wurde eine Unterteilung in vestibulär, oral und okklusal vorgenommen. Codiert wurde die entsprechende Fläche, auf der sich die Zahnbürste gerade befand. Wurden aufgrund eines zu flachen Anstellwinkels der Zahnbürste mehrere Flächen gleichzeitig erreicht, so wurde die Fläche codiert, auf der sich die Mehrheit der Borsten befand. Ein Wechsel der Fläche beendete das vorangegangene Ereignis.

Unter undefinierte Putzereignisse fielen Pausen, nicht erkennbare Videosequenzen oder besondere Ereignisse. Wurde solch ein Ereignis codiert, wurden alle anderen Ereignisse, bis auf die Putzdauer und die Händigkeit, ausgesetzt.

Als eine Pause wurde das Aussetzen des Putzvorganges, Ausspülen oder ein Wechsel der Putzhand definiert. Der Putzvorgang wurde anschließend wieder aufgenommen.

Als nicht erkennbare Videosequenzen wurden Ereignisse codiert, bei welchen der Proband den Fokus der Kamera verlassen hatte oder aber bei geschlossenem Mund putzte und die Putzregion nicht eindeutig zu sehen war.

Alle nicht vorhersehbaren Ereignisse, wie beispielsweise das Reinigen der Zunge oder das Massieren des Zahnfleisches (Gingiva), wurden unter dem Code besondere Ereignisse zusammengefasst. Ein Textfeld zum freien Schreiben ermöglichte eine genauere Definition des besonderen Ereignisses (Winterfeld 2015).

4.7 Plaqueindex

Die Plaquedaten aus dem Jahr 2005 wurden unter Berücksichtigung der modifizierten Gruppenteilung (Abb. 6) übernommen und reanalysiert. Weiterhin wurden die Mittelwerte der Plaquewerte für die Sextanten und Flächen errechnet.

4.8 Kalibrierung

Untersucher 2 (T.W.) hatte die Aufgabe der Unterweisung des Untersuchers 1 (K.W.) im Umgang mit der Analyse- und Beobachtungssoftware INTERACT (Mangold 2011). Zur Überprüfung der Beobachterübereinstimmung fanden sowohl eine Interraterkalibrierung (zwischen Untersucher 1 und 2) als auch zwei Intraraterkalibrierungen (Untersucher 1 gegen sich selbst) statt. Für die Interraterkalibrierung (Tab. 3) wurden 26 Filmdateien randomisiert (www.random.org) ausgewählt und von beiden Untersuchern vor Beginn der Videoauswertung analysiert. Die Bestimmung des Kappakoeffizienten erfolgte in INTERACT (Mangold 2011) (Abb. 11-13). Die beiden Intraraterkalibrierungen (Tab. 4-5) wurden mit zehn randomisiert (www.random.org) ausgewählten Filmdateien durchgeführt. Dabei fand die erste Intraraterkalibrierung (Tab. 4) vor der eigentlichen Videoauswertung und die zweite

Intraraterkalibrierung (Tab. 5) nach der Hälfte aller ausgewerteten Filmdateien statt. Die Bestimmung des Kappakoeffizienten erfolgte ebenfalls mit INTERACT (Mangold 2011). Die Klassifizierung der Kappakoeffizienten erfolgte nach Landis und Koch (1977) (Tab. 2).

Tabelle 2: Klassifizierung des Kappakoeffizienten nach Landis und Koch (1977)

Kappa Statistik	Bewertungskriterium
<0,00	Schlecht
0,00-0,20	Gering
0,21-0,40	Ausreichend
0,41-0,60	Mäßig
0,61-0,80	Gut
0,81-1,00	Sehr gut

4.8.1 Bestimmung des Kappakoeffizienten mit INTERACT

INTERACT (Mangold 2011) ermöglicht die Ermittlung einer Beobachterübereinstimmung und die Bestimmung des Kappakoeffizienten direkt im Analyseprogramm. Die Interraterkalibrierung aller ausgewerteten Filmdateien von Untersucher 1 und Untersucher 2 wurden zu einer dem Untersucher entsprechender Datei zusammengeführt (Abb. 11). Man erhielt jeweils eine Datei, die alle ausgewerteten Filmdateien von Untersucher 1 und Untersucher 2 beinhaltete (Abb. 12). Der Kappakoeffizient dieser beiden Dateien konnte anschließend über die Funktion „*Calculate Kappa*“ bestimmt werden (Abb. 13). INTERACT gibt für jeden analysierten Putzparameter (Händigkeit, Putzdauer, Fläche, Sextant, undefinierte Putzereignisse) den ermittelten Kappakoeffizienten aus.

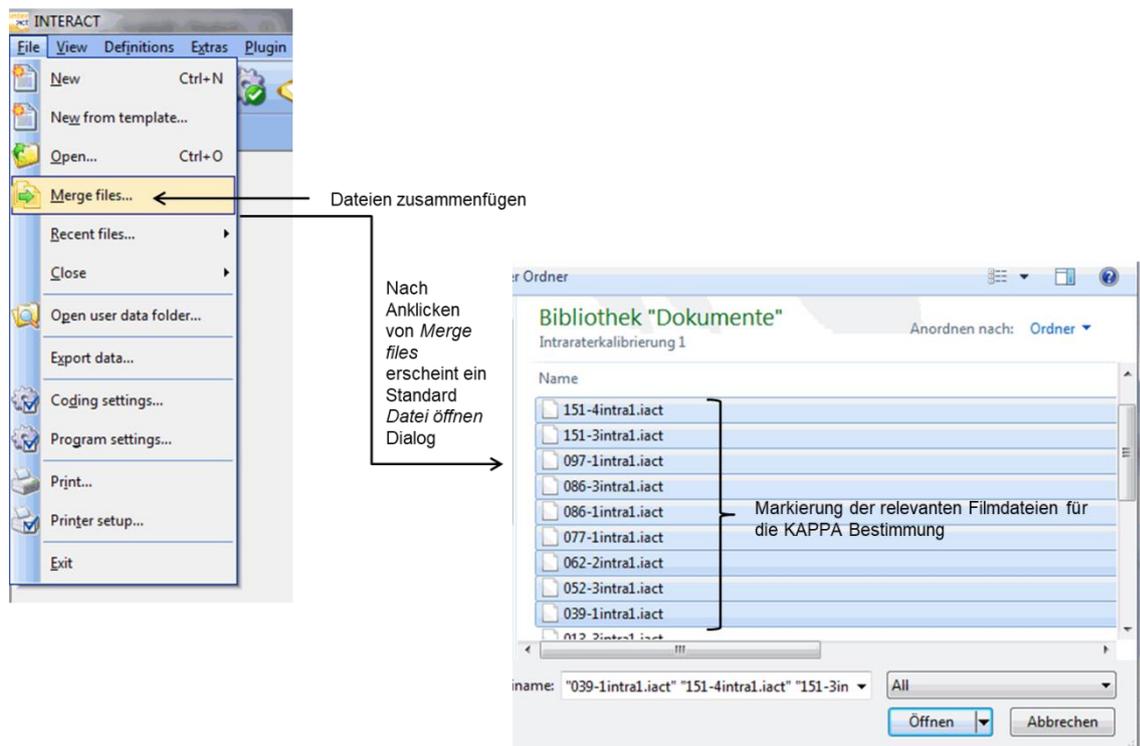


Abbildung 11: Screenshot aus INTERACT (Mangold 2011). Über die Funktion *Merge files* ließen sich beliebig viele ausgewertete Filmdateien zu einer großen Datei zusammenfügen. Diese Funktion wurde auf alle für die Kalibrierung relevanten ausgewerteten Filmdateien beider Untersucher angewendet, sodass zwei zusammengefügte Dateien entstanden, anhand derer die Kappa-Bestimmung durchgeführt werden konnte.

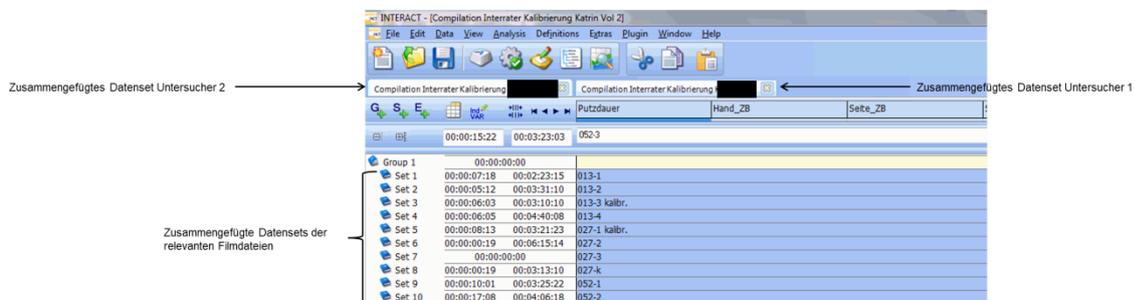


Abbildung 12: Screenshot aus INTERACT (Mangold 2011) Die zusammengefügten Datensätze aus den ausgewählten Filmdateien beider Untersucher wurden zur Kappa-Bestimmung geöffnet.

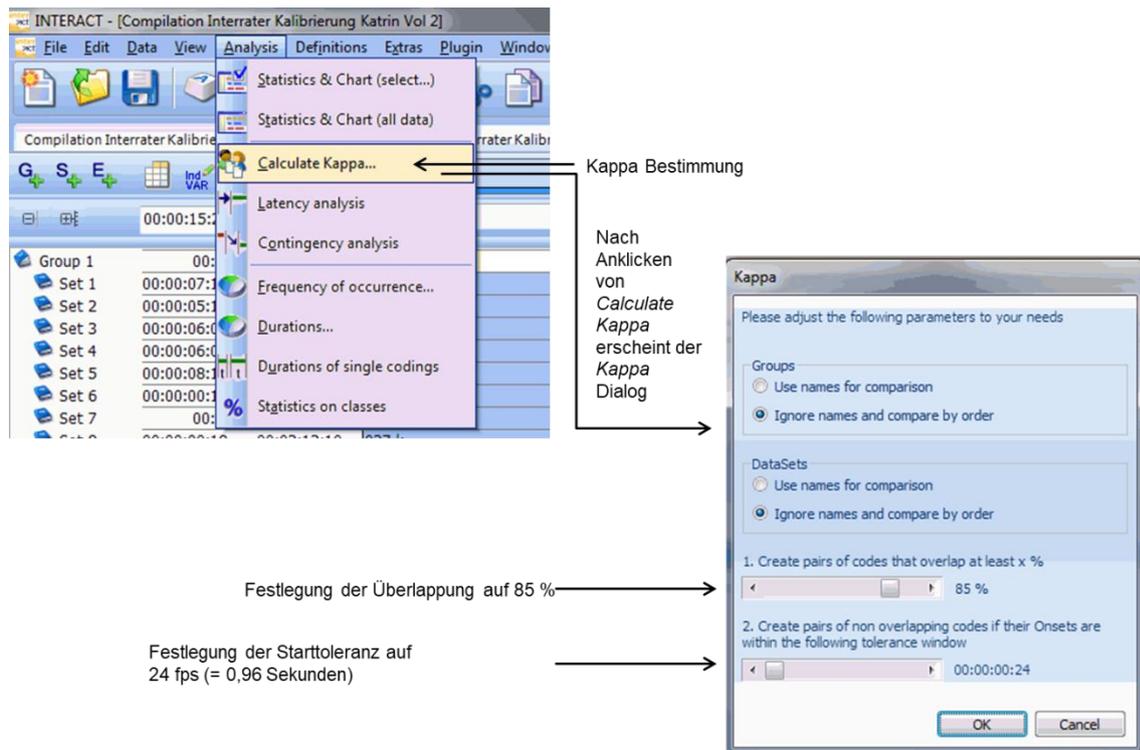


Abbildung 13: Screenshot aus INTERACT (Mangold 2011). Nachdem beide Datensets geöffnet sind, konnte über die Funktion *Calculate Kappa* der Kappa-Wert in INTERACT errechnet werden. Für alle Codes, die auf einer Dauer basieren, wurde eine Überlappung von 85 % eingestellt, um als richtig gezählt zu werden. Für alle punktuellen Ereignisse wurde eine Starttoleranz von 24 fps (frames per second) eingestellt. Innerhalb dieser 24 fps musste das Ereignis codiert worden sein, um als richtig gezählt zu werden.

4.8.2 Interraterkalibrierung

Die Interraterkalibrierung (Tab. 3) fand im Vorfeld der Videoauswertung mit 26 randomisiert (www.random.org) ausgewählten Filmdateien statt. Es wurden folgende Parameter in INTERACT für die Ermittlung der Beobachterübereinstimmung festgelegt (Abb. 13):

- Für alle Codes, die auf einer Dauer basierten, wurde eine Überlappung von 85 % festgelegt.
- Für die Codes, welche sich nicht überlappen, wurde eine Starttoleranz von 24 fps (= 0,96 Sekunden) festgelegt. Innerhalb dieser 24 fps musste das Ereignis codiert worden sein, um als richtig gezählt zu werden.

Tabelle 3: Interraterkalibrierung der Untersucher 1 (K.W.) und Untersucher 2 (T.W.) für Codes basierend auf einer Zeitspanne. Jede Videoaufnahme wurde von beiden Untersuchern ausgewertet. Ereignisse wurden nur dann gezählt, wenn sie sich in mind. 85 % der Zeit überschneiden und ihre Starttoleranz nicht mehr als 0,96 s (24 fps) abwich. Bei der Übereinstimmung der Untersucher wurde zuerst die Auswertung von Untersucher 1 mit der von Untersucher 2 verglichen und anschließend umgekehrt. Daraus ergab sich die prozentuale Übereinstimmung der Videoauswertungen.

Klasse (grau) Variable (weiß)	Anzahl der übereinstimmenden und ungleichen Paare		Übereinstimmung der Untersucher	Kappakoeffizient	
	zweiter Untersucher (T.W.)	erster Untersucher (K.W.)	[%]	Variable	Klasse
Händigkeit					1,00
Rechts	22	22	100/100	1,00	
Links	6	6	100/100	1,00	
Fläche					0,77
Vestibulär	110	104	95,2/90	0,86	
Okklusal	142	154	81,2/88	0,73	
Oral	114	111	84,7/82,5	0,72	
Sextant					0,90
Sextant 1	119	115	93/89,9	0,84	
Sextant 2	80	86	83,7/90	0,77	
Sextant 3	99	93	96,8/90,9	0,88	
Sextant 4	109	114	91,2/95,4	0,87	
Sextant 5	93	88	92,1/87,1	0,81	
Sextant 6	102	101	95,1/94,1	0,90	
Sextant 1_6	58	65	86,2/96,6	0,84	
Sextant 2_5	74	65	96,9/85,1	0,83	
Sextant 3_4	78	83	90,4/96,2	0,87	
Putzdauer					1,00
Gesamtputzdauer	26	26	100/100	1,00	
Undef_Putzereignis					0,64
nicht_erkennbar	12	19	57,9/91,7	0,55	
Pause	28	29	96,6/100	0,97	

4.8.3 Intraraterkalibrierung

Die Ermittlung des Kappakoeffizienten für die Intraraterkalibrierungen erfolgte analog zu dem Verfahren der Interraterkalibrierung mit 10 randomisiert (www.random.org) ausgewählten Filmdateien. Die randomisiert ausgewählten Videodateien wurden für beide Intraraterbestimmungen verwendet.

Es fanden zwei Intraraterkalibrierungen statt. Die erste Intraraterkalibrierung (Tab. 4) wurde vor Beginn der Auswertung und die zweite Intraraterkalibrierung (Tab. 5) nach der Hälfte aller ausgewerteten Videodateien vorgenommen. Zur Ermittlung des Kappakoeffizienten in INTERACT galten analog zur Interraterkalibrierung die gleichen Parameter (Abb. 13):

Tabelle 4: Übereinstimmung der ersten Intraarterkalibrierung des Untersuchers 1 (K.W.) vor Beginn der Videoanalyse. Die 10 Videoaufnahmen wurden ein zweites Mal zum Vergleich ausgewertet. Ereignisse wurden nur dann gezählt, wenn sie sich in mind. 85 % der Zeit überschritten und ihre Starttoleranz nicht mehr als 0,96 s abwich. Bei der Übereinstimmung der Auswertungen wurde zuerst die erste Auswertung mit der zweiten Auswertung verglichen und anschließend umgekehrt. Daraus ergab sich die prozentuale Übereinstimmung der beiden Auswertungen.

Klasse (grau) Variable (weiß)	Anzahl der übereinstimmenden und ungleichen Paare		Übereinstimmung der zwei Auswertungen	Kappakoeffizient	
	erste Auswertung	zweite Auswertung	[%]	Variable	Klasse
Händigkeit					1,00
Rechts	9	9	100/100	1,00	
Links	3	3	100/100	1,00	
Fläche					0,80
Vestibulär	47	49	93,6/89,8	0,85	
Okklusal	59	56	81,4/85,7	0,72	
Oral	40	43	90/83,7	0,77	
Sextant					0,89
Sextant 1	56	59	94,6/89,3	0,85	
Sextant 2	31	32	90,3/87,5	0,80	
Sextant 3	48	42	81,3/92,7	0,76	
Sextant 4	50	52	92/88,5	0,82	
Sextant 5	34	36	88,2/83,3	0,75	
Sextant 6	47	50	97,9/92	0,90	
Sextant 1_6	40	39	92,5/94,9	0,88	
Sextant 2_5	49	45	89,8/97,8	0,88	
Sextant 3_4	53	56	94,3/89,3	0,85	
Putzdauer					1,00
Gesamtputzdauer	10	10	100/100	1,00	
Undef_Putzereignis					0,20
nicht_erkennbar	1	0	0/0	0,00	
Pause	17	19	100/89,5	0,89	

Tabelle 5: Übereinstimmung der zweiten Intraarterkalibrierung des Untersuchers 1 (K.W.). Die 10 Videoaufnahmen wurden ein drittes Mal zum Vergleich ausgewertet. Ereignisse wurden nur dann gezählt, wenn sie sich in mind. 85 % der Zeit überschritten und ihre Starttoleranz nicht mehr als 0,96 s abwich. Bei der Übereinstimmung der Auswertungen wurde zuerst die erste Auswertung mit der dritten Auswertung verglichen und anschließend umgekehrt. Daraus ergab sich die prozentuale Übereinstimmung der beiden Auswertungen.

Klasse (grau) Variable (weiß)	Anzahl der übereinstimmenden und ungleichen Paare		Übereinstimmung der zwei Auswertungen	Kappakoeffizient	
	erste Auswertung	dritte Auswertung	[%]	Variable	Klasse
Händigkeit					1,00
Rechts	9	9	100/100	1,00	
Links	3	3	100/100	1,00	
Fläche					0,77
Vestibulär	48	51	93,8/88,2	0,83	
Okklusal	64	56	75/85,7	0,67	
Oral	43	46	88,4/82,6	0,75	
Sextant					0,88
Sextant 1	60	58	91,7/94,8	0,87	
Sextant 2	33	35	87,9/82,9	0,74	
Sextant 3	45	44	84,4/86,4	0,75	
Sextant 4	54	54	83,3/83,3	0,71	
Sextant 5	40	36	82,5/91,7	0,77	
Sextant 6	50	52	94/90,4	0,85	
Sextant 1_6	40	41	92,5/90,2	0,84	
Sextant 2_5	45	52	100/86,5	0,87	
Sextant 3_4	57	54	91,2/96,3	0,88	
Putzdauer					1,00
Gesamtputzdauer	10	10	100/100	1,00	
Undef_Putzereignis					1,00
nicht_erkennbar					
Pause	19	19	100/100	1,00	

4.9 Die Entwicklung des Toothbrushing Systematic Index (TSI)

Die Videoaufzeichnungen aller Probanden können mit INTERACT (Mangold 2011) auf 0,04 Sekunden genau in ihrem Putzverhalten ausgewertet werden. INTERACTs exakte Analyse von komplexen Bewegungsmustern und deren Visualisierung ermöglicht eine einfache Darstellung von Putzvorgängen und Putzmustern (Darstellung in Time-Line-Charts), sagt jedoch nichts über den Grad einer möglicherweise verwendeten Putzsystematik aus.

Um Systematik graduierbar und messbar machen zu können, wurden zwei Indices zur objektiven Quantifizierung von systematischem und nicht systematischem Putzen entwickelt. Die Herleitung dieser Indices zur Berechnung von systematischem Zahnputzverhalten gelang in Zusammenarbeit mit Vicenç Quera (Ph.D., Professor; Department of Behavioral Science Methods, University of Barcelona).

Für die Herleitung der beiden mathematischen Gleichungen der Indices wurden im Vorfeld vier Forderungen ((1)-(4)) formuliert, die unserem Verständnis nach systematisches Zahnputzverhalten definieren:

- (1) Es soll eine ausreichend lange Putzdauer (mind. 2 Minuten) aufgewendet werden.
- (2) Es sollen so wenige Wechsel wie möglich zwischen den zu reinigenden Arealen stattfinden, um ein konzentriertes und gründliches Reinigen zu ermöglichen (Putzkonsistenz).
- (3) Alle Zähne und Zahnoberflächen sollen erreicht werden (vollständiges Putzen).
- (4) Alle Zähne und Zahnoberflächen sollen gleichmäßig lang erreicht werden (isochronales Putzen).

Zur besseren Lesbarkeit und zum besseren Verständnis wird im Folgenden unter den Begriffen „Areal/Putzareal“ die Kombination aus Fläche und Sextant verstanden.

4.9.1 Der Index C

Ein wichtiges Merkmal des systematischen Zähneputzens ist die Konsistenz oder auch Wechselhäufigkeit beim Putzvorgang. Es soll möglichst konzentriert geputzt werden, sodass möglichst wenige Wechsel zwischen den einzelnen Putzregionen innerhalb einer möglichst langen Gesamtbürstzeit stattfinden. Diese Kriterien finden im Index C (Gleichung 1) ihre Berücksichtigung. Die Anzahl der Putzarealwechsel wurde durch die Gesamtbürstzeit dividiert und mit dem Quotienten aus den erreichten und den maximal zu erreichenden Putzarealen multipliziert (Schlueter et al. 2018):

Gleichung 1:

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

b = Anzahl der Putzarealwechsel

x = Gesamtbürstdauer in Sekunden (s)

i = Anzahl der erreichten Putzareale

n = Anzahl der maximal zu erreichenden Putzareale (in Summe 12)

Je weniger Putzarealwechsel stattfinden, desto kleiner wird der Quotient aus der Anzahl der Putzarealwechsel in Bezug zur Gesamtputzdauer. Daher wurde dieser Quotient von 1 subtrahiert. Wenn numerisch mehr Putzarealwechsel stattfinden als die Sekundenzahl der Gesamtputzdauer beträgt, wird der Wert für C negativ. In diesen Fällen wurde C gleich Null gesetzt. Werte, die Null ergeben oder gegen Null gehen, charakterisieren daher ein unsystematisches Putzverhalten, wohingegen Werte, die gegen 1 gehen für ein systematisches Putzverhalten stehen.

Im Index C finden 12 Putzareale Beachtung. Hierbei handelt es sich um die Vestibulär- und Oralflächen der Sextanten. Wurden zwei Sextanten auf einmal bei Kieferschluss geputzt, so wurde die Gesamtputzzeit für dieses Areal halbiert und jeweils die Hälfte der Zeit auf die beiden geputzten Sextanten verteilt.

4.9.2 Der Index I

Als zweites Element zur Charakterisierung der Systematik wurde der Index I eingeführt (Gleichung 2) (Schlueter et al. 2018). I beschreibt zum einen die Vollständigkeit (alle Zähne und Zahnoberflächen sollen erreicht werden) und zum anderen die Gleichmäßigkeit der Bürstdauer (Isochronalität), mit der die einzelnen Areale erreicht werden (alle Areale sollen möglichst gleich lang aufgesucht werden (isochronales Putzen)). I kann Werte zwischen Null und 1 annehmen. Je größer I, desto gleichmäßiger und vollständiger hat ein Proband die Areale erreicht.

Gleichung 2:

$$I = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{d_i}{x} - \frac{1}{n} \right|}{2 \frac{n-1}{n^2}} = 1 - \frac{n}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n \left| \frac{d_i}{x} - \frac{1}{n} \right|$$

n = Anzahl der maximal zu erreichenden Putzareale (in Summe 12)

d_i = Putzdauer innerhalb eines Putzareals in Sekunden (s)

x = Gesamtputzdauer in Sekunden (s)

Der Index I ist als Summe angelegt. Es wird für jedes Putzareal (n) die Putzzeit für dieses Areal (d_i) in Relation zur Gesamtputzzeit (x) bestimmt und unter Berücksichtigung der Vollständigkeit mit dem nächsten Putzareal addiert. Für n werden 12 Putzareale angenommen. Im Betrag finden sich folglich 12 Einzelwerte, die addiert werden. Bei den 12 maximal zu erreichenden Putzarealen handelt es sich um die Vestibulär- und Oralflächen der Sextanten. Wurden zwei Sextanten bei Kieferschluss zusammengeputzt, so wurde die Gesamtputzzeit für dieses Areal halbiert und jeweils die Hälfte der Zeit auf die beiden geputzten Sextanten verteilt. Wurde ein Putzareal nicht aufgesucht, so floss es mit dem Wert null für die Putzdauer innerhalb eines Putzareals (d_i) in die Berechnungen mit ein. Je vollständiger und gleichmäßiger die Putzareale aufgesucht wurden, desto mehr tendiert der Wert für I gegen 1 und desto isochronaler wurde geputzt.

4.9.3 Der TSI

Sowohl der Index C als auch der Index I können Werte zwischen Null und 1 annehmen. Werte, die gegen 1 gehen, weisen bei beiden Indices auf ein systematisches Putzverhalten hin, wohingegen Werte, die gegen Null gehen, ein unsystematisches Putzverhalten charakterisieren. Nach Ermittlung der Einzelindices pro Proband werden die zwei Indexwerte addiert. Dies bedeutet, dass der Gesamtindex, TSI genannt, Werte zwischen Null und 2 annehmen kann. Werte, die gegen Null gehen, beschreiben ein unsystematisches Putzverhalten, wohingegen Werte, die gegen 2 gehen, für ein systematisches Putzverhalten stehen.

4.10 Validierung des TSI

Der TSI ermöglicht eine differenzierte Einteilung in ein systematisches oder unsystematisches Putzverhalten. Die theoretische Validierung des TSI erfolgte anhand von 1280 simulierten Putzsequenzen. Die klinische Validierung erfolgte anhand der klinischen Daten der Studienteilnehmer aus dem Jahr 2005.

4.10.1 Theoretische Validierung des TSI

Die Erstellung der 1280 simulierten Putzsequenzen (Gleichung 3) wurde an vier variable Bedingungen geknüpft ((1)-(4)), um eine möglichst detaillierte Abstufung vom unsystematischen hin zum systematischen Putzer zu bekommen und um eine möglichst große Vielfalt an unterschiedlichen Putzern zu generieren.

Folgende Putzparameter konnten variiert werden:

- (1) Erreichte Zahnflächen (beinhaltet absteigend 16 von 16 erreichten Putzarealen (vollständig geputzt) bis hin zu 1 von 16 Putzarealen erreicht (unvollständig geputzt)).
- (2) Isochronales Putzen/nicht isochronales Putzen (jedes Putzareal wird mit annähernd der gleichen Putzdauer aufgesucht/oder nicht). Die Putzdauer der isochronalen Putzer ergibt sich aus der Wechselhäufigkeit in Abhängigkeit von der Putzzeit.
- (3) Wechselhäufigkeit (beinhaltet aufsteigend von jedes Putzareal (insgesamt 16) einmal aufgesucht (15 Wechsel) bis hin zu jedes Putzareal (insgesamt 16) fünfmal aufgesucht (79 Wechsel)).
- (4) Putzzeit: Insgesamt wurden 8 verschiedene Putzzeiten (30 s, 60 s, 90 s, 120 s, 180 s, 210 s, 240 s, 480 s) für die Simulation generiert.

Die 1280 simulierten Sequenzen errechnen sich aus den Parametern ((1)-(4)) wie folgt:

Gleichung 3:

$$16 \text{ zu erreichende Areale} \times 2 \text{ Gruppen (isochronale Putzer/nicht isochronale Putzer)} \times 5 \text{ verschiedene Wechselhäufigkeiten} \times 8 \text{ verschiedene Putzzeiten} = 1280 \text{ simulierte Sequenzen}$$

Die 1280 simulierten Putzsequenzen wurden in Excel erstellt und auf zwei Gruppen (Gruppe A und B) (isochronal/nicht isochronal) verteilt. Die in Tabelle 6 aufgelisteten Parameter veranschaulichen die Variationsbreite der generierten Sequenzen.

Tabelle 6: Festgesetzte Parameter zur Erstellung der simulierten Putzsequenzen. Variiert werden konnten acht verschiedene Putzzeiten, das Vorliegen von isochronalem Putzen oder nicht (Gruppe A/Gruppe B), die Anzahl der Arealwechsel und damit verbunden die Häufigkeit, wie oft ein Putzareal aufgesucht wird, sowie die Anzahl der erreichten Putzareale.

	Simulationsgruppe	Dauer [s] der 8 Putzvorgänge	Isochronal	Anzahl der Wechsel	Maximal zu erreichende Putzareale	Häufigkeit eines Putzareals pro Putzvorgang
Gruppe A	1	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	ja	15	16	1
	2	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	ja	31	16	2
	3	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	ja	47	16	3
	4	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	ja	63	16	4
	5	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	ja	79	16	5
Gruppe B	6	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	nein	15	16	1
	7	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	nein	31	16	2
	8	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	nein	47	16	3
	9	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	nein	63	16	4
	10	30, 60, 90, 120, 180, 210, 240, 480	nein	79	16	5

Begriffserklärung: isochronal → alle Areale werden gleich lang erreicht (Gruppe A)

nicht isochronal → jedes Areale wird unterschiedlich lang erreicht (Gruppe B)

Die Sequenzen der Gruppe A (Simulationsgruppe 1-5) wurden als isochronal putzend simuliert. Das bedeutet, dass jedes Putzintervall (aufgewendete Putzzeit pro Putzareal) gleich lang ist. Jede Simulationsgruppe enthält acht verschiedene Putzzeiten. Die Länge der einzelnen Putzintervalle der acht unterschiedlich langen Putzvorgänge ergibt sich aus den fünf unterschiedlich anzunehmenden Wechselhäufigkeiten. Tabelle 7 zeigt dies am Beispiel des Putzvorgangs 240 s. Es wurde für jede der acht Putzzeiten die vorgegebene Anzahl an Putzarealwechseln (15 s, 31 s, 47 s oder 79 s) simuliert. Die zu erreichenden Putzareale wurden pro Simulation aufsteigend, von nur einem Putzareal erreicht, bis hin zu allen 16 Putzarealen erreicht, simuliert. Daraus ergeben sich 128 isochronal simulierte Putzsequenzen. Je nach Simulationsgruppe wurden die Putzareale dann zwei, drei, vier oder fünf Mal wiederholt. Insgesamt erhält man dadurch einen Datensatz von 640 isochronal simulierten Sequenzen.

Tabelle 7: Tabelle zur Erstellung der Putzintervalllänge (aufgewendete Putzzeit pro Putzareal) bei unterschiedlichen Wechselfrequenzen am Beispiel des Putzvorgangs 240 s.

Gesamtputzdauer in [s]	Wechselhäufigkeit	Länge eines Putzintervalls in [s]
240 s	15 Wechsel	$\frac{240 \text{ Sekunden}}{16 \text{ Areale}} = 15 \text{ s}$
240 s	31 Wechsel	$\frac{240 \text{ Sekunden}}{32 \text{ Areale}} = 7,5 \text{ s}$
240 s	47 Wechsel	$\frac{240 \text{ Sekunden}}{48 \text{ Areale}} = 5 \text{ s}$
240 s	63 Wechsel	$\frac{240 \text{ Sekunden}}{64 \text{ Areale}} = 3,75 \text{ s}$
240 s	79 Wechsel	$\frac{240 \text{ Sekunden}}{80 \text{ Areale}} = 3 \text{ s}$

Die Sequenzen der Gruppe B (Simulationsgruppe 6-10) wurden als nicht isochronal putzend simuliert. Das bedeutet, dass die Länge der Putzintervalle unterschiedlich ist und sich nicht, wie bei den isochronal simulierten Sequenzen, aus dem Quotienten der Gesamtbürstdauer und der Wechselhäufigkeit ergibt. Für diese Simulation wurde zunächst eine Mastersequenz erstellt (Abb.14).

Putzdauer in Sekunden

Simulationsnummer	Anzahl erreichter Areale	Dauer des Putzvorgangs (s)	Wechselhäufigkeit	C-Wert	Areal 1	Areal 2	Areal 3	Areal 4	Areal 5	Areal 6	Areal 7	Areal 8	Areal 9	Areal 10	Areal 11	Areal 12	Areal 13	Areal 14	Areal 15	Areal 16	I-Wert
672	16	240	15	0,94	15,0	27,0	32,0	6,0	7,0	14,0	9,0	12,0	17,0	8,0	11,0	13,0	16,0	25,0	18,0	10,0	0,80

Abbildung 14: Erstellte Mastersequenz als Basis für die Simulation aller weiteren als nicht-isochronal putzend simulierten Sequenzen. Es wurden 240 s Gesamtputzdauer bei 15 Arealwechseln simuliert. Die Verteilung der Gesamtputzdauer auf die 16 unterschiedlichen Areale (Areal 1 bis 16) wurde zufällig festgelegt.

Ausgehend von der Mastersequenz wurden in der darauf folgenden Sequenz nur noch 15 anstatt 16 Putzareale erreicht, dann 14, 13, 12 usw.. Die Putzzeiten in den einzelnen Arealen errechneten sich aus den Putzzeiten der Mastersequenz:

$$\text{Putzdauer Areal } x \text{ der vorherigen Simulationssequenz} + \left(\frac{\text{Putzdauer im zuletzt aufgesuchten Areal der vorherigen Simulationssequenz}}{\text{Anzahl aufgesuchter Areale in der neu erstellten Simulationssequenz}} \right) = \text{Putzdauer Areal } x'$$

Für das Putzareal 1 der nachfolgenden Sequenz ergibt sich anhand der Formel der folgende Wert:

$$\text{Putzdauer Areal 1} + \frac{\text{Putzdauer Areal 16}}{15 \text{ zu erreichende Areale}} = 15,0 \text{ s} + \left(\frac{10,0 \text{ s}}{15} \right) = 15,7 \text{ s}$$

Die Formel wurde auf die nachfolgenden Sequenzen solange angewendet, bis in der zuletzt simulierten Sequenz nur noch ein Areal aufgesucht wurde. Auf diese Weise wurden die ersten 16 simulierten Sequenzen erstellt.

Um die jeweils 16 Sequenzen für die sieben weiteren Putzzeiten zu erhalten, wurden die Putzzeiten in allen Arealen der Mastersequenz aus allen 16 Simulationen mit dem jeweiligen Faktor der Putzzeiten multipliziert (480 s/240 s, 210 s/240 s, 180 s/240 s, 120 s/240 s, 90 s/240 s, 60 s/240 s, 30 s/240 s). Daraus ergeben sich insgesamt 128 simulierte nicht-isochronale Sequenzen. Anhand dieser 128 simulierten Sequenzen konnten die fünf verschiedenen Wechselhäufigkeiten über die Berechnung des Index C für die einzelnen Simulationssequenzen bei konstanter Putzdauer in den einzelnen Putzarealen variiert werden. Man erhält 640 (128x5 verschiedene Wechselhäufigkeiten) simulierte nicht isochronale Putzsequenzen. Zusammen mit den 640 isochronal simulierten Putzsequenzen, ergibt sich ein kompletter Datensatz von 1280 simulierten Sequenzen zur theoretischen Validierung des TSI.

Die Berechnung aller Rohdaten erfolgte in Excel. Zur statistischen Datenanalyse wurden die Rohdaten in SPSS übertragen.

4.10.2 Klinische Validierung des TSI

Für die klinische Validierung des TSI wurden die erneut ausgewerteten Daten aus der Studie des Jahres 2005 verwendet und wie in Abbildung 6 bereits beschrieben aufgeteilt. Die Aufteilung sah die Gliederung der Daten in drei Gruppen vor: Die erste Gruppe beinhaltete die Daten aller Studienteilnehmer, welche zu allen Studienterminen erschienen waren (CLIN), die zweite Gruppe beinhaltete die Daten aller Studienteilnehmer, welche die Systematik nach Rateitschak perfekt adaptierten (COMP) und die dritte Gruppe enthielt die Daten aller Studienteilnehmer geordnet nach ihrem anfänglichen TSI Wert und in Quartile unterteilt (TSI-ANALYSE).

Ebenso wie für die theoretische Validierung wurde auch für die klinische Validierung das Zahnputzverhalten aller Studienteilnehmer auf die Parameter Gesamtputzdauer, Putzdauer in den einzelnen Arealen, Anzahl erreichter Areale, Anzahl der Arealwechsel und auf die Einhaltung der Isochronalität untersucht. Im Gegensatz zu den theoretischen Sequenzen, konnte bei der klinischen Validierung der Plaqueindex zusätzlich berücksichtigt werden. So konnte der TSI auch in Bezug zur Putzeffizienz analysiert werden.

Zuerst wurden nur die Probanden zur Validierung herangezogen, welche die Systematik nach Rateitschak vollständig übernommen hatten (COMP). Diese wurden

im Jahr 2005 anhand eines Punkte-Index von 0 bis 16 erfasst. Null bedeutet, dass an der falschen Stelle mit dem Putzen begonnen wurde, wohingegen 16 für eine am instruierten Startpunkt begonnene und chronologisch korrekt ausgeführte Putzreihenfolge steht.

Sechszwanzig der 63 eingeschlossenen Probanden erhielten die volle Punktzahl nach erstmaliger (Instruktionsgruppe (V2)) bzw. einmaliger Instruktion (Kontrollgruppe (V4)). Die vollständige Adaptation der Systematik nach Rateitschak wurde als Goldstandard festgelegt. In INTERACT zeigten sich solche Time-Line-Charts in folgender Form (Abb. 15):

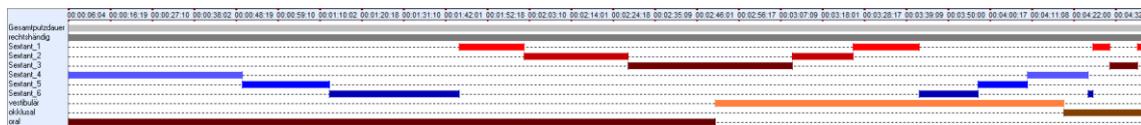


Abbildung 15: Time-Line-Chart eines Probanden nach einmaliger Instruktion in die Systematik nach Rateitschak und deren vollständiger Übernahme. Alle 16 Putzareale wurden in der vorgeschriebenen Reihenfolge aufgesucht. Die grauen Balken beschreiben die Gesamtputzdauer sowie die verwendete Putzhand (rechts/links). Die blauen Balken kennzeichnen die Sextanten 4-6 des Unterkiefers, die roten Balken die Sextanten 1-3 des Oberkiefers. Die braunen Balken kennzeichnen die geputzten Flächen (vestibulär, oral, okklusal).

Die Time-Line-Chart nach vollständiger Adaptation der Systematik nach Rateitschak wurde mit der korrespondierenden Erstaufnahme (vor Mundhygieneinstruktion) verglichen (Abb. 16).

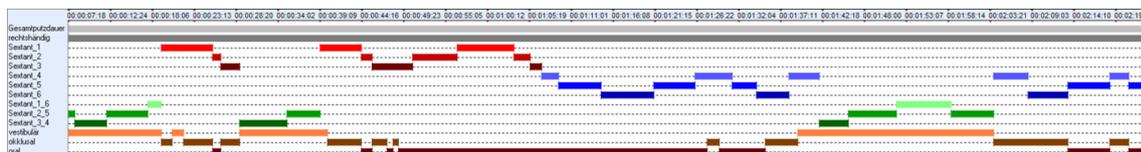


Abbildung 16: Time-Line-Chart des gleichen Probanden wie aus Abb. 15 vor Mundhygieneinstruktion in die Systematik nach Rateitschak. Die grauen Balken beschreiben die Gesamtputzdauer sowie die verwendete Putzhand (rechts/links). Die blauen Balken kennzeichnen die Sextanten 4-6 des Unterkiefers, die roten Balken die Sextanten 1-3 des Oberkiefers. Die grünen Balken kennzeichnen ein gleichzeitiges Putzen der Vestibulärflächen bei Kieferschluss der Sextanten 1_6, 2_5, 3_4. Die braunen Balken kennzeichnen die geputzten Flächen (vestibulär, oral, okklusal).

Der direkte Vergleich zwischen vollständig adaptierter Systematik und nicht instruiertem Putzen war nötig, um den unter klinischen Bedingungen den maximal zu erreichenden Wert der beiden Indices C und I und des TSI zu ermitteln.

Im Anschluss daran wurde der TSI für alle 63 eingeschlossenen Probanden in Excel berechnet, um das Verhalten des TSI unter klinischen Bedingungen zu demonstrieren (CLIN) und um die Veränderungen der Systematikparameter nach Mundhygieneunterweisung zu analysieren (TSI-ANALYSE).

4.11 Statistik

Die statistischen Berechnungen der klinischen Daten erfolgte in SPSS 24 für Windows (IBM, Armonk, NY, USA). Die Daten jeder Gruppe wurden auf Normalverteilung überprüft (Kolmogorov-Smirnov Test). Vergleiche innerhalb einer Gruppe zwischen zwei Zeitpunkten wurden mit dem T-Test bei gepaarten Stichproben errechnet. Für die Validierung der klinischen Daten wurde die Bonferroni-Korrektur angewandt; das Signifikanzniveau nach Korrektur lag bei $p \leq 0,008$ für die Indexwerte und bei $p \leq 0,002$ für die Zeitdauerwerte.

Wurden Vergleiche zwischen den Gruppen innerhalb eines Zeitpunktes angestellt, so wurden diese mit einer einfachen ANOVA (Tamhane) errechnet. Alle TSI Werte, ebenso wie die Zeitwerte und Plaquewerte sowie die Wechselfrequenz und die Anzahl an erreichten Arealen wurden als Mittelwerte mit \pm Standardabweichungen angegeben. Das Signifikanzlevel wurde auf $p \leq 0,05$ festgesetzt. Alle weiteren Ergebnisse wurden deskriptiv beschrieben.

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der simulierten Sequenzen

Der TSI und seine Summanden C und I wurden auf jede einzelne der 1280 simulierten Sequenzen angewendet. Es sollte gezeigt werden, dass der TSI in simulierten Daten die klinisch angestrebten Verhaltensparameter abbilden kann. Dabei wurden 640 Sequenzen unter isochronalen Verhältnissen (Gruppe A; Abb. 17) und 640 Sequenzen unter nicht isochronalen Verhältnissen (Gruppe B; Abb. 18) simuliert.

5.1.1 Isochronal simulierte Sequenzen

Unter der Annahme, dass jedes Putzareal mit exakt der gleichen Putzzeit aufgesucht wird (isochronales Putzen), ergeben sich für den Index I Werte zwischen 0,00 und 1,00. Abbildung 17 zeigt, dass der Graphenverlauf von I (gestrichelte Linie) in allen 40 Matrixfeldern identisch ist. Je vollständiger alle 16 Areale (von links nach rechts pro Matrixfeld gelesen) aufgesucht werden, desto mehr nähert sich der Wert von I 1,00 an, unabhängig von der Wechselfrequenz oder der Gesamtputzzeit. Eine Sequenz, in der alle 16 Areale mit hoher Isochronalität bei kurzer Gesamtputzzeit und sehr hoher Wechselfrequenz aufgesucht werden, erzielt denselben Wert im Index I wie eine Sequenz, in der alle 16 Putzareale mit hoher Isochronalität bei langer Gesamtputzdauer und sehr niedriger Wechselfrequenz aufgesucht werden. Der TSI ist für die zuerst beschriebene Sequenz jedoch deutlich niedriger als für die Sequenz mit langer Gesamtputzzeit und geringer Wechselfrequenz, da der TSI eine Summe der Indices C und I darstellt. Veränderungen im Putzverhalten zu Lasten der Gesamtputzzeit und einer zu hohen Wechselfrequenz, spiegeln die Graphenverläufe des Index C (durchgezogene Linie) in Abbildung 17 wieder. Je mehr Putzarealwechsel im Verhältnis zu einer sehr kurzen Gesamtputzzeit stattfinden, desto mehr flacht der Graph für C ab und tendiert gegen Null. C kann Werte zwischen 0,00 und 0,97 annehmen. Die höchsten Werte für C können mit der geringsten möglichen Wechselfrequenz von 15 Wechsels und dem Erreichen von allen 16 Putzarealen bei möglichst hoher Gesamtputzzeit erzielt werden. C kann nie den Maximalwert von 1,00 annehmen, da der Nenner die Gesamtputzzeit enthält und diese dann gegen Unendlich gehen müsste. Der Wert für I tendiert unter diesen Bedingungen und unter Einhaltung der Isochronalität gegen 1,00. Der TSI kann somit Werte zwischen 0,00 und 1,97 annehmen.

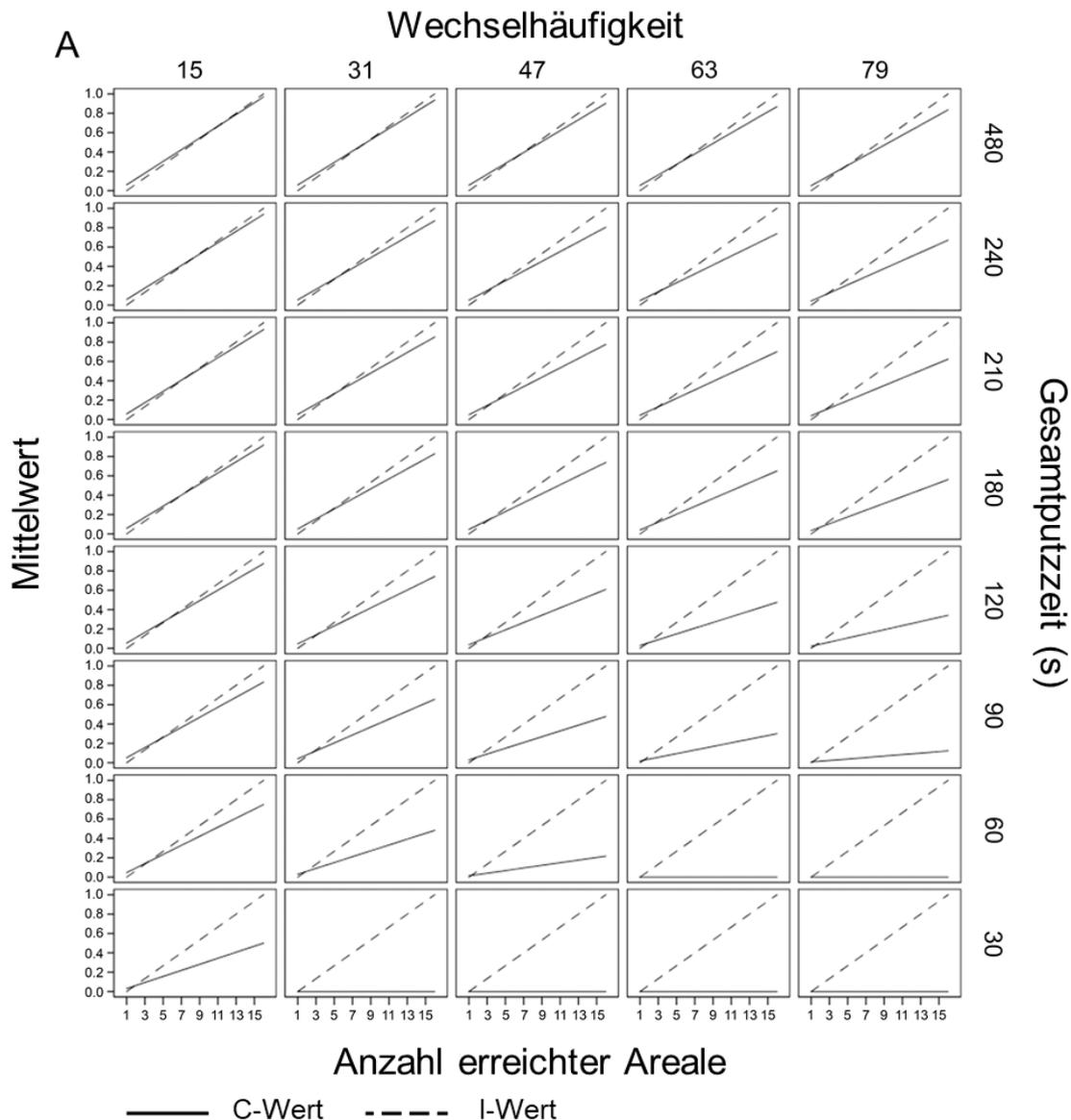


Abbildung 17: Gruppe A: Werte für die TSI (links) Summanden C (durchgezogene Linie) und I (gestrichelte Linie) anhand von 640 als isochronal simulierte Putzsequenzen. Gezeigt wird die Abhängigkeit der Indices C und I von der Wechselhäufigkeit (oben), der Anzahl der erreichten Areale (unten) und der Gesamtputzzeit (rechts). Der Graph für I hat aufgrund der eingehaltenen Isochronalität in allen Matrixfeldern den gleichen Verlauf, da I von keinem der anderen Parameter abhängig ist. Der Graph für C nimmt dagegen mit zunehmender Wechselhäufigkeit (von links nach rechts) in Kombination mit einer kürzeren Gesamtputzzeit (von oben nach unten) und unvollständiger Anzahl an erreichten Areale (von rechts nach links pro Matrixfeld) ab und geht gegen Null (Schlueter et al. 2018).

5.1.2 Nicht isochronal simulierte Sequenzen

Die 640 Sequenzen der Gruppe B wurden als nicht isochronal putzend simuliert. Die Putzintervalle weisen im Gegensatz zu Gruppe A unterschiedlich lange Zeiten auf (Abb. 18).

Die Werte des TSI liegen unter nicht isochronalen Bedingungen zwischen 0,00 und 1,77. Die Werte für den Index C (durchgezogene Linie) sind identisch mit denen der

isochronal simulierten Putzer aus Gruppe A (Abb. 17) und liegen zwischen 0,00 und 0,97.

Der Graph für I (gestrichelte Linie) verläuft nun aber nicht mehr wie bei Gruppe A in einer Geraden, sondern nähert sich dem Wert 0,80 an. Der Maximalwert von 1,00 für I ist für diese Simulation aufgrund der fehlenden Isochronalität selbst unter den Bedingungen, dass alle Areale erreicht werden, nicht möglich. Die Werte für I sinken daher im Vergleich zu Gruppe A ab und liegen zwischen 0,00 und 0,80.

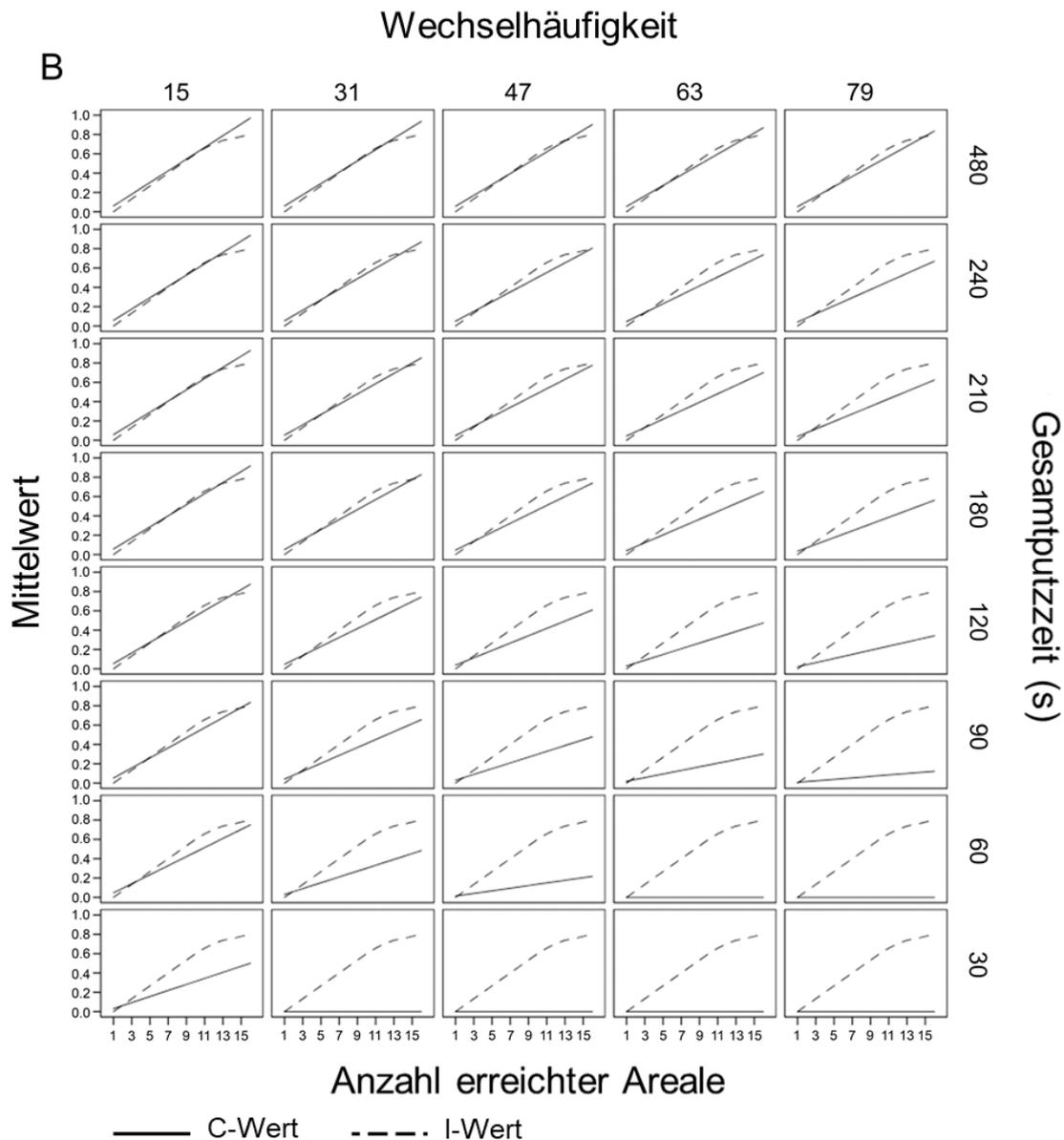


Abbildung 18: Gruppe B: Werte für die TSI (links) Summanden C (durchgezogene Linie) und I (gestrichelte Linie) anhand von 640 als nicht isochronal simulierte Putzsequenzen. Gezeigt wird die Abhängigkeit der Indices C und I von der Wechselhäufigkeit (oben), der Anzahl der erreichten Areale (unten) und der Gesamtputzzeit (rechts). Der Graph für I hat aufgrund der nicht eingehaltenen Isochronalität in allen 40 Matrixfeldern den gleichen Verlauf, da I von keinem der anderen Parameter abhängig ist. Da jedes Putzareal mit unterschiedlich langen Putzzeiten simuliert wurde, erreicht I den Maximalwert von 1,00 nicht. Ein Wert von 1,00 würde perfekte Isochronalität bedeuten. Diese Voraussetzung ist für diese simulierten Sequenzen nicht gegeben. Unter nicht isochronalen Bedingungen nähert sich der Graph von I mit zunehmend angestrebter Isochronalität asymptotisch dem Wert 0,80 an. Der Graph für C verhält sich ebenso wie in Abb. 17, da die Isochronalität in C keine Berücksichtigung findet (Schlueter et al. 2018).

5.2 Ergebnisse für die Teilnehmer aller Studienzeitpunkte

Neunundfünfzig der 63 eingeschlossenen Probanden waren zu allen Studienterminen erschienen und bilden den Datensatz CLIN (Abb. 6). Alle Probanden aus CLIN lieferten

insgesamt vier Videoaufzeichnungen, wenn sie der Kontrollgruppe (n=17) zugehörig waren und drei Videoaufzeichnungen, wenn sie der Instruktionsgruppe (n=42) angehörten.

Fünf der 59 Probanden putzten ihre Zähne ausschließlich mit der linken Hand. Linkshändern wurde die Systematik nach Rateitschak gespiegelt beigebracht. Für die Datenanalyse wurden die Daten der Linkshänder invertiert.

5.2.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten

Zu Studienbeginn lassen sich keine Unterschiede in der Gesamtbürstdauer und der aufgewendeten Putzzeit auf den einzelnen Zahnflächen zwischen Kontroll- und Instruktionsgruppe erkennen (BL/V1 Kontrollgruppe zu BL/V1 Instruktionsgruppe: $p > 0,05$). Nach den Mundhygieneinstruktionen ist jedoch eine deutlich höhere Gesamtbürstdauer bei der Instruktionsgruppe im Vergleich zum Studienbeginn zu erkennen (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2 und V3: $p \leq 0,001$), wohingegen die Gesamtbürstdauer der Kontrollgruppe konstant bleibt (Kontrollgruppe BL/V1 zu V2 und V3: $p > 0,05$). Auch die Gesamtbürstdauer auf den einzelnen Zahnflächen ändert sich bei der Instruktionsgruppe nach beiden Mundhygieneinstruktionen im Vergleich zum Studienbeginn (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2 und V3: vestibulär: $p \leq 0,001$; oral: $p \leq 0,001$; okklusale: $p \leq 0,001$). Für die Kontrollgruppe hingegen bleibt die Putzzeitverteilung auf den einzelnen Flächen im Studienverlauf im Vergleich zum Studienbeginn konstant (Kontrollgruppe BL/V1 zu V2 und V3: $p > 0,05$). Erst nachdem auch die Kontrollgruppe eine Mundhygieneinstruktion erhalten hat, ändert sich sowohl die Gesamtbürstdauer als auch die aufgewendete Putzzeit auf den einzelnen Zahnflächen im Vergleich zum Studienbeginn (Kontrollgruppe BL/V1 zu V4: Gesamtbürstdauer: $p \leq 0,001$; vestibulär: $p \leq 0,001$; oral: $p \leq 0,001$; okklusale: $p \leq 0,001$). Ein Vergleich zwischen der Instruktionsgruppe nach einmaliger Instruktion und der Kontrollgruppe nach einmaliger Instruktion ergibt keinen Unterschied in den Putzzeitverteilungen (V2 Instruktionsgruppe zu V4 Kontrollgruppe: $p > 0,05$). Nach einer weiteren Mundhygieneinstruktion der Instruktionsgruppe lassen sich erneut eine Steigerung in der Gesamtbürstdauer und der Bürstdauer auf den Vestibulär und Oralflächen im Vergleich zur ersten Instruktion beobachten (Instruktionsgruppe V2 zu V3: Gesamtbürstdauer: $p \leq 0,001$; vestibulär: $p \leq 0,001$; oral: $p \leq 0,001$). Die Bürstdauer auf den Okklusalfächen hingegen ändert sich hingegen nicht mehr (Instruktionsgruppe V2 zu V3: $p > 0,05$) (Tab. 8).

Tabelle 8: Verteilung der Gesamtbürstdauer auf den einzelnen Flächen (vestibulär (vest.), okklusal (okkl.), oral) der Kontrollgruppe (CLIN Kontrolle) und der Instruktionsgruppe (CLIN Instruktion), sowohl vor (Baseline/V1) als auch nach Mundhygieneinstruktion (V2 u. V3 für Instruktionsgruppe; V4 für Kontrollgruppe). Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben (Schlueter et al. 2018).

	Baseline Videoaufnahme (BL/V1)				Zweite Videoaufnahme* (V2)				Dritte Videoaufnahme** (V3)			
	Gesamt	vest.	okkl.	oral	Gesamt	vest.	okkl.	oral	Gesamt	vest.	okkl.	oral
CLIN Kontrolle	126,6 (58,6)	53,8 (31,6)	44,5 (26,1)	28,2 (22,8)	146,4 (60,9)	64,0 (29,9)	44,1 (29,1)	38,3 (25,7)	125,0 (53,2)	55,3 (24,1)	36,4 (22,9)	33,3 (28,0)
CLIN Instruktion	142,5 (53,8)	71,4 (32,3)	37,0 (23,9)	34,0 (25,8)	236,1 (103,8)	101,9 (47,3)	25,1 (19,0)	109,1 (58,9)	294,8 (127,5)	128,5 (61,9)	21,6 (16,8)	144,7 (71,2)
CLIN Kontrolle Vierte Video- aufnahme*** (V4)					272,3 (130,4)	116,3 (62,2)	19,7 (12,1)	136,4 (72,1)				

* erste Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

** zweite Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

*** erste Mundhygieneunterweisung der Kontrollgruppe

Neben der Gesamtbürstdauer änderte sich auch die Wechselfrequenz nach Mundhygieneinstruktion (Tab. 9). Die Probanden der Instruktionsgruppe wurden im Zuge der Mundhygieneinstruktion angehalten erst ein Putzareal vollständig zu putzen, bevor in das nächste Putzareal gewechselt wird. Ihre Wechselfrequenz verringerte sich dadurch deutlich (Instrukionsgruppe BL/V1 zu V2: $p \leq 0,001$). Durch eine erneute Mundhygieneinstruktion konnte jedoch keine weitere Verringerung der Wechselfrequenz erzielt werden (Instrukionsgruppe V2 zu V3: $p > 0,05$). Diese Beobachtung trifft sowohl auf die Instrukionsgruppe CLIN (alle) als auch auf die Instrukionsgruppe CLIN (v/o) zu. In der Kontrollgruppe kommt es zu keiner Veränderung der Wechselfrequenz, solange keine Mundhygieneunterweisung stattfand (Kontrollgruppe BL/V1 zu V2 und V3: $p > 0,05$). Nach einmaliger Mundhygieneinstruktion kommt es auch bei der Kontrollgruppe im gleichen Maße wie bei der Instrukionsgruppe zu einer Verringerung der Wechselfrequenz (Kontrollgruppe BL/V1 zu V4: $p \leq 0,001$). Diese Beobachtung trifft sowohl auf die Kontrollgruppe CLIN (alle) als auch auf die Kontrollgruppe CLIN (v/o) zu (Tab. 9).

Tabelle 9: Anzahl der Arealwechsel der Kontrollgruppe und Instruktionsgruppe sowohl vor (BL/V1) als auch nach Mundhygieneinstruktion (V2 u. V3 für Instruktionsgruppe; V4 für Kontrollgruppe). Die Arealwechsel sind einmal bezogen auf alle Flächen (CLIN (alle)) und einmal bezogen auf die Glattflächen (CLIN (v/o)) angegeben. Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben.

	Baseline (BL/V1)	Zweite Videoaufnahme* (V2)	Dritte Videoaufnahme** (V3)	Vierte Videoaufnahme*** (V4)
CLIN (alle)				
Kontrollgruppe	48,6 (21,8)	54,0 (27,2)	46,7 (22,6)	20,0 (5,9)
Instruktionsgruppe	47,1 (17,2)	24,5 (11,9)	21,6 (6,6)	
CLIN (v/o)				
Kontrollgruppe	31,7 (16,9)	37,1 (19,0)	32,1 (16,5)	14,4 (3,6)
Instruktionsgruppe	33,4 (13,5)	18,6 (9,4)	17,1 (5,5)	

* erste Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

** zweite Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

*** erste Mundhygieneunterweisung der Kontrollgruppe

Tabelle 10 beschreibt in Mittelwerten die Anzahl an erreichten Putzarealen im gesamten Studienverlauf innerhalb der Kontroll- und Instruktionsgruppe. Zu Studienbeginn findet sich kein Unterschied in der Anzahl an erreichten Arealen zwischen der Kontroll- und der Instruktionsgruppe, unabhängig davon, ob alle Flächen oder nur die Glattflächen einbezogen werden (Kontrollgruppe BL1/V1 zu Instruktionsgruppe BL/V1: $p > 0,05$). Nach einmaliger Mundhygieneinstruktion erreichen die Probanden der Instruktionsgruppe nahezu alle Putzareale (Instrukionsgruppe BL/V1 zu V2: CLIN (alle): $p \leq 0,001$; CLIN (v/o): $p \leq 0,001$). Eine weitere Mundhygieneinstruktion hingegen führt zu keiner weiteren Verbesserung im Vergleich zur ersten Mundhygieneinstruktion (Instrukionsgruppe V2 zu V3: CLIN (alle): $p > 0,05$; CLIN (v/o): $p > 0,05$). Die Anzahl an erreichten Arealen bleibt im Studienverlauf für die Probanden der Kontrollgruppe konstant, unabhängig davon, ob alle Flächen oder nur die Glattflächen einbezogen werden (Kontrollgruppe BL/V1 zu V2 u. V3: $p > 0,05$). Erst nachdem auch die Kontrollgruppe eine Mundhygieneunterweisung erhalten hat, werden mehr Areale während des Putzvorgangs aufgesucht als zu Studienbeginn (Kontrollgruppe BL/V1 zu V4: CLIN (alle): $p \leq 0,001$; CLIN (v/o): $p \leq 0,001$).

Tabelle 10: Anzahl der erreichten Areale der Kontrollgruppe und Instruktionsgruppe sowohl vor (BL/V1) als auch nach Mundhygieneinstruktion (V2 und V3 für Instruktionsgruppe; V4 für Kontrollgruppe). Die Anzahl der erreichten Areale sind einmal bezogen auf alle Flächen (CLIN (alle)) und einmal bezogen auf die Glattflächen (CLIN (v/o)) angegeben. Unter der Annahme, dass alle Flächen (CLIN (alle)) aufgesucht werden, beschreiben 16 Areale den Idealzustand. Unter der Annahme, dass alle Glattflächen (CLIN (v/o)) aufgesucht werden, beschreiben 12 Areale den Idealzustand. Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben.

	Baseline (BL/V1)	Zweite Videoaufnahme* (V2)	Dritte Videoaufnahme** (V3)	Vierte Videoaufnahme*** (V4)
CLIN (alle)				
Kontrollgruppe	14,2 (2,3)	15,1 (2,2)	14,0 (3,5)	15,2 (1,7)
Instruktionsgruppe	14,6 (2,0)	15,9 (1,5)	15,5 (2,1)	
CLIN (v/o)				
Kontrollgruppe	10,0 (2,2)	10,7 (1,8)	9,7 (3,1)	11,5 (0,9)
Instruktionsgruppe	10,3 (2,0)	11,7 (0,9)	11,8 (0,8)	

* erste Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

** zweite Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

*** erste Mundhygieneunterweisung der Kontrollgruppe

Die Anzahl der erreichten Areale variiert im Studienverlauf. Zu Studienbeginn erreichen weniger als die Hälfte der Probanden aus beiden Studiengruppen alle 12 Glattflächen. Nach Mundhygieneinstruktion in die Systematik nach Rateitschak erreichen fast alle Probanden der beiden Studiengruppen die 12 Glattflächen vollständig (Abb. 19).

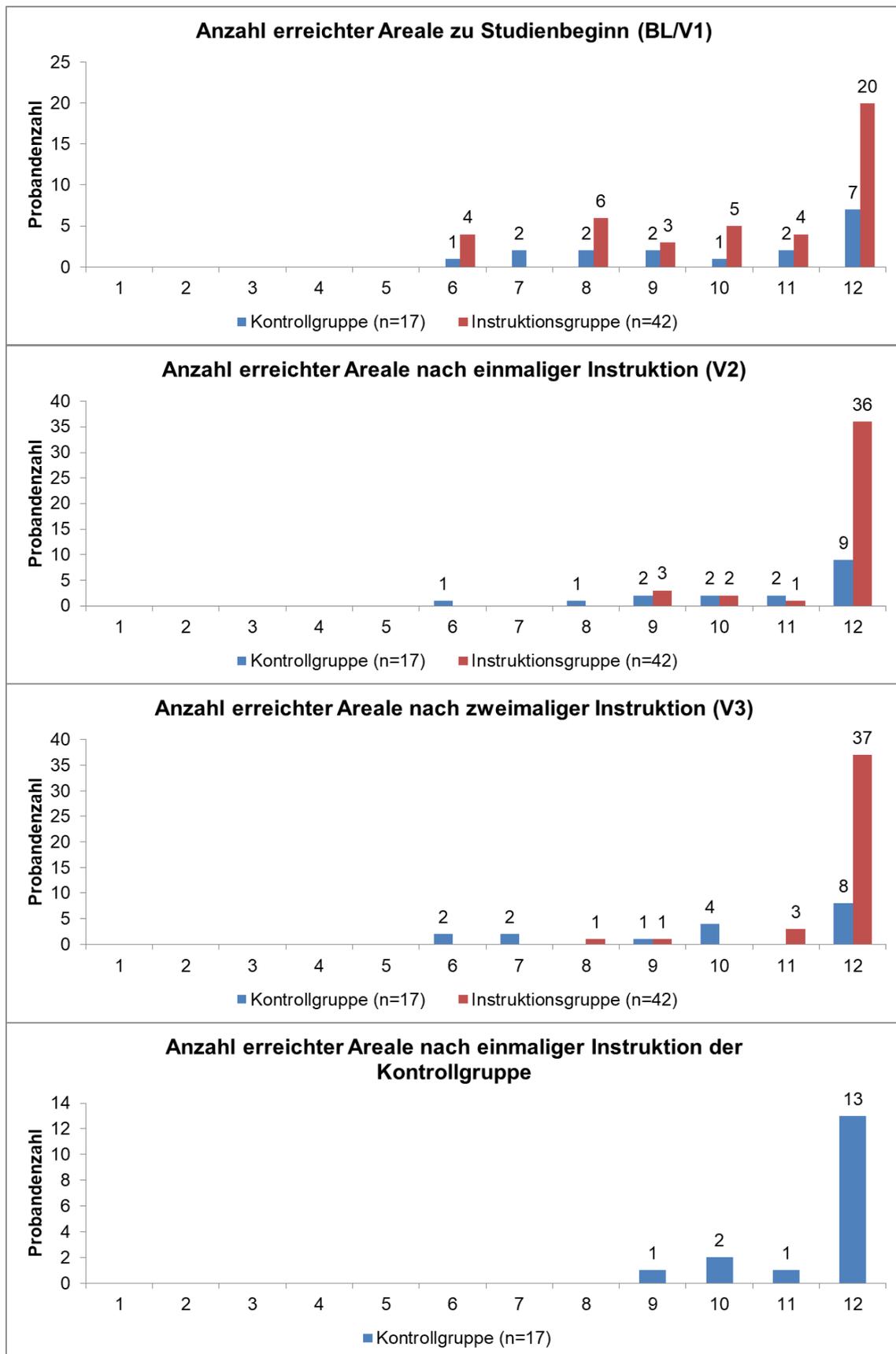


Abbildung 19: Probandenzahl, welche die entsprechende Anzahl an Arealen erreicht hat. Die Zahlen 1-12 beschreiben die 12 zu erreichenden Glattflächen (Vestibulär- und Orallflächen) der Sextanten.

Die Vestibulärflächen der Sextanten werden zu Studienbeginn, unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit, von fast allen Studienteilnehmern vollständig erreicht. Es besteht ein Defizit im Erreichen der Oralflächen. Nach Mundhygieneinstruktion werden auch die Oralflächen der Sextanten beinahe vollständig von allen Studienteilnehmern erreicht (Abb. 20).

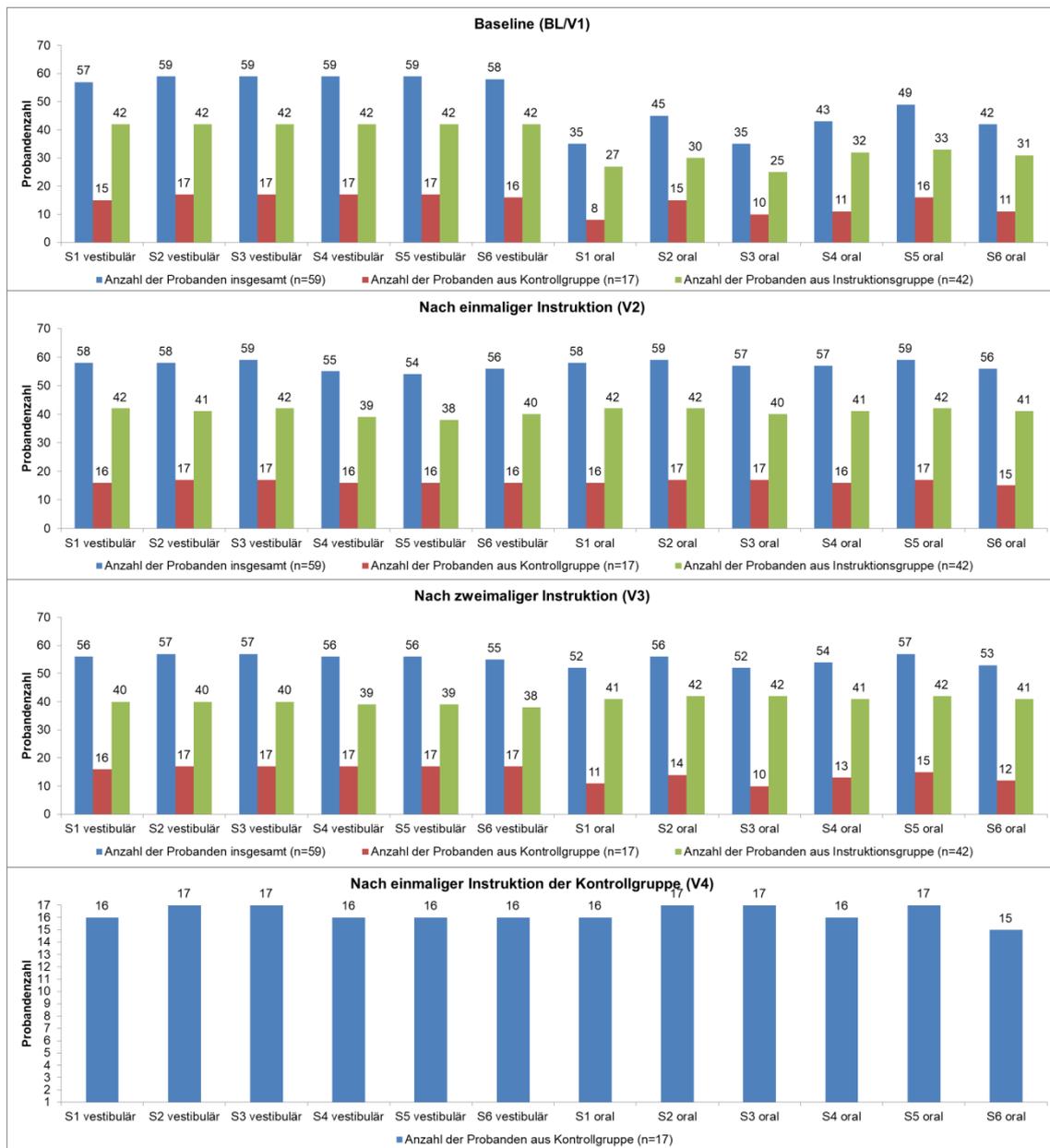


Abbildung 20: Anzahl der Probanden, die die entsprechenden Flächen der Sextanten (S1-S6) erreichten. Sowohl insgesamt als auch nach Gruppen unterteilt.

5.2.2 Veränderung der Systematik Index Werte

Die Anwendung der Indices C und I auf die klinischen Daten veranschaulicht, dass es zu einer Steigerung der Systematik in beiden Gruppen nach Erhalt der Mundhygieneunterweisung in die Systematik nach Rateitschak (V2/V4) kam (Tab. 11).

Tabelle 11: Veränderungen des TSI und seinen Summanden C und I im Studienverlauf vor (BL/V1) und nach Mundhygieneinstruktion (Instruktionsgruppe: V2 und V3; Kontrollgruppe: V4). Die Daten wurden einmal für alle Flächen (CLIN (alle)) und einmal für die Glattflächen (CLIN (v/o)) erhoben. Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben (Schlueter et al. 2018).

	Baseline (BL/V1)			Zweite Videoaufnahme* (V2)			Dritte Videoaufnahme** (V3)			Vierte Videoaufnahme*** (V4)		
	C	I	TSI	C	I	TSI	C	I	TSI	C	I	TSI
CLIN (alle)												
Kontrollgruppe	0,47 (0,14)	0,65 (0,10)	1,12 (0,21)	0,52 (0,11)	0,66 (0,11)	1,18 (0,20)	0,47 (0,17)	0,65 (0,10)	1,12 (0,24)	0,77 (0,10)	0,67 (0,04)	1,44 (0,13)
Instruktionsgruppe	0,52 (0,12)	0,66 (0,09)	1,18 (0,18)	0,78 (0,08)	0,69 (0,06)	1,47 (0,12)	0,78 (0,11)	0,67 (0,08)	1,45 (0,17)			
CLIN (v/o)												
Kontrollgruppe	0,49 (0,18)	0,66 (0,13)	1,15 (0,29)	0,55 (0,17)	0,70 (0,15)	1,24 (0,28)	0,49 (0,22)	0,68 (0,15)	1,18 (0,34)	0,89 (0,10)	0,82 (0,05)	1,72 (0,14)
Instruktionsgruppe	0,56 (0,16)	0,69 (0,14)	1,25 (0,27)	0,87 (0,08)	0,81 (0,07)	1,69 (0,14)	0,90 (0,08)	0,82 (0,07)	1,72 (0,13)			

* erste Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

** zweite Mundhygieneunterweisung der Instruktionsgruppe

*** erste Mundhygieneunterweisung der Kontrollgruppe

In der Datenreihe CLIN (alle) zeigen Kontroll- und Instruktionsgruppe ähnliche Werte im TSI und seinen Summanden C und I zu Studienbeginn (Kontrollgruppe BL/V1 zu Instruktionsgruppe BL/V1: $p > 0,05$). In der Instruktionsgruppe steigt der TSI nach einmaliger Mundhygieneinstruktion (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2: $p \leq 0,001$) an, erhöht sich aber nach einer weiteren Mundhygieneinstruktion nicht mehr (Instruktionsgruppe V2 zu V3: $p > 0,05$). Für den Index C ergeben sich die gleichen Erhöhungen nach erhaltenen Mundhygieneinstruktionen wie für den TSI (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2: $p \leq 0,001$), (Instruktionsgruppe V2 zu V3: $p > 0,05$). Es fällt auf, dass sich keine Änderungen für den Index I ergeben, wenn alle Flächen (CLIN (alle)) einbezogen werden (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2 u V3: $p > 0,05$). In der Kontrollgruppe ergeben sich keine Änderungen hinsichtlich des TSI und seinen Summanden C und I, solange keine Mundhygieneunterweisung stattgefunden hat (Kontrollgruppe BL/V1 zu V2 u. V3: $p > 0,05$). Erst nach einmaliger Mundhygieneinstruktion lässt sich ein Unterschied im TSI und im Index C erkennen

(Kontrollgruppe BL/V1 zu V4: TSI: $p \leq 0,001$; Index C: $p \leq 0,001$). Auch bei der Kontrollgruppe ergibt sich für den Index I nach Mundhygieneinstruktion kein Unterschied, wenn alle Flächen berücksichtigt werden (Kontrollgruppe BL/V1 zu V4: $p > 0,05$).

Im Datensatz CLIN (v/o) zeigen die Kontroll- und Instruktionsgruppe zu Studienbeginn ebenfalls ähnliche Werte für den TSI und seinen Summanden C und I (Kontrollgruppe BL/V1 zu Instruktionsgruppe BL/V1: $p > 0,05$). Nach einmaliger Instruktion steigt der TSI der Instruktionsgruppe an (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2: $p \leq 0,001$), bleibt jedoch nach einer weiteren Mundhygieneunterweisung konstant (Instruktionsgruppe V2 zu V3: $p > 0,05$). Für die Kontrollgruppe steigt der TSI in gleichem Maße wie für die Instruktionsgruppe nach Mundhygieneinstruktion an (Kontrollgruppe BL/V1 zu V4: $p \leq 0,001$). Nach einmaliger Mundhygieneinstruktion erhöhen sich für diesen Datensatz nun die Werte für beide Indices C und I (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2: $p \leq 0,001$). Nach einer weiteren Mundhygieneinstruktion ist jedoch keine weitere Steigerung der Werte zu beobachten (Instruktionsgruppe V2 zu V3: $p > 0,05$).

Bei der Kontrollgruppe lässt sich ebenfalls eine Verbesserung beider Indices C und I nach einmaliger Mundhygieneinstruktion verzeichnen (Kontrollgruppe BL/V1 zu V4: $p \leq 0,001$).

5.2.3 Veränderungen im Plaqueindex

Nach jeder Videoaufzeichnung wurde der T-QHI (1962; Turesky et al. 1967) erhoben. Abbildung 21 und 22 zeigen die Entwicklung des Plaqueindex bei beiden Gruppen im Studienverlauf. Für die Kontrollgruppe ergab sich während des Studienverlaufs keine Veränderung der Gesamtplaque weder auf den Vestibulär- noch auf den Oralflächen (Kontrollgruppe BL/V1 zu V2 u. V3: $p > 0,05$) (Abb. 21). Selbiges gilt für die vestibulären Plaquewerte der Instruktionsgruppe (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2 u. V3: $p > 0,05$) (Abb. 22). Nach einmaliger Mundhygieneinstruktion weist die Instruktionsgruppe jedoch deutlich geringere Plaquewerte auf den Oralflächen als zu Studienbeginn auf (Instruktionsgruppe BL/V1 zu V2: $p \leq 0,001$) (Abb. 22). Eine weitere Verringerung im oralen Plaqueindex ist nach erneuter Mundhygieneinstruktion nicht zu beobachten (Instruktionsgruppe V2 zu V3: $p > 0,05$).

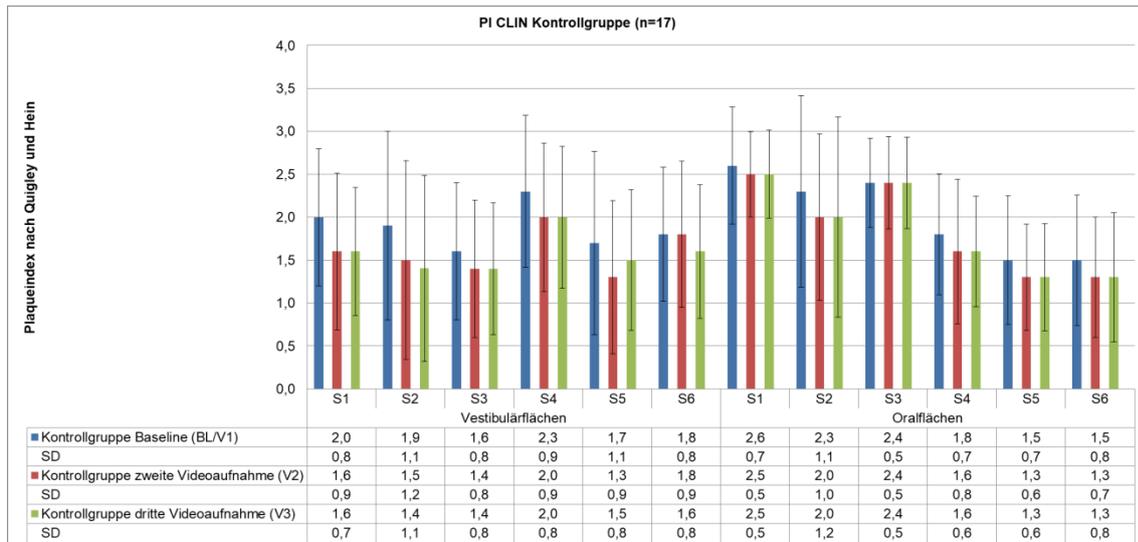


Abbildung 21: Entwicklung des Plaqueindex der Kontrollgruppe im Verlauf der drei Studientermine (BL/V1, V2 u. V3). Die Oralflächen des Oberkiefers (S1-S3) weisen die höchsten Plaquewerte auf. An den Vestibulärflächen weist die linke Unterkieferhälfte (S4) die höchsten Plaquewerte auf. Im gesamten Studienverlauf sind keine Veränderungen im Plaqueindex zu beobachten ($p > 0,05$). Die Standardabweichungen sind für den jeweiligen Studientermin pro Sextant darunter angegeben und mit SD gekennzeichnet.

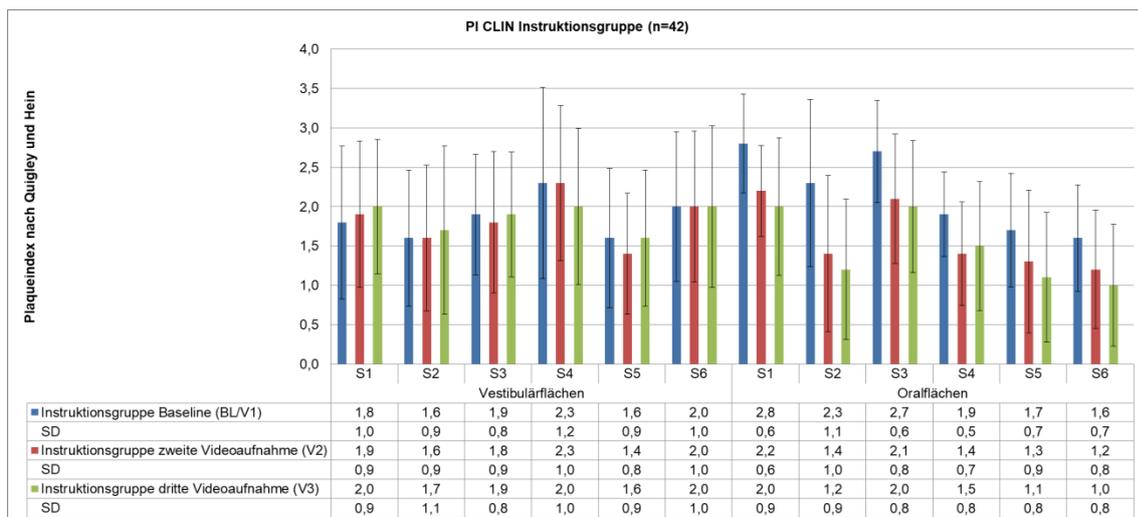


Abbildung 22: Entwicklung des Plaqueindex der Instruktionsgruppe vor (BL/V1) und nach den Mundhygieneinstruktionen (V2 u. V3). Zu Studienbeginn weisen die Oralflächen des Oberkiefers (S1-S3) sowie die Vestibulärflächen der linken Unterkieferhälfte (S4) die höchsten Plaquewerte auf. Nach einmaliger Mundhygieneinstruktion kommt es im Gegensatz zur Kontrollgruppe auf den Oralflächen aller Sextanten (S1-S6) zu einer Verbesserung des Plaqueindex ($p \leq 0,001$). Auf den Vestibulärflächen hingegen ist keine Verbesserung im Plaqueindex zu beobachten ($p > 0,05$). Die Standardabweichungen sind für den jeweiligen Studientermin pro Sextant darunter angegeben und mit SD gekennzeichnet.

5.3 Ergebnisse für die Studienteilnehmer nach perfekter Adaptation der Systematik nach Rateitschak

Sechszwanzig der 63 eingeschlossenen Probanden adaptierten die gezeigte Zahnputzsystematik nach Rateitschak vollständig und bilden den Datensatz COMP (Abb. 6). Von jedem der 26 eingeschlossenen Probanden wurden jeweils zwei Videoaufzeichnungen zur Datenanalyse benötigt. Verglichen wurde die erste Videoaufnahme vor Mundhygieneinstruktion (Baseline/V1) mit der Videoaufnahme nach einmaliger (Instruktionsgruppe (V2)) bzw. erstmaliger (Kontrollgruppe (V4)) Mundhygieneinstruktion.

Unter den 26 Probanden des Datensatz COMP waren drei Linkshänder und 23 Rechtshänder. Linkshändern war die Systematik nach Rateitschak gespiegelt, beginnend oral im sechsten Sextanten, beigebracht worden. Für die Datenanalyse wurden die Daten der Linkshänder invertiert.

5.3.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten

Die Gesamtbürstdauer auf den Vestibulär- und Oralflächen erhöhte sich, nachdem die Zahnputzsystematik nach Rateitschak perfekt übernommen wurde (BL/V1 zu V2/V4: $p \leq 0,001$ für Vestibulär- und Oralflächen). Im Gegensatz dazu fand eine Erniedrigung der Bürstdauer auf den Okklusalfächen statt (BL/V1 zu V2/V4: $p \leq 0,01$). Insgesamt erhöhte sich die Gesamtbürstdauer von $146,7 \text{ s} \pm 48,4 \text{ s}$ auf $250,6 \text{ s} \pm 109,7 \text{ s}$ nach perfekter Übernahme der Zahnputzsystematik nach Rateitschak (BL/V1 zu V2/V4: $p \leq 0,001$) (Tab. 12).

Tabelle 12: Veränderungen der Bürstzeiten auf den einzelnen Zahnflächen (vestibulär, okklusal und oral) vor (BL/V1) und nach perfekter Adaptation (V2/V4) der Zahnputzsystematik nach Rateitschak. Die Gesamtbürstzeit (Gesamt) nimmt zu, sobald die Systematik nach Rateitschak vollständig übernommen wurde (V2/V4). Die Bürstdauer auf den Vestibulär- und Oralflächen erhöht sich, wohingegen die Bürstdauer auf den Okklusalfächen abnimmt. Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben (Schlueter et al. 2018).

	Baseline (BL/V1)*				Zweite/Vierte Videoaufnahme (V2/V4)**			
	Gesamt	vest.	okkl.	oral	Gesamt	vest.	okkl.	oral
COMP	146,7 (48,4)	72,0 (30,9)	34,0 (23,1)	40,6 (25,5)	250,6 (109,7)	107,3 (51,5)	22,6 (11,3)	120,7 (61,7)

*Videoaufnahme vor (BL/V1) Mundhygieneinstruktion

**perfekte Übernahme der Zahnputzsystematik nach Rateitschak der Kontrollgruppe (V4) und der Instruktionsgruppe (V2) nach Mundhygieneinstruktion

Nach perfekter Adaptation der Zahnputzsystematik nach Rateitschak sinkt die Wechselhäufigkeit sowohl auf allen Flächen (COMP (alle)) ($p \leq 0,001$) als auch auf den

Glattflächen (COMP (v/o)) ($p \leq 0,001$) (Tab. 13). Der Datensatz COMP zeigt ein sehr hohes Maß an Putzkonsistenz, nachdem die Zahnputzsystematik nach Rateitschak perfekt adaptiert wurde.

Tabelle 13: Anzahl der Arealwechsel vor (BL/V1) und nach perfekter Adaptation der Zahnputzsystematik nach Rateitschak (V2/V4). Die Arealwechsel sind einmal bezogen auf alle Flächen (COMP (alle)) und einmal bezogen auf die Glattflächen (COMP (v/o)) angegeben. Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben.

	Baseline (BL/V1)*	Zweite/Vierte Videoaufnahme (V2/V4)**
COMP (alle)	49,8 (16,3)	22,8 (7,5)
COMP (v/o)	36,8 (11,5)	15,8 (5,9)

*Videoaufnahme vor (BL/V1) Mundhygieneinstruktion

**perfekte Übernahme der Zahnputzsystematik nach Rateitschak der Kontrollgruppe (V4) und der Instruktionsgruppe (V2) nach Mundhygieneinstruktion

Tabelle 14 beschreibt in Mittelwerten die Anzahl der erreichten Areale der Studienteilnehmer, die die Systematik nach Rateitschak nach einmaliger Mundhygieneunterweisung perfekt adaptierten. Bereits zu Studienbeginn werden nahezu alle Areale von den Probanden unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit aufgesucht. Nach einmaliger Mundhygieneunterweisung in die Systematik nach Rateitschak und deren perfekte Übernahme, werden alle Areale erreicht (BL/V1 zu V2/V4 $p \leq 0,001$ für COMP (alle) und COMP (v/o)).

Tabelle 14: Anzahl der erreichten Areale vor (BL/V1) und nach perfekter Adaptation der Zahnputzsystematik nach Rateitschak (V2/V4). Die Anzahl der erreichten Areale ist einmal bezogen auf alle Flächen (COMP (alle)) und einmal bezogen auf die Glattflächen (COMP (v/o)) angegeben. Unter der Annahme, dass alle Flächen (COMP (alle)) aufgesucht werden, beschreiben 16 Areale den Idealzustand. Unter der Annahme, dass alle Glattflächen (COMP (v/o)) aufgesucht werden, beschreiben 12 Areale den Idealzustand. Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben.

	Baseline (BL/V1)*	Zweite/Vierte Videoaufnahme (V2/V4)**
COMP (alle)	14,9 (1,7)	16,4 (1,3)
COMP (v/o)	10,8 (1,5)	12,0 (0,2)

*Videoaufnahme vor (BL/V1) Mundhygieneinstruktion

**perfekte Übernahme der Zahnputzsystematik nach Rateitschak der Kontrollgruppe (V4) und der Instruktionsgruppe (V2) nach Mundhygieneinstruktion

Bereits zu Studienbeginn werden mindestens acht Areale während des Putzvorgangs von COMP erreicht. Etwas mehr als die Hälfte aller Probanden erreichten bereits zu Studienbeginn alle 12 Glatflächen vollständig (Abb. 23).

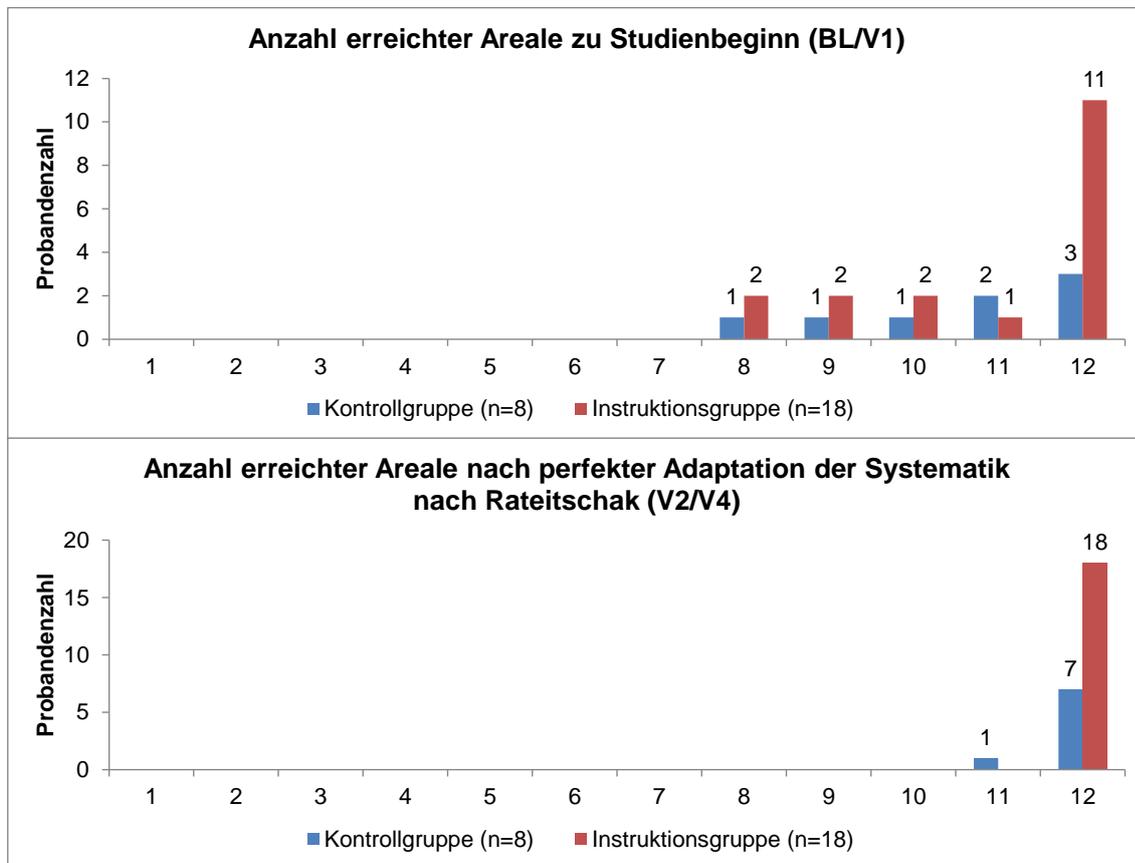


Abbildung 23: Probandenzahl, welche die entsprechende Anzahl an Arealen erreicht hat. Die Zahlen 1-12 beschreiben die 12 zu erreichenden Glatflächen (Vestibulär- und Oralflächen) der Sextanten. Probandenzahl insgesamt: n=26 (davon n=8 Kontrollgruppe; n=18 Instruktionsgruppe).

Die sechs Vestibulärflächen der Sextanten wurden zu Studienbeginn unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit von allen Studienteilnehmern vollständig erreicht. Es bestand ein Defizit im Erreichen der sechs Oralflächen. Nach Mundhygieneinstruktion in die Systematik nach Rateitschak und deren perfekter Adaptation werden auch die Oralflächen der Sextanten bis auf eine Ausnahme (S6 oral Kontrollgruppe) vollständig von allen Studienteilnehmern erreicht (Abb. 24).

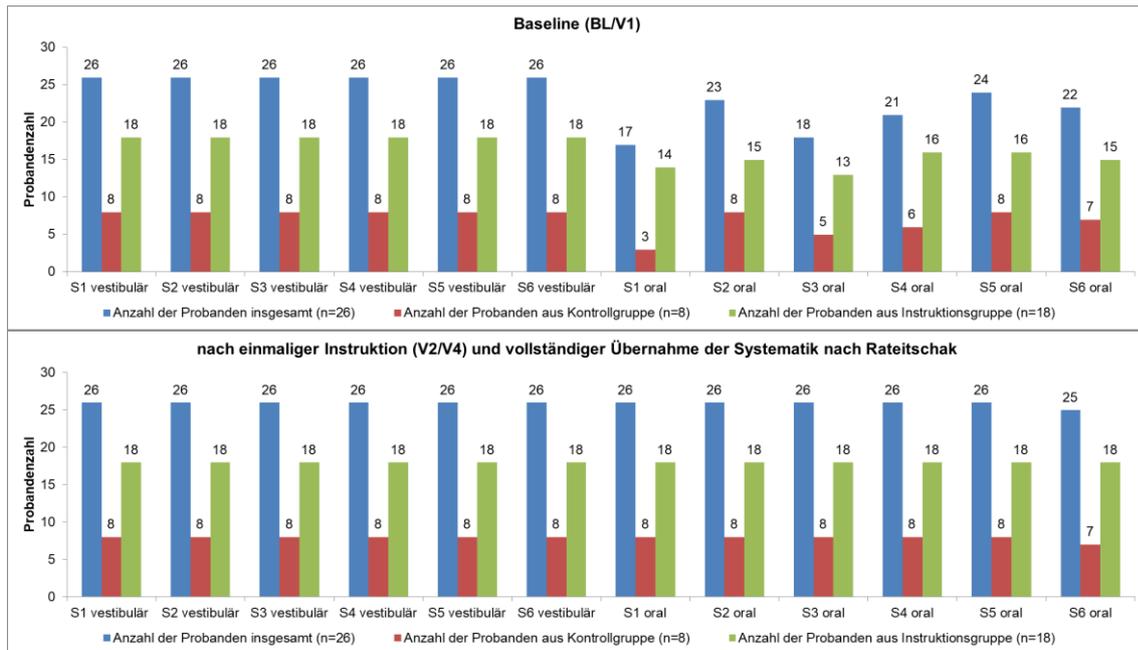


Abbildung 24: Anzahl der Probanden, die die entsprechenden Flächen der Sextanten (S1-S6) erreichen. Sowohl insgesamt als auch nach Gruppen unterteilt.

5.3.2 Veränderung der Systematik Index Werte

In Tabelle 15 finden sich die Werte für den TSI und seinen beiden Summanden, einmal bezogen auf alle Flächen (COMP (alle)) und einmal auf die Vestibulär- und Oralflächen bezogen (COMP (v/o)). Es findet sich in der Datenreihe COMP (alle) keine Erhöhung im Index I nach perfekter Übernahme der Systematik nach Rateitschak ($p > 0,05$). In der Datenreihe COMP (v/o) hingegen schon (BL/V1 zu V2/V4: $p \leq 0,001$). Der Index C und der TSI weisen in beiden Datenreihen (COMP (alle), COMP (v/o)) eine Erhöhung nach perfekter Übernahme der gezeigten Putzsystematik auf (BL/V1 zu V2/V4: $p \leq 0,001$). Nach vollständiger Adaptation der Systematik nach Rateitschak liegt der TSI für COMP (v/o) bei $1,74 \pm 0,09$. Für die Datenreihe COMP (alle) liegt der TSI aufgrund des konstanten I Index im Vergleich zu Studienbeginn hingegen bei $1,51 \pm 0,09$.

Tabelle 15: Veränderungen des TSI und seinen Summanden C und I im Studienverlauf vor (BL/V1) und nach perfekter Adaptation der Zahnputzsystematik nach Rateitschak (V2/V4). Die Daten wurden einmal für alle Flächen (COMP (alle)) und einmal für die Glattflächen (COMP (v/o)) erhoben. Die Standardabweichungen sind jeweils in den Klammern darunter angegeben. Für den Index I ergeben sich keine Änderungen, wenn alle Flächen einbezogen werden (COMP (alle)) (Schlueter et al. 2018).

COMP	Baseline (BL/V1)*			Zweite/Vierte Videoaufnahme (V2/V4)**		
	C	I	TSI	C	I	TSI
COMP (alle)	0,53 (0,12)	0,67 (0,10)	1,20 (0,18)	0,82 (0,06)	0,70 (0,05)	1,51 (0,09)
COMP (v/o)	0,59 (0,15)	0,72 (0,13)	1,30 (0,26)	0,91 (0,04)	0,83 (0,06)	1,74 (0,09)

*Videoaufnahme vor (BL/V1) Mundhygieneinstruktion

**perfekte Übernahme der Zahnputzsystematik nach Rateitschak der Kontrollgruppe (V4) und der Instruktionsgruppe (V2) nach Mundhygieneinstruktion

5.3.7 Veränderungen im Plaqueindex

Abbildung 25 veranschaulicht die Veränderungen im Plaqueindex nach perfekter Adaptation der Systematik nach Rateitschak. Es zeigt sich, dass der Plaqueindex auf den Oralflächen nach perfekter Adaptation der Systematik nach Rateitschak abgenommen hat (BL/V1 zu V2/V4: $p \leq 0,001$), wohingegen es auf den Vestibulärflächen zu keiner Verbesserung gekommen ist ($p > 0,05$).

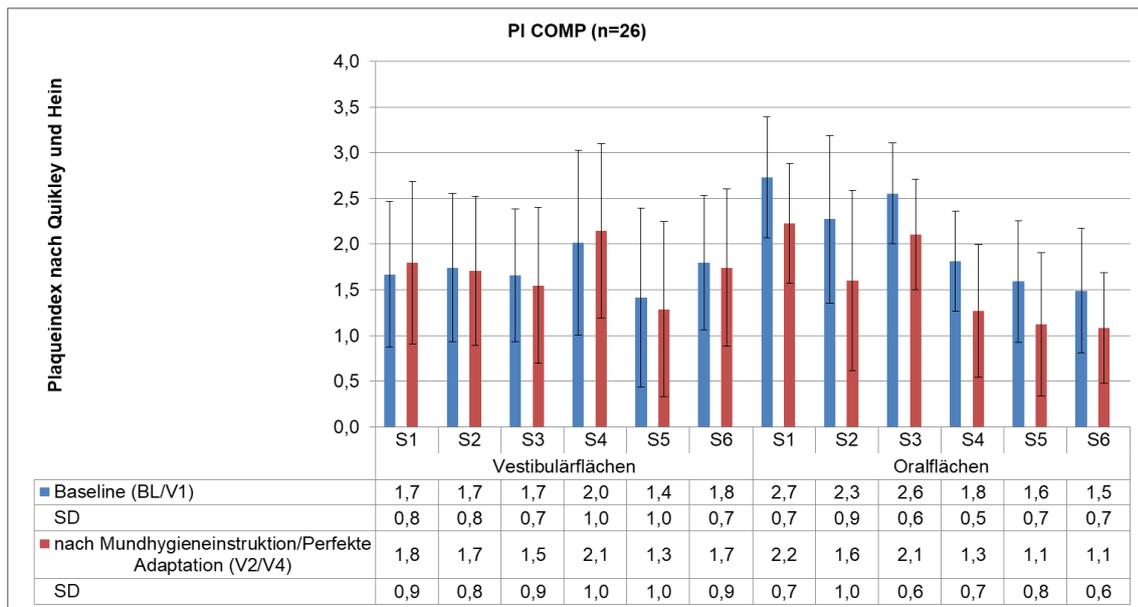


Abbildung 25: Entwicklung des Plaqueindex vor (Baseline; blau) und nach perfekter Adaptation der Zahnputzsystematik nach Rateitschak (V2/V4; rot) des Datensatz COMP. Zu Studienbeginn (Baseline; blau) weisen die Oralflächen des Oberkiefers (S1-S3) sowie die Vestibulärflächen der linken Unterkieferhälfte (S4) die höchsten Plaquewerte auf. Nach perfekter Adaptation der Zahnputzsystematik nach Rateitschak kommt es auf den Oralflächen aller Sextanten (S1-S6) zu einer Verbesserung des Plaqueindex. Auf den Vestibulärflächen hingegen ist keine Verbesserung im Plaqueindex zu beobachten. Die Standardabweichungen sind jeweils darunter angegeben und mit SD gekennzeichnet.

5.4 Veränderungen im Systematikverhalten in Abhängigkeit des Putzverhaltens zu Studienbeginn

Alle 63 in die Studie eingeschlossenen Probanden bilden den Datensatz TSI-ANALYSE (Abb. 6). Für diesen Datensatz wurde die Baselineaufnahme (BL/V1) und die Videoaufnahme nach einmaliger Mundhygieneinstruktion (V2 (Instruktionsgruppe)/V4 (Kontrollgruppe)) verwendet. Dieser Datensatz wurde zur detaillierten Analyse des Abbildungsverhaltens des TSI und seiner Summanden C und I unter klinischen Bedingungen angelegt. Er soll veranschaulichen, dass der TSI jedes Zahnputzverhalten, unabhängig von einer vorgegeben Systematik, abbilden kann.

Um dies nachweisen zu können, wurden die 63 Probanden anhand ihres TSI Werts zu Studienbeginn in aufsteigender Reihenfolge geordnet und in Quartile (Q1-Q4) mit jeweils 16/16/16/15 Probanden unterteilt. Im ersten Quartil (Q1) fanden sich die geringsten TSI Werte von 0,65-1,01 ($0,82 \pm 0,11$), im zweiten Quartil (Q2) TSI Werte von 1,06-1,25 ($1,16 \pm 0,06$), im dritten Quartil (Q3) TSI Werte von 1,27-1,426 ($1,38 \pm 0,04$) und im vierten Quartil (Q4) die Studienteilnehmer mit den höchsten TSI Werten von 1,427-1,70 ($1,54 \pm 0,08$) (Abb. 26).

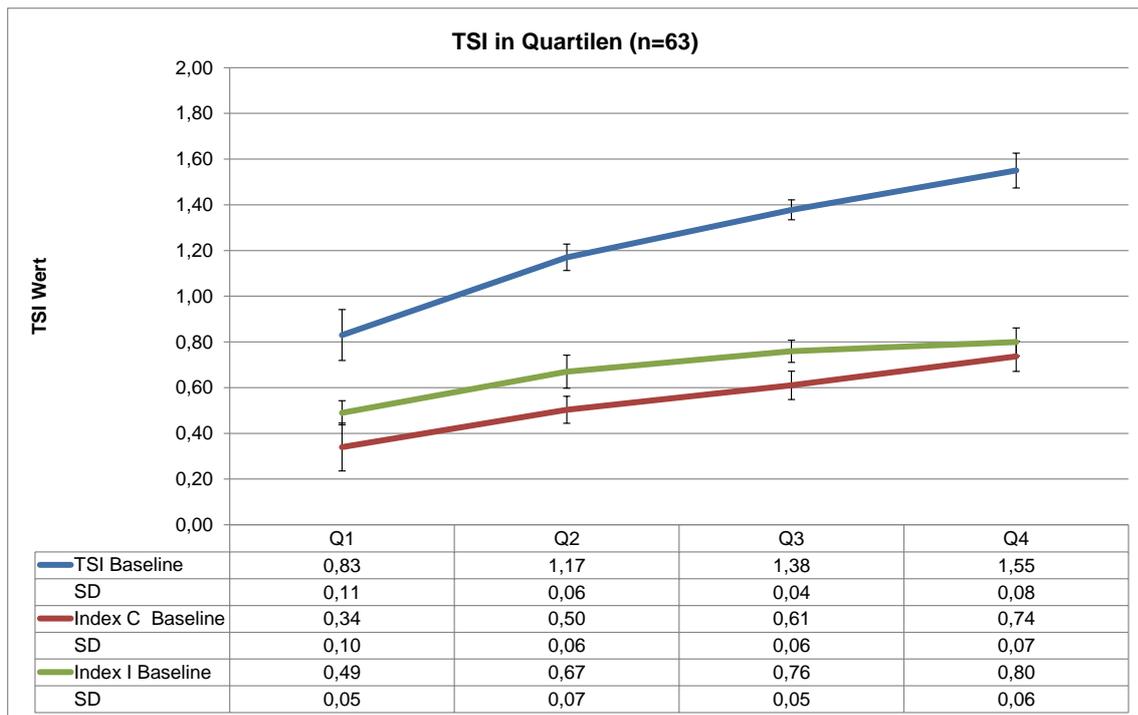


Abbildung 26: TSI Werte vor Mundhygieneinstruktion. Die 63 eingeschlossenen Probanden wurden anhand ihrer TSI Baselinewerte in Quartile (Q1/Q2/Q3/Q4) eingeteilt (n=16/16/16/15). Die niedrigsten Werte der Indices zu Studienbeginn finden sich in Q1, die höchsten Werte zu Studienbeginn in Q4. Die Standardabweichungen stehen unmittelbar darunter und sind mit SD gekennzeichnet.

Der TSI stellt eine Summe der Indices C und I dar. Per definitionem nehmen die Parameter Gesamtbürstzeit, Wechselfrequenz, Anzahl der erreichten Areale und die Isochronalität Einfluss auf den TSI und seine Summanden C und I. Diese Abhängigkeit soll anhand der nachfolgenden Ergebnisse detailliert beschrieben werden.

Um einen möglichst hohen TSI erzielen zu können, muss eine ausreichend lange Gesamtbürstdauer vorliegen. Die Gesamtbürstdauer findet im Index C Berücksichtigung. Abbildung 27 veranschaulicht dies anhand der klinischen Daten. Die Probanden aus Q4 weisen die längste Gesamtbürstdauer auf. Sie putzten länger als die Probanden aus Q3 (Q3 zu Q4: $p \leq 0,05$) und mehr als doppelt so lang ($138,6 \text{ s} \pm 35,3 \text{ s}$) wie die Probanden aus Q1 ($65,7 \text{ s} \pm 31,1 \text{ s}$) zu Studienbeginn (Q1 zu Q4: $p \leq 0,001$). Sie erzielten dadurch einen höheren Wert im Index C und in der Folge auch einen höheren TSI. Zwischen den Probanden aus Q1 und Q2 sowie aus Q2 und Q3 bestand kein Unterschied in der Gesamtbürstdauer zu Studienbeginn ($p > 0,05$).

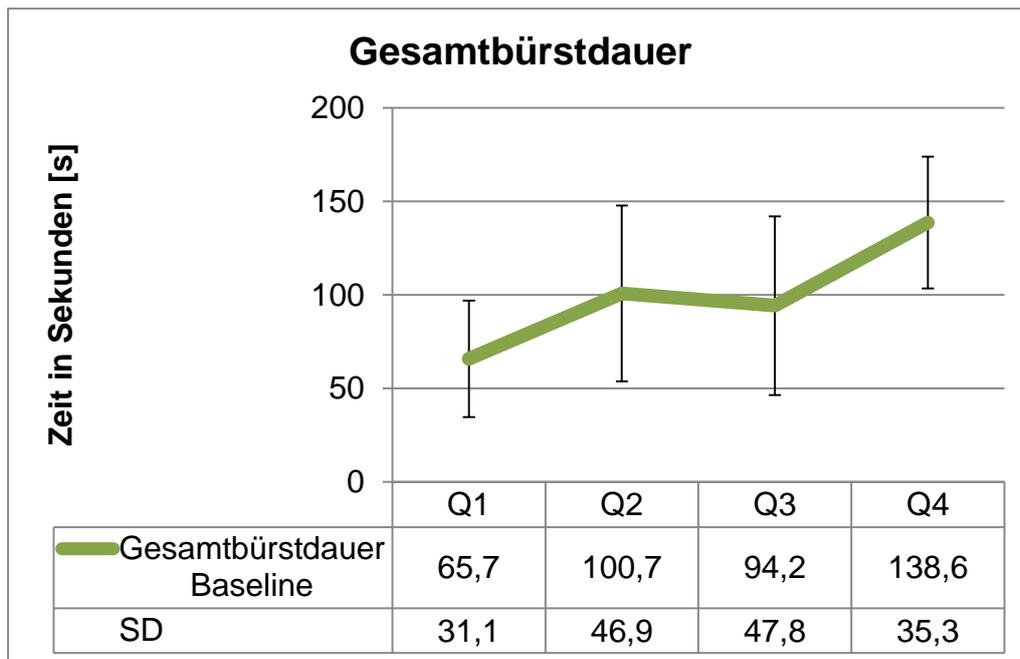


Abbildung 27: Darstellung der Gesamtbürstdauer vor Mundhygieneinstruktion. Es wird die Abhängigkeit des TSI von der Gesamtbürstdauer dargestellt. Probanden die eine kurze Gesamtbürstdauer aufweisen (Q1), weisen auch einen niedrigeren TSI zu Studienbeginn auf (Abb. 26). Die Probanden mit den höchsten TSI Werten zu Studienbeginn (Q4) zeigen von Studienbeginn an bereits eine lange Gesamtbürstdauer. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten der Gesamtbürstdauer und sind mit SD gekennzeichnet.

Neben der Gesamtbürstdauer ist die Wechselhäufigkeit als weiterer den Index C beeinflussenden Parameter anzusehen. Eine möglichst geringe Wechselfrequenz lässt auf ein eher systematisches Putzverhalten schließen. Häufige Wechsel wirken sich negativ auf den Index C und in der Folge auch auf den TSI aus. Alle 63 Probanden aus allen vier Quartilen (Q1 bis Q4) zeigen zu Studienbeginn eine ähnlich hohe Wechselfrequenz. Ein Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht zu verzeichnen ($p > 0,05$) (Abb. 28).

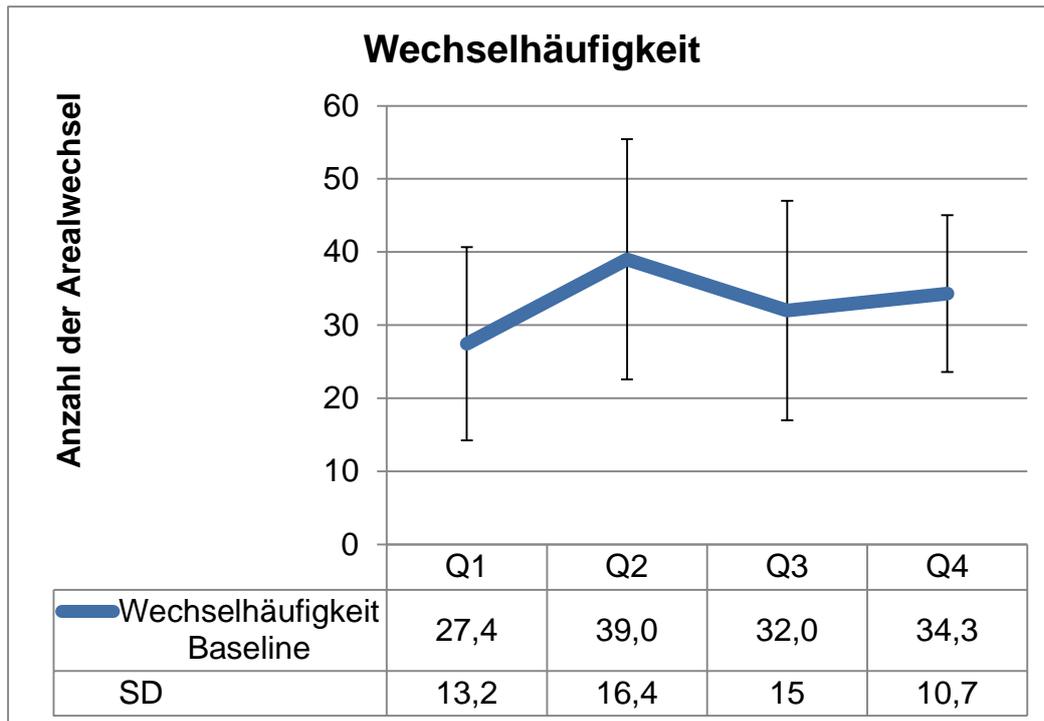


Abbildung 28: Darstellung der Wechselhäufigkeit vor Mundhygieneinstruktion. Alle 63 Probanden aus allen vier Quartilen (Q1-Q4) zeigen zu Studienbeginn viele Arealwechsel während des Putzvorgangs und zeigen damit eine eher unstrukturierte und unsystematische Vorgehensweise beim Zähneputzen. Interessanterweise zeigt die Gruppe mit den niedrigsten TSI Werten zu Studienbeginn (Q1) die geringste Wechselhäufigkeit vor Mundhygieneinstruktion. Allerdings ist anzumerken, dass diese Probanden zu Studienbeginn auch die geringste Arealanzahl erreichen (Abb. 29). Dennoch liegen alle Wechselhäufigkeiten in einem ähnlich hohen Bereich und können als wesentliche Faktoren dafür angesehen werden, dass keine höheren TSI Werte als $1,55 \pm 0,08$ zu Studienbeginn erzielt werden konnten. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten der Wechselhäufigkeit und sind mit SD gekennzeichnet.

Der Parameter, der sowohl Einfluss auf den Index C als auch auf den Index I hat, ist die Anzahl der erreichten Areale. Je vollständiger alle Areale in den Sextanten aufgesucht wurden, desto systematischer ist geputzt worden und desto höhere Werte können für die Indices C und I erreicht werden. Die Probanden aus Q3 und Q4 erreichten bereits zu Studienbeginn fast alle Areale vollständig (Q3 zu Q4: $p > 0,05$) im Gegensatz zu den Probanden aus Q2 (Q2 zu Q4: $p \leq 0,05$, Q2 zu Q3: $p \leq 0,05$) und den Probanden aus Q1 (Q1 zu Q4: $p \leq 0,001$, Q1 zu Q3: $p \leq 0,001$). Auch hier zeigt sich, dass die Probanden mit niedrigem TSI zu Studienbeginn (Q1) unvollständiger putzten und nur $7,5 \pm 1,3$ Areale erreichten, wohingegen die Probanden aus Q4 mit hohen TSI-Werten nahezu von Anfang an vollständig putzten und $11,9 \pm 0,4$ Putzareale von 12 zu erreichenden Arealen erreichten (Abb. 29).

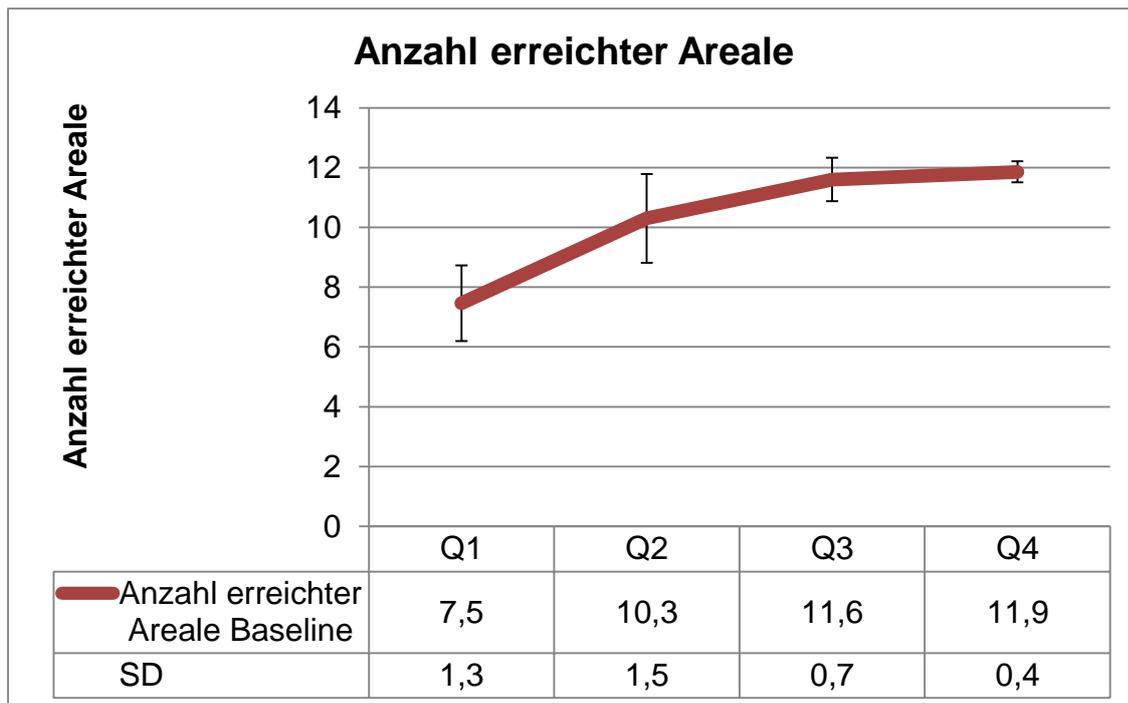


Abbildung 29: Darstellung der Anzahl an erreichten Arealen vor Mundhygieneinstruktion. Die Anzahl der erreichten Areale nimmt ebenso wie die TSI Werte von den Probanden der Gruppe Q1 nach Q4 stetig zu. Je vollständiger die Probanden zu Studienbeginn putzen, desto höhere Werte konnten sie für den TSI erzielen. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten und sind mit SD gekennzeichnet.

Die Isochronalität beschreibt die Gleichmäßigkeit, mit welcher die 12 Putzareale aufgesucht wurden (Abb. 30). Der Isochronalität fällt bei der Errechnung des Index I die größte Bedeutung zu. Um für den Index I einen Wert von 1,00 zu erhalten, muss jedes Areal mit exakt der gleichen Putzzeit geputzt werden. Der Index I ist nicht abhängig von der Wechselfrequenz oder der Gesamtbürstzeit. Er wird durch die relative Bürstdauer der 12 Areale sowie durch die Vollständigkeit bedingt.

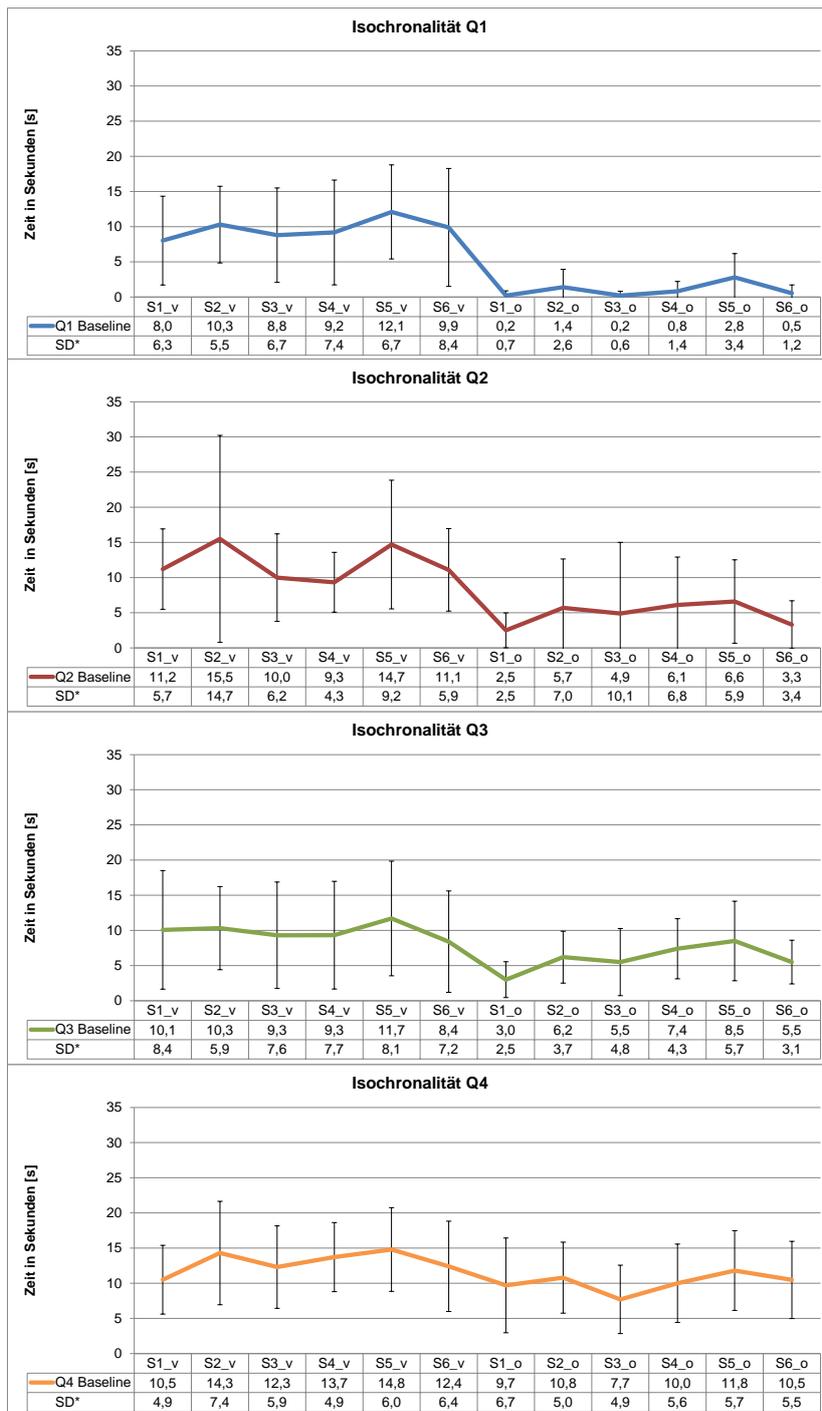


Abbildung 30: Darstellung der Isochronalität vor Mundhygieneinstruktion. Unter der Annahme, dass jedes Putzareal mit der exakt gleichen Putzzeit aufgesucht wird, lässt sich der Maximalwert von 1,00 für den Index I erzielen. Bei einem vollständig isochronal putzenden Probanden würde sich das Putzverhalten als horizontale Linie darstellen, da unter diesen Bedingungen jedes Putzareal die exakt gleiche Bürstdauer aufweist. Bei Q1-Q3 lässt sich ab dem Wechsel auf die Orallflächen (ab S1_o) ein starker Einbruch der Graphen erkennen. Bei den Probanden aus Q1, welche die niedrigsten TSI-Werte aufweisen (blauer Graph), zeigen sich bei den Orallflächen (S1_o-S6_o) viele Werte, die gegen 0 gehen. Diese Probanden putzten sehr wenige Orallflächen und erzielten damit schlechte Werte im Index I. Die Bedingung der Isochronalität wurde nicht erfüllt. Auch wenn keine Probandengruppe perfekte Isochronalität und damit einen horizontalen Graphenverlauf zeigt, so lässt sich optisch ein mehr gradliniger Verlauf des Graphen bei den Probanden aus Q4 erkennen. Es zeigt sich, dass die Probandengruppe mit den höchsten TSI-Werten zu Studienbeginn (Q4) auch die Bedingung der Isochronalität am ehesten erfüllen kann. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten der Isochronalität und sind mit SD gekennzeichnet.

5.5 Veränderungen im Systematikverhalten nach Mundhygieneunterweisung im Vergleich zu Studienbeginn

Abbildung 31 zeigt die Veränderungen des TSI und seinen Summanden C und I vor und nach Mundhygieneinstruktion in den vier Quartilen. Nach Mundhygieneinstruktion lassen sich keine Unterschiede mehr zwischen allen vier Quartilen feststellen ($p > 0,05$). Alle Probanden aus allen Quartilen konnten ihre Werte im TSI und seinen beiden Summanden nach Mundhygieneinstruktion deutlich verbessern (Q1-Q4/BL zu Q1-Q4/nach Instruktion: $p \leq 0,001$).

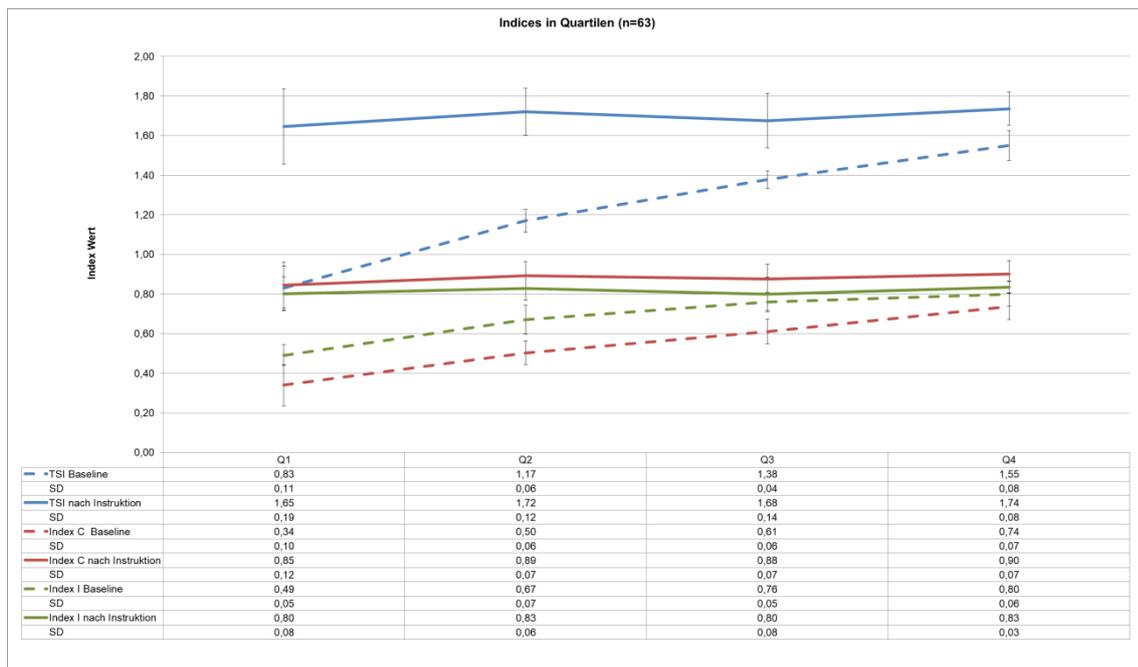


Abbildung 31: Veränderungen in den Indexwerten vor (gestrichelte Linien) und nach Mundhygieneinstruktion (durchgezogene Linien). Für alle Indices kommt es nach Mundhygieneinstruktion zu einer Verbesserung im Systematikverhalten. Es zeigt sich, dass die Probanden aller vier Gruppen (Q1-Q4), unabhängig von ihrem anfänglichen TSI Werten, ähnliche Werte im TSI und seinen beiden Summanden C und I erzielten, nachdem sie eine Mundhygieneunterweisung erhalten haben (durchgezogene Linien). Es lassen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen feststellen ($p > 0,05$). Die Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Indexwerten und sind mit SD gekennzeichnet.

Die Gesamtbürstdauer erhöhte sich in allen Gruppen nach Mundhygieneinstruktion (BL/Q1-Q4 zu nach Instruktion/Q1-Q4: $p \leq 0,001$) (Abb. 32). Nach Instruktion ergeben sich hinsichtlich der Gesamtbürstdauer zwischen den Gruppen keine Unterschiede mehr (nach Instruktion/Q1-Q4: $p > 0,05$). Die Probanden putzen nun $225,32 \text{ s} \pm 6,40 \text{ s}$. Die größte Steigerung in der Gesamtbürstdauer ist bei den Probanden mit den niedrigsten TSI Werten zu Studienbeginn (Q1) zu finden.

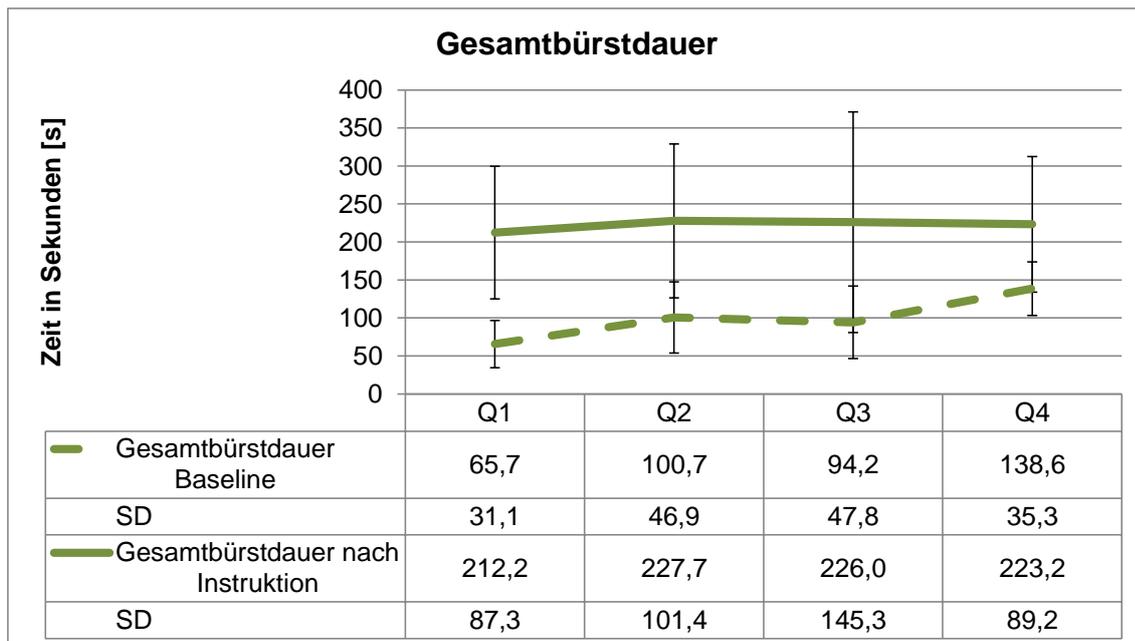


Abbildung 32: Darstellung der Gesamtbürstdauer vor (gestrichelte Linie) und nach Mundhygieneinstruktion (durchgezogene Linie) in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak. Während zu Studienbeginn die Gesamtbürstzeit in der Gruppe Q1 am geringsten und in der Gruppe Q4 am höchsten ausfällt, finden sich nach Mundhygieneinstruktion in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Gesamtbürstdauer zwischen den Gruppen Q1-Q4. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten der Gesamtbürstdauer und sind mit SD gekennzeichnet.

Die Verringerung der Wechselhäufigkeit trägt zu einer Verbesserung des Index C und damit zu einer Verbesserung des TSI bei. Zu Studienbeginn waren in allen Quartilen hohe Wechselfrequenzen zu finden. Nach Mundhygieneinstruktion sinkt die Anzahl der Arealwechsel in allen Quartilen deutlich (BL/Q1 zu nach Instruktion/Q1: $p \leq 0,05$; BL/Q2-Q4 zu nach Instruktion/Q2-Q4: $p \leq 0,001$) (Abb. 33). Ein Unterschied zwischen den vier Quartilen ist nach Mundhygieneinstruktion nicht mehr zu erkennen ($p > 0,05$). Die größte Verringerung der Wechselhäufigkeit erzielte das zweite Quartil (Q2). Die Probanden wechselten nach Mundhygieneinstruktion nur noch $16,6 \pm 7,5$ mal das Areal von zuvor $39,0 \pm 16,4$ mal.

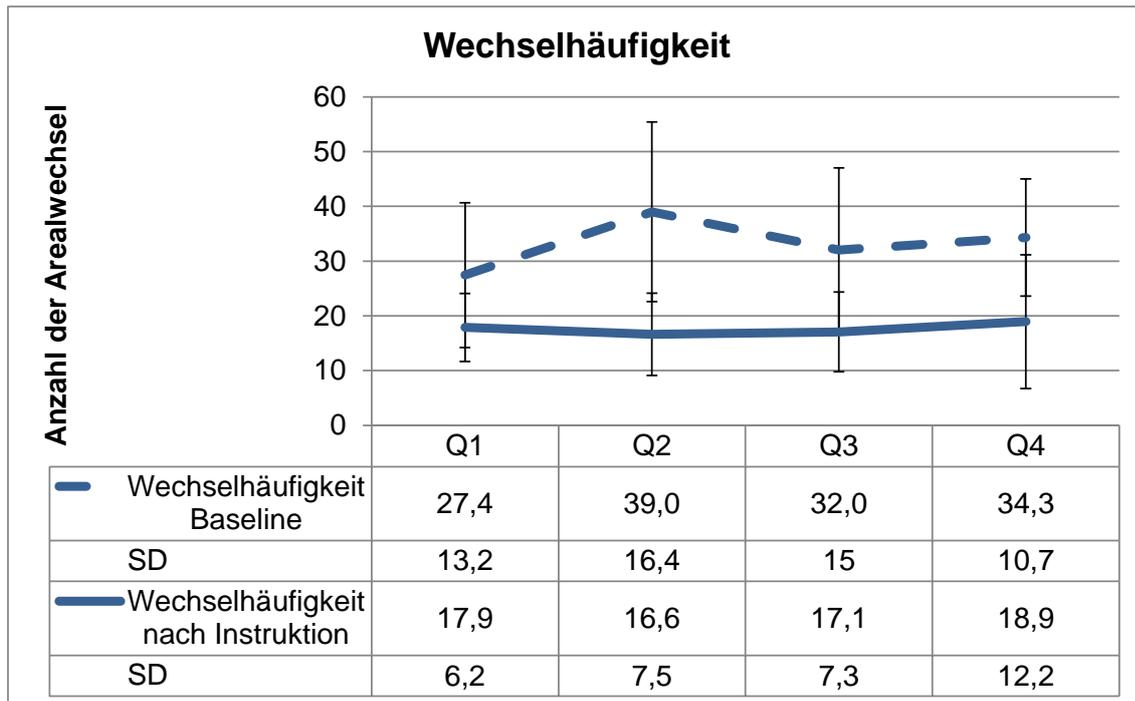


Abbildung 33: Darstellung der Wechselhäufigkeit vor (gestrichelte Linie) und nach (durchgezogene Linie) Mundhygieneinstruktion in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak. In allen Quartilen kommt es nach Mundhygieneinstruktion in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak zu einer Verringerung der Wechselhäufigkeit. Zwischen den Gruppen Q1-Q4 lässt sich nach Mundhygieneinstruktion kein Unterschied mehr nachweisen. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten der Wechselhäufigkeit und sind mit SD gekennzeichnet.

Die Anzahl an erreichten Arealen ist der Faktor, welcher sowohl bei Index C als auch bei Index I ins Gewicht fällt. Anfangs unsystematische Putzer (niedriger TSI/Q1) erreichten vor Instruktion etwas mehr als die Hälfte aller vorhandenen Vestibulär- und Oralflächen ($7,5 \pm 1,3$ Areale). Nach Mundhygieneinstruktion erreichten die Probanden aus Q1 $11,2 \pm 1,3$ Areale (BL/Q1 zu nach Instruktion Q1: $p \leq 0,001$). Ähnliches Verhalten ist bei den Probanden aus Q2 zu beobachten (BL/Q2 zu nach Instruktion/Q2: $p \leq 0,001$). Putzer mit hohem TSI (Q3 und Q4) hingegen putzten bereits vor Mundhygieneinstruktion nahezu alle Areale und zeigten demzufolge nach Mundhygieneinstruktion keine Verbesserung mehr (BL/Q3-Q4 zu nach Instruktion/Q3-Q4: $p > 0,05$). Nach Instruktion erreichten alle Quartile nahezu alle vorgegebenen Areale vollständig. Es besteht kein Unterschied mehr im Aufsuchen aller Putzareale zwischen den vier Quartilen nach Mundhygieneinstruktion ($p > 0,05$) (Abb. 34).

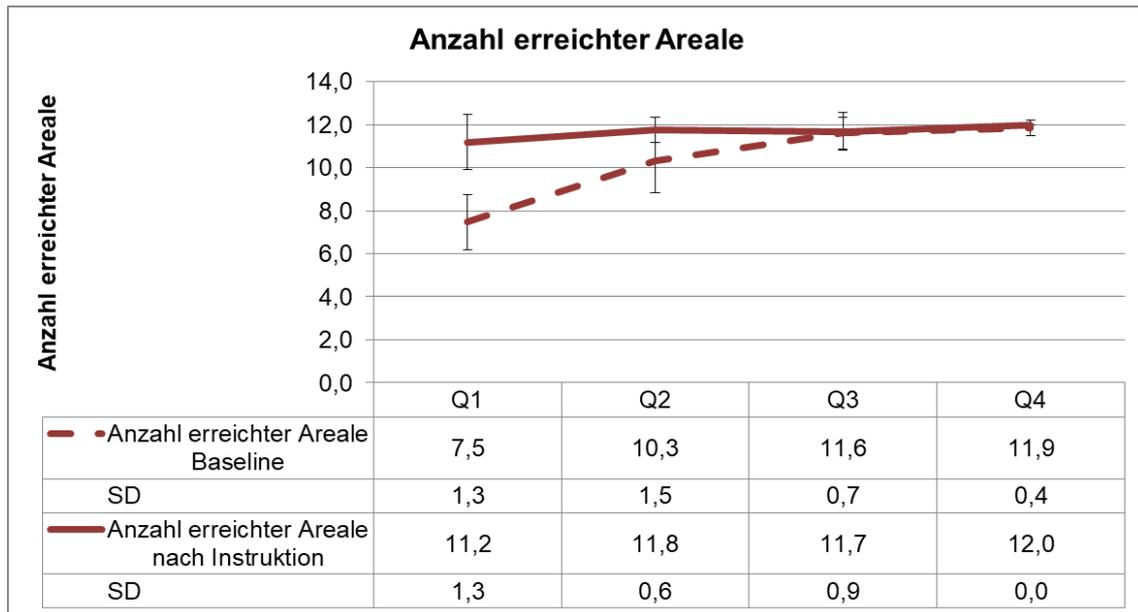


Abbildung 34: Darstellung der Anzahl an erreichten Arealen vor (gestrichelte Linie) und nach (durchgezogene Linie) Mundhygieneinstruktion in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak. Zu Studienbeginn zeigten sich Unterschiede zwischen den Gruppen Q1-Q4 hinsichtlich der Anzahl an erreichten Arealen. Nach Mundhygieneinstruktion in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak ergeben sich zwischen den Gruppen Q1-Q4 keine Unterschiede mehr. Alle Gruppen erreichen nahezu alle 12 Putzareale vollständig. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten und sind mit SD gekennzeichnet.

Abbildung 35 zeigt die Gleichmäßigkeit der Putzzeitverteilung (Isochronalität) nach Mundhygieneinstruktion in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak in den Quartilen. Verglichen mit den Graphen zu Studienbeginn (Baseline) ergibt sich nach Mundhygieneinstruktion ein ruhigeres Bild in der Putzzeitenverteilung.

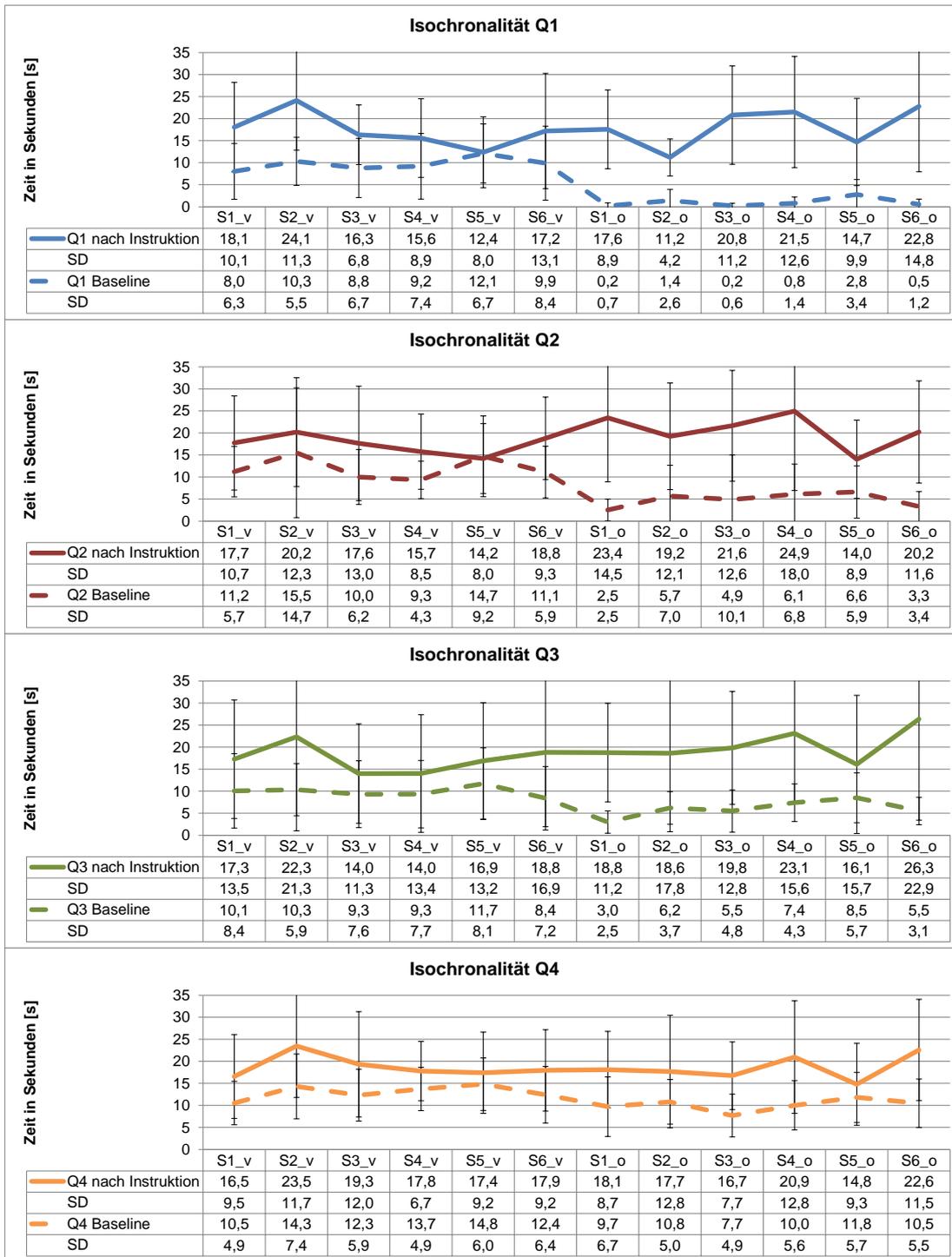


Abbildung 35: Darstellung der Isochronalität vor (gestrichelte Linie) und nach (durchgezogene Linie) Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak. In allen Quartilen kommt es zu einer Steigerung der Einzelbürstzeiten in allen Sextanten auf allen Glatflächen, insbesondere auf den Oralfächen von Q1 und Q2. Die Isochronalität, erkennbar an einem möglichst horizontalen Graphenverlauf, nimmt ebenfalls in allen Quartilen zu. Auffallend sind besonders lange Bürstzeiten im vierten Sextanten auf den Oralfächen nach Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Zahnputzsystematik nach Rateitschak in dieser Region startet. Die Gruppe Q4 erreicht nahezu perfekte Isochronalität nach Mundhygieneinstruktion. Eine Zunahme der Isochronalität ist, wie auch vor Mundhygieneinstruktion, im Verlauf von Q1 zu Q4 zu beobachten. Die jeweiligen Standardabweichungen stehen unmittelbar unter den Einzelwerten der Isochronalität und sind mit SD gekennzeichnet.

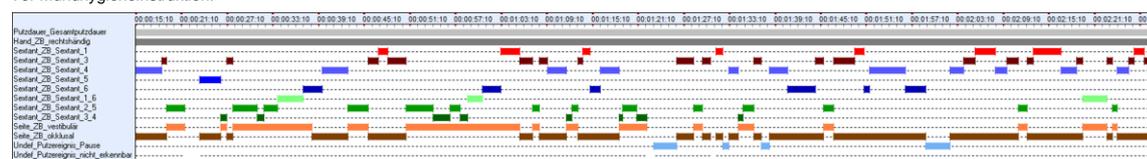
5.6 Fallbeispiele

Die vier Probanden der nachfolgenden Fallbeispiele sind jeweils aus einem Quartil (Q1-Q4) zufällig ausgewählt worden und veranschaulichen anhand der zugehörigen Time-Line-Charts die Veränderungen im TSI und Plaqueindex nach Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak.

Der Proband aus Fallbeispiel 1 ist dem ersten Quartil zugehörig. Die Probanden dieser Gruppe wiesen zu Studienbeginn die 16 niedrigsten TSI-Werte auf. Die erste Time-Line-Chart zeigt das habituelle Zahnputzverhalten des Probanden vor Mundhygieneinstruktion. Diese Time-Line-Chart zeigt ein Zahnputzverhalten ohne systematische Elemente. Es finden viele Wechsel sowohl zwischen den Sextanten (blaue, rote und grüne Balken) als auch zwischen den zu putzenden Flächen (braune Balken) statt. Daraus resultiert eine hohe Wechselfrequenz. Der Proband wendet zwar eine ausreichend lange Putzdauer von über zwei Minuten auf, reinigt jedoch die Oralf Flächen nicht, sodass sich ein sehr geringer Index von 0,19 für C ergibt. Dadurch, dass die Oralf Flächen nicht gereinigt werden, ist das Systematikkriterium der Vollständigkeit nicht erfüllt. Da die Vollständigkeit sowohl Einfluss auf den Index C als auch auf den Index I hat, resultiert ein ebenso niedriger Index I für den Probanden von 0,45. Ein isochrones Putzverhalten kann nicht beobachtet werden. Die aufgesuchten Areale werden mit unterschiedlich langen Putzzeiten gereinigt. Für diesen Probanden ergab sich zu Studienbeginn ein TSI von 0,65. Der Plaqueindex vor Instruktion betrug für alle Flächen 1,99 (vestibulär: 2,18; oral: 1,81).

Fallbeispiel 1

Vor Mundhygieneinstruktion:



Nach Mundhygieneinstruktion:



Nach Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak (zweite Time-Line-Chart des Fallbeispiel 1), erscheint der Putzvorgang wesentlich systematischer. Anhand der braunen Balken lässt sich nun ein systematisches Putzen der einzelnen Zahnflächen beobachten. Zuerst werden, wie es die Zahnputzsystematik nach Rateitschak vorsieht, die Oralf Flächen, anschließend die Vestibulärflächen und

abschließend die Okklusalflächen gereinigt. Eine korrekte Übernahme der Zahnputzsystematik nach Rateitschak kann nicht beobachtet werden. Es finden viele Pausen (hellblaue Balken) während des Putzvorgangs statt. Diese wurden jedoch nicht in die Berechnungen der Indices und speziell der Wechselfrequenz einbezogen, sodass sich auch eine deutliche Verringerung der Wechselfrequenz im Vergleich zur Baseline Time-Line-Chart erkennen lässt. Die Gesamtbürstdauer erhöht sich auf über sechs Minuten, sodass sich ein nahezu perfekter Index C von 0,92 nach Mundhygieneinstruktion in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak ergibt. Da der Proband nun auch das Kriterium der Vollständigkeit erfüllt und die einzelnen Putzareale mit annähernd gleichem Zeitaufwand reinigt (Isochronalität), ergibt sich ein Index I von 0,83. Daraus errechnet sich ein TSI von 1,75, welcher im sehr hohen Systematikbereich liegt, obwohl die gezeigte Systematik nicht perfekt adaptiert wurde. Der Plaqueindex nach Mundhygieneinstruktion betrug für alle Flächen 1,85 (vestibulär: 2,28; oral: 1,40).

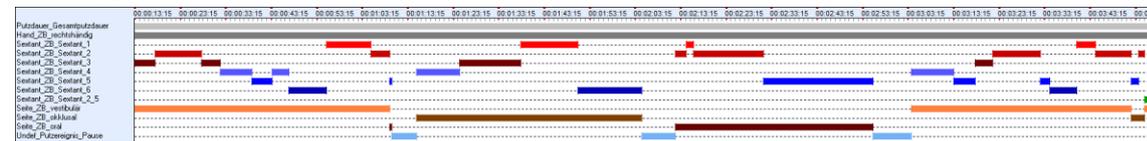
Der Proband des Fallbeispiels 2 gehört der Gruppe Q2 an. Dieser Proband wies zu Studienbeginn einen TSI von 1,01 auf. Es lassen sich systematische Elemente im Zahnputzverhalten bereits vor Mundhygieneinstruktion (erste Time-Line-Chart des Fallbeispiels 2) erkennen. Die Reinigung der Zahnflächen (braune Balken) folgt einem sich wiederholenden systematischen Muster (vestibulär, okklusal, oral, vestibulär, okklusal, oral), jedoch erreicht dieser Proband trotzdem nicht alle Flächen aller Sextanten (rote, blaue und grüne Balken) vollständig. Es werden nur die Oralflächen des zweiten und fünften Sextanten gereinigt und nicht die der übrigen Sextanten. Trotz einer ausreichend langen Gesamtbürstzeit von über zweieinhalb Minuten, ergibt sich aufgrund der fehlenden Vollständigkeit ein Index C von 0,52. Zusammen mit der fehlenden Vollständigkeit und einem nur bedingt isochronalen Zeitaufwand beim Putzen, ergibt sich ein Index I von 0,49. Der Plaqueindex vor Instruktion betrug für alle Flächen 3,07 (vestibulär: 3,08; oral: 3,06).

Fallbeispiel 2

Vor Mundhygieneinstruktion:



Nach Mundhygieneinstruktion:



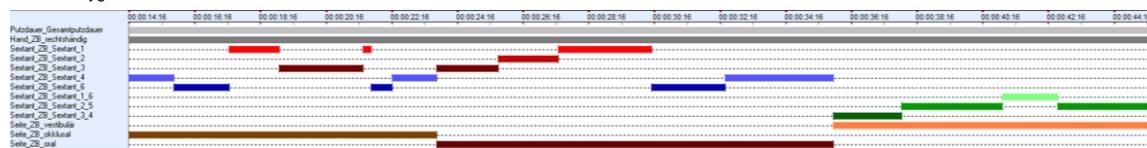
Nach Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak (zweite Time-Line-Chart des Fallbeispiel 2) fällt auf, dass der Proband die Sextanten nun getrennt (rote und blaue Balken) und nicht mehr bei Kieferschluss (grüne Balken) reinigt. Die gezeigte Zahnputzsystematik nach Rateitschak wurde nicht übernommen. Dennoch zeigt sich eine Systematisierung im Zahnputzverhalten nach Mundhygieneinstruktion. Der Proband putzt nun zuerst alle Vestibulärflächen aller Sextanten, anschließend alle Okklusalflächen und abschließend die Oralflächen des ersten, zweiten und fünften Sextanten und kann somit das Systematikkriterium der Vollständigkeit wieder nicht erfüllen. Die Oralflächen von drei Sextanten werden nicht gereinigt. Auch die Wechselfrequenz befindet sich sowohl vor als auch nach Mundhygieneinstruktion in einem ähnlich hohen Bereich. Es kommt lediglich zu einer Erhöhung der Gesamtbürstdauer auf über dreieinhalb Minuten. Diese allein ist jedoch nicht ausreichend, um den Index C wesentlich zu erhöhen. Dieser liegt nach Mundhygieneinstruktion bei 0,63. Da sich auch das isochronale Putzen kaum verbessert hat, erreicht dieser Proband, aufgrund der immer noch fehlenden Vollständigkeit, einen Index I von 0,65 nach Mundhygieneinstruktion und in der Folge einen TSI von 1,28. Eine wesentliche Steigerung im Systematikgrad ist nicht zu erkennen. Der Plaqueindex nach Mundhygieneinstruktion betrug für alle Flächen 2,76 (vestibulär: 2,64; oral: 2,89).

Der Proband des Fallbeispiels 3 gehört dem dritten Quartil an. Anhand der ersten Time-Line-Chart lässt sich bereits zu Studienbeginn eine systematische Vorgehensweise beobachten. Der Proband putzt zuerst die Okklusalflächen aller Sextanten, anschließend die Oralflächen aller Sextanten, bis auf die des vierten Sextanten, und abschließend alle Vestibulärflächen bei Kieferschluss. Das Systematikkriterium der Vollständigkeit ist bis auf das Fehlen der Oralflächen im vierten Sextanten nahezu erfüllt. Die Wechselfrequenz ist gering, jedoch beträgt die

verwendete Gesamtbürstzeit nicht einmal 45 Sekunden, womit sich der geringe Index C von 0,54 erklärt. Eine ausreichend lange Gesamtbürstzeit wird als wichtiges Systematikkriterium angesehen und konnte von diesem Probanden nicht erfüllt werden. Das Systematikkriterium der Isochronalität wird bei nahezu vollständigem Putzen erfüllt, sodass sich für den Index I bereits zu Studienbeginn ein recht hoher Wert von 0,73 ergibt. Insgesamt errechnet sich daraus ein TSI von 1,27 zu Studienbeginn. Der Plaqueindex vor Instruktion betrug für alle Flächen 2,83 (vestibulär: 3,14; oral: 2,51).

Fallbeispiel 3

Vor Mundhygieneinstruktion:



Nach Mundhygieneinstruktion:



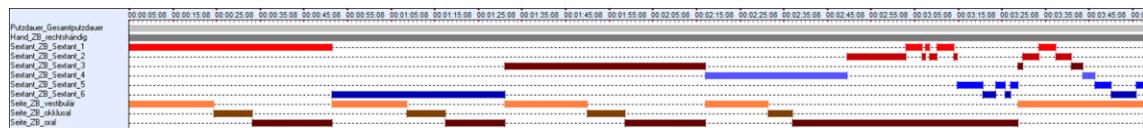
Nach Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak (zweite Time-Line-Chart des Fallbeispiels 3), wurde die gezeigte Zahnputzsystematik nicht übernommen. Der Proband putzt nach wie vor die Zahnflächen (oral, vestibulär, okklusal) systematisch nacheinander und erreicht, soweit beurteilbar, alle Zahnflächen. Die weißen Balken in der Time-Line-Chart beschreiben Putzereignisse, die außerhalb des Kamerafokus stattfanden und nicht näher beschrieben werden konnten. Dies stellt die Erklärung des unerwartet niedrigen TSI nach Mundhygieneinstruktion von 1,44 dar. Dieser Proband unterstreicht die Wichtigkeit jedes einzelnen Systematikkriteriums, in diesem Fall das Systematikkriterium einer ausreichend langen Gesamtbürstzeit. Der Plaqueindex nach Mundhygieneinstruktion betrug für alle Flächen 3,17 (vestibulär: 3,22; oral: 3,13).

Der Proband des Fallbeispiels 4 gehört zu den 15 Probanden, welche bereits zu Studienbeginn schon einen hohen TSI Wert (Q4) aufwiesen. Dies lässt sich anhand der ersten Time-Line-Chart dieses Fallbeispiels deutlich erkennen. Der Proband zeigt ein systematisches Putzverhalten, indem er zunächst von jedem Sextanten (rote und blaue Balken) des Seitenzahnbereichs (S1, S6, S3, S4) nacheinander zuerst die Vestibulär-, dann die Okklusal- und abschließend die Oralflächen (braune Balken) reinigt. Abschließend erfolgt die Reinigung der Oralflächen im Frontzahnbereich (S2

und S5), sowie nochmals eine vollständige Reinigung aller Vestibulärflächen (S1-S6). Das Systematikkriterium der Vollständigkeit erfüllt dieser Proband bereits zu Studienbeginn. Der angesichts dieses Putzverhaltens geringe Index C von 0,85 trotz ausreichend langer Gesamtbürstzeit, lässt sich aufgrund der hohen Wechselfrequenz zu Studienbeginn erklären. Das Systematikkriterium der Isochronalität und Vollständigkeit hingegen wird bereits zu Studienbeginn nahezu perfekt erfüllt. Der Index I liegt bei 0,83. Daraus ergibt sich ein TSI zu Studienbeginn von 1,68. Der Plaqueindex vor Instruktion betrug für alle Flächen 1,90 (vestibulär: 1,69; oral: 2,11).

Fallbeispiel 4

Vor Mundhygieneinstruktion:



Nach Mundhygieneinstruktion:



Nach Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak (zweite Time-Line-Chart des Fallbeispiels 4), konnte dieser Proband sein Zahnputzverhalten noch weiter systematisieren. Die gezeigte Zahnputzsystematik nach Rateitschak wurde perfekt adaptiert, wodurch die Wechselfrequenz dieses Probanden im Vergleich zu Studienbeginn abnahm. Die Gesamtbürstzeit änderte sich im Vergleich zum Studienbeginn nicht wesentlich und auch das Systematikkriterium der Vollständigkeit bleibt weiterhin erfüllt, sodass sich, aufgrund der reduzierten Wechselfrequenz, ein nahezu perfekter Index C von 0,94 ergibt. Das Systematikkriterium der Isochronalität bleibt auch nach Mundhygieneinstruktion bestehen, konnte sich aber trotzdem noch minimal verbessern. Der Index I liegt nach Mundhygieneunterweisung bei 0,85. Daraus ergibt sich ein TSI Wert von 1,79. Der Plaqueindex nach Mundhygieneinstruktion betrug für alle Flächen 1,87 (vestibulär: 2,06; oral: 1,68).

6. Diskussion

6.1 Diskussion der Methode

6.1.1 Videoaufnahmen

Die für die vorliegende Dissertationsschrift verwendeten Videoaufzeichnungen wurden im Jahr 2005 aufgenommen. Die Probanden wurden im Verlauf von insgesamt sechs Wochen, je nach Gruppenzugehörigkeit, drei- bzw. viermal wissentlich gefilmt.

Die Arbeitsgruppe um Macgregor und Rugg-Gunn hat in den 80er Jahren eine Reihe von Videobeobachtungsstudien publiziert, die die Analyse des Zahnputzverhaltens von Personengruppen unterschiedlichen Alters zum Ziel hatten. Um die Ergebnisse besser interpretieren zu können, wurde in einer dieser Studien die Auswirkung des wissentlichen Filmens auf das Mundhygieneverhalten untersucht. Neunzig Probanden im Alter von 19-22 Jahren wurden in die Studie eingeschlossen. Sechzig Probanden wurden zu Studienbeginn darüber aufgeklärt, gefilmt zu werden. Dreißig Probanden hatten über das Filmen keine Kenntnis. In der aufgewendeten Gesamtputzzeit ließ sich zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied erkennen. Insgesamt fanden sich nur geringe Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Probanden, welche über das Filmen informiert worden waren, verwendeten jedoch mehr Zeit mit der Reinigung der Okklusalfächen des Unterkiefers und suchten die Oralflächen beider Kiefer häufiger auf (1986).

Die von Macgregor und Rugg-Gunn erhobenen Daten zeigen das Verhalten der Probanden bei einmaliger Filmaufnahme. Im Verlauf unserer Beobachtungsstudie wurde das Mundhygieneverhalten der Kontrollpersonen dagegen mehrfach gefilmt. Dabei fanden sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede in Bezug auf die untersuchten Parameter, also Gesamtbürstdauer, Plaquewerte, Wechselfrequenz, Anzahl der erreichten Areale und TSI. Dies deutet darauf hin, dass das Mundhygieneverhalten offenbar stabilen Verhaltensmustern folgt.

Auch Mierau et al. (1989) kamen in ihrer Studie über Gewohnheitsmuster beim Gebrauch der Handzahnbürste zu dem Schluss, dass sich beim Patienten ein motorisches Innervationsmuster ausbildet, welches schließlich in einem automatischen Abspulen von Bewegungsabläufen resultiert. Diese Ergebnisse beruhen zum einen auf klinischer Datenerhebung und zum anderen auf einer Fragebogenanalyse. Der Fragebogenanalyse zufolge gaben 95 % der Studienteilnehmer an, dass das eigene Zahnputzverhalten im Laufe der Jahre zur Gewohnheit geworden sei. Siebzig Prozent der Probanden dachten während des Putzvorgangs über andere Alltagsproblematiken und nicht über den Bürstvorgang nach.

Auch in einer aktuellen Studie lassen sich Gewohnheitsmuster sowohl bei der Verwendung einer Handzahnbürste als auch beim Gebrauch elektrischer Zahnbürsten erkennen (Ganss et al. 2018).

Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass das Wissen um das Filmen keinen grundlegenden Einfluss auf das Mundhygieneverhalten hat. Darüber hinaus zielte die Fragestellung der vorliegenden Arbeit auf die Entwicklung und Validierung eines Index zu Quantifizierung von systematischem Putzverhalten, jedoch weniger auf die Analyse des Mundhygieneverhaltens an sich ab. Daher stellt die Beobachtung des Mundhygieneverhaltens durch Videoaufnahmen ein geeignetes Mittel zur Bearbeitung unserer Fragestellung dar.

6.1.2 Gruppeneinteilung und Instruktionmethode

Die beiden im Jahr 2005 bestehenden Instruktionsgruppen mit unterschiedlichen Instruktionsarten wurden für die vorliegende Studie neu zu Gruppen zusammengefasst, die sich nach dem Grad der Umsetzung der instruierten Putzsystematik orientierten (Abb. 6). Dazu wurden die damaligen Instruktionsgruppen zusammengelegt und weiterhin in diejenigen, die die instruierte Systematik teilweise übernommen hatten und diejenigen, die die instruierte Systematik vollständig übernommen hatten, neu aufgeteilt. Der Grad der Umsetzung wurde entsprechend der Definition der damaligen Studie vorgenommen.

6.1.3 Plaqueindex

Um den Putzerfolg nach Mundhygieneinstruktion und im Vergleich zur nicht instruierten Kontrollgruppe dokumentieren zu können, wurde im Jahr 2005 eine Plaquemessung im direkten Anschluss an die Videoaufzeichnung durchgeführt. Die Wahl des Plaqueindex orientiert sich grundsätzlich an der Fragestellung einer Studie. Im Fall der Studie aus dem Jahr 2005 wurde der T-QHI gewählt, der in vielen klinischen Studien verwendet wird. Der Vorteil des T-QHI ist seine einfache Erlernbarkeit und seine gute Reproduzierbarkeit. Gemessen werden die Plaqueansammlungen im gingivalen Drittel. Somit erfasst der Index die Plaque an jenen Stellen, welche ursächlich für die Entstehung von plaqueassoziierten Erkrankungen angesehen werden und welche im Sinne effektiver Mundhygienemaßnahmen möglichst plaquefrei gehalten werden sollen. Im Verhältnis zur zeitintensiven planimetrischen Plaqueanalyse stellt der T-QHI eine sehr gute Alternative dar (Quirynen et al. 1991).

Für die vorliegende Studie wurden die Rohdaten der Plaquemessung von 2005 übernommen und unter Berücksichtigung der neuen Gruppeneinteilung und Zielsetzung analysiert.

Um die Plaqueentfernung während der Videoaufzeichnung messen zu können, wurden die Probanden im Jahr 2005 gebeten, 12 Stunden vor Studientermin keine habituellen Mundhygienemaßnahmen mehr durchzuführen (Schlueter et al. 2013). Von dieser Forderung profitiert auch die Fragestellung der vorliegenden Studie, in welcher die Effektivität der neu erlernten Putzsystematik nach Rateitschak überprüft wurde. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die Übernahme der Ergebnisse der Plaquemessung kein methodisches Problem darstellt.

Da im Jahr 2005 allerdings sowohl eine Unterweisung in eine Zahnputztechnik als auch in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak stattfand, sind die Ergebnisse der Plaquereduktion nicht allein der Erlernung der neuen Zahnputzsystematik zuzuschreiben, sondern müssen auch im Zusammenhang mit der neu erlernten Zahnputztechnik betrachtet werden.

6.1.4 Codiersystem und Beobachtungssoftware

Während im Jahr 2005 die Videoaufzeichnungen manuell ausgewertet wurden, wurde für die vorliegende Studie die Beobachtungssoftware INTERACT (Mangold 2011) zur detaillierten Analyse des Zahnputzverhaltens verwendet. Die neu gewählte Analysemethode ist der ursprünglichen Methode in Bezug auf die Genauigkeit überlegen, da in INTERACT Putzereignisse auf 0,04 Sekunden genau analysiert werden können (Mangold 2011). Um die einzelnen Aktionen zu beschreiben, welche der Proband im Laufe des Zahnputzvorgangs ausführte, war ein Codierschema notwendig. Jeder Code beschreibt eine ihm zugewiesene Handlung. Das für unsere Studie verwendete Codierschema wurde aus der Studie von Winterfeld (2015) übernommen und wird dort im Detail beschrieben. Für die vorliegende Studie wurden 18 verschiedene Codes zur Charakterisierung des Zahnputzverhaltens verwendet.

Die Videodateien werden direkt in der Beobachtungssoftware geöffnet und können über die Stoptaste jederzeit angehalten oder zurückgespult werden. Dadurch können Putzereignisse sehr genau codiert werden und das Problem einer verzögerten Reaktionszeit besteht nicht. Zur besseren Übersicht wurden für die 18 möglichen Codierungen zwei getrennte Codiervorgänge angesetzt, in welchen unterschiedlichen Parametern Beachtung geschenkt wurde. Dies wurde so vorgenommen, damit sich der Beobachter während der Putzvorgänge nur auf wenige Ereignisse konzentrieren musste, was zur Genauigkeit der Analyse beitragen sollte. Da die Probanden an den

Videoaufzeichnungen ohne Zahnpaste ihre Zähne putzten, konnte die Putzregion eindeutig zugeordnet werden.

6.1.5 Reaktionszeit und Kalibrierung

Vor Beginn der vorliegenden Studie wurden anhand von 26 zufällig ausgewählten Videoaufzeichnungen (www.random.org) Kalibrierungen durchgeführt. Die Verfasserin der vorliegenden Arbeit kalibrierte sich gegen einen erfahrenen Untersucher sowie zusätzlich im Studienverlauf zweimal anhand jeweils zehn zufällig ausgewählter Videoaufzeichnungen (www.random.org) gegen sich selbst.

Die Ergebnisse der Interraterkalibrierung mit dem erfahrenen Untersucher lagen im guten ($\kappa = 0,64$) bis sehr guten ($\kappa = 1,00$) Bereich. Für die erste Intraraterkalibrierung der Verfasserin der Arbeit lagen die Kappakoeffizienten im guten ($\kappa = 0,80$) bis sehr guten ($\kappa = 1,00$) Bereich. Der Parameter „undefiniertes Putzereignis“ hingegen lag bei der ersten Intraraterkalibrierung im geringen ($\kappa = 0,20$) Bereich. Die Ergebnisse der zweiten Intraraterkalibrierung der Verfasserin der Arbeit lagen alle im guten ($\kappa = 0,77$) bis sehr guten ($\kappa = 1,00$) Bereich. Sowohl in der Interraterkalibrierung als auch in der ersten Intraraterkalibrierung zeigte jeweils der Parameter „undefiniertes Putzereignis“ den geringsten Kappakoeffizienten. In der Videoanalysestudie von Winterfeld (2015), in welcher das Codiersystem dieser Arbeit entwickelt wurde, konnte dies ebenfalls für diesen Parameter beobachtet werden. Der Autor führte dies darauf zurück, dass dieser Parameter nicht exakt definiert und für all jene Ereignisse vorgesehen ist, die nicht mit einem der anderen definierten Codes beschrieben werden konnten. Der Code wurde immer dann verwendet, wenn zwischenzeitlich die Bewegung oder der Aufenthaltsort der Zahnbürste vom Beobachter nicht erkannt werden konnte. Es handelte sich meist um sehr kurz codierte Sequenzen. Da das Codiersystem sehr genau alle Eventualitäten des Zähneputzens charakterisiert, wurde dieser Parameter nur selten benutzt, was den geringen Kappakoeffizienten auch begründet.

6.1.6 Toothbrushing Systematic Index (TSI)

Bisher finden sich in der Literatur weder eindeutige Empfehlungen über die einzuhaltende Putzreihenfolge oder über die Startregion der Putzabfolge (van der Sluijs et al. 2018), noch Daten über die Effizienz einer angewendeten Zahnputzsystematik. Ausgehend von der Tatsache, dass sich die meisten Sulkusblutungen an den Oralflächen der Unterkieferzähne finden lassen, erscheint es sinnvoll beim Zähneputzen mit den Oralflächen zu beginnen (Lang 1994). Allerdings konnte in einer aktuellen Studie kein statistisch signifikanter Unterschied in der

Plaqueeentfernung festgestellt werden, wenn zuerst die Oral- oder die Bukkalflächen gereinigt wurden (van der Sluijs et al. 2018). Einigung besteht hingegen über die Notwendigkeit eine Zahnputzsystematik zu erlernen, um die Reduktion der dentalen Plaque an allen Zahnflächen gewährleisten zu können (Honkala 1984). Die Probanden unserer Studie wurden in der Zahnputzsystematik nach Rateitschak unterwiesen (Wolf et al. 2004). Auch wenn nicht alle unserer unterwiesenen Probanden die Systematik nach Rateitschak vollständig erlernten, wurden sie in ihrem Zahnputzverhalten durch die erhaltene Mundhygieneinstruktion dennoch positiv beeinflusst. Diese positive Beeinflussung im Vergleich zum bisherigen Mundhygieneverhalten wollten wir messbar machen, um herauszufinden, inwieweit Systematikerweisungen zu einer Verbesserung im Mundhygieneverhalten führen.

Aus diesem Interesse heraus, entwickelten wir einen Index, der den Grad des systematischen Putzens charakterisiert. Dabei stellte sich zunächst die Frage, wie systematisches Putzen definiert werden kann. Da der neue Index ein quantitatives Maß darstellen sollte, sollte diese Definition schließlich auch als Algorithmus auszudrücken sein. Dazu stützten wir uns auf die in der Literatur gängigen Empfehlungen zu systematischem Zahnputzverhalten: Vollständigkeit, Gleichmäßigkeit, ausreichende Putzdauer und eine definierte Putzreihenfolge (Bass 1954; Gallagher et al. 2009; Honkala 1984; Landes Zahnärztekammer Hessen 2018; Wolf et al. 2004). Da die Parameter zu umfangreich waren, um sie alle in nur einer mathematischen Formel unterbringen zu können, entschieden wir uns, den TSI als Summe zweier Indices anzulegen.

6.1.6.1 Der Index C

Der TSI stellt die Summe zweier Indices, Index C und Index I, dar. Die Herleitung des Index C war an Bedingungen geknüpft, welche nach unserem Verständnis systematisches Putzen beschreiben:

- (1) Der Index C sollte ein umso systematischeres Putzverhalten abbilden, je länger die Putzzeit ist. Van der Weijden et al. kamen in ihrer Studie über die Effektivität der Plaquereduzierung in Abhängigkeit der Putzdauer zu dem Ergebnis, dass die optimale Zeit, um Plaque auf den Glattflächen nahezu vollständig zu entfernen, bei 30 Sekunden pro Quadrant liegt, unabhängig davon, ob mit einer Handzahnbürste oder einer elektrischen Zahnbürste geputzt wurde. [...] *Die Zeitdauer des Zähneputzens scheint für die Auswertung der Plaqueeentfernungseffizienz eine bedeutende Variable zu sein, da sich der*

Wirkungsgrad mit der Zeitdauer erhöht [...] (van der Weijden et al. 1993). Allerdings ist anzumerken, dass in dieser Studie von einer externen professionellen Person geputzt wurde. Gallagher et al. (2009) kamen zu dem Schluss, dass Zähneputzen für mindestens zwei Minuten 26 % mehr Plaque reduziert als das Putzen von nur 45 Sekunden. Die Aufnahme der Gesamtputzdauer zur Berechnung unseres Index hatte daher einen hohen Stellenwert. Jedoch ist eine sehr lange Gesamtputzzeit und der übereifrige Gebrauch der Zahnbürste nicht allein mit systematischem Zähneputzen oder sehr guter Mundhygiene gleichzusetzen (van der Weijden und Hioe 2005). Es sollte vielmehr möglichst konzentriert geputzt werden. Dies bedeutet, dass möglichst wenige Putzarealwechsel ausgeführt werden sollten.

- (2) Der Index C sollte daher ein umso systematischeres Putzverhalten abbilden, je weniger Putzarealwechsel stattfinden. Es existieren in der aktuellen Literatur keine Empfehlungen über die Wechselfrequenz zwischen den Putzarealen. Dennoch erschien uns dies in der Herleitung eines Systematikindex von großer Bedeutung. Unserer Auffassung nach findet ein umso systematischeres und konzentrierteres Putzen statt, je weniger Wechsel innerhalb der Putzareale in möglichst langer Gesamtputzzeit stattfinden. Jedoch muss dabei die Vollständigkeit des Putzens gewährleistet sein. Der Index C bildet daher kein systematisches Putzverhalten ab, wenn nur wenige Putzareale aufgesucht werden.
- (3) Der Index C sollte daher weiterhin ein umso systematischeres Putzverhalten abbilden, je vollständiger der Proband geputzt hat. Unter vollständigem Putzen definierten wir in Anlehnung an die Beobachtungsstudie von Macgregor und Rugg-Gunn (Macgregor et al. 1986; Winterfeld 2015) das Aufsuchen aller 12 Areale in den Sextanten. Beim Errechnen des Index C finden die Okklusalflächen keine Berücksichtigung, obwohl sie in der Systematik nach Rateitschak am Ende des Putzvorgangs aufgesucht werden sollen. Die Plaqueentfernung auf den Okklusalflächen spielt allerdings, im Vergleich zu der Plaqueentfernung auf den Glattflächen, eine eher untergeordnete Rolle, da sich dentale Plaque in größerem Ausmaß auf Glattflächen formiert als auf den Okklusalflächen (Ekstrand et al. 1993). Diese Beobachtung wird der natürlichen Selbstreinigung bei der mechanischen Beanspruchung vollständig in Okklusion stehender Prämolaren und Molaren zugeschrieben (Carvalho et al. 1989, 1991; Carvalho et al. 1992). Das spiegelt sich auch darin wieder, dass sich die meisten in der Praxis gebräuchlichen Plaqueindices ebenfalls auf die Messung von Plaque auf den Glattflächen beschränken.

6.1.6.2 Der Index I

Die Herleitung des Index I war an eine weitere Bedingung geknüpft, welche nach unserem Verständnis systematisches Putzen beschreibt: die Isochronalität. Wir definierten unter isochronalem Putzen das gleichmäßige Aufteilen der Gesamtputzzeit auf alle 12 Putzareale. Aus diesem Grund ist die mathematische Formel dieses Index als Summe angelegt. Es wird für jedes Putzareal die Putzzeit in Relation zur Gesamtputzzeit bestimmt und unter Berücksichtigung der Vollständigkeit mit dem nächsten Putzareal addiert. Die Prämisse der Isochronalität erschien uns für die Definition systematischen Putzens sinnvoll, da die gleichmäßige Verteilung der Putzzeit zu einer gleichmäßigen Plaquereduktion in allen Putzarealen führen sollte.

Die Probanden der vorliegenden Studie wurden im Zuge der Mundhygieneunterweisung allerdings im Wesentlichen dahingehend instruiert, eine bestimmte Reihenfolge beim Putzen einzuhalten. Implizit resultiert daraus zwar eine etwa ähnliche Zeitverteilung in den verschiedenen Arealen des Zahnbogens, jedoch wurden die Probanden nicht explizit in Hinblick auf zeitlich gleichmäßiges Putzen instruiert. Die Ergebnisse des Index I und der Isochronalität sind daher entsprechend zu betrachten.

6.1.6.3 Computergenerierte Sequenzen

Um die Plausibilität des TSI überprüfen zu können, wurden anschließend zunächst simulierte Putzsequenzen erstellt, die eine möglichst große Vielfalt an Putzmöglichkeiten abdecken sollten. Für die simulierten Putzsequenzen wurden dann sowohl die Indices, C und I, als auch der TSI errechnet. Die Möglichkeiten Putzsequenzen zu generieren sind sehr umfangreich. Daher wurden die entsprechenden Parameter mit Bezug auf die in vorherigen Videobeobachtungen beobachteten klinisch sinnvollen Spannweiten von Variationen gewählt. Entsprechend der genannten Teilaspekte systematischen Putzens waren dies: Variation der Putzdauer, der Anzahl an erreichten Arealen, der Wechselfrequenz und der Isochronalität. Daraus ergaben sich 1280 verschiedene Putzsequenzen, die das Verhalten des TSI und seiner Summanden unter verschiedensten Voraussetzungen sehr gut abbildeten.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Mit der Entwicklung des TSI ist unserer Arbeitsgruppe etwas vollkommen Neues gelungen, was bisher noch in keiner Literatur zu finden ist. Vergleiche unserer Ergebnisse mit vorhandener Literatur sind daher nur bedingt möglich.

6.2.1 Ergebnisse der simulierten Sequenzen

6.2.1.1 Abbildungsvermögen und Grenzen des TSI anhand simulierter Sequenzen

Für die theoretische Validierung des TSI wurden 640 isochronal simulierte und 640 nicht isochronal simulierte Putzsequenzen in Excel erstellt. Seine beiden Summanden, Index C und Index I, wurden auf die 1280 simulierten Sequenzen angewendet.

Index C verhält sich identisch, unabhängig davon, ob isochronale oder nicht isochronale Sequenzen simuliert werden, da in seinen Parametern die Isochronalität nicht eingeschlossen ist. Vielmehr zeigt sich, dass der Index C ein umso systematischeres Putzverhalten abbildet, je länger geputzt wird, je weniger Arealwechsel stattfinden und je vollständiger geputzt wird. Der Maximalwert kann immer dann erreicht werden, wenn alle Putzareale mit der Mindestanzahl an Putzarealwechseln (15 Arealwechsel) in einer ausreichend langen Gesamtputzzeit geputzt werden. Der Index C kann Werte zwischen 0,00 und 0,97 annehmen. Der maximal zu erwartende Wert von 1,00 kann jedoch aufgrund der im Nenner befindlichen Gesamtputzzeit nicht erreicht werden. Die Gesamtputzzeit müsste hierfür gegen unendlich tendieren. Der Index C sagt jedoch nichts über die Putzdauer aus, die für jedes einzelne Areal aufgewendet wird. Um diesbezüglich eine Aussage treffen zu können, bedarf es des Index I.

Der Index I beschreibt die Putzdauer in den aufgesuchten Arealen in Bezug zur Vollständigkeit und kann unter isochronalen Bedingungen (jedes Areal wird mit der exakt gleichen Putzdauer aufgesucht) den Maximalwert von 1,00 erreichen. Unter nicht isochronalen Bedingungen kann der Index I nie den Maximalwert von 1,00 erreichen. Dies ist auch dann nicht der Fall, wenn alle Areale in möglichst langer Gesamtputzzeit und mit einem Minimum an Arealwechseln aufgesucht werden. Dies kann als Schwachstelle des Index I angesehen werden, da unter klinischen Bedingungen das Aufsuchen aller Putzareale in exakt oder annähernd gleicher Zeit kaum zu erwarten ist.

Der TSI wird aus der Summe beider Indices errechnet und gibt eine Tendenz an, wie systematisch geputzt wurde. Nutzt man den TSI im Verlauf von Mundhygieneinstruktionen, die über mehrere Sitzungen angelegt sind, ist der TSI in der Lage zu beschreiben, ob Probanden durch die Mundhygieneunterweisungen ihr

habituelles Putzverhalten in ein systematischeres Putzverhalten verbessern konnten. Anhand des Ergebnisses des TSI ist jedoch nicht ersichtlich, wo das Systematikdefizit des Probanden liegt. Um konkrete Anweisungen in Bezug auf eine längere Gesamtputzdauer, weniger Arealwechsel, Vollständigkeit oder Isochronalität geben zu können, bedarf es der genauen Analyse seiner einzelnen Parameter. Trotzdem hat der TSI den großen Vorteil, universell anwendbar zu sein, denn er kann auf alle Systematik- und Mundhygieneunterweisungen übertragen werden.

6.2.1.2 Der TSI in klinischer Anwendung

Im Zuge der klinischen Validierung wurden die beiden Summanden des TSI zunächst auf alle in der Systematik nach Rateitschak vorkommenden vestibulären, oralen und okklusalen Putzareale angewendet. Es zeigt sich, dass der Index I in diesem Fall keine Zeichnungsschärfe nach Mundhygieneinstruktion aufweist. Wird der Index I nur bezogen auf die vestibulären und oralen Putzareale angewendet ohne Einbezug der Okklusalflächen, ergeben sich hingegen statistisch signifikante Unterschiede.

Diese Problematik lässt sich anhand folgender Überlegung erklären: Bevor unsere Probanden die Unterweisung in die Systematik nach Rateitschak erhielten, bestand ein Defizit in der Reinigung der Oralflächen. Diese wurden nur selten und wenn, dann nur in kurzer Zeit aufgesucht. Die Vestibulär- und Okklusalflächen wurden zu Studienbeginn hingegen mit größerem Zeitaufwand gereinigt. Diese Tatsache erklärt den niedrigen Wert für den Index I zu Studienbeginn (Baseline). Nach Systematikuhrweisung verschiebt sich die Zeitaufteilung auf den Zahnflächen. Vestibulär- und Oralflächen werden nun mit wesentlich größerem Zeitaufwand gereinigt als die Okklusalflächen. Diese werden nur noch kurz am Ende der Putzsequenz aufgesucht. Dieses Ungleichgewicht an Zeitaufwand auf den einzelnen Flächen erklärt den im Verhältnis zur Baselineaufnahme gleichbleibend niedrigen Index I nach Instruktion. Des Weiteren ist zu bedenken, dass die Probanden die Glattflächen mit einer neu erlernten und eher zeitaufwendigen Zahnputztechnik reinigten und dafür ein größerer Zeitaufwand nötig wurde, wohingegen auf den Okklusalflächen meist nur horizontale Putzbewegungen stattfanden. Klammert man die Okklusalflächen bei der Errechnung des Index I bzw. des TSI aus, so erklärt sich der anfangs niedrige Index I im Reinigungsdefizit der Oralflächen, wohingegen es nach Instruktion in die Systematik nach Rateitschak zu einer statistisch signifikanten Steigerung im Index I kam, da nun den Oralflächen die nahezu gleiche Zeitmenge wie den Vestibulärflächen zugesprochen wird. Aus diesem Grund beziehen sich alle weiteren Aussagen zu den Ergebnissen auf 12 Putzareale.

6.2.2 Ergebnisse der Teilnehmer aller Studienzeitpunkte

Neunundfünfzig Probanden gehören der Studiengruppe CLIN an und waren zu allen angesetzten Studienterminen erschienen.

6.2.2.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten

Um ein gutes Mundhygieneverhalten ausbilden zu können, wird unter anderem die Einhaltung einer ausreichend langen Putzzeit (Gallagher et al. 2009) empfohlen, um die Entfernung der dentalen Plaque sicherzustellen. Die Putzzeit wird als der größte Einflussfaktor auf die Plaquereduktion angesehen (Honkala et al. 1986).

Dennoch sind die Resultate entsprechender Studien uneinheitlich. Eine frühe deutsche Studie forderte die Einhaltung von vier bis fünf Minuten Putzzeit, um eine optimale Plaquereduktion zu erreichen (Gülzow und Busse 1970), wohingegen einer anderen Studie zufolge die größte Plaquereduktion bei einer Putzdauer von mehr als einer Minute zu erwarten ist (Honkala 1984). Eine Putzdauer von mehr als zwei Minuten führte in der Studie von Honkala zu keiner weiteren Reduktion der dentalen Plaque. In zwei weiteren Studien wurden 30 Sekunden pro Quadrant als die ideale Putzzeit ermittelt, um das Optimum der Plaquereduktion zu erreichen (van der Weijden und Hioe 2005; van der Weijden et al. 1993). Zu ähnlichen Resultaten gelangte eine Studiengruppe im Jahr 2009, welche Probanden dazu anhielt, in verschiedenen vorgegebenen Putzzeiten zu putzen (Gallagher et al.). In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass bis zu 26 % mehr dentale Plaque entfernt wird, wenn zwei Minuten anstatt der durchschnittlichen aufgewendeten 45 Sekunden geputzt wird. Die Empfehlung über die Einhaltung von mindestens zwei Minuten Putzzeit, hat sich heute sowohl national als auch international durchgesetzt (American Dental Association; Gallagher et al. 2009; Landeszahnärztekammer Hessen 2018; Sandström et al. 2011).

Unumstritten jedoch ist die Tatsache, dass die Umsetzung der Putzzeitempfehlung durch das individuelle Zeitgefühl beeinflusst wird (van der Weijden und Hioe 2005). Patienten vermuten mehr Zeit beim Zähneputzen zu verbringen, als sie es tatsächlich tun. Eine Beobachtungsstudie aus dem Jahr 2008 konnte eine Unterschätzung der eigenen Gesamtputzdauer von bis zu einer Minute feststellen (Terézhalmy et al.). Eine Studie, welche Probanden bat, ein Putzzeittagebuch über einen Zeitraum von zwei Monaten anzulegen, stellte fest, dass von 2087 dokumentierten Putzzeiten nur 34 % die geforderten zwei Minuten erfüllten (McCracken et al. 2002).

Die Probanden unserer Studie putzten hingegen ohne erhaltene Mundhygieneinstruktion $126,6 \pm 58,6$ Sekunden (Kontrollgruppe) und $142,5 \pm 53,8$ Sekunden (Instruktionsgruppe) und erfüllten bereits zu Studienbeginn die festgelegte Putzzeitempfehlung. Es wurden sogar längere Gesamtputzzeiten von mindestens zwei Minuten erreicht, als in früheren Studien beobachtet werden konnten (Ganss et al. 2009; Macgregor und Rugg-Gunn 1984, 1985; Robinson 1946; Rugg-Gunn und Macgregor 1978). Verglichen mit einer aktuellen Beobachtungsstudie aus dem Jahr 2015 konnten bei unseren Probanden bereits zu Studienbeginn ähnlich hohe Putzzeiten festgestellt werden (Winterfeld 2015).

Die Einhaltung von zwei Minuten Gesamtputzdauer ohne vorherige Instruktion lässt sich auf den positiven Effekt der Individual- und Gruppenprophylaxe zurückführen. Da es sich bei den Studienteilnehmern der vorliegenden Dissertationsschrift ausschließlich um Studierende der Justus-Liebig-Universität in Gießen aus dem Jahr 2005 handelt, ist davon auszugehen, dass diese Probanden bereits von dem seit 1988 im Sozialgesetzbuch verankerten System der Gruppen- und Individualprophylaxe profitieren konnten. Der hohe Bildungsstand unserer Probanden stellt eine weitere mögliche Erklärung für die lange Gesamtputzdauer zu Studienbeginn dar, da in dieser Bildungsschicht ein größeres Interesse an Mundhygiene nachgewiesen werden konnte (Rebelo et al. 2016).

In der vorliegenden Dissertationsschrift zeigt sich zu Studienbeginn kein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Putzzeit zwischen Kontroll- und Instruktionsgruppe. Nach Mundhygieneinstruktion erhöhte sich die Putzzeit der Instruktionsgruppe hingegen statistisch signifikant gegenüber der Putzzeit vor Studienbeginn und gegenüber der Putzzeit der Kontrollgruppe. Auch bei der Kontrollgruppe ist nach Mundhygieneinstruktion am Studienende eine statistisch signifikante Steigerung der Gesamtputzzeit zu beobachten. Da unsere Probanden entgegen der oben erwähnten Studien von Anfang an eine Putzdauer von über zwei Minuten aufwiesen, kann die erhaltene Putzdauerempfehlung während des Studienverlaufs nicht allein für die signifikante Erhöhung der Putzdauer auf mehr als vier Minuten angesehen werden. Vielmehr ist der wesentlich größere Zeitaufwand beim Putzvorgang mit der Anwendung der neu erlernten Zahnputzsystematik nach Rateitschak und der gezeigten Zahnputztechnik zu erklären. Es ist davon auszugehen, dass die Konzentration auf die korrekte Durchführung der neu gezeigten Mundhygienetechnik einen zeitlichen Mehraufwand beim Putzvorgang mit sich brachte.

Nach Mundhygieneinstruktion kam es neben einer statistisch signifikanten Erhöhung der Gesamtputzzeit auch zu statistisch signifikanten Veränderungen in den Putzzeiten auf den verschiedenen Zahnflächen. Die Videoaufzeichnungen des habituellen Mundhygieneverhaltens zeigen, dass unsere Probanden die Vestibulär- und Okklusalfächen zu Studienbeginn länger putzten als die Oralflächen. Ein ähnliches Verhalten konnte bereits in Studien zuvor beobachtet werden (Winterfeld 2015; Macgregor und Rugg-Gunn 1985, 1979a).

In der vorliegenden Studie verwendeten die Probanden der Instruktionsgruppe nach Mundhygieneinstruktion statistisch signifikant mehr Zeit mit der Reinigung der Oralflächen und statistisch signifikant weniger Zeit mit der Reinigung ihrer Okklusalfächen. Gleiches Verhalten zeigt die Kontrollgruppe nach einmaliger Systematikunterweisung zu Studienende. Dies zeigt, dass die Inhalte der Instruktion auch umgesetzt werden konnten.

Eine ausreichend lange Gesamtputzzeit, wie unsere Probanden dies schon zu Studienbeginn zeigten, sichert die vollständige Entfernung der dentalen Plaque jedoch nicht allein (van der Weijden und Hioe 2005). Schon im Jahr 1948 postulierte Bass, dass [...] *jede mit der Zahnbürste erreichbare Stelle gereinigt werden muss [...]*. Dieses Postulat wurde in der Herleitung des TSI berücksichtigt. Um ein möglichst vollständiges Putzen zu erreichen, kamen wir zu der Überlegung, dass jedes Putzareal im Idealfall einmal während des Putzvorgangs aufgesucht und so lange gereinigt werden sollte, bis die dentale Plaque in diesem Areal vollständig entfernt ist. Solchermaßen konzentriertes Putzen sollte es erleichtern den Überblick beim Putzen zu behalten und so die Vollständigkeit zu gewährleisten.

In einer aktuellen videogestützten Beobachtungsstudie über das habituelle Zahnputzverhalten von jungen Erwachsenen konnte jedoch beobachtet werden, dass Probanden $45,1 \pm 22,4$ Mal das Putzareal wechselten. Von 101 eingeschlossenen Probanden erreichten dadurch nur 25 Probanden alle 12 Areale. Neununddreißig Probanden erreichten sogar weniger als neun Areale (Winterfeld et al. 2015). Von den Probanden der vorliegenden Studie erreichten bereits zu Studienbeginn 27 Probanden alle Putzareale und nur 15 Probanden erreichten weniger als 9 Areale. Bezüglich der Wechselfrequenz zeigten die Probanden der vorliegenden Studie vergleichbare Resultate wie in der Studie von Winterfeld et al.. Bereits nach einmaliger Mundhygieneinstruktion verringert sich die Wechselfrequenz der Instruktionsgruppe deutlich, was auch hier die gute Umsetzung der Instruktioninhalte belegt. Die Kontrollgruppe hingegen zeigt im gesamten Studienverlauf gleichbleibend hohe

Wechselfrequenzen. Erst nach einmaliger Mundhygieneinstruktion zu Studienende verringert sich diese ebenfalls. Betrachtet man die Werte für den Index C, welcher unter anderem die Wechselfrequenz beinhaltet, so lässt sich mit abnehmender Wechselfrequenz in der Instruktionsgruppe eine signifikante Steigerung im Index C beobachten. Allein mit der verringerten Wechselfrequenz den hohen Index C zu rechtfertigen, mag angesichts seiner weiteren Parameter nicht plausibel erscheinen. Jedoch ist folgendes anzumerken: Die Gesamtputzzeit findet ebenfalls als wichtiger Parameter im Index C Berücksichtigung. Allerdings putzten unsere Probanden bereits zu Studienbeginn mit einer langen Gesamtputzzeit. Betrachtet man in den Abbildungen 17 und 18 eine Gesamtputzdauer von 120 s im Zusammenhang mit einer Wechselfrequenz von $33,4 \pm 13,5$, bezogen auf die Glattflächen, so lässt sich ein akzeptabler Wert für den Index C erzielen. Erst durch die Senkung der Wechselfrequenz lässt sich jedoch ein nahezu perfekter Wert für den Index C erreichen ($0,87 \pm 0,08$ nach einmaliger Instruktion). Ein ähnliches Ergebnis ist nach einmaliger Instruktion der Kontrollgruppe zu beobachten. Dies veranschaulicht zum einen den hohen Stellenwert der Wechselfrequenz im TSI unter der plausiblen Annahme, dass das systematische Abarbeiten der einzelnen Areale des Zahnbogens eine sinnvolle Mundhygieneempfehlung darstellt und zum anderen die Notwendigkeit, Patienten dahingehend zu unterweisen, möglichst konzentriert mit wenigen Wechsels zu putzen.

Wie bereits schon im Detail erläutert, hat der Index I eine wesentlich höhere Abbildungsstärke, wenn er nur auf 12 Areale angewendet wird. Der Index I beschreibt die Isochronalität, mit welcher geputzt wurde. Das heißt, dass im Idealfall jedes Areal mit annähernd der gleichen Putzzeit aufgesucht wurde. Es ist eine statistisch signifikante Steigerung im Index I nach einmaliger Mundhygieneinstruktion in der Instruktionsgruppe ($0,81 \pm 0,07$) und nach erstmaliger Mundhygieneinstruktion zu Studienende in der Kontrollgruppe ($0,82 \pm 0,05$) zu beobachten. Vergleicht man diese Werte mit der im nachfolgenden Text besprochenen Gruppe der vollständig adaptierten Systematiker (COMP) ($0,83 \pm 0,06$), so erscheinen die Werten zum einen nicht ausreichend hoch und zum anderen im Vergleich zum perfekten Systematiker ohne Unterschied. Unserer Vermutung nach liegt dies daran, dass auf bereits vorhandenes Studienmaterial zurückgegriffen wurde und welches von einer anderen Fragestellung ausging. Wie bereits oben erwähnt, war in der damaligen Mundhygieneinstruktion die Anweisung, jedes Putzareal mit annähernd der gleichen Putzzeit zu putzen, nicht vorgesehen. Dennoch ist eine Zunahme der Systematik anhand der Werte ersichtlich. Allerdings ist anzumerken, dass unsere Probanden damals auch eine Einweisung in

die Zahnputztechnik nach Bass erhalten haben (1954), deren korrekte Umsetzung ein Mehraufwand an Zeit fordert als beispielsweise eine horizontale Putzbewegung. Trotzdem scheint eine Unterweisung in eine Putzsystematik auch ohne Hinweis auf eine entsprechend ausreichend lange Putzzeit zu einer Erhöhung der Isochronalität beizutragen.

6.2.2.2 Veränderung der Systematik Index Werte

Fasst man die im vorangegangenen Textverlauf erörterten Veränderungen im Putzverhalten zusammen, lässt sich anhand des TSI eine Aussage darüber treffen, wie systematisch unsere Probanden zu Studienbeginn waren und ob eine Mundhygieneunterweisung ein systematisches Putzverhalten fördert. Unsere Daten zeigen zu Studienbeginn keinen statistisch signifikanten Unterschied im Systematikgrad zwischen Kontroll- und Instruktionsgruppe (TSI (Kontrolle): $1,15 \pm 0,29$; TSI (Instruktion): $1,25 \pm 0,27$). Der TSI der Kontrollgruppe bleibt zunächst im weiteren Studienverlauf konstant. Dies kann mit dem hohen Maß an Gewohnheit und automatisiertem Verhalten während des Zähneputzens begründet werden. Erst nach Mundhygieneinstruktion zeigt sich im gleichen Maß wie bei der Instruktionsgruppe eine statistisch signifikante Steigerung im TSI (TSI: $1,72 \pm 0,14$ nach Instruktion der Kontrollgruppe; TSI: $1,69 \pm 0,14$ nach einmaliger Instruktion der Instruktionsgruppe), was Beleg dafür sein kann, dass die Probanden in der Lage waren, die Mundhygieneinstruktion direkt umzusetzen.

Die vorliegende Studie war über einen Zeitraum von sechs Wochen angelegt. Dieser Zeitraum könnte durchaus als zu kurz betrachtet werden, um eine Aussage über die Adaptation von neu Gelerntem treffen zu können. Ein systematisches Review aus dem Jahr 2005 konnte jedoch nachweisen, dass schon eine einmalige Mundhygieneunterweisung auch nach sechs Monaten noch einen positiven Effekt auf die Plaquereduktion hat (van der Weijden und Hioe 2005). Im Vergleich dazu war eine statistisch signifikante Plaquereduktion bei Probanden, welche ohne Mundhygieneinstruktion ihre habituellen Mundhygienemaßnahmen durchführten, nicht zu beobachten.

6.2.2.3 Veränderungen im Plaqueindex

Um den Lerneffekt einer Mundhygieneinstruktion zu dokumentieren, wird gewöhnlich ein Plaqueindex vor und nach Mundhygieneunterweisung erhoben und die Ergebnisse miteinander verglichen. Mundhygieneinstruktionen sollen zu einer Verbesserung des Plaqueindex führen und so das Risiko für plaqueassoziierte orale Erkrankungen

minimieren. Dank der seit 1988 im Sozialgesetzbuch verankerten Gruppen- und Individualprophylaxe beginnt die Mundhygieneerziehung von Seiten der Zahnärzte bereits im frühen Kindergartenalter und erstreckt sich bis in das 12. Lebensjahr (Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V), Gesetzliche Krankenversicherung 20.12.1988a, 20.12.1988b). Die Leistungen der Gruppen- und Individualprophylaxe werden ein- bis zweimal im Jahr angeboten. Dabei fällt auf, dass der Bildungsstatus der Eltern hierbei eine länderübergreifende Rolle spielt: Kinder aus höheren Bildungsschichten, weisen statistisch signifikant weniger kariöse Läsionen auf und suchen den Zahnarzt auch zu Kontrolluntersuchungen auf als Kinder sozial niedrigerer Schichten (Hamasha et al. 2006; Kumar et al. 2016; Reisine und Psote 2001; Schou und Uitenbroek 1995). Eine Arbeitsgruppe überprüfte 2007 zwei verschiedene Mundhygieneinstruktionskonzepte an 60 sechsjährigen Schülern mit hohem Kariesrisiko. Die Studiendauer erstreckte sich über 15 Monate. Dabei erhielt die Kontrollgruppe einmal im Jahr eine einmalige Mundhygieneunterweisung und die Studiengruppe erhielt alle drei Monate erneut eine Mundhygieneinstruktion. Es stellte sich heraus, dass die Probanden der Studiengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe eine statistisch signifikante Verringerung in ihren Plaque- und Gingivaindices erzielten (Zanin et al. 2007). Engmaschige Mundhygieneinstruktionen scheinen bei Kindern eine sinnvolle Maßnahme darzustellen. Nichtsdestotrotz kamen auch Furusawa et al. (2011) zu der Erkenntnis, dass jährliche Mundhygieneinstruktionen über einen Zeitraum von fünf Jahren zu einer statistisch signifikanten Plaquereduktion gegenüber einer nicht instruierten Kontrollgruppe führt.

Sehr interessante Ergebnisse erzielte die Arbeitsgruppe von Axelsson et al. (2004). In ihrer über einen Zeitraum von 30 Jahren angelegten Mundhygienestudie erreichten sie durch stetige Mundhygieneunterweisung und Anleitungen zur Selbstkontrolle einen sehr hohen Mundgesundheitsstatus der Patienten. Es kam kaum zu Zahnverlusten (0,4-1,8 Zähne je nach Altersgruppe), neue kariöse Läsionen bildeten sich an 1,2-2,1 Zähnen, je nach Gruppenzugehörigkeit, wobei 80 % der Läsionen als Kariesrezidiv identifiziert werden konnten. Ein aktuelles systematisches Review über die Effektivität von Mundhygieneunterweisungen konnte sowohl für Langzeitstudien als auch für kurzzeitige Mundhygieneinstruktionen positive Ergebnisse hinsichtlich der Plaquereduktion nachweisen (Ghaffari et al. 2018).

In unserer Studie fanden im Abstand von je zwei Wochen insgesamt zwei Mundhygieneinstruktionen (Instruktionsgruppe) bzw. eine Mundhygieneinstruktion (Kontrollgruppe) statt. Auch unsere Ergebnisse belegen den positiven Effekt einer Mundhygieneinstruktion in eine Zahnputzsystematik. Wir konnten in der Instruktionsgruppe eine statistisch signifikante Reduktion der dentalen Plaque auf den

Oralflächen nach Unterweisung in die Systematik nach Rateitschak nachweisen, welche nach Instruktion deutlich länger und von manchen Probanden überhaupt erstmals aufgesucht wurden. Für die Kontrollgruppe war die Messung der Plaque nach Mundhygieneinstruktion zu Studienende nicht mehr möglich, da die Probanden bereits kurz vorher einmal habituell geputzt hatten.

6.2.3 Ergebnisse der Studienteilnehmer nach perfekter Adaptation der Systematik nach Rateitschak

Sechszwanzig Probanden gehören der Studiengruppe COMP an, welche die Systematik nach Rateitschak nach einmaliger Mundhygieneunterweisung vollständig adaptierten. Diese Probanden wurden als Goldstandard definiert.

6.2.3.1 Veränderungen im Zahnputzverhalten

Die Ergebnisse der Gesamtputzzeit der COMP liefern ähnliche Werte wie die der Instruktionsgruppe der Studiengruppe CLIN, sowohl zu Studienbeginn als auch nach einmaliger Mundhygieneinstruktion. Auch diese Studiengruppe erfüllte bereits zu Studienbeginn die allgemeine Putzempfehlung von zwei Minuten. Aufgrund der Mundhygieneunterweisung in die Zahnputzsystematik nach Rateitschak kam es zu einer statistisch signifikanten Steigerung der Gesamtputzzeit, aber auch zur Steigerung der Putzzeit auf den Vestibulär- und Oralflächen, wohingegen die Putzzeit auf den Okklusalfächen im statistisch signifikanten Bereich abnahm.

Zu Studienbeginn zeigte die Studiengruppe COMP eine höhere Wechselfrequenz ($36,8 \pm 11,5$) als die Studiengruppe CLIN ($33,4 \pm 13,5$). Probanden dieser Gruppe konnten nach Mundhygieneunterweisung ihre Wechselfrequenz auf ein Minimum von $15,8 \pm 5,9$ reduzieren und erreichten im Gegensatz zur Studiengruppe CLIN alle 12 Putzareale vollständig. Lediglich für einen Probanden aus der Kontrollgruppe wurde im sechsten Sextanten die Oralfläche nicht codiert. Dieser Proband putzte in der vorgegebenen Reihenfolge der Zahnputzsystematik nach Rateitschak, jedoch war die Putzhand im Fokus der Kamera als mit hoher Wahrscheinlichkeit der sechste Sextant oral gereinigt wurde. Das Putzereignis wurde daher als „undefiniertes Putzereignis/nicht erkennbar“ codiert. Da außerhalb dieses Putzereignisses die Zahnputzsystematik nach Rateitschak perfekt eingehalten wurde, wurde dieser Proband dennoch für den Datensatz COMP miteinbezogen.

Obwohl die Probanden in der Vorläuferstudie aus dem Jahr 2005 keine Instruktion darüber erhielten, jedes Putzareal mit annähernd der gleichen Putzzeit aufzusuchen, ist eine statistisch signifikante Steigerung im Index I bei der Studiengruppe COMP ersichtlich. Jedoch ist anzumerken, dass sich im Vergleich zur Studiengruppe CLIN nur minimale Unterschiede im Index I, sowohl zu Studienbeginn als auch nach einmaliger Mundhygieneinstruktion nachweisen lassen. Für den Sachverhalt der Isochronalität der Studiengruppe COMP gilt Selbiges wie für die Studiengruppe CLIN bereits im Detail erörtert.

6.2.3.2 Veränderung der Systematik Index Werte

Betrachtet man den maximal zu erreichenden TSI bei vollständig adaptierter Systematik nach Rateitschak und seine beiden Summanden im Vergleich zur Studiengruppe CLIN, so zeigen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede. Der TSI lag, bei vollständig adaptierter Systematik (COMP) bei $1,74 \pm 0,09$, die Probanden der Studiengruppe CLIN konnten, obwohl die Systematik nach Rateitschak nicht perfekt übernommen wurde, einen ebenso hohen TSI erzielen (TSI Kontrollgruppe nach erstmaliger Instruktion: $1,72 \pm 0,14$; TSI Instruktionsgruppe nach einmaliger Instruktion: $1,69 \pm 0,14$). Der, trotz vollständig adaptierter Systematik, relativ geringe TSI wirkt auf den ersten Blick irritierend, jedoch ist anzumerken, dass der Index I aufgrund der fehlenden Instruktion zur Isochronalität keine allzu hohen Werte erzielen konnte, was sich nun negativ auf den TSI auswirkt.

Weiterhin wurden die vollständig adaptierten Systematiker anhand eines Punktesystems im Jahr 2005 ermittelt. Hierfür wurde die Videodatei auf Einhaltung der korrekten Putzreihenfolge manuell ausgewertet. Für unsere Studie haben wir die im Jahr 2005 als vollständig adaptierten Systematiker identifizierten Probanden übernommen, da diese Daten bereits publiziert waren (Schlueter et al. 2010). Die wiederholte Auswertung des Studienmaterials aus dem Jahr 2005 in der vorliegenden Dissertationsschrift erfolgte dagegen mit der Beobachtungssoftware INTERACT (Mangold 2011), was eine viel detailliertere Analyse der Videodateien gewährleistete. So konnten in der erneuten Analyse vermutlich mehr Putzarealwechsel der im Jahr 2005 als vollständig adaptierten Systematiker identifizierten Probanden (COMP) detektiert werden. Da in INTERACT auf 0,04 Sekunden genau ausgewertet werden kann, wurden so bereits Putzarealwechsel identifiziert, obgleich sie vom Probanden unter Umständen noch nicht beabsichtigt waren. Dies könnte eine Rechtfertigung für den relativ niedrigen Index C trotz vollständig adaptierter Systematik darstellen. Da

verglichen mit den simulierten Putzsequenzen (Abb. 17 u. 18) eine ausreichend lange Gesamtputzzeit vorlag und auch alle Areale erreicht wurden, erscheinen die nicht perfekte Wechselfrequenz und die fehlende Isochronalität der limitierende Faktor im TSI des Datensatz COMP zu sein. Ob die Isochronalität, selbst wenn sie in Mundhygieneunterweisungen Erwähnung findet, besser umgesetzt werden kann, bleibt abzuwarten. Da Patienten ein eher subjektives Zeitgefühl während des Putzens haben (Terézhalmy et al. 2008), haben gegenwärtig viele moderne elektrische Zahnbürsten Funktionen, die eine gleichmäßige Putzzeitverteilung unterstützen sollen. Weitere Studien müssen zeigen, ob solche Hilfsmittel erfolgreich sind und ob eine entsprechende Instruktion und Umsetzung auch in noch weiter verbesserten TSI Werten zum Ausdruck kommt.

6.3 Diskussion der TSI Parameter

Der TSI ist von vier Parametern abhängig, welche systematisches Zahnputzverhalten beschreiben: Gesamtputzdauer, Wechselhäufigkeit, Anzahl erreichter Areale und Isochronalität. Anhand dieser vier Parameter kann der TSI auch zur Identifikation von systematischem habituellem Putzverhalten dienen, insbesondere dann, wenn die Systematik keinem festgelegten Schema folgt.

Betrachtet man die TSI Werte unserer Probanden zu Studienbeginn, findet sich in der Tat ein breites Spektrum an Werten, die von 0,65 (min.) bis 1,70 (max.) reichen. Aufgrund dieser großen Streuung teilten wir unsere Probanden anhand ihres anfänglichen TSI Werts in Quartile ein. Innerhalb der eingeteilten Quartile stellten wir Vergleiche zum Mundhygieneverhalten vor und nach einmaliger Mundhygieneinstruktion an. Verglichen wurden die vier Systematikparameter zur Beantwortung der Frage, ob die verschiedenen TSI-Klassen auch tatsächlich unterschiedlich gutes habituelles Putzverhalten abbilden können.

Die Probanden des ersten Quartils wiesen die 16 niedrigsten TSI Werte zu Studienbeginn auf. Betrachtet man die Gesamtputzdauer in den Quartilen, so fällt auf, dass die Probanden mit dem niedrigsten TSI zu Studienbeginn eine mittlere Gesamtputzzeit von $65,7 \pm 31,1$ Sekunden gegenüber den Probanden des vierten Quartils mit $138,6 \pm 35,3$ Sekunden aufwiesen. Nach Mundhygieneinstruktion putzten alle Probanden mit annähernd der gleichen Putzdauer. Dies ist damit zu begründen, dass das Erlernen einer neuen Zahnputzsystematik und einer neuen Zahnputztechnik (wie es die Vorläuferstudie vorsah) höchste Konzentration und dadurch bedingt ein höheres Maß an Zeit erforderte.

Hinsichtlich der Wechselfrequenz ergaben sich zu Studienbeginn keine Unterschiede zwischen den Quartilen. Vielmehr war die Wechselfrequenz zu Studienbeginn in allen Quartilen hoch und verbesserte sich nahezu in gleichem Maße nach Mundhygieneinstruktion. Dies ist der Erlernung der Systematik nach Rateitschak zuzuschreiben, da diese das einmalige Aufsuchen von jedem Putzareal vorsieht. Die hohe Wechselfrequenz zu Studienbeginn hingegen kann als Begründung dafür angeführt werden, weshalb trotz scheinbar systematischem Putzverhalten im vierten Quartil keine höheren Werte im TSI als 1,70 erzielt werden konnten. Erst als die Wechselfrequenz nach Mundhygieneinstruktion deutlich verringert wurde, konnten TSI Werte bis 1,85 erzielt werden. Es finden sich bisher zwar keine Studien in der Literatur, in welchen über ein konzentriertes Putzen mit möglichst geringer Wechselfrequenz aufgeklärt wird, unserer Ansicht nach ist dies aber ein wesentlicher Faktor in der Systematikerziehung unserer Patienten und sollte unbedingt weiterverfolgt werden.

Betrachtet man die Anzahl an erreichten Arealen zu Studienbeginn, so lässt sich sehr deutlich erkennen, dass Probanden mit hohem TSI (viertes Quartil) bereits zu Studienbeginn alle Areale vollständig putzten, wohingegen Probanden aus dem ersten und zweiten Quartil die Areale nur unvollständig aufsuchten. Nach Mundhygieneinstruktion erreichen beinahe alle Probanden alle 12 Areale. So können auch nach Mundhygieneinstruktion hohe TSI Werte in den anfangs unteren Quartilen beobachtet werden. Die Anzahl an erreichten Arealen hat großen Einfluss auf den TSI Wert, da sie in der Errechnung beider Summanden (Index C und I) berücksichtigt ist. Darüber hinaus ist es auch klinisch von großer Bedeutung, dass alle Areale erreicht werden, da nur so die vollständige Entfernung der Plaque sicher gestellt werden kann (Honkala 1984). Aus diesen Gründen schreiben wir einem möglichst vollständigen Erreichen der Areale die größte Bedeutung in Bezug auf einen möglichst hohen TSI Wert zu.

Die Einhaltung eines isochronalen Putzverhaltens ist auch in dieser detaillierteren Aufteilung nur bedingt zu beobachten. Dies ist damit zu begründen, dass in der Mundhygieneinstruktion keine Information dazu gegeben wurde, da die Vorläuferstudie einer anderen Zielsetzung unterlag. Dennoch lässt sich im Graphenverlauf von Quartil 1 zu Quartil 4 eine Abflachung der Kurven beobachten. Je flacher der Graph, desto isochronaler das Putzverhalten. So stellt sich bereits zu Studienbeginn dar, dass Probanden mit anfänglich hohem TSI offensichtlich isochronaler putzten, als Probanden mit niedrigem TSI. Nach Mundhygieneinstruktion zeigt sich in allen Quartilen eine Zunahme an Isochronalität im Zahnputzverhalten. Der isochronalste Graphenverlauf fand sich jedoch bei Probanden des anfänglich vierten Quartils. Es

scheint so, als wäre isochronales Zahnputzverhalten leichter umzusetzen, wenn bereits vor Mundhygieneinstruktion ein systematisches Putzverhalten vorliegt.

Die Probanden des ersten Quartils wiesen die 16 niedrigsten TSI Werte zu Studienbeginn auf und zeigten folglich die geringsten Werte für die vier Systematikparameter. Auf die Probanden des vierten Quartils entfielen die 15 höchsten TSI Werte zu Studienbeginn und die höchsten Werte in den vier Systematikparametern. Vergleicht man den TSI zu Studienbeginn mit dem TSI nach einmaliger Mundhygieneinstruktion, so lässt sich eine starke Empfänglichkeit für die Übernahme systematischen Putzverhaltens im ersten Quartil verzeichnen. Probanden, welche ein eher unstrukturiertes Putzverhalten aufwiesen, konnten ihr Putzverhalten in allen Bereichen am deutlichsten verbessern, wohingegen Probanden des vierten Quartils ihren TSI nur noch geringfügig verbessern konnten. Dennoch lässt sich eine Verbesserung im TSI für alle Quartile feststellen. Alle vier Systematikparameter ändern sich so, dass nach Mundhygieneinstruktion kein Unterschied mehr zwischen den Quartilen besteht. Dies zeigt, dass eine Mundhygieneunterweisung in eine Zahnputzsystematik bei anfänglich unstrukturierten Putzern den größten Nutzen birgt, aber auch bei bereits systematischen Putzern noch Verbesserungen erzielen kann. Ähnliches belegen auch die zahlreichen Studien über die Effektivität von Mundhygieneunterweisungen (Axelsson et al. 2004; Ghaffari et al. 2018; Rong et al. 2003; Zanin et al. 2007).

Diese Analyse zeigt, dass der TSI geeignet ist, bereits vor Instruktion Personen mit relativ systematischem und insbesondere auch unsystematischem Putzverhalten zu identifizieren. Dies eröffnet die Möglichkeit, Instruktionen besser auf die Ausgangslage von Patienten abzustimmen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der TSI sehr gut geeignet ist, habituelles Zahnputzverhalten in Bezug auf seinen Systematikgrad zu beschreiben und systematisiertes Zahnputzverhalten abzubilden. Es scheint eine Tendenz dahingehend zu geben, dass unsystematische Putzer am meisten von Systematikinstruktionen profitieren können, aber auch bereits systematische Putzer immer noch einen nachweisbaren Erfolg aus Mundhygieneinstruktionen erzielen. Mundhygieneinstruktionen sollten daher als fester Bestandteil in der zahnärztlichen Praxis verankert bleiben. Ob allerdings das Üben einer speziellen Systematik sinnvoll ist oder ob eine einfache Erläuterung über ausreichend lange Putzzeit, das Aufsuchen aller Flächen und möglichst konzentriertes gleichmäßiges Putzen mit wenigen Arealwechseln nicht ausreichend ist, muss in weiteren Studien untersucht werden.

6.4 Ausblick

Obwohl die Einhaltung einer Zahnputzsystematik empfohlen wird (Bass 1954; Honkala 1984; Landes Zahnärztekammer Hessen 2018; Wolf et al. 2004), wird diese nicht als Erfolgsparameter für Mundhygieneunterweisungen in der Literatur angeführt (Schlueter et al. 2018).

Mit dem in der vorliegenden Arbeit entwickelten universell anwendbaren TSI ist es erstmals möglich, systematisches Zahnputzverhalten zu messen, unabhängig davon welche Zahnputzsystematik angewendet wird. Darüber hinaus lassen sich systematische Elemente im Zahnputzverhalten erkennen, auch wenn keine konventionelle Zahnputzsystematik angewendet wird. Damit ist unserer Arbeitsgruppe etwas vollkommen Neues gelungen, was in der bisherigen Literatur noch nicht zu finden ist.

Der TSI könnte dazu dienen, eine Vielzahl von Fragestellungen zu bearbeiten. Beispiele dafür wären:

1. Der TSI sollte die Frage beantworten können, welchen Stellenwert das Erlernen einer Zahnputztechnik noch hat, wenn eine systematische Zahnputzweise erreicht ist.
2. Der TSI könnte bei der Fragestellung, wie systematisches Putzen erreicht werden kann, als Messgröße dienen, so dass effektive Lernmethoden zur Umsetzung von Mundhygieneinstruktionen entwickelt werden könnten.
3. Der TSI könnte zur Identifikation von systematischem habituellem Putzen jenseits von festgelegten Schemata dienen um Patienten in der Praxis einfacher und schneller auf Putzdefizite hinweisen und zielgerichteter instruieren zu können.
4. Um die häusliche Mundhygiene zu optimieren, könnte der TSI als neues Tool in smart guides elektrischer Zahnbürsten integriert werden und Patienten zur Selbstkontrolle anhalten.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass unser neu entwickelter TSI Mundhygieneverhalten sehr gut zu beurteilen vermag und er zur Grundlagenforschung für neue Mundhygieneinstruktionsmodelle, beispielsweise Vergleiche zwischen Instruktionsmethoden oder Vergleiche in verschiedenen Altersklassen, angewendet werden kann. Das Mundhygieneverhalten könnte so nachhaltig positiv beeinflusst werden.

7. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Entwicklung und Anwendung eines universalen Index zur Beschreibung systematischen Zahnputzverhaltens. Dazu wurden schrittweise folgende Fragestellungen bearbeitet:

- Wie kann systematisches Zähneputzen definiert werden?
- Wie kann diese Definition in einen mathematischen Algorithmus übersetzt werden?
- Wie kann dieser Algorithmus in einen Index überführt werden?
- Bildet dieser Index systematisches Zähneputzen anhand simulierter Daten sinnvoll ab?
- Bildet dieser Index systematisches Zähneputzen anhand klinischer Daten sinnvoll ab?

Für die mathematische Herleitung des Index wurden im Vorfeld vier Parameter ((1)-(4)) definiert, welche systematisches Zahnputzverhalten charakterisieren:

- (1) Vollständigkeit (alle Putzareale sollen mit der Zahnbürste erreicht werden)
- (2) Isochronalität (alle Putzareale sollen mit annähernd der gleichen Zeit erreicht werden)
- (3) Konsistenz (es sollen so wenig Putzarealwechsel wie möglich stattfinden, um ein konzentriertes Putzen zu gewährleisten)
- (4) Darüber hinaus sollte eine hinreichende Putzdauer eingehalten werden.

Diese Parameter wurden in zwei Algorithmen gebracht, die als Summanden den Gesamtindexwert für den Toothbrushing Systematic Index (TSI) bilden, welcher Werte zwischen 0 und 2 annehmen kann.

Der TSI wurde zur Validierung zunächst auf simulierte Putzsequenzen angewendet. Dabei wurden unterschiedliche Spannweiten von Putzdauern, erreichten Arealen und Wechselhäufigkeit zwischen den Arealen bei isochronalem und nicht-isochronalem Putzen generiert. Dabei erreichte der TSI Werte zwischen 0,00 und 1,97. Je höher der erreichte Indexwert, desto systematischer ist die simulierte Putzsequenz. Sehr hohe TSI Werte erreichten simulierte Putzsequenzen, die eine ausreichend lange Gesamtputzzeit und eine möglichst geringe Anzahl an Arealwechsel aufwiesen, sowie alle Areale vollständig und in annähernd der gleichen Putzzeit erreichten. Umgekehrt

fanden sich geringe TSI-Werte bei nicht-Einhalten der beschriebenen Kriterien für systematisches Putzen.

Als Datengrundlage für die klinische Validierung dienten 202 Videodateien von insgesamt 63 Probanden. Diese Videodateien waren im Jahr 2005 zu anderen Studienzwecken erhoben worden (Schlueter et al. 2010; 2013). Für unsere Zwecke waren diese Videodateien sehr gut geeignet, da die Probanden der damaligen Studie eine Mundhygieneunterweisung in eine Zahnputzsystematik erhalten hatten. Dabei lagen auch Videodateien einer nicht instruierten Kontrollgruppe vor. Für die vorliegende Studie wurden die Videodateien mit der Beobachtungssoftware INTERACT (Mangold 2011) erneut ausgewertet und im Hinblick auf systematisches Zahnputzverhalten reanalysiert. Erfasst wurden hierbei die Gesamtputzdauer, die Putzdauer auf den einzelnen Zahnflächen sowie die Häufigkeit der Arealwechsel und die Anzahl an aufgesuchten Putzarealen.

Vor Instruktion zeigte sich ein ähnlich unsystematisches Putzverhalten zwischen der nicht instruierten Kontrollgruppe (TSI: $1,15 \pm 0,29$) und der Instruktionsgruppe ($1,25 \pm 0,27$). Nach Instruktion zeigt sich eine statistisch signifikante Verbesserung im TSI (nach zwei Wochen: $1,69 \pm 0,14$; nach 4 Wochen: $1,72 \pm 0,13$), während sich der TSI bei der Kontrollgruppe ohne Instruktion nicht veränderte (nach zwei Wochen: $1,24 \pm 0,27$; nach 4 Wochen: $1,18 \pm 0,34$).

Sechszwanzig der insgesamt 63 Probanden adaptierten die gezeigte Putzsystematik vollständig und erreichten TSI Werte von $1,74 \pm 0,09$.

Die vorliegende Studie zeigt, dass kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den TSI Werten nach Systematikuhrweisung und der vollständigen Adaptation dieser Zahnputzsystematik besteht. Alle instruierten Probanden systematisierten ihr Zahnputzverhalten nach Mundhygieneinstruktion entsprechend den oben genannten Systematikkriterien, unabhängig davon, ob die gezeigte Systematik perfekt umgesetzt werden konnte. Die größte Veränderung im Zahnputzverhalten ließ sich auf den Oralflächen beobachten, welche zu Studienbeginn generell nur rudimentär aufgesucht wurden (Putzdauer Oralflächen Baseline: $34,0 \text{ s} \pm 25,8 \text{ s}$). Nach Mundhygieneunterweisung wurden die Oralflächen mit einem deutlich höheren Zeitaufwand gereinigt (Putzdauer Oralflächen nach einmaliger Systematikuhrweisung: $109,1 \text{ s} \pm 58,9 \text{ s}$), wodurch sich die Plaquemenge auf diesen Flächen ebenfalls reduzierte.

Das starre Festhalten an definierten Putzreihenfolgen sollte zukünftig zu Gunsten flexibleren Mundhygieneinstruktionen überdacht werden. Der entwickelte TSI ist in der Lage systematisches Mundhygieneverhalten abzubilden, auch wenn es keiner konventionellen Systematikinstruktion folgt und erscheint daher zur Grundlagenforschung in Bezug auf die Entwicklung effektiver Methoden zur Verbesserung des Mundhygieneverhaltens ebenso geeignet wie für individuelle Trainingsprogramme.

8. Summary

The present study describes the development and validation of an universal index aiming to quantify and objectify tooth brushing systematics. To this end, the following questions were answered step by step:

- How can systematic brushing be defined?
- How can this definition be translated into a mathematical algorithm?
- How can this algorithm be converted into an index?
- Does this index reflect systematic brushing on the basis of simulated data?
- Does this index reflect systematic brushing on the basis of clinical data?

Prior to developing the algorithm for the index, four parameters ((1)-(4)) were defined to characterise systematic toothbrushing:

- (1) completeness of brushing (all areas should be brushed)
- (2) isochronal brushing (all areas should be reached with an equal distribution of brushing duration)
- (3) consistency (avoiding frequent alternations between areas)
- (4) in addition, a sufficient brushing time should be maintained.

These parameters were put into two algorithms, which add up the total index value for the Toothbrushing Systematic Index (TSI), which can reach values between 0 and 2.

The TSI was first applied to simulated brushing sequences for validation. Different spans of cleaning durations, areas reached and frequency of changes between the areas were generated for isochronal and non-isochronal brushing. Under these conditions, the TSI achieved values between 0.00 and 1.97. The higher the TSI value, the more systematic was the simulated brushing pattern. High TSI values were reached in cases in which the simulated brushing pattern showed a long brushing duration, avoiding frequent alterations between areas and reaching all areas with an equal distribution of brushing duration. Concerning low TSI-values the reverse was found.

In a next step, clinical observational data of 63 participants (202 video recordings) were used deriving from a previous study (Schlueter et al. 2010; 2013). For our clinical validation, these data were most suitable because the participants were instructed in a

tooth brushing systematic. Additionally, clinical observational data of a non-instructed control group were available. The videos were reanalysed with the video coding software INTERACT (Mangold 2011). Parameters of interest were the total brushing duration, brushing duration in each area of the dentition, the number of changes between areas as well as the number of areas reached.

Concerning the clinical observational data, similar brushing behaviour was observed in the control (TSI: 1.15 ± 0.29) and the instructed group (TSI: 1.25 ± 0.27) at baseline. The TSI-value of the control group (after two weeks: 1.24 ± 0.27 ; after four weeks: 1.18 ± 0.34) showed no significant difference to the baseline value. In contrast, the TSI-value of the instructed group increased significantly (after two weeks: 1.69 ± 0.14 ; after four weeks: 1.72 ± 0.13).

Twenty-six of 63 participants adopted the demonstrated toothbrushing systematic perfectly and reached TSI-values of 1.74 ± 0.09 .

The clinical data revealed that there was no significant difference in TSI values after instruction and after perfect adoption of the toothbrushing systematic. All instructed subjects were able to improve their brushing behaviour with respect to the aforementioned criteria irrespective of presenting a perfectly systematic brushing pattern. This was most evident on oral surfaces: at baseline, many subjects did not reach these areas of the dentition and the mean brushing duration was rather short ($34.0 \text{ s} \pm 25.8 \text{ s}$). After instruction, brushing oral surfaces was distinctly improved ($109.1 \text{ s} \pm 58.9 \text{ s}$) which was associated with a significant reduction of plaque index values.

Thus, adhering to rigid instruction schemes should be reconsidered. The new TSI index was able to demonstrate systematic brushing behaviour beyond conventional patterns and may be suitable for basic research in oral hygiene education as well as for individual training programs.

9. Literaturverzeichnis

- American Dental Association: Brush Teeth - American Dental Association. Online verfügbar unter <https://www.mouthhealthy.org/en/az-topics/b/brushing-your-teeth>, zuletzt geprüft am 02.06.2018.
- Axelsson, P; Nyström, B; Lindhe, J (2004): The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. In: *J Clin Periodontol* 31, S. 749–757.
- Bass, CC (1948): The necessary personal oral hygiene for prevention of caries and periodontoclasia. In: *The New Orleans medical and surgical journal* 101, S. 52–70.
- Bass, CC (1954): An effective method of personal oral hygiene. In: *J La State Med Soc* 106, 57-73; contd.
- Carvalho, JC; Ekstrand, KR; Thylstrup, A (1989): Dental plaque and caries on occlusal surfaces of first permanent molars in relation to stage of eruption. In: *J Dent Res* 68, S. 773–779.
- Carvalho, JC; Ekstrand, KR; Thylstrup, A (1991): Results after 1 year of non-operative occlusal caries treatment of erupting permanent first molars. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 19, S. 23–28.
- Carvalho, JC; Thylstrup, A; Ekstrand, KR (1992): Results after 3 years of non-operative occlusal caries treatment of erupting permanent first molars. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 20, S. 187–192.
- Cumming, BR; Loe, H (1973): Consistency of plaque distribution in individuals without special home care instruction. In: *J Periodont Res* 8, S. 94–100.
- Ekstrand, KR; Nielsen, LA; Carvalho, JC; Thylstrup, A (1993): Dental plaque and caries on permanent first molar occlusal surfaces in relation to sagittal occlusion. In: *Scand J Dent Res* 101, S. 9–15.
- Furusawa, M; Takahashi, J; Isoyama, M; Kitamura, Y; Kashima, T; Ueshima, F et al. (2011): Effectiveness of dental checkups incorporating tooth brushing instruction. In: *Bull Tokyo Dent Coll* 52, S. 129–133.
- Gallagher, A; Sowinski, J; Bowman, J; Barrett, K; Lowe, S; Patel, K et al. (2009): The effect of brushing time and dentifrice on dental plaque removal in vivo. In: *J Dent Hyg* 83, S. 111–116.

Ganss, C; Duran, R; Winterfeld, T; Schlueter, N (2018): Tooth brushing motion patterns with manual and powered toothbrushes-a randomised video observation study. In: *Clin Oral Investig* 22, S. 715–720.

Ganss, C.; Schlueter, N.; Preiss, S.; Klimek, J. (2009): Tooth brushing habits in uninstructed adults--frequency, technique, duration and force. In: *Clin Oral Investig* 13, S. 203–208.

Ghaffari, M.; Rakhshanderou, S.; Ramezankhani, A.; Buunk-Werkhoven, Yab; Noroozi, M.; Armoon, B. (2018): Are educating and promoting interventions effective in oral health? A systematic review. In: *Int J Dent Hyg* 16, S. 48–58.

Gülzow, H. J.; Busse, G. (1970): Klinisch-experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit verschiedener Zahnputzmethoden und Zahnputzmittel. In: *Dtsch Zahnarztl Z* 25, S. 1126–1134.

Hamasha, AA; Warren, JJ; Levy, SM; Broffitt, B; Kanellis, MJ (2006): Oral health behaviors of children in low and high socioeconomic status families. In: *Pediatr Dent* 28, S. 310–315.

Honkala, E (1984): Frequency, pattern, and duration of habitual toothbrushing in children. In: *J Pedod*, S. 367–377.

Honkala, E; Nyssönen, V; Knuutila, M; Markkanen, H (1986): Effectiveness of children's habitual toothbrushing. In: *J Clin Periodontol* 13, S. 81–85.

Kumar, S; Tadakamadla, J; Duraiswamy, P; Kulkarni, S (2016): Dental Caries and its Socio-Behavioral Predictors- An Exploratory Cross-Sectional Study. In: *J Clin Pediatr Dent* 40, S. 186–192.

Landeszahnärztekammer Hessen (2018): Zahnpflege richtig gemacht. Hg. v. Landes Zahnärztekammer Hessen, Kassenzahnärztliche Vereinigung Hessen. Online verfügbar unter <https://www.lzkh.de/patienten/informationen/zahnpflege-und-mundhygiene/zahnpflege-richtig/>, zuletzt aktualisiert am 2018, zuletzt geprüft am 11.10.2018.

Landis, JR; Koch, GG (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. In: *Biometrics* 33, S. 159–174.

Lang, NP (Hg.) (1994): Proceedings of the 1st European Workshop on Periodontology. Charter House at Ittingen, Thurgau, Switzerland, February 1 - 4, 1993. London, Berlin, Chicago, São Paulo, Tokyo, Moscow, Prague, Warsaw: Quintessence Publ (Quintessence books).

- Loe, H; Theilade, E; Jensen, SB (1965): Experimental gingivitis in man. In: *J Periodontol* 36, S. 177–187.
- Macgregor, ID; Rugg-Gunn, AJ (1979a): A survey of toothbrushing sequence in children and young adults. In: *J Periodont Res* 14, S. 225–230.
- Macgregor, ID; Rugg-Gunn, AJ (1979b): Survey of toothbrushing duration in 85 uninstructed English schoolchildren. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 7, S. 297–298.
- Macgregor, ID; Rugg-Gunn, AJ (1984): Uninstructed toothbrushing behaviour in young adults in relation to cigarette smoking in Newcastle. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 12, S. 358–360.
- Macgregor, ID; Rugg-Gunn, AJ (1985): Toothbrushing duration in 60 uninstructed young adults. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 13, S. 121–122.
- Macgregor, ID; Rugg-Gunn, AJ (1986): Effect of filming on toothbrushing performance in uninstructed adults in north-east England. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 14, S. 320–322.
- Macgregor, ID; Rugg-Gunn, AJ; Gordon, PH (1986): Plaque levels in relation to the number of toothbrushing strokes in uninstructed English schoolchildren. In: *J Periodont Res* 21, S. 577–582.
- Mangold (2011): INTERACT 9 [9.6.1.170]. Arnstorf.
- McCracken, GI; Janssen, J; Steen, N; deJager, M; Heasman, PA (2002): A clinical evaluation of a novel data logger to determine compliance with the use of powered toothbrushes. In: *J Clin Periodontol* 29, S. 838–843.
- Mierau, HD; Haubitz, I; Völk, W (1989): Gewohnheitsmuster beim Gebrauch der Handzahnbürste. 1. In: *Dtsch Zahnarztl Z* 44, S. 836–841.
- Quigley, GA; Hein, JW (1962): Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. In: *J Am Dent Assoc* 65, S. 26–29.
- Quirynen, M; Dekeyser, C; van Steenberghe, D (1991): Discriminating power of five plaque indices. In: *J Periodontol* 62, S. 100–105.
- Rebelo, MAB; Cardoso, EM; Robinson, PG; Vettore, MV (2016): Demographics, social position, dental status and oral health-related quality of life in community-dwelling older adults. In: *Qual Life Res* 25, S. 1735–1742.
- Reisine, ST; Psote, W (2001): Socioeconomic status and selected behavioral determinants as risk factors for dental caries. In: *J Dent Educ* 65, S. 1009–1016.

Robinson, HBG (1946): Toothbrushing habits of 405 persons. In: *J Am Dent Assoc* 33, S. 1112–1117.

Rong, WS; Bian, JY; Wang, WJ; Wang, JD (2003): Effectiveness of an oral health education and caries prevention program in kindergartens in China. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 31, S. 412–416.

Rugg-Gunn, AJ; Macgregor, ID (1978): A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. In: *J Periodont Res* 13, S. 382–389.

Rugg-Gunn, AJ; Macgregor, ID; Edgar, WM; Ferguson, MW (1979): Toothbrushing behaviour in relation to plaque and gingivitis in adolescent schoolchildren. In: *J Periodont Res* 14, S. 231–238.

Sandström, A; Cressey, J; Stecksén-Blicks, C (2011): Tooth-brushing behaviour in 6-12 year olds. In: *Int J Paediatr Dent* 21, S. 43–49.

Schlueter, N; Klimek, J; Ganss, C (2013): Relationship between plaque score and video-monitored brushing performance after repeated instruction--a controlled, randomised clinical trial. In: *Clin Oral Investig* 17, S. 659–667.

Schlueter, N; Klimek, J; Saleschke, G; Ganss, C (2010): Adoption of a toothbrushing technique. A controlled, randomised clinical trial. In: *Clin Oral Investig* 14, S. 99–106.

Schlueter, Nadine; Winterfeld, Katrin; Quera, Vicenç; Winterfeld, Tobias; Ganss, Carolina (2018): Toothbrushing Systematics Index (TSI) - A new tool for quantifying systematics in toothbrushing behaviour. In: *PloS one* 13, e0196497.

Schou, L; Uitenbroek, D (1995): Social and behavioural indicators of caries experience in 5-year-old children. In: *Community Dent Oral Epidemiol* 23, S. 276–281.

Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V), Gesetzliche Krankenversicherung (20.12.1988a): § 21: Verhütung von Zahnerkrankungen (Gruppenprophylaxe). Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/sgb_5/___21.html, zuletzt geprüft am 24.01.2018.

Sozialgesetzbuch (SGB) Fünftes Buch (V), Gesetzliche Krankenversicherung (20.12.1988b): § 22: Verhütung von Zahnerkrankungen (Individualprophylaxe). Online verfügbar unter http://www.gesetze-im-internet.de/sgb_5/___22.html, zuletzt geprüft am 24.01.2018.

Terézhalmy, GT; Biesbrock, AR; Walters, PA; Grender, JM; Bartizek, RD (2008): Clinical evaluation of brushing time and plaque removal potential of two manual toothbrushes. In: *Int J Dent Hyg* 6, S. 321–327.

- Thumeyer, A; Buschmann, C (2012): Die KAI-Zahnputz-Systematik. Ein der Entwicklung von Kindern angepasstes Mundpflegekonzept. In: *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkunde*, S. 124–128.
- Turesky, S.; Gilmore, N. D.; Glickman, I. (1967): Calculus inhibition by topical application of the chloromethyl analogue of Vitamin C. In: *Journal of periodontology* 38, S. 142–147.
- van der Sluijs, E; Slot, DE; Hennequin-Hoenderdos, NL; van der Weijden, GA (2018): A specific brushing sequence and plaque removal efficacy. A randomized split-mouth design. In: *Int J Dent Hyg* 16, S. 85–91.
- van der Weijden, GA; Hioe, KPK (2005): A systematic review of the effectiveness of self-performed mechanical plaque removal in adults with gingivitis using a manual toothbrush. In: *J Clin Periodontol* 32 Suppl 6, S. 214–228.
- van der Weijden, GA; Timmerman, MF; Nijboer, A; Lie, MA; van der Velden, U (1993): A comparative study of electric toothbrushes for the effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration. Timerstudy. In: *J Clin Periodontol* 20, S. 476–481.
- Winterfeld, T (2015): Toothbrushing and flossing habits in young adults - a video-based observational study. Dissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen. Medizin. Online verfügbar unter <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2015/11634/>, zuletzt geprüft am 19.01.2018.
- 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. In: *Clin Oral Investig* 19, S. 851–858.
- Wolf, HF; Rateitschak, EM; Rateitschak, KH; Hassell, TM (2004): Color Atlas of Dental Medicine: Periodontology. 3rd revised and expanded edition: Thieme, zuletzt geprüft am 19.01.2018.
- Zanin, L; Meneghim, MC; Assaf, AV; Cortellazzi, KL; Pereira, AC (2007): Evaluation of an educational program for children with high risk of caries. In: *J Clin Pediatr Dent* 31, S. 246–250.

10. Publikationsverzeichnis

Zeitschriftenaufsatz

Schlueter, Nadine; Winterfeld, Katrin; Quera, Vicenç; Winterfeld, Tobias; Ganss, Carolina (2018): Toothbrushing Systematics Index (TSI) - A new tool for quantifying systematics in toothbrushing behaviour. In: PloS one 13, e0196497.

11. 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, oder ich habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. 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

12. Danksagung

Mein größter Dank geht an Frau Prof. Dr. Carolina Ganß für die Überlassung des Dissertationsthemas, für ihre unermüdliche Motivation und ihre sehr gute Betreuung und Erreichbarkeit während der Fertigstellung meiner Arbeit sowie für ihr Ideenreichtum und ihre Diskussionsbereitschaft.

Ich möchte mich ebenso herzlich bei Frau Prof. Dr. Nadine Schlüter für ihre Unterstützung bei der Auswertung der Daten, ihre konstruktive Kritik und die stets freundschaftliche Zusammenarbeit und wissenschaftliche Weiterentwicklung des Toothbrushing Systematic Index bedanken.

Herrn Prof. Vicenç Quera PhD danke ich für die Hilfe an der mathematischen Herleitung des Toothbrushing Systematic Index.

Bei Herrn Prof. Dr. Bernd Wöstmann bedanke ich mich für die Möglichkeit, an der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Präventiver Zahnheilkunde promovieren zu dürfen.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern und Schwiegereltern, die mich in der Durchführung meiner Arbeit immer wieder bestärkt haben und mir durch die unterstützende Hilfe in der Kinderbetreuung wertvolle Zeit verschafft haben.

Meine größte Bewunderung geht an meinen Mann, der mich in dieser langen und aufwendigen Phase der Fertigstellung immer wieder motiviert, bei der Videoauswertung unterstützt und in vielen anregenden Diskussionen inspiriert hat.

Meinen drei Kindern danke ich für jedes Lachen und ihr Verständnis während der vielen Stunden, die ich am Schreibtisch und nicht im Kinderzimmer verbracht habe.