

Aus der Poliklinik für Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
(Prof. Dr. med. dent. A. Wiegand)
im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Effektivität des differenziellen Lernens im Rahmen der Mundhygieneinstruktion bei Grundschulern

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

für Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät der

Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Franziska Maria Freitag-Plaschke, geb. Freitag

aus

Hildesheim

Göttingen 2021

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

Betreuungsausschuss

Betreuer/in: Prof. Dr. med. dent. A. Wiegand

Ko-Betreuer/in: Prof. Dr. phil. G. Reich

Prüfungskommission

Referent/in: Prof. Dr. med. dent. A. Wiegand

Ko-Referent/in: Prof. Dr. phil. G. Reich

Drittreferent/in: Prof. Dr. med. R. Dressel

Datum der mündlichen Prüfung: 14.06.2022

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Effektivität des differenziellen Lernens im Rahmen der Mundhygieneinstruktion bei Grundschulern“ eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den

.....
(Unterschrift)

Die Daten, auf denen die vorliegende Arbeit basiert, wurden publiziert:

Pabel SO, **Freitag F**, Hrasky V, Zapf A, Wiegand A (2018): Randomised controlled trial on differential learning of toothbrushing in 6- to 9-year-old children. Clin Oral Investig 22, 2219-2228

Pabel SO, **Freitag-Plaschke F**, Hrasky V, Zapf A, Wiegand A (2020): Zähneputzen lernen – Variabilität statt Wiederholung? Oralprophylaxe und Kinderzahnheilkunde 42, 33–37

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Biofilm	3
1.1.1 Plaqueassoziierte Parodontopathien	5
1.1.2 Entstehung von Karies	8
1.2 Mechanische Plaqueentfernung	9
1.2.1 Zahnbürste	10
1.2.2 Zahnpasta	13
1.2.3 Interdentalraumhygiene	14
1.2.4 Zahnputzdauer und Zahnputzzeitpunkt	17
1.2.5 Zahnputztechniken	18
1.2.5.1 KAI-Methode	20
1.2.5.2 Konventionelle Instruktionen der Zahnputztechnik	21
1.3 Differenzielles Lernen	22
1.4 Ziel der Studie	24
2 Material und Methode	25
2.1 Probandengewinnung	25
2.2 Studiendurchführung	26
2.3 Durchführung des Zahnputztrainings	28
2.4 Untersuchungs- und Kontrollintervalle	31
2.5 Statistische Auswertung	32
3 Ergebnisse	34
3.1 Vergleich der deskriptiven Kenngrößen und der Gruppen untereinander ..	34
3.2 Primäre Analysen	34
3.3 Sekundäre Analysen	39
3.3.1 Berücksichtigung der Kovariablen Dentition, Alter, Geschlecht und Händigkeit	39
3.3.2 Berücksichtigung der Kovariable Lokalisation	41

4	Diskussion	44
4.1	Diskussion der Methode.....	44
4.1.1	Probanden und Studienort	44
4.1.2	Verwendete Indizes.....	45
4.1.3	Zahnputztraining	46
4.2	Diskussion der Ergebnisse.....	49
5	Zusammenfassung.....	53
6	Literaturverzeichnis	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.2: Studiendurchführung.....	27
Abbildung 2.3: Angewendete Übungen in der Gruppe des differenziellen Lernens des Zähneputzens	29
Abbildung 3.2.1: PBI (Mittelwert) zu den einzelnen Zeitpunkten t0 bis t3 in den drei Gruppen.....	36
Abbildung 3.2.2: T-QHI (Mittelwert) zu den einzelnen Zeitpunkten t0 bis t3 in den drei Gruppen.....	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.2.5:	Zahnputztechniken nach Hellwege (2003) und Fedder (1986).	19
Tabelle 1.2.5.1:	KAI-Methode nach Kollehn (2007)	20
Tabelle 2.4:	Bewertungsgrade des T-QHI und PBI	32
Tabelle 3.1:	Kenngrößen der Studiengruppe zu t0	34
Tabelle 3.2.1:	Differenzen von PBI (Median, Quartile) und T-QHI (Median, Quartile) zwischen den Zeitpunkten t1 bis t3 und t0.	35
Tabelle 3.2.2:	Vergleich der Gruppen zu den einzelnen Zeitpunkten (t1 – t3) bezüglich des PBI (Odds Ratio, 97,5% Konfidenzintervall)	37
Tabelle 3.2.3:	Vergleich der Gruppen zu den einzelnen Zeitpunkten (t1 – t3) bezüglich des T-QHI (Odds Ratio, 97,5% Konfidenzintervall).....	38
Tabelle 3.3.1:	Ergebnisse der sekundären Regressionsanalyse mit Berücksichtigung der Baseline-Kovariablen (Alter, Geschlecht und Händigkeit).....	40
Tabelle 3.3.2.1:	Ergebnisse der Regressionsanalyse für den Δ T-QHI unter Berücksichtigung der Zahnseite (bukkal/oral).....	42
Tabelle 3.3.2.2:	Ergebnisse der Regressionsanalyse des Δ PBI und Δ T-QHI unter Berücksichtigung der Lokalisation.....	43

Abkürzungsverzeichnis

API	Approximaler Plaqueindex
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
DAMP's	Damage-associated molecular peptides
DG PARO	Deutsche Gesellschaft für Parodontologie
DMS IV	Deutsche Mundgesundheitsstudie IV
GBI	Gingivaler Blutungsindex
KAI	KAI-Putztechnik (Kauflächen, Außen, Innen)
LAGH	Landesarbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege Hessen
NPI	Navy-Plaque-Index
PBI	Papillen-Blutungs-Index
QHI	Quigley-Hein-Index
SBI	Sulkus-Blutungs-Index
T-QHI	Nach Turesky modifizierte Quigley-Hein-Index
VPI	Visible-Plaque-Index

1 Einleitung

Die regelmäßige mechanische Entfernung des bakteriellen Biofilms ist ein entscheidendes Kriterium zur Vermeidung oraler Erkrankungen, da der Biofilm einen wichtigen ätiologischen Faktor in der Entstehung von Karies, Gingivitis und Parodontitis darstellt (Axelsson und Lindhe 1978; Axelsson et al. 2004). Das Zähneputzen ist die bekannteste und am häufigsten eingesetzte Maßnahme zur mechanischen Entfernung des Biofilms (O'Leary 1984).

Das Erlernen der richtigen Zahnputztechnik stellt jedoch nicht nur für Erwachsene, sondern insbesondere für Kinder eine erhöhte Schwierigkeit dar (Morris et al. 2001). Das Zähneputzen erfordert komplexe, koordiniert muskuloskelettale Bewegungen, welche ein bestimmtes Maß an psychomotorischen und kognitiven Fähigkeiten voraussetzen. Kinder entwickeln ihre motorische Geschicklichkeit und ihr Gesundheitsverständnis erst im Laufe der Zeit (Grossman und Proskin 1997; Unkel et al. 1995; Sarvia et al. 1989). Sie sind bis zum Erlangen einer eigenständigen effizienten Mundhygiene auf die Durchführung und die konsequente Kontrolle der Mundhygiene durch Personen angewiesen, die geübt in der Mundhygiene sind, z. B. die Eltern (dos Santos et al. 2011).

Üblicherweise wird die feinmotorische Fertigkeit des Zähneputzens durch wiederholendes Üben erlernt, wobei eine ideale Zahnputztechnik und fehlerfreie Putzsystematik als korrekte Zielvorgabe angestrebt und letztendlich kopiert wird (Ogasawara et al. 1992; Simmons et al. 1983; Poche et al. 1982; Levin et al. 2015; Emler et al. 1980; Haleem et al. 2016). Als Zahnputztechnik wird für Erwachsene zumeist die Bass-Technik empfohlen (Zimmer 2002). Dabei wird die Zahnbürste im 45° Winkel zur Zahnwurzel aufgesetzt und in kleinen kreisenden Bewegungen geputzt. Kindern wird auf Grund der leichten Erlernbarkeit und der vereinfachten Bewegungsausführung die KAI-Methode empfohlen (Einwag 2007; Hellwege 2003). Bei dieser Methodik werden erst die Kauflächen (K), dann die Außenflächen (A) und zum Schluss die Innenflächen (I) geputzt. Mit ihr kann später nahtlos in die Bass-Technik übergegangen werden.

Eine Alternative zum traditionellen Erlernen der Zahnputztechnik könnte das Konzept des differenziellen Lernens sein, welches bereits erfolgreich im Bereich des Sporttrainings eingesetzt wurde (Schöllhorn 1999).

Während konventionelles Training beim Sport häufig mit repetitiven Bewegungswiederholungen und -korrekturen einhergeht (Hohmann et al. 2003), beruht das Modell des differenziellen Lernens auf maximaler Variation, der sogenannten Fluktuation, der Bewegungsausführung (Schöllhorn et al. 2012). Bei der differenziellen Lernmethode kommt es zu personenspezifischen und problemorientierten Bewegungsausführungen, die eine Selbstorganisation im zentralen Nervensystem initiieren sollen (Frank et al. 2008; Haken et al. 1985). Als Konsequenz werden die koordinativen Fähigkeiten optimiert, sodass der Trainingserfolg verbessert wird. In Folge dessen soll nicht nur der Lernerfolg gesteigert, sondern auch die Retention des Erlernten verbessert werden (Beckmann und Schöllhorn 2006).

So konnte mit Hilfe des differenziellen Lernansatzes in verschiedenen Sportarten, z. B. im Handball (Pfeiffer und Jaitner 2003), Tennis (Schöllhorn et al. 2008), Kugelstoßen (Beckmann und Schöllhorn 2006) oder Fußball (Schöllhorn et al. 2004), eine Verbesserung der Trainingsleistung sowie ein nachhaltiger Trainingserfolg erzielt werden. Grundlage der Trainingseinheiten war eine bewusste Variation der Bewegungsausführung (z. B. Anfangs- und Endbedingung, Umfang, Dauer, Rhythmus), Materialien und/oder Rahmenbedingungen. So sollte z. B. der Torschuss beim Fußball mit verschiedenen Variationen des Spielbeins, der Oberkörper-, Arm- und Kopfbewegungen absolviert werden (Schöllhorn et al. 2004). In einem anderen Experiment beim Kugelstoßen wurden Bewegungsabläufe verändert, indem z. B. der Gelenkwinkel des Stoßbeins oder die Körperhaltung im Vergleich zum traditionell Trainierenden verändert wurde. Die mit dem differenziellen Lernansatz trainierenden Sportler verbesserten sich auch über die Trainingsphase hinaus weiter. Im Gegensatz dazu fiel die Gruppe der traditionell Trainierenden nach der Trainingsphase wieder auf ihren ursprünglichen Trainingszustand zurück (Beckmann und Schöllhorn 2006). Darüber hinaus konnte das differenzielle Lernen ebenfalls feinmotorische Fertigkeiten optimieren. So wurde bei einem Experiment der Schreiberwerb von Grundschulern verbessert, indem der Schreibfluss mittels verschiedener Schreibmaterialien und Körperhaltungen variiert wurde (Vehof et al. 2009). Daher wird das differenzielle Lernen nicht nur für das Training grobmotorischer Fähigkeiten, sondern auch für feinmotorische Fähigkeiten in Betracht gezogen.

Ziel der vorliegenden Studie war es zu überprüfen, ob der differenzielle Lernansatz auf die Mundhygieneinstruktion von Grundschulern anwendbar ist und dabei ein höherer Lernerfolg und eine erhöhte Nachhaltigkeit in Bezug auf die Plaque- und Gingivitisreduktion im Vergleich zur konventionellen Instruktion und zum habituellen Zähneputzen ohne Instruktion erzielt werden kann.

1.1 Biofilm

Unter einem Biofilm versteht man eine hochorganisierte Ansammlung von Bakterien, die in eine organisch polymere Matrix aus Glykoproteinen, bakteriellen Polysacchariden und Fruktanen eingebettet sind und auf wässrigen Oberflächen haften. Im Bereich der Zahnmedizin ist die dentale Plaque das sichtbare Korrelat des Biofilms (Folwaczny und Hickel 2003; Slomiany et al. 1986; Mayhall 1970; Hellwig et al. 2018), der durch Kolonisierung und Proliferation oraler Bakterien entsteht.

Der Kolonisierungsmechanismus des Biofilms lässt sich in folgende vier Phasen gliedern.

In der ersten Phase bildet sich innerhalb von Minuten bis zu zwei Stunden durch elektrostatische Bindungen eine von 0,1 bis 0,8 mm dicke Pellikel aus Proteinen und Glykoproteinen (Gibbons et al. 1988; Leach und Saxton 1966; Quirynen und Bollen 1995). Neben Van-der-Waals-Kräften (Busscher und Mei 1997) und Protein-Protein-Wechselwirkungen (Ofek und Sharon 1990; Sharon 1987) spielen Adhäsine eine entscheidende Rolle bei der stabilen Anheftung von Bakterien an Oberflächen (Folwaczny und Hickel 2003). Adhäsine oraler Streptokokken sind vorwiegend lektinähnliche Proteine, die mit Kohlenhydratverbindungen eine nicht-kovalente stereochemische Wechselwirkung eingehen und durch Rezeptoren eine mechanische Verbindung zwischen Bakterium und Pellikel bilden (Kolenbrander und London 1993; Rosan und Lamont 2000). In der Pellikel finden sich prolinreiche Proteindomänen, die durch C-terminales Prolin-Glutamin-Dipeptid eine Rezeptoreinheit für orale Bakterien, z. B. orale Streptokokken, bilden. Als sehr wahrscheinlich gilt, dass *Streptococcus sanguis* erster Kolonisator der Pellikelschicht ist (Gibbons et al. 1991). Seine erste wenig stabile nicht kovalente Anheftung erfolgt über hydrophobe Wechselwirkung und elektrostatische

Anziehung (Folwaczny und Hickel 2003). Die Festigung dieser Bindung erfolgt über nicht-kovalente stereochemische Verbindungen zwischen Adhäsinen der Zelloberfläche und dem Rezeptor der Pellikelschicht (Costerton und Stewart 2001). Die Adhäsine dienen dabei nicht nur der Anheftung, sondern auch der Zellkommunikation.

Nach einem Tag etablieren sich in der zweiten Phase grampositive Kokken (z. B. *Streptococcus salivarius*) und Stäbchen (z. B. *Actinomyces naeslundii*), die extrazelluläre Polysaccharide produzieren (MacPherson et al. 1991).

Die dritte Phase beginnt nach zwei bis vier Tagen. Die Streptokokkenanzahl nimmt ab, stattdessen proliferieren anaerobe Aktinomyzeten (z. B. *Actinomyces israeli*), gramnegativen Kokken (z. B. Neisseria) und Stäbchen (z. B. *Actinomyces actinomycetemcomitans*) (Listgarten 1976).

In der vierten Phase finden sich nach 7 bis 14 Tagen Spirochäten, bewegliche Stäbchen und Filamente. Anaerobe Pathogene überwiegen gegenüber den aeroben und werden durch endogene und exogene Faktoren gesteuert (Ritz 1967).

Durch Akkumulation und Kohäsion zusätzlicher Bakterien wächst die Plaquematrix weiter an. Einerseits erfolgt die Etablierung des Biofilms durch Ausbreitung der Randbereiche oder durch Ablösen und erneutes Anheften von Zellkonglomeraten ohne den Umweg über die planktonische Initiallebensform (Folwaczny und Hickel 2003). Andererseits werden bakterielle Wachstumsstrategien beschrieben, die im Wesentlichen durch zelleigenen Informationsaustausch ihr Wachstum an wechselnde Umgebungsbedingungen anpassen können. Der interzelluläre Informationsaustausch wird als *quorum sensing* bezeichnet (Watnick et al. 2001). In Abhängigkeit von der Zelldichte wird durch Abgabe von Signalmolekülen der Austausch von genetischen Informationen und Veränderung des bakteriellen Phänotyps ermöglicht (Ben Amara et al. 2018; Newman und Wilson 1999; Müller 2012). Ebenso können Tochterkolonien gebildet werden, die die Biofilmarchitektur stabilisieren (Kolenbrander und London 1993).

Zum einen erfordert der Biofilm eine Anpassung der darin enthaltenen Mikroorganismen und zum anderen bietet er Schutz vor mikrobiell wirkenden Substanzen (Meyer-Lückel et al. 2012). Durch die Balance zwischen additiven und abrasiven Mechanismen des Biofilms sowie Selbstreinigungsmechanismen der Mundhöhle werden grundsätzliche Voraussetzungen für gesunde orale

Verhältnisse geschaffen. Zu den Selbstreinigungsmechanismen zählen z. B. der Speichelfluss und die Zungen- und Wangenmotilität. Diese können die Kolonisierung des Biofilms vermindern; eine mechanische Biofilmentfernung im Zuge der täglich sorgfältig ausgeübten Mundhygiene können sie aber nicht ersetzen.

Fissuren, Grübchen und Zahnengstände aber auch Zahnstein als mineralisierte Form der Plaque bilden schwer zu reinigende Areale, in denen die Biofilmentfernung nur unzureichend stattfinden kann. Gleichzeitig sind diese Bereiche aber auch Prädilektionsstellen für die Neubildung dentaler Plaque.

1.1.1 Plaqueassoziierte Parodontopathien

Als Parodontopathien werden krankhafte Prozesse des Zahnhalteapparates (Parodontium) bezeichnet (Page und Schroeder 1976). Das Parodontium besteht aus Gingiva, Wurzelzement, Desmodont und dem Alveolarfortsatz. Erkrankungen der marginalen Gingiva werden als Gingivitis bezeichnet. Schreiten die pathogenen Prozesse weiter voran, entsteht eine Parodontitis (Schroeder 1997), deren wesentliche Komponenten Knochenabbau, Tiefenproliferation und Ulzeration des Saumepithels sowie progressiver bindegewebiger Attachmentverlust sind.

Der primäre Ursachenkomplex bei der Entstehung der Parodontitis beschreibt die Wirkung der pathogenen Mikroorganismen des Biofilms auf das Immunsystem und das Parodont (Rateitschak et al. 1989; Page und Schroeder 1976). Nach Page und Schroeder (1976) wird die Pathogenese der entzündlichen Parodontitiden histologisch in vier Phasen unterteilt.

Die initiale Läsion entsteht in der ersten Phase zwei bis vier Tage nach einer subgingivalen Plaqueanlagerung und ist reversibel. Histologisch wird diese Phase durch die akut entzündliche Reaktion des Gefäßplexus unterhalb des Saumepithels gekennzeichnet. Als Folge dessen ist die Gefäßpermeabilität und -dilatation erhöht. Es kommt zur verstärkten Ansammlung von neutrophilen Granulozyten und Serumproteinen wie z. B. Fibrin. Der koronale Anteil des Saumepithels wird aufgelockert und der perivaskuläre Abbau des Kollagens beginnt (Hellwig et al. 2018).

Klinisch zeigen sich eine erhöhte Blutungsneigung und eine hyperplastische Gingiva. Durch die teilweise Auflösung des Epithelansatzes und die Schwellung

der Gingiva kann sich auch subgingival Plaque ausbilden und Flüssigkeitsexsudat aus dem Gingivasulkus austreten.

In der zweiten Phase entwickelt sich innerhalb von 14 Tagen aus einer unbehandelten initialen Läsion die frühe Läsion mit verstärkter Pathogenese der initialen Läsion (Müller 2012). Histologisch zeigt sich eine verstärkte Ansammlung von Lymphozyten und Makrophagen und Veränderung der Fibroblasten. Es liegt ein bis zu 70%iger Verlust von Kollagenfasern vor und es kommt zur Ausbildung von epithelialen Reteleisten (Rateitschak et al. 1989).

Die klinischen Kennzeichen sind im Vergleich zur initialen Läsion verstärkt.

In der dritten Phase entwickelt sich nach wenigen Wochen die etablierte Läsion. Zusätzliche histologische Ausprägungen sind B-Lymphozyten, extravaskuläre Immunglobuline, Proliferation des Saumepithels von zwei bis drei Millimetern und die Umwandlung zum keratinisierten Taschenepithel.

Klinisch sind die akuten Symptome der vorherigen Läsionen weiter vorhanden. Die Taschentiefen sind nicht größer als 3,5 mm, subgingivale Plaque ist stets vorhanden (Hellwig et al. 2018).

In der letzten Phase ist die fortgeschrittene Läsion destruktiv und durch herkömmliche mechanische Mundhygienemaßnahmen allein nicht reversibel. Histologisch finden sich zytopathisch veränderte Plasmazellen und eine reduzierte Fibroblastenzahl. Es entstehen Fibrosen im peripheren Gingivabereich. Der Alveolarknochen kann in Bereichen zu fibrösem Bindegewebe umgewandelt sein (Hellwig et al. 2018). Eine vertikale und horizontale Atrophie ist möglich.

Klinisch zeigen sich parodontale Taschentiefen von mehr als 3,5 mm. Es tritt ein dynamischer Prozess zwischen Exazerbation und Stagnation ein (Rateitschak et al. 1989).

Klinische Studien bestätigen diese Kaskade. So konnten Loe et al. (1965) zeigen, dass bei Unterlassen der Mundhygiene nach fünf bis sieben Tagen durch den proliferierenden Biofilm eine Gingivitis entsteht. Diese ist nach Wiederaufnahme der Mundhygiene nach etwa drei bis sechs Tagen rückläufig (Loe et al. 1965). Eine *restitutio ad integrum* ist möglich.

Neuere Arbeiten zur Pathogenese der Parodontitis heben den multifaktoriellen Charakter der Erkrankung und die Rolle eines gesundheitsfördernden Biofilms hervor. Hierbei geht es um eine symbiotische Beziehung zwischen den oralen Mikroorganismen und der Immunantwort des Wirtes (Meyle und Chapple 2015).

Findet keine Zerstörung des Biofilms durch regelmäßige Reinigung statt, können sich vermehrt potenziell parodontopathogene Mikroorganismen etablieren. Diese beginnende Dysbiose kann bei gesunden Patienten lange Zeit klinisch in Form einer Gingivitis bestehen bleiben. Bei Parodontitis anfälligen Patienten kann sich hingegen eine manifeste Dysbiose entwickeln, die durch eine gestörte Homöostase mit überschießender Entzündungsreaktion gekennzeichnet ist. Hierbei spielen vor allem proinflammatorische Zytokine, reaktive Sauerstoffspezies und Matrixmetalloproteinasen eine entscheidende Rolle. Die bei der Gewebedestruktion freigesetzten DAMP's (*damage-associated molecular peptides*) fördern ihrerseits noch zusätzlich die chronische Entzündungsreaktion. Auch scheinen Viren eine Rolle bei der Dysregulation der Immunantwort zu spielen, indem Signalwege in den Abwehrzellen beeinflusst werden können (Himi et al. 2019; Imai und Ogata 2020). Für eine Parodontitis anfällig ist ein Patient dann, wenn neben der Dysbiose weitere Aspekte wie Genetik, Epigenetik, Lebensstil und Umweltfaktoren die Immunantwort modulierend mitbeeinflussen. Größter veränderbarer Risikofaktor für die Progression der Parodontitis ist hierbei das Rauchverhalten der Patienten (Ramseier et al. 2015; Nociti et al. 2015). Chambrone et al. (2013) stellten nach geschlossener Therapie eine signifikante Verbesserung der Taschensondierungstiefen bei den Patienten fest, die das Rauchen während der Behandlung aufgegeben haben. Untersuchungen der letzten Jahre zeigten, dass nicht nur äußere Faktoren Einfluss auf die Parodontitis haben, sondern auch die Parodontitis systemische Veränderungen mit begünstigen kann. Eine bidirektionale Korrelation konnte für Parodontitis und Diabetes mellitus (Chapple und Genco 2013) sowie Parodontitis und rheumatoide Arthritis (de Smit et al. 2015) festgestellt werden. Beobachtungsstudien konnten auch zeigen, dass die Parodontitis ein von anderen Confoundern (z. B. Rauchen) unabhängiger Risikofaktor für eine Atherosklerose mit allen zerebrokardiovaskulären Folgeerkrankungen ist (Tonetti 2009; Tonetti und Dyke 2013; Schaefer et al. 2015).

Aufgrund der bestehenden Wechselwirkungen von Parodontitis und Allgemeinerkrankungen ist es sinnvoll bereits Kindern und Jugendlichen frühzeitig geeignete Zahnpflegemittel zur effektiven Plaqueentfernung zu vermitteln.

1.1.2 Entstehung von Karies

Karies (lat. *caries*: Morschheit, Fäulnis) ist eine multifaktorielle biofilmassoziierte Erkrankung (Addy et al. 1986; Richardson et al. 1977), die nach Keyes (1962) und König (1973) von vier ätiologischen Faktoren abhängig ist: „Wirt“, „Mikroorganismen“, „Substrat“ und „Zeit“. Nach Miller (1889) produzieren orale Mikroorganismen (Plaque) bei einem Überangebot von kariogenen Substanzen (meist niedermolekulare Kohlenhydrate) Säuren, die den Zahn demineralisieren können. Moderne Modelle zur Kariesentstehung beschreiben die Kariesätiologie als einen dynamischen Prozess der De- und Remineralisation, der durch verschiedene indirekte Faktoren, z. B. sozioökonomischer Status, Alter oder Bildung, beeinflusst wird (Meyer-Lückel et al. 2012).

Bei einem Überangebot von fermentierbaren Kohlenhydraten wird durch den bakteriellen Kohlenhydratstoffwechsel im Biofilm vermehrt Säure produziert, bei deren Dissoziation H^+ -Ionen freigesetzt werden. Dies führt zu einem Abfall des pH-Werts von 6,8 auf ca. 5,4 in der den Zahn umgebenden Plaqueflüssigkeit (Meyer-Lückel et al. 2012), wodurch die Hydroxylionenkonzentration (OH^-) erniedrigt wird (Shellis 1984). Die H^+ -Ionen protonisieren mit Phosphationen (PO_4^{3-}) in der Plaqueflüssigkeit zu HPO_4^{2-} und $H_2PO_4^-$. Fällt der pH-Wert in den kritischen Bereich von 5,2 bis 5,5 lösen sich aus dem Zahn PO_4^{3-} und OH^- , um das Lösungsgleichgewicht an der Oberfläche zu halten (Dawes 2003). Es kommt zum kariogenen Säureangriff, bei dem die durch die bakterielle Glykolyse akkumulierte Säure die Zahnhartsubstanz demineralisiert (Miller 1889). Dabei dissoziiert ein Teil der Säure und führt zur interprismatischen Läsion an der Schmelzoberfläche (frühe Läsion), um das Lösungsgleichgewicht zu erhalten. Im weiteren Verlauf entsteht ein Konzentrationsgradient, der bewirkt, dass die Säuren weiter in den Zahnschmelz diffundieren und H^+ -Ionen ins Schmelzzinnere abgeben. Die H^+ -Ionen greifen die Kristallbereiche an, in denen CO_3^{2-} und Mg^{2+} gebunden sind. Kalzium, Phosphat und Wasser diffundieren daraufhin vermehrt in die Plaque an der Schmelzoberfläche und lassen demineralisierten Schmelz zurück (Hellwig et al. 2018; Dawes 2003). *In-situ*-Studien legen nahe, dass kariöse Läsionen in Folge einer zunehmenden Löslichkeitsrate von Karbonat und Magnesium und durch niedrige Kristallinität in Richtung Schmelz-Dentin-Grenze zunehmen. Läsionen an Milchzähnen breiten sich durch ihre Porenstruktur ebenfalls schneller aus als an bleibenden Zähnen (Ögaard et al. 1988).

Die Schwere des kariogenen Säureangriffs wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Der Grad der Demineralisation steigt mit dem Faktor der zeitlichen Säurepenetration (Meyer-Lückel et al. 2012). Ebenso haben die Frequenz der Zuckereinnahme, fehlende Mundhygiene sowie die Speichelzusammensetzung einen wichtigen Einfluss. Der menschliche Organismus bildet durch sekundäre Wirtsfaktoren, wie Speichelfluss, -zusammensetzung, -pH und die Pufferkapazität des Speichels, bis zu einem gewissen Grad eine Schutzwirkung gegen die Demineralisation der Zahnhartsubstanz aus.

1.2 Mechanische Plaqueentfernung

Die einfachste und effizienteste Methode zur Reduktion des Biofilms ist die mechanische Entfernung. Klinische Studien zeigen jedoch, dass Zähneputzen selten zu einer vollständigen Plaqueentfernung (Frandsen 1986), sondern eher zu einer Plaquereduktion führt (van Palenstein Helderma et al. 2006; Tsamtsouris et al. 1979).

Erwachsenen gelingt es durch das Zähneputzen durchschnittlich 71 bis 86% der Plaque auf den lingualen und fazialen Zahnflächen zu entfernen (Schmid et al. 1976). Dabei werden Prämolaren besser als Molaren und Oberkieferzähne besser als die entsprechenden Flächen der Unterkieferzähne gereinigt (Hawkins et al. 1986; Huber et al. 1985). Folglich befindet sich mehr Plaque an lingualen als an bukkalen Zahnflächen (Rosema et al. 2012; Tsamtsouris et al. 1979; Feldens et al. 2006; Macgregor und Rugg-Gunn 1979).

Kinder putzen ihre Zähne zumeist schlechter als Erwachsene (Rugg-Gunn und Macgregor 1978). So untersuchten Rugg-Gunn und Macgregor (1978) bei Probanden in drei Altersgruppen von jeweils 5-, 11- und 18- bis 22-Jährigen das Zahnputzverhalten. In den drei Gruppen betrug der Anteil der geputzten Flächen 25, 50 bzw. 67%. In allen Gruppen wurde mit der dominanten Hand die kontralaterale Kieferhälfte (bei Rechtshändern die linke Seite) ausgiebiger und die Oberkieferzähne länger geputzt. Weniger als 10% der Zeit wurde für das Putzen der lingualen Flächen aufgewendet. In einer schwedischen Studie wurde festgestellt, dass nur 19% der sechsjährigen und 30% der bis zu zwölfjährigen Probanden Plaque auf den Bukkalflächen zufriedenstellend entfernen (Sandstrom et al. 2011). Besonders die oralen Zahnflächen werden von Kindern schlechter

gereinigt als die bukkalen (Korins et al. 1982; Unkel et al. 1995; van Palenstein Helderma et al. 2006). In einer vietnamesischen Studie wurde gezeigt, dass sechsjährige Schülerinnen und Schülern nur 40% des Biofilms entfernen können (Lindmark et al. 2012). In einer argentinischen Studie beseitigten 49% der von Sechs- bis Siebenjährigen den dentalen Biofilm in ausreichendem Maße, wobei nur 50,6% alle Sextanten putzen, aber keine einheitliche Systematik anwendeten (Rossi et al. 2016).

1.2.1 Zahnbürste

Das am meisten eingesetzte Hilfsmittel zur mechanischen Plaqueentfernung ist die Zahnbürste. Es werden sowohl Handzahnbürsten als auch elektrische Zahnbürsten benutzt.

In Deutschland gilt für Handzahnbürsten die Industrienorm (DIN EN ISO 20126 2005). Die Norm umfasst die Einteilung der verschiedenen Borstenfelder, die Besteckungsfeldgröße und die Beschaffenheit des Griffs nach dem jeweiligen Personenkreis. Idealerweise sollte eine Zahnbürste mittelharte oder weiche Borsten aus chemisch beständigem Kunststoff haben (Heidemann 1997; Hamby et al. 1973; Kimmelman und Tassman 1957). Der Borstendurchmesser definiert bei gleicher Materialbeschaffenheit den Härtegrad der Zahnbürste (weich, mittel, hart). Mittelharte Borsten zeigten in Studien eine bessere Reinigungswirkung als weiche Borsten (Versteeg et al. 2008).

Je nach Anordnung der Büschel unterscheidet man weit (*space-tufted*) oder eng (*multi-tufted*) angeordnete Borstenbüschel. Die Anordnung kann parallel und/oder entgegengesetzt (V-förmig) sein. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Anordnung der Borstenbüschel die Wirksamkeit des Zähneputzens auf den Reinigungserfolg positiv beeinflussen (Slot et al. 2012). Idealerweise sollten die Borsten in engen Borstenbüscheln angeordnet sein (Heidemann 1997), weil sie einen besseren Zugang auch in schwer zu erreichende Zahnflächen erlauben. Entsprechend zeigen Studien von Mulry et al. (1992), Yankell et al. (1992) und Sharma et al. (1994), dass Zahnbürsten mit divergierenden oder V-förmigen Borstenanordnungen in der Reinigungsleistung denen mit planen Borstenfeldern überlegen sind. Dem gegenüber stehen Studienergebnisse von Reardon et al. (1993) und Volpenhein und Hartman (1996), die in Bezug auf die

Reinigungsleistung keinen signifikanten Unterschied zwischen planer und mehrstufiger Anordnung fanden.

Der Borstenschnitt sollte flach und die Borstenfeldlänge kurz sein (Barnarius et al. 1967; Scully und Wade 1970), um eine bessere Putzwirkung zu erlangen.

Allerdings gibt es nur wenige Studien, die den Einfluss des Borstenfelds einer Zahnbürste auf die Reinigungswirkung untersuchen. So zeigten Stroski et al. (2011) in einer klinischen Studie mit Schülern im Alter von neun bis zehn Jahren, dass es keine Unterschiede der Reinigungsleistung von Zahnbürsten mit verschieden angeordneten Borsten auf unterschiedlichen Borstenfeldern gibt.

Wiederum stellte eine andere Studie mit erwachsenen Probanden fest, dass die Reinigungsleistung von Zahnbürsten mit horizontal schräg angeordneten Borsten und planem Bürstenfeld 75% beträgt. Bei Zahnbürsten mit horizontal schräg angeordneten Borsten und mehrstufigem Bürstenfeld betrug die Plaqueentfernung 79%, bei Zahnbürsten mit flachem Borstenfeld 56% (Baluda et al. 2012).

Bei der Auswahl der entsprechenden Zahnbürste sind außerdem die individuellen manuellen Fähigkeiten zu berücksichtigen (Einwag 2007). Breite Griffformen eignen sich besonders bei motorisch eingeschränkten Personen, wie z. B. Kindern oder Behinderten.

Van Palenstein Helderma et al. (2006) untersuchten die mechanische Plaqueentfernung von sieben- bis achtjährigen Kindern, die entweder mit einer alten oder neuen Handzahnbürste die Zähne putzten. Während als Nebenbefund bestätigt wurde, dass Inzisivi besser als Molaren und bukkale Flächen besser als orale geputzt wurden, konnten die Kinder trotz neuer Zahnbürsten keine signifikante Verbesserung der Plaqueentfernung im Vergleich zum Putzen mit alten abgenutzten Zahnbürsten erreichen. Das lässt darauf schließen, dass nicht die Qualität der Zahnbürste, sondern vielmehr die Qualität der ausgeführten manuellen Plaqueentfernung relevant ist.

Elektrische Zahnbürsten sollen durch automatische Putzbewegung die Plaqueentfernung vereinfachen und die Qualität der Mundhygiene verbessern. Elektrische Zahnbürsten können in rotierend-oszillierende Zahnbürsten und in Schallzahnbürsten unterschieden werden. Erstere führen rotierend-oszillierende Bewegungsmuster aus, die mit Rotation und Schwingbewegungen der Reinigung dienen (van der Weijden et al. 1994). Die Borsten der Schallzahnbürste schwingen im schallähnlichen Bereich mit piezo-elektrischen Bewegungen und einer

Frequenz zwischen 250 und 300 Hertz (Walmsley 1997). Die elektrische Zahnbürste soll die Putzbewegung vereinfachen, indem der elektrisch bewegte Zahnbürstenkopf passiv an den Zahn gehalten wird und nach einigen Sekunden systematisch über alle Zahnreihen weitergeführt wird. Diese Anwendung widerspricht der Putzsystematik mit der manuellen Handzahnbürste, welche durch dynamische Putzbewegungen gekennzeichnet ist (Ganß und Schlüter 2016).

Systematische Übersichtsarbeiten zeigen, dass elektrische Zahnbürsten den Handzahnbürsten in Bezug auf die Plaqueentfernung etwas überlegen sind (Himmer und Eickholz 2008; Williams et al. 2004), eine vollständige Plaqueentfernung konnte jedoch bislang auch mit elektrischen Zahnbürsten nicht erlangt werden. Vielmehr liegt die mittlere Reduktion des Plaqueindex unter standardisierten Bedingungen zwischen 36% (Quigley-Hein-Index, kurz: QHI) und 65% (Navy-Plaque-Index, kurz: NPI) (Rosema et al. 2016). Ebenfalls zeigen Yaacob et al. (2014) eine Plaquereduktion um bis zu 21% und eine Gingivitisreduktion um bis zu 11%, wenn mit einer elektrischen statt mit einer Handzahnbürste geputzt wird. Die Unterschiede zwischen dem manuellen Zähneputzen und dem Gebrauch elektrischer Zahnbürsten sind bei versierten Anwendern allerdings relativ gering, sodass die klinische Relevanz dieser Ergebnisse diskutiert wird (Ganß und Schlüter 2016). Bei motorisch eingeschränkten Patienten, z. B. Behinderten (Bratel et al. 1988; Bratel and Berggren 1991) und Kindern (Jongenelis und Wiedemann 1997; Grossman und Proskin 1997), konnte mit einer elektrischen Zahnbürste die Plaquereduktion im Vergleich zur Handzahnbürste verbessert werden.

Resultate aus vergangenen Studien bezüglich einer verbesserten Plaqueentfernung zwischen verschiedenen elektrischen Zahnbürsten werden kontrovers diskutiert. Eine *In-vitro*-Studie von Yankell et al. (1997) konnte zeigen, dass Approximalflächen besser von Schallzahnbürsten als von rotierend-oszillierenden Zahnbürsten gereinigt werden. Die *In-vivo*-Studie von Moran et al. (1995) konnte diese Ergebnisse jedoch nicht bestätigen. Aktuelle Daten, die die Reinigungswirkung in einem Zeitraum von ein bis drei Monaten bewerten, zeigen eine bessere Plaqueentfernung bei Anwendung von rotierend-oszillierenden Bürsten (van der Weijden und Slot 2015).

Bei unsachgemäßem Vorgehen können sowohl elektrische als auch Handzahnbürsten zu potentiell unerwünschten Wirkungen führen, wobei die Studien-

lage zu den kausalen Zusammenhängen, von z. B. zu starkem Anpressdruck, zu harten Borsten oder exzessivem Zähneputzen und dem Auftreten von Zahnhartsubstanzdefekten oder gingivalen Rezessionen, uneinheitlich ist (Heasman et al. 2015).

1.2.2 Zahnpasta

Die Verwendung einer Zahnbürste wird in der Regel mit einer Zahnpasta kombiniert. Es wird allgemein angenommen, dass die Zahnpasta die Plaqueentfernung erleichtert (van der Weijden und Slot 2011). Die Zahnpasta enthält Feuchtmittel, Wasser, Tenside, Schaumbildner, Bindemittel, Konservierungsstoffe, Farbstoffe, Geschmacksstoffe und Putzkörper, die die Plaqueentfernung erleichtern sollen. Zumeist enthalten Zahnpasten auch Fluorid in einer Konzentration bis 1500 ppm (Walsh et al. 2010).

Die von Paraskevas et al. (2006) durchgeführte Studie untersuchte, ob Zahnpasta durch die darin enthaltenen Putzkörper eine positive Wirkung auf die Plaqueentfernung hat. Die Ergebnisse zeigen, dass Zahnpasten mit verschiedener Abrasivität sich hinsichtlich der Plaqueentfernung nicht signifikant unterscheiden. Andere Studien zeigten ebenfalls, dass Zähneputzen mit Zahnpasta im Vergleich zu Wasser keinen zusätzlichen Effekt hinsichtlich der Plaqueentfernung hat (Creeth et al. 2009; Bergenholtz et al. 1967). So wurde in der systematischen Übersichtsarbeit von Valkenburg et al. (2016) eine Reduktion der Plaque von 49,2% beim Putzen mit Zahnpasta und 50,3% beim Zähneputzen ohne Zahnpasta ermittelt. So scheint die Wirksamkeit der Plaqueentfernung während des Putzens mit Zahnpasta im Wesentlichen eine Funktion der Borsten statt der in der Zahnpasta enthaltenen Schleifmittel zu sein (Creeth et al. 2009).

Zahnpasta ist jedoch in der Lage eine Vielzahl von verschiedenen chemotherapeutischen Bestandteilen zu tragen. Demzufolge ist die Darreichung von Fluorid in der Zahnpasta die am weitesten verbreitete und wichtigste Form der lokalen Fluoridgabe (Benzian et al. 2012; ten Cate und Featherstone 1991).

Fluorid hemmt die Demineralisation der Zahnhartsubstanz, fördert die Remineralisation und hat ebenfalls einen geringfügigen antibakteriellen Effekt. Die Fluoridierung kann präeruptiv durch systemische Gabe von Tabletten, Trinkwasser oder fluoridiertes Speisesalz erfolgen. Posteruptiv kann die Fluoridierung neben der systemischen Gabe zudem auch durch lokale Applikation durch Zahnpasta,

Gele und Lacke erfolgen. Die lokale, posteruptive Gabe von Fluorid trägt deutlich mehr zur Karieshemmung bei als die systemische Fluoridgabe während der Zahnentwicklung (Hellwig und Lennon 2004).

Nach der lokalen Applikation von ionischen Fluoriden wird zum einen an der Zahnhartsubstanz (Hydroxylapatit) ein kalziumfluoridhaltiges Präzipitat gebildet (Ögaard et al. 1988). Zum anderen entsteht Fluorapatit (strukturell gebundenes Fluorid) oder Fluorid bindet an OH^- , Ca^{2+} und HPO_3^{2-} oder unspezifischen Bindungsstellen (Iijima und Takagi 2000). Im Vergleich zwischen ionisch gebundenen Fluorid und kovalent gebundenen Fluorid (Natriummonofluorophosphat) diffundiert bei kovalenter Bindung Monofluorophosphat deutlich langsamer in den Zahnschmelz und wird gegen Phosphat ausgetauscht (Meyer-Lückel et al. 2012; Miller 1889; Hellwig et al. 2018).

Das an die Zahnhartsubstanz gebundene Fluorid (Fluorapatit) ist reversibel gebunden. Bei fallendem pH-Wert ist Fluorapatit schwerer löslich als reines Hydroxylapatit, zudem wird aus dem Fluorapatit F^- frei, wenn die Fluoridkonzentration in der Plaque sinkt. Fluorid wird von der Plaque und dem umgebenden Speichel aufgenommen und bis zur erneuten Reaktion mit der Zahnhartsubstanz gespeichert, welches wiederum der Remineralisation der Zahnschmelz dient (Meyer-Lückel et al. 2012; Hellwig und Lennon 2004; ten Cate und Featherstone 1991; ten Cate 1999). Außerdem wird die metabolische Aktivität der Mikroorganismen beeinflusst und deren Wachstum sowie die Synthese intrazellulärer Polysaccharide gehemmt. Ebenfalls wird die Bakterienadhärenz durch Hemmung der Lipoteichonsäurebildung reduziert (Hellwig et al. 2018).

Eine Cochrane-Metaanalyse konnte zeigen, dass sich bei Schulkindern und Jugendlichen bis zum 16. Lebensjahr eine mittlere Kariesreduktion von 23% beim regelmäßigen Zähneputzen mit 1000 – 1250 ppm Fluorid enthaltender Zahnpasta und eine mittlere Kariesreduktion von 36% beim regelmäßigen Anwenden von 2400 – 2800 ppm Fluoridzahnpasta einstellt (Walsh et al. 2010).

1.2.3 Interdentalraumhygiene

In den meisten Fällen sind die Interdentalräume nicht für die Borsten der Zahnbürste zugänglich. Sie sollten daher mit zusätzlichen Hilfsmitteln, die in den Zahnzwischenraum eindringen, gesäubert werden (Hansen und Gjermo 1971; van

der Weijden und Slot 2011; Bosma 2011). Je nach motorischer Geschicklichkeit oder den anatomischen Verhältnissen kann die Wahl für ein geeignetes Hilfsmittel zur Reinigung des Zahnzwischenraumes variieren. Bewährte Hilfsmittel stellen Zahnseide, Zahnseidesticks und Zahnzwischenraumbürsten dar.

Die Zahnseide gibt es mit verschiedenen Modifikationen im Handel. So unterscheidet man gewachste und ungewachste Zahnseide, Floss-Zahnseide sowie Zahnseidesticks, die mit einem Griff ein vereinfachtes Handling ermöglichen.

Die Anwendungshäufigkeit der Zahnseide bei Erwachsenen liegt bei 40% (Winterfeld et al. 2015; DMS IV 2006). Neuste Ergebnisse von Mazhari et al. (2018) zeigen signifikante Unterschiede in der interdentalen Plaque- und Fluoridkonzentration bei unterschiedlicher Anwendungsreihenfolge von Zahnbürste und Zahnseide. So wird interdental signifikant mehr Plaque reduziert und die Fluoridkonzentration gesteigert, wenn zuerst mit Zahnseide die Zahnzwischenräume gereinigt werden und folgend mit der Zahnbürste geputzt wird, als wenn erst Zähne geputzt werden und im Anschluss Zahnseide benutzt wird (Mazhari et al. 2018). Durch unzureichenden Gebrauch, z. B. alleinige Reinigung der Frontzahnzwischenräume (Winterfeld et al. 2015), wird die Plaque nicht ausreichend beseitigt. Hingegen konnten Wright et al. (1977), Wright et al. (1980) und Hujoel et al. (2006) zeigen, dass die professionelle Anwendung der Zahnseide insbesondere bei Kindern einen beachtlichen Effekt auf die Plaqueentfernung hat. Unter Alltagsbedingungen scheint der Einsatz der Zahnseide bei Kindern im Allgemeinen jedoch nicht zur Kariesreduktion beizutragen (Hujoel et al. 2006). Offenbar sind Interdentalhygienemaßnahmen ähnlich wie das Zähneputzen nicht effektiv, wenn sie nicht geübt werden (Ganß und Schlüter 2016).

Im Bereich von Brückengliedern hat die spezielle Floss-Zahnseide durch die Aufteilung in einen Bereich mit vereinfachter Einfädungshilfe und einem verbreiterten Putzbereich eine verbesserte Reinigungsleistung (Kandemir 1987; Techakampuch 1979) im Vergleich zur schmalen herkömmlichen Zahnseide und der unflexibleren Interdentalbürste.

Zahnseidesticks haben einen Griff zwischen dessen Enden sich eine aufgefädete Zahnseide befindet. Dadurch können Zahnseidesticks von motorisch

eingeschränkten Personen, z. B. Kindern, einfacher angewendet werden als konventionelle Zahnseide.

Die Anwendung von Zahnseide zeigt einen schwachen, aber doch signifikanten Einfluss auf die Reduktion der Gingivitis. Ob parodontal gesunde Patienten ohne Parodontitis oder Gingivitis von einer zusätzlichen Zahnseideanwendung profitieren, ist allerdings unklar. Die Anwendung von Zahnseide wird jedoch bei dieser Patientengruppe im Vergleich zu Interdentalraumbürsten wegen einer geringeren Gefahr der Traumatisierung favorisiert (Chapple et al. 2015).

In einer Übersichtsarbeit von Sälzer et al. (2015) wurde allerdings gezeigt, dass die effektivste Zwischenraumreinigung mit Interdentalraumbürsten erzielt werden kann. Dieses Hilfsmittel wurde im Vergleich zu anderen Hilfsmitteln zur Interdentalpflege von den Patienten auch am besten akzeptiert. Durch die Anordnung der Borsten und die verschiedenen Größen sind die Interdentalbürsten in der Reinigung von morphologisch schwer zugänglichen Flächen, z. B. konkave Flächen oder kieferorthopädische Apparaturen (Bock et al. 2010), den anderen Hilfsmitteln überlegen (Jackson et al. 2006; Hoenderdos et al. 2008). Besonders im parodontal vorgeschädigten Gebiss mit vergrößerten Zahnzwischenräumen empfiehlt sich die Interdentalbürste (Jackson et al. 2006; Rosing et al. 2006).

Systematische Übersichtsarbeiten zeigen, dass die regelmäßige Anwendung von Interdentalbürsten das Auftreten einer Gingivitis um 34% und die Plaquemenge um 32% reduzieren kann (Poklepovic et al. 2013). In der kürzlich veröffentlichten S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Parodontologie (Auschill et al. 2018) zum häuslichen mechanischen Biofilmmanagement in der Prävention und Therapie der Gingivitis besteht für die Reinigung mit Interdentalraumbürsten gegenüber anderen Hilfsmitteln die höchste Evidenz und der größte Effekt auf die Gingivitisreduktion. Generell haben aber alle Hilfsmittel zur Interdentalraumpflege einen Zusatznutzen gegenüber dem Zähneputzen alleine. Die Leitlinie empfiehlt die Anwendung anderer Pflegemittel (z. B. Zahnseide) dann, wenn der Einsatz von Interdentalraumbürsten aufgrund morphologischer Gegebenheiten nicht möglich ist.

Zur Reduktion des Kariesrisikos unter Anwendung von Zahnzwischenraumbürsten liegen bisher keine Studienergebnisse vor, sodass nur von der reduzierten Plaqueakkumulation auf eine Senkung des Kariesrisikos geschlossen werden kann.

1.2.4 Zahnputzdauer und Zahnputzzeitpunkt

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass mit zunehmender Zahnputzdauer die Plaqueentfernung sowohl beim Putzen mit einer manuellen als auch mit einer elektrischen Zahnbürste ansteigt (McCracken et al. 2003; van der Weijden et al. 1993; Williams et al. 2004).

Frandsen et al. (1970) kamen zu dem Ergebnis, dass eine Gesamtputzzeit von 90 Sekunden unabhängig von der Putztechnik für eine vollständige Plaqueentfernung nicht ausreicht. Rosema et al. (2016) konnten zeigen, dass bei einer Zahnputzdauer von zwei bis drei Minuten deutlich mehr Biofilm reduziert werden kann als bei einem einminütigen Putzen. Bei darüber hinaus verlängerten Putzzeiten konnte keine Steigerung der Plaquereduktion mehr nachgewiesen werden (Creeth et al. 2009).

Durch einmaliges Zähneputzen am Tag wird eine durchschnittliche Plaquereduktion um 42% erreicht (Guertzen et al. 2013; Marinho et al. 2003). Mit zunehmender Frequenz des Zähneputzens sinkt die Biofilmmakumulation und damit die Inzidenz und Prävalenz von Karies und Gingivitis (Lang et al. 1973; Leske et al. 1976; Barenie et al. 1976).

Die Studie von Winterfeld et al. (2013) ermittelte bei jungen Erwachsenen zwischen 18 und 19 Jahren eine Gesamtputzdauer von durchschnittlich 156 Sekunden. Zweidrittel der Studienteilnehmer putzte zwei Minuten oder länger die Zähne; unter 10% der Probanden putzten weniger als 90 Sekunden (Winterfeld et al. 2013).

Nicht nachgewiesen ist jedoch, ob der Zeitpunkt des Zähneputzens einen Einfluss auf die Entstehung von Karies oder Gingivitis hat (Attin und Hornecker 2005). Zähneputzen nach den Mahlzeiten ist insofern empfehlenswert, weil sowohl Speisereste entfernt werden, als auch die Zuckereinwirkung reduziert wird. Demnach sollten zudem mindestens zweimal täglich die Zähne geputzt werden. Die S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Parodontologie (Auschill et al. 2018) zum mechanischen Biofilmmanagement in der Prävention und Therapie der Gingivitis nennt für diese Empfehlung zum einen die europaweite Akzeptanz des zweimaligen täglichen Zähneputzens und zum anderen die fehlende Evidenz für bessere Reinigungsleistungen bei einer höheren Frequenz. Exzessives Zähneputzen darüber hinaus ist nicht indiziert. Erfahrungsgemäß besteht dann die

Gefahr, dass Abrasionen der Zahnhartsubstanz insbesondere auf erodierten Zahnflächen entstehen (Addy und Hunter 2003; Wiegand und Schlueter 2014).

1.2.5 Zahnputztechniken

Die ideale Putztechnik ermöglicht eine möglichst vollständige Entfernung von Biofilm in der schnellstmöglichen Zeit ohne dabei Schaden am Gewebe hervorzurufen (Hansen und Gjermo 1971). In der Literatur wurden in der Vergangenheit verschiedene Zahnputztechniken beschrieben (Tabelle 1.2.5). Meist wird bei Jugendlichen und Erwachsenen die Bass-Technik empfohlen (Zimmer 2002; Wainwright und Sheiham 2014). Es gibt jedoch keine Evidenz, dass bestimmte Zahnputztechniken grundsätzlich überlegen sind (Muller-Bolla et al. 2011; Wainwright und Sheiham 2014). Bei geschlossener Zahnreihe dominieren vorwiegend die horizontal schrubbenden und kreisenden Putzbewegungen. Oftmals putzen Jugendliche und Erwachsene sogar mit den Putzbewegungen, die ihnen im Kindesalter vermittelt worden sind (Winterfeld et al. 2015; Ganß und Schlüter 2016).

Kindern und Jugendlichen werden auf Grund der leichten Erlernbarkeit und der vereinfachten Bewegungsausführung die KAI- (siehe Kapitel 1.2.5.1), Rot-Weiß- und BASS-Methode oder die Schrubbtechnik empfohlen (Einwag 2007; Hellwege 2003). Studien belegen, dass Kinder zwischen dem sechsten bis siebten Lebensjahr mehrheitlich die horizontale Schrubbtechnik ausüben. Generell wird angenommen, dass bei unter Zehnjährigen Defizite in der mechanischen Plaqueentfernung vorliegen, welche der geringeren motorischen Geschicklichkeit und der Motivation geschuldet sind (Grossman und Proskin 1997).

Bei älteren Kindern hingegen konnte keine statistisch signifikante Überlegenheit einer wirksamen Zahnputztechnik nachgewiesen werden (Muller-Bolla und Courson 2013). Oft wird selbst bei verlängerten Putzzeiten vielmehr ein „repetitives Putzmuster“ ausgeführt (Ganß und Schlüter 2016).

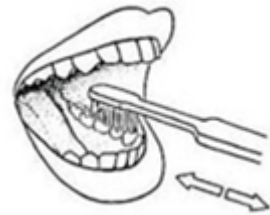
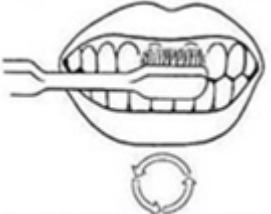

Tabelle 1.2.5: Zahnputztechniken nach Hellwege (2003) und Fedder (1986)

Zahnputztechnik	Ansatz der Bürste	Bewegungsablauf
Horizontale Methode	Rechter Winkel zur Zahnachse	Horizontales Hin- und Herführen
Vertikale (Rot-Weiß-Methode)	Rechter Winkel zur Zahnachse	Vertikales Auf- und Abführen → Leicht zu erlernen
Rollmethode oder modif. STILLMANN-Methode	Borsten parallel zur Zahnachse, Spitzen über marginaler Gingiva	Drehung um 45°, seitl. Andrücken der Borsten, Abrollbewegungen über Gingiva in Richtung koronal
Vibrationsmethoden CHARTERS-Methode	Borsten 45° okkluswärts, Borstenspitzen berühren Gingiva nicht	Vibrierende oder kreisende Bewegung auf der Stelle, Borsten befinden sich zwischen den Zähnen → Bessere Erreichbarkeit approximal
STILLMANN-Methode	Borsten parallel zur Zahnachse	Drehung um 45°, seitl. Andrücken, Okkluswärtsführung und leichter mesio-distaler Vibrationsbewegung
BASS-Methode	Borsten 45° apikalwärts	Rüttelnde Vibrationsbewegung vom Abstand einer halben Zahnbreite → Leicht zu erlernen → In allen Quadranten anwendbar → Entfernt sub- und supragingivalen Plaque → Bessere Erreichbarkeit Approximal
Rotationsmethode nach FONES	90° zur Zahnachse	Kreisende Bewegungen
Physiologische Methode	90° zur Zahnachse	Koronal-apikale Bewegungsausführung
Methode nach HIRSCHFELD	90° zur Zahnachse	Okkusal: kleine Kreise aufklopfend Außen: kleine Kreise oder Senkrechte Auf- und Abbewegungen Lingual: Auf- und Abbewegungen
Schrubbtechnik („freie Zahnputzmethode“)	Unsystematische und unkontrollierte Bewegungen	Horizontale grobe Bewegungsausführung → bevorzugte Putztechnik der grobmotorischen Kinderhand → International als kindgemäßer Einstieg in die Zahnhygiene akzeptiert

1.2.5.1 KAI-Methode

Die KAI-Methode (Kauflächen, Außenflächen, Innenflächen) ist eine favorisierte Zahnputztechnik für Kinder und entstammt einer Empfehlung der Landesarbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege Hessen (LAGH). Die Putzmethodik ist an die alters- und entwicklungsabhängigen Fähigkeiten von Kindern angepasst. Demzufolge soll sie einfach einzuprägen sein und nahtlos zur Bass-Technik überleiten (Arbeitsgemeinschaft Zahngesundheit 2004). Zur Vereinfachung der Systematik wird empfohlen stets im Oberkiefer vom letzten Molaren im ersten Quadranten bis zum letzten Molaren im zweiten Quadranten zu putzen. Nachfolgend wird der Unterkiefer vom dritten bis zum vierten Quadranten gereinigt. Die Putzzeit sollte dabei insgesamt drei Minuten betragen (Tabelle 1.2.5.1).

Tabelle 1.2.5.1: KAI-Methode nach Kollahn (2007)

<p>Erster Schritt: „K“ = Kauflächen Mit horizontalen Bewegungen werden alle Kauflächen geputzt.</p>	
<p>Zweiter Schritt: „A“ = Außenflächen reinigen Mit kreisenden Bewegungen werden alle Außenflächen geputzt.</p>	
<p>Letzter Schritt: „I“ = Innenflächen Die Innenflächen werden mit Drehbewegungen von „Rot nach Weiß“ gereinigt.</p>	

Bei dieser Methodik werden erst die Kauflächen (K), dann die Außenflächen (A) und zum Schluss die Innenflächen (I) geputzt. Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung vom Verein für Zahnhygiene.

1.2.5.2 Konventionelle Instruktionen der Zahnputztechnik

Üblicherweise haben sich für die Instruktion der Zahnputzbewegungen, die koordinierte, psychomotorische Fähigkeiten voraussetzen, bestimmte Schulungstypen etabliert. Die Unterweisungen basieren in der Regel auf häufigem Wiederholen einer „idealen“ Putzbewegung (Ogasawara et al. 1992; Simmons et al. 1983; Poche et al. 1982; Levin et al. 2015; Emler et al. 1980; Haleem et al. 2016). Traditionell wird die Zahnputztechnik am Modell oder im Mund demonstriert. Hinsichtlich der Lernfähigkeit von Kindern erweisen sich audiovisuelle Aufklärungen (Bijela 1999) wegen der kognitiven Entwicklung bei Vorschulkindern (Leal et al. 2002) effektiver als verbale (Simmons et al. 1983), da „räumliche“ Anweisungen, wie „hinter“ oder „innerhalb“, für Zwei- bis Vierjährige nur schwer umsetzbar sind (Simmons et al. 1983; Leal et al. 2002). Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass mündliche Instruktionen erst ab dem fünften Lebensjahr erste Erfolge liefern (Williford et al. 1967) und die Motivation ein wichtiger Faktor beim Erlernen der Mundhygiene ist (Candelária et al. 1989; Leal et al. 2002; Daly et al. 1996).

Zum Einfluss der wiederholten Instruktion zeigt die Studie von Sigaud et al. (2017), dass spielerische Instruktionen als pädagogisches Instrument bei Kindern zu einer verbesserten Plaquereduktion führen können.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Studien zum Einfluss der Mundhygieneinstruktion bei Kindern auf die Zahnputzfähigkeiten und deren Wirksamkeit durchgeführt (Habbu und Krishnappa 2015). Allgemein zeigten die Studien eine Verbesserung der Plaque- und Gingivaindizes, die Reduktion der Plaque- und Gingivascores war jedoch zeitlich begrenzt. Die Probanden erlangten mehr Wissen in der Ausübung einer korrekten Mundhygiene, allerdings verbesserten sich die Einstellung und das Umsetzen einer korrekten Mundhygiene nicht proportional zur neu erlangten Sachkunde.

Studien von Shenoy und Sequeira (2010) mit Kindern im Alter von 12- bis 13-Jahren zeigten, dass konventionelle Instruktionsmaßnahmen nach einem Intervall von drei Wochen effizienter sind als nach sechs Wochen.

Auch eine aktuelle Studie von Deinzer et al. (2019) bestätigt ältere Studien, dass nur wenige zwölfjährige Kinder, die im Rahmen der Gruppenprophylaxe jährlich in einer Zahnputztechnik und -systematik instruiert wurden, in der Lage waren diese korrekt umzusetzen.

Eine Vielzahl von aktuellen Studien zeigt, dass die Umsetzung der Mundhygiene bei Kindern problematisch ist und die Verbesserungen oftmals von kurzer Dauer sind (Rossi et al. 2016; Sandstrom et al. 2011; Deinzer et al. 2019; Rosema et al. 2012).

1.3 Differenzielles Lernen

Das sogenannte „differenzielle Lernen“ stellt einen Ansatz aus der Bewegungslehre dar, der überwiegend im Training verschiedener Sportarten angewendet wurde (Schöllhorn 1999; 2012). Das differenzielle Lernen versucht durch eine Vergrößerung der Fluktuationen der Bewegungsdurchführung während des Lernprozesses (Bernstein 1967; Haken et al. 1985; Hatze 1986) einen Selbstorganisationsvorgang im zentralen Nervensystem beim Lernenden zu initiieren (Frank et al. 2008). Dadurch soll es zu einem individuell optimierten und stabileren Bewegungsmuster kommen. Die bei den Bewegungen auftretende Fluktuation („Rauschen“) soll durch die Differenzen (unterschiedlichen Bewegungsausführungen, Bedingungen) verstärkt werden (Schöllhorn 2005). Die Leitgedanken des differenziellen Lernansatzes sind, dass die Bewegungen fortwährenden Schwankungen folgen und nicht exakt wiederholt werden können. Des Weiteren sind Bewegungen charakteristisch für eine Person und Anforderung (Schöllhorn 1999). Durch das stetige Auseinandersetzen mit den Unterschieden in der Bewegungsausführung und unterschiedlichen Umgebungsbedingungen wird durch ein problemorientiertes, automatisches „Abtasten“ (Schöllhorn 1999) der spezifische Lösungsraum umkreist (Beck 2008; Schöllhorn et al. 2004; Schöllhorn 2005). Dieser formatiert sich in jeder Situation stets neu, wiederholt sich nicht und erlaubt auf neue Situationen optimal einzuwirken und optimiert so die ausgeübte Technik, Taktik und Kondition (Henseling 2014; Schöllhorn 2005).

Durch den differenziellen Lernansatz sollen verbesserte koordinative Fähigkeiten geschaffen werden, denn diese sollen einen schnelleren bzw. größeren Lernerfolg sowie einen nachhaltigen Effekt als die auf den programmorientierten Ansatz erworbenen Fähigkeiten zur Folge haben (Beckmann und Schöllhorn 2006; Schöllhorn 2005).

Zahlreiche Forschungsarbeiten zum differenziellen Lernansatz in verschiedenen Sportarten wie Handball (Wagner et al. 2004), Tennis (Schöllhorn et al. 2008),

Sprint (Schöllhorn 2003), Kugelstoßen (Beckmann und Schöllhorn 2006) und Fußball (Schöllhorn et al. 2004) zeigten eine deutliche Überlegenheit der differenziellen Trainingseinheiten in Vergleich zu den traditionellen Übungen. Schöllhorn et al. (2004) und Beckmann und Schöllhorn (2006) zeigten, dass sich Sportler unabhängig von ihrem Leistungsbereich und -zustand verbesserten. Nach einem Vorschlag von Schöllhorn (1999) und Schöllhorn (2003) trainierten die Gruppen unter der differenziellen Lernmethode wie z. B. mit Variation der Bewegungs- geschwindigkeit, des Rhythmus oder Lenkung der Aufmerksamkeit. Bei der Implementierung des differenziellen Lernansatzes in das Torschusstraining beim Fußball trainierte eine Trainingsgruppe auf klassische Weise. Die andere Gruppe hingegen variierte bei jedem Schussversuch wie z. B. Stand- und/oder Spielbein oder die Oberkörperhaltung. In der Voruntersuchung erzielten beide Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Nach der Trainingseinheit verbesserten sich die klassisch Trainierenden nur um 5%, während sich die differenziell Trainierenden um 24% steigerten (Schöllhorn et al. 2004; Schöllhorn 2005).

Unter ähnlichen Versuchsbedingungen wurden zwei Trainingsgruppen im Kugelstoßen verglichen. Die Differenzen der Bewegungsinstruktion beinhalteten unter anderem die Variation der Bewegungsbeschleunigung, des Bewegungsrhythmus oder der Variation der Anweisung. Für die Studienteilnehmer gab es zum einen konkrete Instruktionen wie den Stoßarm nicht zu strecken, die Wurfgeschwindigkeit oder den Bewegungsrhythmus zu verändern oder zum anderen metaphorische Bewegungsanleitungen, z. B. wie ein Sumo-Ringer zu stoßen (Beckmann und Schöllhorn 2006). Unmittelbar nach der Trainingsphase hatte die differenziell trainierende Gruppe ähnlich wie beim Experiment im Fussball einen signifikant größeren Leistungszuwachs als die klassisch Trainierenden. Bemerkenswert ist, dass die differenziell Trainierenden nach vier trainingsfreien Wochen noch 21% des gesamten Leistungsfortschritts erreichen konnten. Im Gegensatz dazu fielen die klassisch Trainierenden auf ihren anfänglichen Trainingsstand zurück (Beckmann und Schöllhorn 2006).

Interessanterweise konnte der differenzielle Lernansatz nicht nur in grobmotorischen, sondern auch bei feinmotorischen Bewegungsabläufen Erfolge erzielen. So konnte durch das differenzielle Lernen der Schreiberwerb von Grundschulern erfolgreich verbessert werden. Dementsprechend optimierten die Kinder,

die mit der differenziellen Lernmethode ihre Schreibschrift übten, den Schreibfluss gegenüber den Kindern der Kontrollgruppe signifikant (Vehof et al. 2009). Während die Kontrollgruppe auf traditionelle Weise in einem Heft Schreibübungen und Aufgaben zur optischen und akustischen Differenzierung der Buchstaben machte, lernten die Kinder, die mit der differenziellen Lernmethode ihre Schreibschrift übten, den Schreibfluss mittels verschiedener Schreibmaterialien, Stifte und Körperhaltungen (Vehof et al. 2009).

1.4 Ziel der Studie

Das Ziel der vorliegenden Studie war es daher, den Einfluss eines Zahnputztrainings unter Anwendung des differenziellen Lernansatzes auf die Plaque- und Gingivitisreduktion bei Grundschulkindern zu untersuchen und mit der Methode der konventionellen Instruktion und Demonstration einer Zahnputztechnik sowie dem habituellen Zähneputzen zu vergleichen.

2 Material und Methode

Die Erlaubnis zur Durchführung der Studie wurde von der Ethik-Kommission der Georg-August-Universität Göttingen erteilt (13/1/16). Die Studie wurde unter ISRCTN14951343 registriert.

2.1 Probandengewinnung

Die Berechnung der Probandenanzahl basierte auf einer früheren Studie (van Palenstein Helderma et al. 2006) zur Plaquereduktion beim Zähneputzen von sieben- bis achtjährigen Kindern. Das Zähneputzen mit einer manuellen Zahnbürste reduzierte den nach Turesky modifizierten Quigley-Hein-Index (kurz: T-QHI; Turesky et al. 1972) in dieser Studie von $2,8 \pm 0,6$ auf $2,1 \pm 0,5$. Unter Berücksichtigung dieser Reduktion als klinisch relevante Differenz und unter Annahme von $\alpha = 0,05$ und $\beta = 0,1$ wurde eine Gruppengröße von $n = 15$ berechnet. Um eine potenzielle Drop-Out Rate von 20% zu berücksichtigen, wurde eine Gruppengröße von $n = 18$ angestrebt.

Die Studie wurde an der GTS Drispstedt Ganztages-Grundschule in Hildesheim durchgeführt. Auf klasseninternen Elternabenden wurde den Erziehungsberechtigten das Studienziel und der Ablauf der Studie mündlich sowie schriftlich vorgestellt. Darüber hinaus erfolgte innerhalb der Schulstunde eine kindgerechte Aufklärung der Schülerinnen und Schüler. Die Probanden und deren Erziehungsberechtigte erklärten mit ihren Unterschriften die freiwillige Teilnahme und das Einverständnis zur Datennutzung im Sinne der Studienziele. Es wurden insgesamt 54 gesunde Kinder im Alter zwischen sechs und neun Jahren des ersten und zweiten Schuljahres in die Studie eingeschlossen.

Vorab wurden Kriterien für die Teilnahme an der vorliegenden Studie festgelegt. Als Einschlusskriterium galten allgemeinmedizinisch gesunde Kinder sowie Probanden zwischen sechs und neun Jahren. Probanden, die Allergien gegen Inhaltsstoffe der verwendeten Zahnpasta gehabt hätten, hätten nicht an der Studie teilnehmen können, da dies als Ausschlusskriterium zur Teilnahme festgelegt wurde.

2.2 Studiendurchführung

Die prospektive Interventionsstudie wurde von April bis Juni 2016 durchgeführt. Die Kinder wurden in drei Gruppen mit je $n = 18$ Kindern unterteilt. Es erfolgte eine Balancierung der Gruppen hinsichtlich der Erst- und Zweitklässler, um ein ausgeglichenes Verhältnis unterhalb der Gruppen zu erzielen:

Gruppe A: Differenzielles Lernen des Zähneputzens

Gruppe B: Konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens

Gruppe C: Habituelle Zahnputztechnik

Unmittelbar vor Beginn der Studie wurde bei allen Probanden der nach Turesky modifizierte Quigley-Hein-Index (T-QHI) und der Papillen-Blutungs-Index (PBI) erhoben (t_0).

Im weiteren Verlauf der Studie fand in allen Gruppen an 15 Schultagen (3 Wochen mit je 5 Werktagen) mittags ein gemeinsames Zähneputzen statt (Zeitaufwand ca. 3 min). Die Kontrolluntersuchungen wurden 21 Tage (t_1), 42 Tage (t_2) und 63 Tage (t_3) nach Beginn der Studie durchgeführt. An allen Terminen wurden erneut der T-QHI und der PBI erhoben (Abbildung 2.2).

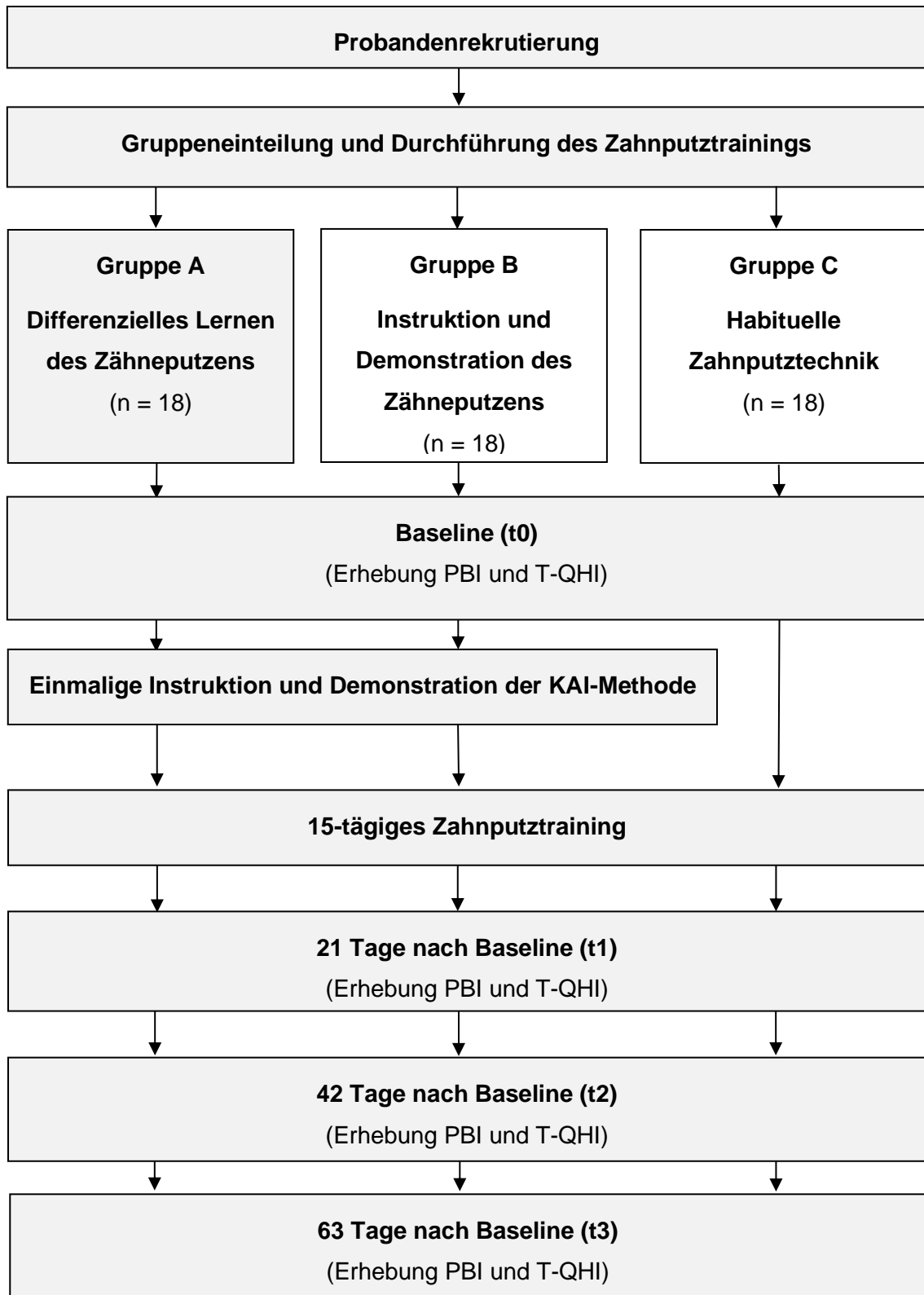


Abbildung 2.2: Studiendurchführung. Darstellung des Studienablaufs.

2.3 Durchführung des Zahnputztrainings

Alle Kinder wurden während der Studie mit Zahnbürsten (Select Compact, TePe, Hamburg, Deutschland) und Zahnpasta (Elmex® Junior, CP GABA, Hamburg, Deutschland) ausgestattet. Die Zahnbürsten wurden alle drei Wochen gewechselt. Die Zahnpasta wurde zu Beginn der Studie (t₀) ausgeteilt; an t₂ wurde jeweils eine neue Tube ausgeteilt.

Das 15-tägige Putztraining der Probanden fand während der Schulzeit in der Mittagspause statt. In den Gruppen A und B wurde vorab einmalig die KAI-Methode (siehe Kapitel 1.2.5.1 KAI-Methode) instruiert. Die Aufklärung erfolgte in der Tell-Show-Do Methodik mit Schautafel. Danach wurden die Zahnputztechnik und Putzsystematik mit einer Zahnbürste am Modell demonstriert.

Gruppe A wurde anschließend gebeten, während des Zähneputzens variierende Übungen durchzuführen z. B. Zähneputzen mit einem L-förmigen Handbürstengriff, mit aufgesetzter Umkehrbrille oder Torwarthandschuh (Differenzen, Abbildung 2.3.). Pro Zahnputztraining bzw. Tag absolvierten die Kinder aus Gruppe A eine Übung. Eine Korrektur der Zahnputztechnik erfolgte nicht. Die Reihenfolge der zu absolvierenden Differenzen wurde zufällig bestimmt. Kinder der Gruppe B putzten während des Trainings jeden Tag für drei Minuten mit der KAI-Methode; sie wurden während des Zahnputztrainings weiter unterwiesen und korrigiert. Kinder der Gruppe C erhielten keine Instruktion (habituelles Zähneputzen).

A



B



C



D



E



F



G



H



I



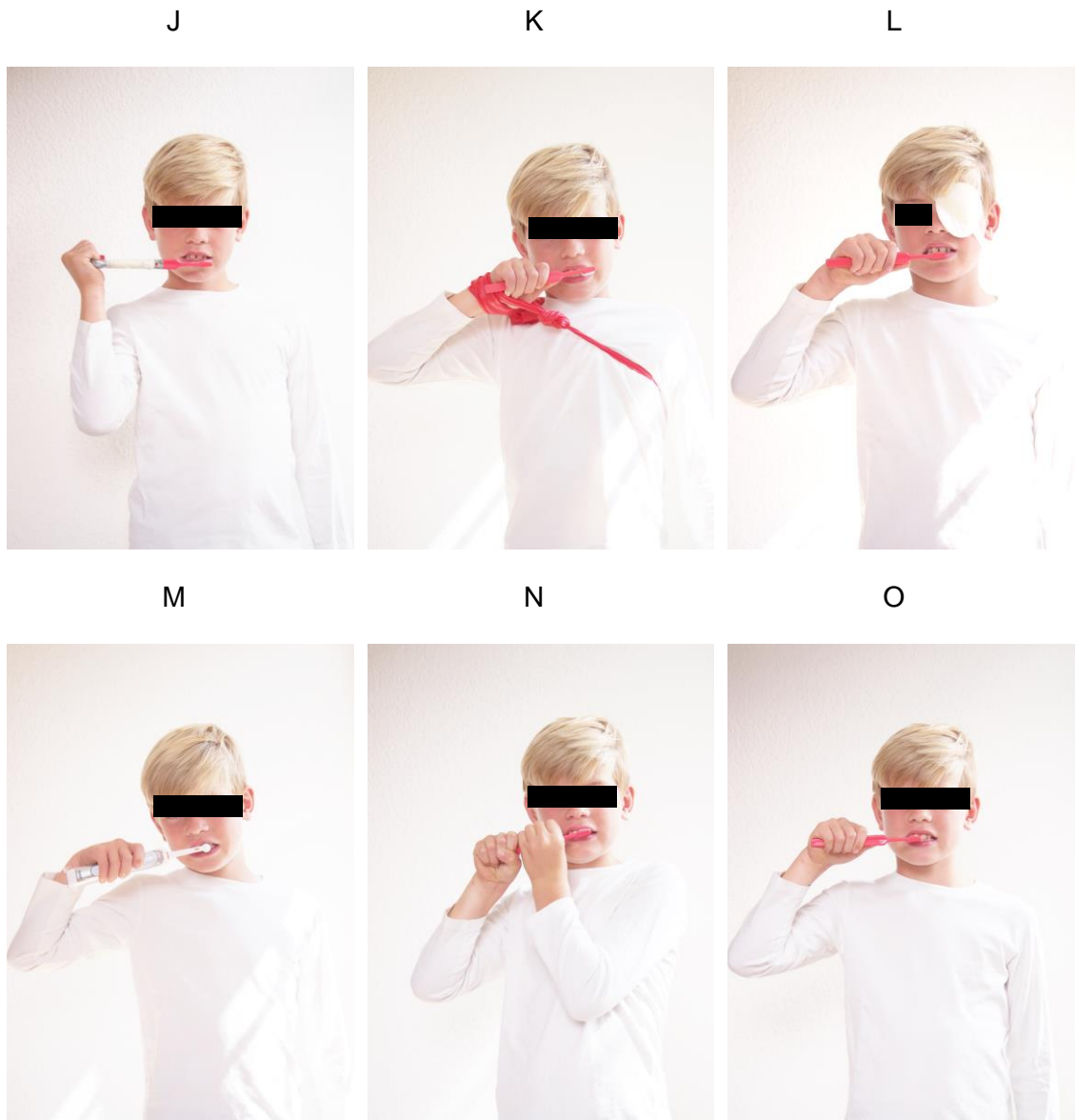


Abbildung 2.3: Angewendete Übungen in der Gruppe des differenziellen Lernens des Zähneputzens. A: Zähneputzen mit fixierter Gewichtsmanschette am Handgelenk, B: Zähneputzen mit aufgesetzter Umkehrbrille, C: Zähneputzen mit angezogenem Torwarthandschuh, D: Zähneputzen mit Gipsarm, E: Zahnbürste mit Tennisball am Griff, Zahnbürste wird am Tennisball gehalten, F: Zähneputzen auf einem Pezziball sitzend, G: Zähneputzen mit Handgelenksbandage, H: Zähneputzen mit der nicht dominanten Hand, I: Zähneputzen „rückwärts“ – erst die Innenflächen, dann die Außenflächen und zum Schluss die Kauflächen, J: Zähneputzen mit L-förmigen Stiel, K: Zähneputzen mit einem Gummizug am Arm, L: Zähneputzen mit nur einem sehenden Auge, M: Zähneputzen mit elektrischer Zahnbürste (Testdrive, Oral B), N: Zähneputzen mit beiden Händen, O: Zähneputzen ohne in den Spiegel zu schauen (Pabel et al. 2020). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung vom deutschen Ärzteverlag.

2.4 Untersuchungs- und Kontrollintervalle

Zum Studienbeginn wurde unmittelbar vor dem ersten Putztraining (Baseline, t₀) in allen Gruppen die Mundhygiene mittels PBI und T-QHI untersucht. Die darauffolgenden Kontrolluntersuchungen fanden an drei Terminen im Abstand von jeweils drei Wochen (t₁ bis t₃) statt. An allen Terminen wurden der T-QHI und der PBI erhoben.

Der QHI bewertet die Plaqueakkumulation auf den bukkalen oder oralen Zahnoberflächen in sechs Graden (Quigley und Hein 1962). Hierzu können alle vorhandenen Zähne, einzelne Gebisssextanten oder die international festgelegten sechs Ramfjord-Zähne 16 (17), 21 (11), 24 (25), 36 (37), 41 (42), 44 (45) bewertet werden. Wenn einer der oben genannten Zähne fehlt, wird der in Klammern stehende Zahn bewertet (Hellwege 2003). Aus der von Turesky et al. (1972) modifizierten Form (T-QHI, Tabelle 2.4.) des ursprünglichen Bewertungssystems werden sowohl die oralen als auch die fazialen Zahnflächen berücksichtigt.

Für die Erhebung des T-QHIs wurde die Plaquebildung mit sechs Abstufungsgraden nach Anfärben der Plaque mittels Mira-2-Ton-Tabletten (HAGER Werken, Duisburg, Deutschland) visuell beurteilt.

Für die Erhebung des PBI (Tabelle 3.4) wurde der Sulkus im Interdentalraum vorsichtig mit einer stumpfen Parodontalsonde (WHO, Hu-Friedy, Frankfurt am Main, Deutschland) sondiert und das Auftreten einer Sulkusblutung bewertet. Der Papillen-Blutungs-Index (PBI) wird in fünf Graden gemessen (Saxer und Mühlemann 1975). Die Messung erfolgte in allen Sextanten durch mesio-distales Streichen des papillären Sulkus mit einer stumpfen Sonde unter vorsichtigem Druck (Sondierungsdruck ca. 0,2 – 0,25 N).

Die Bewertung fand durch einen intensiv kalibrierten Zahnarzt statt, der nicht in das Zahnputztraining involviert war.

Tabelle 2.4: Bewertungsgrade des T-QHI und PBI

T-QHI	PBI
Grad 0: Keine Plaque	Grad 0: Keine Blutung nach 30 Sekunden
Grad 1: Vereinzelte Plaqueinseln	Grad 1: Blutungspunkte nach einigen Sekunden
Grad 2: Deutliche Plaqueinseln am Zahnsaum	Grad 2: Blutung sofort und in einer Linie
Grad 3: Plaque im zervikalen Drittel	Grad 3: Blutung des interdentalen Dreiecks
Grad 4: Plaque bis ins 2. Kronendrittel	Grad 4: Profuse Blutung über den marginalen Sulkus
Grad 5: Plaque bis ins 3. Kronendrittel	

Der T-QHI reicht von Score 0 (keine Plaque) bis Score 5 (Plaquesausdehnung bis in das koronale Zahndrittel). Die Bewertungsgrade des PBI reichen von Score 0 (keine Blutung, entzündungsfreie Gingiva) bis Score 4 (profuse Blutung).

2.5 Statistische Auswertung

Die Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit Frau PD Dr. A. Zapf, Institut für Medizinische Statistik der Universitätsmedizin Göttingen.

Zur Auswertung wurde sowohl deskriptive als auch analytische Statistik angewendet.

Zum Vergleich der Gruppen hinsichtlich des Alters wurde eine einfaktorielle ANOVA (Analysis of Variance) durchgeführt. Unterschiede hinsichtlich der Geschlechterverteilung wurden mit dem Chi-Quadrat-Test untersucht. Potenzielle Unterschiede hinsichtlich der Verteilung von Linkshändern wurden mit dem exakten Test von Fischer untersucht. Für den Vergleich der Mundhygiene zu Baseline (t0) wurde eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt ($p < 0.05$).

Die primären Analysen für den PBI und T-QHI wurden separat mittels kumulativen logistischen Regressionen berechnet ($p < 0.025$).

Die kumulativen logistischen Regressionen mit Messwiederholungen wurden getrennt für Δ PBI und Δ T-QHI unter Berücksichtigung der Gruppe, des Zeitpunktes und der Baselinewerte des jeweiligen Index verwendet. Neben den p-Werten zum Vergleich der Gruppe wurde als Regressionsschätzer das Odds Ratio mit zugehörigem 97,5% Konfidenzintervall angegeben.

In den sekundären Analysen wurden weitere separate kumulative logistische Regressionen durchgeführt. Diese sollten einen Einfluss der Kovariablen Alter, Geschlecht und Händigkeit auf PBI und T-QHI sowie der Lokalisation (Kiefer, Sextant, bukkale und orale Zahnfläche) berücksichtigen. Der Effekt der Kovariablen wurde für $p < 0,2$ als relevant erachtet.

3 Ergebnisse

3.1 Vergleich der deskriptiven Kenngrößen und der Gruppen untereinander

Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie den PBI- und T-QHI zu Beginn der Studie (t0) in der jeweiligen Studiengruppe. Die Gruppen unterschieden sich hinsichtlich Alter, Geschlecht und Händigkeit der Kinder nicht signifikant. Zudem waren die Ausgangswerte (t0) von T-QHI und PBI zwischen den Gruppen nicht signifikant verschieden.

Tabelle 3.1: Kenngrößen der Studiengruppe zu t0

Variable	Differenzielles Lernen des Zähneputzens	Konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens	Habituelle Zahnputztechnik	p-Wert
Alter (MW ± SD)	7,6 ± 0,6	7,3 ± 0,8	7,4 ± 0,8	0,52
Jungen (%)	9 (50)	10 (55)	11 (61)	0,80
Mädchen (%)	9 (50)	8 (44)	7 (39)	
Linkshänder (%)	3 (17)	3 (17)	2 (11)	1,00
PBI	0,7 (0,3; 0,8)	0,6 (0,4;0,8)	0,7 (0,4; 1,0)	0,8
T-QHI Bukkal	1,7 (1,3; 1,8)	1,58 (1,3; 1,8)	1,5 (1,2; 2,0)	0,9
T-QHI palatinal/lingual	1,1 (0,9; 1,7)	1,3 (0,9; 1,8)	1,4 (1,1;1,6)	0,6

Alter (Jahre, Mittelwert ± Standardabweichung), Linkshänder (absolute und relative Häufigkeit) sowie PBI und T-QHI (separat für bukkale und palatinale/linguale Zahnflächen, Median und Quartile) in den verschiedenen Gruppen.

3.2 Primäre Analysen

In Tabelle 3.2.1 werden die Differenzen von PBI und T-QHI von t1, t2 oder t3 zu Baseline (t0) angegeben. Die Abbildungen 3.2.1 und 3.2.2 zeigen eine graphische

Darstellung der Absolutwerte von PBI und T-QHI von t0 bis zu t3. Die statistischen Vergleiche innerhalb der Gruppen sind in Tabelle 3.2.2 und Tabelle 3.2.3 aufgeführt.

Durch das differenzielle Lernen des Zähneputzens wurde der Δ PBI signifikant zu t1 (-0,5), t2 (-0,7) und t3 (-0,6) im Vergleich zu Baseline (t0) reduziert. In den anderen Gruppen wurde keine signifikante Verringerung des PBI im Vergleich zu t0 beobachtet.

Der Δ T-QHI wurde zu t1 in allen Gruppen signifikant verringert. Während sich der T-QHI in der Gruppe des differenziellen Lernens von t1 bis t3 im Vergleich zu t0 reduzierte, wurden beim habituellen Zähneputzen zu t2 (-0,1) und beim Zähneputzen mit konventioneller Instruktion und Demonstration zu t3 (-0,1) die Baselinewerte bereits wieder erreicht. Zu den Zeitpunkten t1 bis t3 führte das differenzielle Lernen des Zähneputzens zu signifikant niedrigeren Plaqueswerten als zu t0 (Tabelle 3.2.1 und Abbildung 3.2.2).

Tabelle 3.2.1: Differenzen von PBI (Median, Quartile) und T-QHI (Median, Quartile) zwischen den Zeitpunkten t1 bis t3 und t0

Variable	Zeitpunkt	Differenzielles Lernen des Zähneputzens	Konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens	Habituelle Zahnputztechnik
ΔPBI	t1	-0,5 (-0,6; -0,3)	-0,3 (-0,6; -0,1)	-0,3 (-0,5; 0,0)
	t2	-0,7 (-0,8; -0,3)	-0,2 (-0,4; 0,2)	-0,2 (-0,6; 0,1)
	t3	-0,6 (-0,8; -0,3)	0,3 (-0,1; 0,5)	0,4 (0,1; 0,6)
ΔT-QHI	t1	-0,9 (-1,0; -0,7)	-0,5 (-0,9; -0,2)	-0,3 (-0,6; -0,0)
	t2	-1,0 (-1,2; -0,8)	-0,2 (-0,6; -0,0)	-0,1 (-0,5; -0,0)
	t3	-1,1 (-1,2; -0,9)	-0,1 (-0,2; -0,0)	-0,1 (-0,2; -0,0)

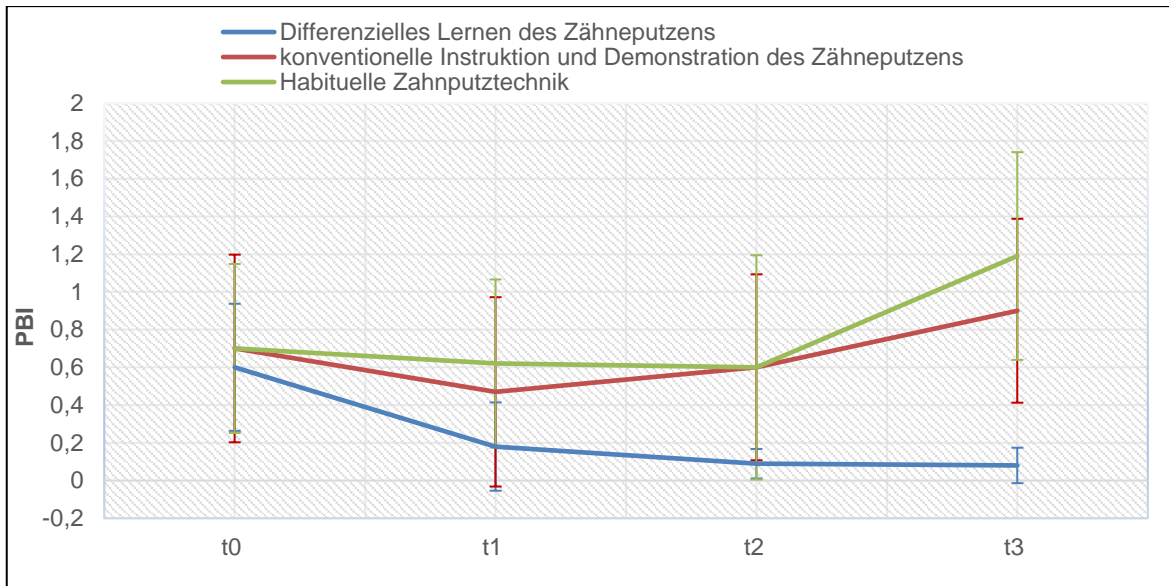


Abbildung 3.2.1: PBI (Mittelwert) zu den einzelnen Zeitpunkten t0 bis t3 in den drei Gruppen. Die vertikalen Linien geben jeweils die Standardabweichung für die einzelnen Zeitpunkte in den Gruppen an.

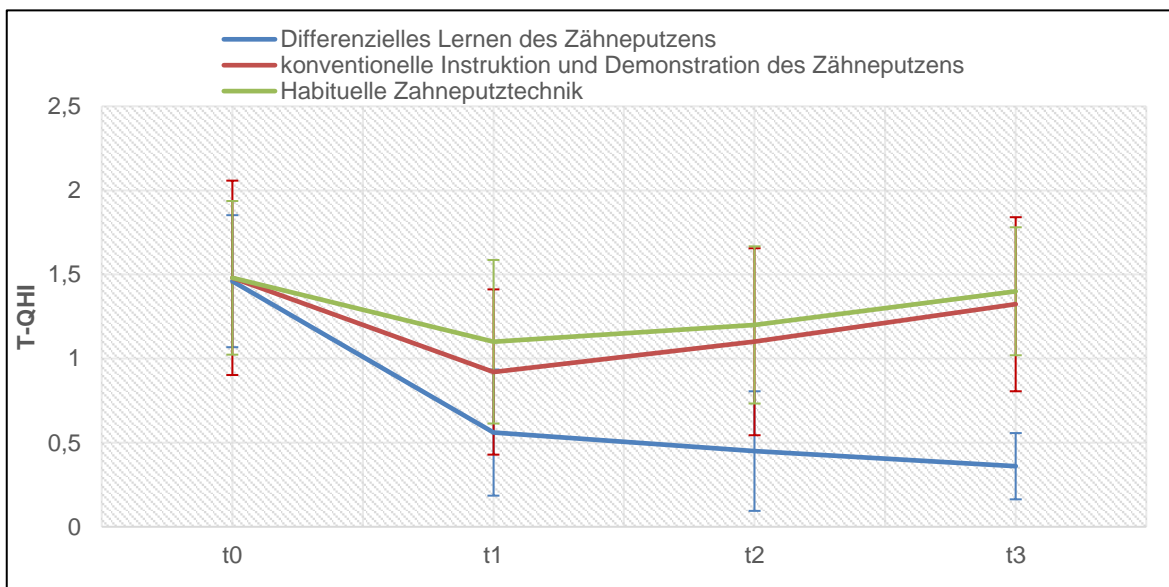


Abbildung 3.2.2: T-QHI (Mittelwert) zu den einzelnen Zeitpunkten t0 bis t3 in den drei Gruppen. Die vertikalen Linien geben jeweils die Standardabweichung für die einzelnen Zeitpunkte in den Gruppen an.

Die Vergleiche zwischen den Gruppen zu den verschiedenen Zeitpunkten t1, t2 und t3 sind in Tabelle 3.2.2 (PBI) und 3.2.3. (T-QHI) dargestellt.

Tabelle 3.2.2: Vergleich der Gruppen zu den einzelnen Zeitpunkten (t1 – t3) bezüglich des PBI (Odds Ratio, 97,5% Konfidenzintervall)

Zeit	Variable	Vergleich	Odds ratio	97,5% KI	p-Wert
t1	Gruppe	Gesamt (Gruppe A, B, C)	--	--	0,003
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. Habituelle Zahnputztechnik (Gruppe A vs. Gruppe C)	2,72	1,54 – 4,79	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe A vs. Gruppe B)	1,78	1,03 – 3,06	0,018
		Habituelle Zahnputztechnik vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe C vs. Gruppe B)	0,66	0,33 – 1,32	0,17
	Baselinewert	Gesamt	--	--	< 0,001
t2	Gruppe	Gesamt (Gruppe A, B, C)	--	--	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. Habituelle Zahnputztechnik (Gruppe A vs. Gruppe C)	3,73	2,26 – 6,15	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe A vs. Gruppe B)	3,63	2,26 – 5,85	< 0,001
		Habituelle Zahnputztechnik vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe C vs. Gruppe B)	0,97	0,47 – 2,03	0,93
	Baselinewert	Gesamt	--	--	< 0,001
t3	Gruppe	Gesamt (Gruppe A, B, C)	--	--	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. Habituelle Zahnputztechnik (Gruppe A vs. Gruppe C)	7,97	4,76 – 13,33	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe A vs. Gruppe B)	4,11	2,75 – 6,15	< 0,001
		Habituelle Zahnputztechnik vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe C vs. Gruppe B)	0,52	0,30 – 0,90	0,01
	Baselinewert	Gesamt	--	--	< 0,001

Tabelle 3.2.3: Vergleich der Gruppen zu den einzelnen Zeitpunkten (t1 – t3) bezüglich des T-QHI (Odds Ratio, 97,5% Konfidenzintervall)

Zeit	Variable	Vergleich	Odds ratio	97,5% KI	p-Wert
t1	Gruppe	Gesamt (Gruppe A, B, C)	--	--	0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. Habituelle Zahnputztechnik (Gruppe A vs. Gruppe C)	2,81	1,63 – 4,84	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe A vs. Gruppe B)	1,92	1,15 – 3,20	0,004
		Habituelle Zahnputztechnik vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe C vs. Gruppe B)	0,68	0,38 – 1,23	0,15
	Baselinewert	Gesamt	--	--	< 0,001
t2	Gruppe	Gesamt (Gruppe A, B, C)	--	--	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. Habituelle Zahnputztechnik (Gruppe A vs. Gruppe C)	3,76	2,32 – 6,11	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe A vs. Gruppe B)	3,19	1,87 – 5,44	< 0,001
		Habituelle Zahnputztechnik vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe C vs. Gruppe B)	0,85	0,48 – 1,50	0,51
	Baselinewert	Gesamt	--	--	< 0,001
t3	Gruppe	Gesamt (Gruppe A, B, C)	--	--	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. Habituelle Zahnputztechnik (Gruppe A vs. Gruppe C)	6,59	4,69 – 9,26	< 0,001
		Differenzielles Lernen des Zähneputzens vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe A vs. Gruppe B)	5,62	3,76 – 8,38	< 0,001
		Habituelle Zahnputztechnik vs. konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens (Gruppe C vs. Gruppe B)	0,85	0,61 – 1,20	0,29
	Baselinewert	Gesamt	--	--	< 0,001

3.3 Sekundäre Analysen

3.3.1 Berücksichtigung der Kovariablen Dentition, Alter, Geschlecht und Händigkeit

Die Tabelle 3.3.1 zeigt die Ergebnisse der sekundären Regressionsanalyse von PBI und T-QHI mit Berücksichtigung der Baseline-Kovariablen (Alter, Geschlecht, Händigkeit) an. Alter, Geschlecht und Händigkeit hatten überwiegend keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis.

Die Dentition (Milchzahn oder bleibender Zahn) hatte keinen relevanten Einfluss auf Δ T-QHI (t1 und t3, fehlende Konvergenz bei t2).

Der Δ PBI war etwas niedriger, wenn der Interdentalraum zwischen zwei Milchzähnen oder zwischen Zähnen der 1. und 2. Dentition beurteilt wurde als wenn der Interdentalraum zwischen bleibenden Zähnen untersucht wurde. Das Ungleichgewicht zwischen der niedrigeren Anzahl von bleibenden Zähnen im Vergleich zu Milchzähnen könnte die Aussagekraft begrenzen.

Tabelle 3.3.1: Ergebnisse der sekundären Regressionsanalyse mit Berücksichtigung der Baseline-Kovariablen (Alter, Geschlecht und Händigkeit)

Kovariable	Zeitpunkt	Variable	p-Wert PBI	p-Wert T-QHI
Alter	t1	Gruppe	0,002	0,002
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Alter	0,424	0,990
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Alter	0,174	0,137
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Alter	0,401	0,560
Geschlecht	t1	Gruppe	0,001	0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Geschlecht	0,063	0,968
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Geschlecht	0,181	0,756
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Geschlecht	0,215	0,663
Händigkeit	t1	Gruppe	0,003	0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Händigkeit	0,134	0,670
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Händigkeit	0,925	0,897
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Händigkeit	0,802	0,489

Der p-Wert gibt den Gesamteffekt des PBI und des T-QHI der Variablen (Gruppe, Baselinewert und Zahnseite) zu Alter, Geschlecht, Händigkeit zum jeweiligen Zeitpunkt (t1, t2, t3) an. Grau markiert sind die p-Werte, die einen tendenziellen Einfluss der Kovariablen zeigen ($p < 0,2$).

3.3.2 Berücksichtigung der Kovariable Lokalisation

Als Lokalisation können der Zahn, der Sextant, der Quadrant, die Seite und für den ΔT -QHI auch die bukkalen oder oralen Zahnflächen berücksichtigt werden.

In den Tabellen 3.3.2.1 und 3.3.2.2 sind die Ergebnisse der entsprechenden Regressionsanalysen zusammengefasst.

Aufgrund der Vielzahl an Analysen und der daraus resultierenden Multiplizitätsproblematik sind die Ergebnisse eingeschränkt interpretierbar. Der ΔT -QHI war von der Lokalisation in Form von Sextant, Quadrant und Kiefer beeinflusst. Der ΔPBI war von der Lokalisation in Form von Zahn und Sextant beeinflusst.

Die Gruppe des differenziellen Lernens des Zähneputzens verbesserte sich von t1 zu t3 in allen Sextanten jeweils im ΔPBI und im ΔT -QHI (Tabelle 3.3.2.2). In der Gruppe der habituellen Zahnputztechnik hat im Vergleich der ΔPBI -Werte von t3 zu t0 der Sextant keinen relevanten Einfluss. In der Gruppe konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens kam es nur im 6. Sextanten zu einer Verbesserung des PBI. Der Faktor Sextant scheint daher besonders beim Zähneputzen mit differenziellem Lernansatz einen größeren Einfluss zu haben als bei den anderen Gruppen. Dies wird insbesondere an den schwer zugänglichen Sextanten im Molarenbereich deutlich.

Tabelle 3.3.2.1: Ergebnisse der Regressionsanalyse für den ΔT -QHI unter Berücksichtigung der Zahnseite (bukkal/oral)

Lokalisation	Zeitpunkt	Variable	p-Wert
Bukkal/Oral	t1	Gruppe	0,001
		Baselinewert	< 0,001
		Zahnseite	0,504
	t2	Gruppe	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001
		Zahnseite	0,619
	t3	Gruppe	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001
		Zahnseite	0,049

Der p-Wert gibt den Gesamteffekt der Variablen (Gruppe, Baselinewert und Zahnseite) zur Lokalisation (bukkal, oral) zum jeweiligen Zeitpunkt (t1, t2, t3) an. Grau markiert ist der p-Wert, der einen tendenziellen Einfluss der Kovariablen zeigt ($p < 0,2$). Die zu der Lokalisation gehörigen p-Werte, die kleiner 0,2 sind, können einen Hinweis auf einen Effekt der Zahnseite geben.

Tabelle 3.3.2.2: Ergebnisse der Regressionsanalyse des Δ PBI und Δ T-QHI unter Berücksichtigung der Lokalisation

Lokalisation	Zeitpunkt	Variable	p-Wert Δ PBI	p-Wert Δ T-QHI
Zahn	t1	Gruppe	0,002	0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Zahn	0,066	0,357
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Zahn	0,046	0,248
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Zahn	0,076	0,276
Sextant	t1	Gruppe	0,002	0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Sextant	0,001	0,014
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Sextant	0,007	0,0548
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Sextant	0,007	0,0561
Quadrant	t1	Gruppe	0,003	0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Quadrant	0,673	0,006
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Quadrant	0,273	0,044
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Quadrant	0,469	0,061
Kiefer	t1	Gruppe	0,003	0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Kiefer	0,742	0,002
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Kiefer	0,063	0,050
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Kiefer	0,670	0,007
Seite	t1	Gruppe	0,003	0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Seite	0,229	0,048
	t2	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Seite	0,595	0,300
	t3	Gruppe	< 0,001	< 0,001
		Baselinewert	< 0,001	< 0,001
		Seite	0,496	0,935

Der p-Wert gibt den Gesamteffekt der Variablen (Gruppe, Baselinewert und Zahnseite) zur Lokalisation (Zahn, Sextant, Quadrant, Kiefer, Seite) zum jeweiligen Zeitpunkt (t1, t2, t3) an. Grau markiert sind die p-Werte, die einen tendenziellen Einfluss der Kovariablen zeigen ($p < 0,2$) und einen Hinweis auf einen Effekt der jeweiligen Lokalisation geben.

4. Diskussion

4.1 Diskussion der Methode

4.1.1 Probanden und Studienort

Da die manuelle Geschicklichkeit in Bezug auf die Ausübung der Mundhygiene nach Sarvia et al. (1989) wahrscheinlich von der visuell-motorischen Entwicklung bzw. dem Alter (Unkel et al. 1995) abhängig ist, wurde die Studie mit einer relativ homogenen Gruppe von gesunden Kindern derselben Schule durchgeführt (vergleichbares Alter, vergleichbares Geschlechterverhältnis), sodass von ähnlichen psychomotorischen und kognitiven Fähigkeiten der Kinder ausgegangen werden kann. Die Durchführung in einer Schule stellt für die vorliegende Studie eine sehr gute Voraussetzung dar, da durch ein einheitliches Umfeld/Klasse eine ähnliche Altersgruppe, ein vergleichbarer Wissensstand sowie ähnliche kognitive und psychomotorische Fähigkeiten zu erwarten sind. Durch das Ganztageskonzept konnte das Zahnputztraining in den Schulbetrieb integriert werden. Kinder mit gleichem Alter und ähnlicher manueller Geschicklichkeit hätten alternativ aus der Allgemeinbevölkerung akquiriert werden können. Jedoch wäre dadurch nicht nur die Studienorganisation aufwendiger, sondern wahrscheinlich auch die Drop-Out Quote höher gewesen.

Das Verhältnis der Geschlechter innerhalb der drei Gruppen war ausgewogen (Tabelle 3.1). Unterschiedliche geschlechterspezifische Fähigkeiten in der Ausübung der Mundhygiene sind weder zu Studienbeginn noch zum Ende erkennbar. Auch andere Studien zeigten keine geschlechterspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Mundhygienefähigkeit (Unkel et al. 1995; Korins et al. 1982). Die Zahl der Linkshänder war in allen Gruppen vergleichbar. Der Anteil der Linkshänder in der vorliegenden Studie war mit 14,8% gering und entspricht dem Anteil der Linkshänder der Bevölkerung (AWMF 2014).

Darüber hinaus waren PBI und T-QHI zu t₀ zwischen den Gruppen nicht signifikant verschieden, sodass von einer ähnlichen Mundhygiene ausgegangen werden kann. Insgesamt sind die Biofilmmakkumulation und das Auftreten von

Gingivitiden in dem untersuchten Kollektiv im Vergleich zu Studien von Rosema et al. (2012) und van Palenstein Helderman et al. (2006) als gering einzustufen.

4.1.2 Verwendete Indizes

In der vorliegenden Studie wurde die Mundhygiene mittels T-QHI und PBI klassifiziert. Es gibt zahlreiche Indizes, die die Mundhygiene klassifizieren können. In der Vergangenheit hat sich in klinischen Studien die Erhebung des T-QHI bzw. QHI und des PBI durch ihre vereinfachte, hilfsmittelarme und schmerzfreie Anwendung etabliert (Unkel et al. 1995; van Palenstein Helderman et al. 2006; Rosema et al. 2012). Im Gegensatz zu anderen Plaqueindizes, z. B. approximaler Plaqueindex (kurz: API, Lange et al. 1977), werden beim T-QHI nicht die Zahnzwischenräume, sondern die bukkalen und oralen Glattflächen bewertet. Der Approximalraum der 1. Dentition ist nicht mit dem der 2. Dentition vergleichbar. Oftmals fehlt im Wechselgebiss der Interdentalraum oder er ist zwischen den Milchzähnen deutlich größer als zwischen den bleibenden Zähnen. Folglich ist auch die Plaqueakkumulation allein auf Grund der abweichenden Morphologie des Milch- und bleibenden Gebisses unterschiedlich und erschwert eine aussagekräftige und vergleichende Diagnostik. Daher eignet sich der T-QHI im Besonderen bei der oftmals lückig stehenden 1. Dentition besser als z. B. der API. Der Plaqueindex nach Silness und Loe (1964) kann sich ebenfalls im Wechselgebiss eignen, ist sowohl hilfsmittelarm als auch schnell bestimmbar. Die sulkusnahe Plaque wird mittels Sonde und Sichtbefund in verschiedene Grade eingeteilt. Da kein Anfärben der Plaque stattfindet, ist die Diagnostik unter nicht klinischen Bedingungen fehleranfälliger. Der Visible-Plaque-Index (kurz: VPI, Ainamo und Bay 1975) eignet sich ebenfalls gut bei der Diagnostik der Plaque der 1. und 2. Dentition, ein Anfärben der Plaque erfolgt ebenfalls nicht, zusätzlich ist jedoch eine Kaltlichtsonde als diagnostisches Hilfsmittel notwendig.

Anders als bei den Plaqueindizes ermöglichen Gingivaindizes, wie z. B. der PBI, eine Verlaufskontrolle Tage zurückliegender Mundhygiene, weil die Biofilmmakkumulation erst nach einigen Tagen zu einer Gingivitis und damit zu einer messbaren Blutung führt. Demnach weist eine Gingivitis auf eine länger andauernde Plaqueakkumulation hin. Daher ergänzen sich der Plaqueindex und der Gingivaindex im Hinblick auf eine kurzfristige und mittelfristige Bewertung. In der zahnärztlichen Praxis werden Gingivaindizes, z. B. der modifizierte Sulkus-

Blutungs-Index (kurz: SBI, Mühlemann und Son 1971; Lange et al. 1977), bei dem das Vorhandensein einer Papillenblutung ohne weitere Graduierung beurteilt wird, der etwas differenziertere Papillen-Blutungs-Index (kurz: PBI, Saxer und Mühlemann 1975)) oder der durch die Anzahl der Messpunkte aufwändigere Gingivale Blutungsindex (kurz: GBI, Ainamo und Bay 1975), häufig verwendet. Der Papillen-Blutungs-Index eignet sich besonders für die vorliegende Studie, da im Vergleich zum GBI die Anzahl der Messpunkte geringer sind und die Messstellen je nach Blutungseigenschaften in verschiedene Grade unterteilt werden.

4.1.3 Zahnputztraining

Diese Studie ist die erste, die die Umsetzung des differenziellen Lernens im Rahmen der Mundhygieneinstruktion bei Kindern untersuchte. Da das Zähneputzen einen komplexen Vorgang darstellt, bei dem mehrere Faktoren (Zusammensetzung der Zahnpasta, Zahnbürstenbeschaffenheit sowie motorische Fähigkeiten und Motivation des Individuums) interagieren, bekamen die Kinder zu Beginn der Studie die gleichen Zahnbürsten und die gleiche Zahnpasta, um vergleichbare Studienbedingungen zu schaffen.

Die Kinder der Gruppe des differenziellen Lernens führten das tägliche Zähneputzen mit 15 verschiedenen und zufällig ausgewählten Übungen (1/Tag) durch, die hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades stark variierten. Im Vergleich zu Erwachsenen sind Kinder altersentsprechend wahrscheinlich ungeübter in der Ausführung der angestrebten („korrekten“) Zahnputztechnik (dos Santos et al. 2011). Schöllhorn et al. (2009) empfehlen, dass Ungeübte mit geringer Wiederholungserfahrung und großer Variabilität ihrer Bewegungswiederholung mit wenig Differenzen trainieren sollen. Im Vergleich dazu sollten Geübte, die eine höhere Konstanz in der Bewegungsausführung haben, mehr Differenzen anwenden. Bisher liegen jedoch keine konkreten Empfehlungen vor, wie viele Variationen Kinder im Rahmen des differenziellen Lernens anwenden sollten. Dazu müssten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden.

Damit die Teilnehmer in der Gruppe des differenziellen Lernens ein individuelles Bewegungsmuster ausprägen konnten, gab es keine Korrekturen der Zahnputztechnik. Sinn des differenziellen Lernens ist nicht das Erlernen einer Bewegung durch Korrektur, sondern durch immerwährende Bewegungsvariation bis hin zum Einschleifen eines optimalen Bewegungsmusters (Schöllhorn 2011).

Beim differenziellen Lernen wird davon ausgegangen, dass die Fluktuation eine leistungssteigernde Wirkung besitzt. Somit ist die Systematik des differenziellen Lernens das scheinbare Paradoxon, dass die Stabilität der Ausführung durch die Variabilität der Bewegung (Haken et al. 1985; Hatze 1986; Schöllhorn 2011) erreicht wird. Fehler sind laut Schöllhorn (2005) notwendige Voraussetzungen im selbstorganisierten Lernvorgang. Wesentlicher Bestandteil des differenziellen Lernansatzes zur Retention des Erlernten ist die Variation. So gibt es nie zweimal die gleiche Bewegung. Stattdessen soll der differenziell Übende mit unterschiedlichen Aufgaben erreichen, auch auf neue Situationen im Bereich des Lösungsraumes schneller adäquat reagieren zu können (Schöllhorn 2011). So bereitet die Konfrontation mit ständig neuen Bewegungsaufgaben auf das Phänomen der Nichtwiederholbarkeit vor und erlaubt das individuelle Optimum zu erreichen (Schöllhorn 2005). Im Gehirn werden diese erfolgreiche Bewegungsoptima durch phasische, dopaminerge Aktivitäten optimiert. Dabei kommt es zur Kooperationsinterpendenz von Synapsen und Nervenzellen, welches als neurale Plastizität beschrieben wird, in den für die Bewegungskontrolle entscheidenden Bereichen, z. B. dem Striatum und dem motorischen Kortex (Beck 2012; Pawlak und Kerr 2008; Reynolds und Wickens JR 2002; Shen et al. 2008). Oft involvierte Neuronen bewirken Synapsenverstärkungen (Beck 2008), sodass weitere Zellverbindungen durch das differenzielle Lernen miteinander verflochten werden.

Zahlreiche Phänomene weisen auf den Einfluss des „Rauschens“ (bzw. des Einschleifens einer Bewegung bis zum Optimum) auf den Trainierenden hin. Das bekannteste und am effektivsten lernende System ist das der Kleinkinder in den ersten Lebensjahren. Es ist dadurch charakterisiert, dass kaum Bewegungswiederholungen stattfinden und dennoch ein Lernfortschritt zum Beispiel bis hin zum ersten Schritt erreicht werden (Smith und Thelen 1993). Wird das „Rauschen“ für die Instruktion der Mundhygiene zu „groß“ gewählt, z. B. wird das Zähneputzen durch Übungen wie „Gesicht waschen“ oder „Haare kämmen“ ergänzt, wäre in einem solchen Fall laut Schöllhorn (2005) mit einer geringeren Leistungssteigerung zu rechnen.

Da jedoch nur begrenzte Daten über das differenzielle Lernen im Rahmen von feinmotorischen Fertigkeiten bei Kindern verfügbar sind (Vehof et al. 2009), sollte der optimale Trainingsumfang und die Qualität der Trainingsstationen weiter

untersucht werden. Ebenfalls sollte geprüft werden, welche Übungen sich auch im Alltag in die Durchführung des Zähneputzens integrieren lassen.

In der zweiten Gruppe wurden die Kinder mit Hilfe des traditionellen Ansatzes verbal und durch praktische Demonstration am Modell instruiert. Üblicherweise wird die Zahnputztechnik durch wiederholendes Üben einer „idealen“ Zahnputztechnik erlernt (Haleem et al. 2016; Emler et al. 1980; Levin et al. 2015; Simmons et al. 1983; Ogasawara et al. 1992; Poche et al. 1982). Der Lernprozess beinhaltet auch Korrekturen durch den Lehrenden.

Hinsichtlich der verschiedenen Methoden der Instruktion (z. B. verbale Instruktion, Demonstration am Modell oder im Mund, visuelle Instruktion mittels Broschüre, audiovisuelle Instruktion per App) konnten Schlueter et al. (2010) zeigen, dass die Erlernbarkeit einer Zahnputztechnik bei Erwachsenen durch die Kombination von verbaler Instruktion und praktischer Demonstration am Modell im Vergleich zur alleinigen verbalen Instruktion oder praktischen Demonstration verbessert wird. Jedoch konnte auch nach Instruktion keine vollständige Plaquefreiheit erreicht werden. In der zweiten Nachuntersuchung vier Wochen nach Studienbeginn näherten sich die Ergebnisse wieder den Ausgangswerten an. So kann durch die traditionelle Mundhygieneinstruktion eine kurzfristige Verbesserung der Mundhygieneausübung auftreten, diese ist jedoch in der Regel langfristig nicht aufrecht zu halten, bzw. sind erneute Instruktionswiederholungen nötig, um einen Leistungsabfall nach der Trainingsphase zu reduzieren (Shenoy und Sequeira 2010; Schou und Wight 1994). Dennoch werden auch nach Wiederholungen die Ergebnisse, die nach einer intensiven Trainingsphase erlangt wurden, in der Regel selten erreicht. Es ist ebenfalls anzunehmen, dass von Wiederholung zu Wiederholung die Motivation der Instruierten abnimmt, da augenscheinlich Bekanntes immer und immer nahezu identisch repetiert wird. Neue Einflüsse finden nicht statt, sodass als kontraproduktiver Effekt Unterforderung zu schlechterer Compliance führen kann.

Erfahrungsgemäß wird das Interesse von Kindern oft über den spielerischen Weg des Lernens erreicht. Die bisherigen Instruktionsmedien für die kindliche Sichtweise erscheinen begrenzt, da außer Medien, wie beispielsweise Spiel-Apps, spielbasierte Unterrichtskonzepte (Malik et al. 2017; Maheswari et al. 2014) und Demonstrationen am Modell, weniger auf die kindliche Interessenslage eingegangen wird. Zudem werden die momentan verfügbaren Spiel-Apps für

Kinder auf Grund der mangelnden Gesundheitsaufklärung und Mundhygieneinstruktion als unzureichend bewertet (Sharif und Alkadhimi 2019).

Gleichwohl belegen sie den Lernansatz, dass die Mundgesundheit von Kindern durch spielerische Interventionen bei der Mundhygieneinstruktion verbessert werden kann (Sharif und Alkadhimi 2019; Sigaud et al. 2017; Malik et al. 2017; Maheswari et al. 2014). Dieses Konzept findet sich insbesondere in den Trainings- und Spielvariationen der differenziellen Lernmethode wieder.

Die Kinder in der Gruppe des habituellen Zähneputzens putzten so, wie sie es von klein auf im häuslichen Umfeld vermittelt bekommen haben. Eine kurzzeitige Motivation und eine damit verbundene Verbesserung der Mundhygiene ist auf Grund der Teilnahme an einer Studie denkbar. Studien von Emler et al. (1980) bestätigen jedoch, dass ohne eine fachspezifische Instruktion und Demonstration keine dauerhafte effiziente Ausführung der Mundhygiene zu erwarten ist.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Im Vergleich der Mundhygieneindizes von t0 zu t1 führte das zusätzliche tägliche Zahnputztraining in allen Gruppen, sogar in der Kontrollgruppe (habituelles Zähneputzen), zu verbesserten PBI- und T-QHI-Werten. Abgesehen vom 15-tägigen Zahnputztraining wurde vor der Studie kein gemeinsames Zähneputzen in der Schule angeboten. Daher ist davon auszugehen, dass sich zunächst alle Gruppen im PBI und T-QHI zu t1 durch das zusätzliche Putzen im Rahmen des Schulalltags im Vergleich zu Studienbeginn (t0) verbesserten. Darüber hinaus könnte der Hawthorne-Effekt zur Verbesserung der Mundhygiene beigetragen haben, weil die Probanden eventuell als Studienteilnehmer ihr natürliches Verhalten verändert haben (Heasman et al. 1998; Feil et al. 2002). Zusätzlich ist davon auszugehen, dass besonders Kinder als Studienteilnehmer über das normale Maß hinaus motiviert sein könnten, weil die Teilnahme an einem außergewöhnlichen Programm eine spielerische Unterbrechung des gewöhnlichen Schulalltags dargestellt hat. Es liegt nahe, dass für die Studienteilnehmer damit womöglich eine gründlichere Mundhygiene verbunden war, die zur Steigerung der Plaqueentfernung führte.

Allerdings wurde in der Kontrollgruppe und der Gruppe der konventionellen Instruktion der Zahnputztechnik nur ein kurzfristiger Effekt auf die

Plaqueentfernung beobachtet. Der T-QHI wurde durch das habituelle Zähneputzen nur zum Zeitpunkt t1 und durch das wiederholende Üben zu t1 und t2 signifikant verringert. Der PBI wurde im Vergleich zur Gruppe der differenziellen Lernmethode in den anderen beiden Gruppen nicht signifikant verbessert. Es kann angenommen werden, dass die anfängliche Motivation (Gruppe des habituellen Zähneputzens) nachlässt bzw. in der erlernten Technik (Gruppe der konventionellen Instruktion und Demonstration der Zahnputztechnik) Rückschritte gemacht werden, indem sich durch die monotone Repetition Nachlässigkeiten in der Systematik der Putztechnik durch ggf. Unterforderung manifestieren.

Insgesamt zeigten sich zwischen Milchzähnen und bleibenden Zähnen keine bzw. kaum Unterscheide. Frühere Studien zeigten, dass die Entstehung von Gingivitis und die Plaquebildung in beiden Dentitionen ähnlich sind (Ramberg 1994). Mögliche Auswirkungen des differenziellen Lernens auf das Milch- und bleibende Gebiss bedürfen weiterer Studien.

Die vorliegenden Studienergebnisse legen den Schluss nahe, dass die dauerhafte Umsetzung einer instruierten Zahnputztechnik bzw. -systematik für Kinder im Alltag schwer durchführbar zu sein scheint. Auch eine aktuelle Studie von Deinzer et al. (2019) zeigt, dass nur wenige zwölfjährige Kinder, die im Rahmen der Gruppenprophylaxe jährlich in einer Zahnputztechnik und -systematik instruiert wurden, in der Lage waren diese nachfolgend richtig umzusetzen. In den Studien zum Effekt der konventionellen Zahnputzinstruktion bei Kindern von Srivastava et al. (2013) und Simmons et al. (1983) wird ebenfalls in der Regel ein kurzfristiger Leistungserfolg beschrieben, längerfristige Kontrolluntersuchungen wurden meist nicht durchgeführt. Langjährige Projekte, wie ein zweijähriges Schulprojekt bei dem täglich das Zähneputzen von Lehrern beaufsichtigt und kontrolliert wurde, zeigten ebenfalls keinen statistischen Unterschied zwischen konventioneller Instruktion und habituellem Zähneputzen ohne Instruktion (Rosema et al. 2012).

Im unmittelbaren Vergleich der Gruppen untereinander erzielte die Gruppe des differenziellen Lernens bessere PBI und T-QHI Werte als die anderen beiden Gruppen. Insofern zeigen die Ergebnisse zur Mundhygieneausübung mit Hilfe des differenziellen Lernansatzes deutliche Übereinstimmungen zu Ergebnissen aus der sportwissenschaftlichen Didaktik (Schöllhorn et al. 2012; Savelsbergh et al. 2010; Schöllhorn et al. 2008). Sportwissenschaftliche Studien zeigten, dass initial

sowohl das konventionelle Training als auch die differenzielle Lernmethode zu vergleichbaren Verbesserungen führen (Schöllhorn et al. 2008; Schöllhorn et al. 2006; Schöllhorn et al. 2012; Beckmann und Schöllhorn 2006). Allerdings verbesserten sich die differenziell Trainierenden nach der Trainingsphase weiter (Beckmann und Schöllhorn 2006). Im Gegensatz dazu fiel die Gruppe der traditionell Trainierenden nach der Trainingsphase wieder auf ihren ursprünglichen Trainingszustand zurück (Beckmann und Schöllhorn 2006). Der Effekt des differenziellen Lernens wurde für verschiedene Sportarten untersucht, wie z. B. im Handball (Pfeiffer und Jaitner 2003), Tennis (Schöllhorn et al. 2008), Kugelstoßen (Beckmann und Schöllhorn 2006) oder Fußball (Schöllhorn et al. 2004). Auch sind Experimente zum Schreiberwerb bei Grundschulern (Vehof et al. 2009) hervorzuheben, bei denen korrespondierend zu den sportwissenschaftlichen Studien eine Verbesserung der Trainingsleistung sowie ein nachhaltiger Trainingserfolg im Vergleich zum konventionellen Training erzielt werden konnte. Diese Ergebnisse scheinen auf Grundlage der vorliegenden Studienergebnisse auch auf die Erlernbarkeit der Mundhygiene projizierbar zu sein.

Die vorliegenden Studienergebnisse haben außerdem gezeigt, dass das differenzielle Lernen unabhängig vom Alter, Geschlecht und Händigkeit der Probanden ist. Außerdem hat die differenzielle Lernmethode zu allen Zeitpunkten einen besseren Effekt auf die Seiten- als auf die Frontzähne. Demzufolge ist das differenzielle Lernen des Zähneputzens im Seitenzahnbereich effektiver als im Frontzahnbereich. Unter der Berücksichtigung, dass sich häufiger Plaque an den Molaren als im Frontzahnggebiet und auf lingualen als auf bukkalen Flächen befindet (Rosema et al. 2012; Tsamtsouris et al. 1979; Feldens et al. 2006), könnte das differenzielle Lernen zu einer verbesserten Mundhygiene im Seitenzahnbereich beitragen, auch wenn dieser Unterschied bislang noch nicht zu erklären ist. Dennoch ist dies in Anbetracht der gewöhnlich schlechteren Mundhygiene im Seitenzahnbereich (Rosema et al. 2012; Tsamtsouris et al. 1979; Koroluk et al. 1994; Feldens et al. 2006) ein interessantes Studienergebnis.

Abschließend kann diskutiert werden, ob die differenzielle Lernmethodik im Rahmen der Gruppenprophylaxe einsetzbar ist, vor allem wenn kostenarme und einfach durchzuführende Übungen, wie das Putzen mit der nicht dominanten Hand oder mit geschlossenen Augen, angewendet werden (Pabel et al. 2018). Darüber hinaus sollte hinsichtlich des optimalen Umfangs analysiert werden, welchen

Einfluss Dauer, Frequenz und Schwierigkeit der Differenzen auf die Probanden haben. Ebenso wäre von Interesse welche Ergebnisse mit der differenziellen Lernmethode erzielt werden können, wenn sie bei Kindern mit schlechter Mundhygiene angewendet wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit der differenziellen Lernmethode die T-QHI und PBI Indizes nach neun Wochen signifikant reduziert werden konnten. Auf Grund der Tatsache, dass Kindern die Durchführung einer regelmäßigen und korrekten Putzsystematik schwierig zu sein scheint, sollte in nachfolgenden Studien die Langzeitwirkung des differenziellen Lernansatzes in der Mundhygieneinstruktion weiter überprüft werden.

5 Zusammenfassung

Zielsetzung: Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss eines Zahnputztrainings unter Anwendung des differenziellen Lernansatzes auf die Plaque- und Gingivitisreduktion bei Grundschulkindern zu untersuchen und mit der Methode der konventionellen Instruktion und Demonstration einer Zahnputztechnik sowie dem habituellen Zähneputzen zu vergleichen.

Material und Methode: In der Studie wurden 54 Schülerinnen und Schüler zwischen sechs und neun Jahren gleichmäßig in drei Behandlungsgruppen zu je 18 Kindern aufgeteilt. Anschließend wurden die drei Gruppen einem Zahnputztraining (3 Wochen, je 5 Werktage, täglich: ca. 3 Minuten) unterzogen: Gruppe A (differenzielles Lernen des Zähneputzens), Gruppe B (konventionelle Instruktion und Demonstration des Zähneputzens), Gruppe C (habituelle Zahnputztechnik). Der differenzielle Lernansatz (Gruppe A) bestand aus 15 verschiedenen Bewegungsübungen (1/Tag), während Gruppe B in der KAI-Methode instruiert wurde, welche auf dem Prinzip der Wiederholung und Korrektur basiert. Zur Kontrolle der Mundhygiene wurde der nach Turesky modifizierte Quigley-Hein-Index (T-QHI) und der Papillen-Blutungs-Index (PBI) zu Beginn der Studie (t₀), nach 21 Tagen (t₁), 42 Tagen (t₂) und 63 Tagen (t₃) gemessen. Die statistische Analyse wurde mittels ANOVA und logistischer Regression ($p < 0,025$) durchgeführt.

Ergebnisse: Zu den Zeitpunkten t₁ bis t₃ führte das differenzielle Lernen zu besseren Ergebnissen als die konventionelle Instruktion und Demonstration und die habituelle Zahnputztechnik. Im Vergleich zu t₀ führte das differenzielle Lernen zu einer signifikant verbesserten Gingivitis- und Plaquerreduktion zu allen Zeitpunkten. In den anderen Gruppen konnte keine signifikante Reduktion des PBI beobachtet werden. Der T-QHI wurde durch das habituelle Zähneputzen nur zum Zeitpunkt t₁ und durch konventionelle Instruktion und Demonstration zu den Zeitpunkten t₁ und t₂ signifikant reduziert. Die differenzielle Lernmethode hatte einen besseren Einfluss auf die Molaren als auf die Frontzähne.

Schlussfolgerung: Die differenzielle Lernmethode führt zu einer signifikant besseren Mundhygiene als das habituelle Putzen und das Putzen nach konventioneller Instruktion und Demonstration.

6 Literaturverzeichnis

- Addy M, Hunter ML (2003): Can tooth brushing damage your health? Effects on oral and dental tissues. *Int Dent J* 53 Suppl 3, 177–186
- Addy M, Dummer PM, Griffiths G, Hicks R, Kingdon A, Shaw WC (1986): Prevalence of plaque, gingivitis and caries in 11-12-year-old children in South Wales. *Community Dent Oral Epidemiol* 14, 115–118
- Ainamo J, Bay I (1975): Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *Int Dent J* 25, 229–235
- Arbeitsgemeinschaft Zahngesundheit (2004): Kinder. http://www.agz-rnk.de/agz/content/3/3_2/3_2_1/3_2_1_2/index.php; abgerufen am 11.08.2016
- Attin T, Hornecker E (2005): Tooth brushing and oral health: how frequently and when should tooth brushing be performed? *Oral Health Prev Dent* 3, 135–140
- Auschill T, Sälzer S, Arweiler N, Beck J, Einwag J, Fresmann S, Gabel S, Jablonski-Momeni A, Welk A, Ziller S et al. (2018): Häusliches chemisches Biofilmmangement in der Prävention und Therapie der Gingivitis. S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Parodontologie, 2018. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-016l_S3_Haeusliches-chemisches-Biofilmmangement-Praevention-Therapie-Gingivitis_2018-11.pdf; abgerufen am 28.03.2020
- AWMF (2014): Händigkeit – Bedeutung und Untersuchung. S1-Leitlinie der Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-017l_S1_Haendigkeit_Bedeutung_Untersuchung_2014-12.pdf; abgerufen am 15.02.2018
- Axelsson P, Lindhe J (1978): Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. *J Clin Periodontol* 5, 133–151
- Axelsson P, Nystrom 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. *J Clin Periodontol* 31, 749–757

- Baluda MI, Vinnichenko IA, Popovkina OA, Pakhomova IV, Zhidkova IP (2012): Clinical evaluation of the effectiveness of manual toothbrushes with different brush field characteristics. *Stomatologija (Mosk)* 91, 38–41
- Barenie JT, Leske GS, Ripa LW (1976): The effect of toothbrushing frequency on oral hygiene and gingival health in schoolchildren: Reassessment after two and one-half years. *J Public Health Dent* 36, 9–16
- Barnarius R, Mieler I, Singert M (1967): Untersuchungen über den Reinigungseffekt von Zahnbürsten und Zahnpasten. *Dtsch Stomatol* 17, 598–606
- Beck F (2008): Sportmotorik und Gehirn: Differenzielles Lernen aus der Perspektive interner Informationsvorgänge. *Sportwissenschaft* 38, 423–450
- Beck F (2012): Besitzen Polymorphismen der Dopamingene Einfluss auf motorisches Lernen? *Spectrum der Sportwissenschaften* 24, 5–16
- Beckmann H, Schöllhorn W (2006): Differenzielles Lernen im Kugelstoßen. *Leistungssport* 36, 44–50
- Ben Amara H, Song HY, Ryu E, Park JS, Schwarz F, Kim BM, Choi BK, Koo KT (2018): Effects of quorum-sensing inhibition on experimental periodontitis induced by mixed infection in mice. *Eur J Oral Sci* 126, 449–457
- Benzian H, Holmgren C, Buijs M, van Loveren C, van der Weijden FA, van Palenstein Helderma WH (2012): Total and free available fluoride in toothpastes in Brunei, Cambodia, Laos, the Netherlands and Suriname. *Int Dent J* 62, 213–221
- Bergenholtz A, Hugoson A, Sohlberg F (1967): An evaluation of the plaque-removing ability of some aids to oral hygiene. *Sven Tandlak Tidskr* 60, 447–454
- Bernstein N: The coordination and regulation of movements. Pergamon, Oxford 1967
- Bijela M (1999): A importância da educação em saúde bucal nos programas preventivos para crianças. *J Bras Odontoped Odontol do Bebê* 6, 127–131

- Bock NC, von Bremen J, Kraft M, Ruf S (2010): Plaque control effectiveness and handling of interdental brushes during multibracket treatment – a randomized clinical trial. *Eur J Orthod* 32, 408–413
- Bosma ML (2011): Maintenance of gingival health post professional care. *Int Dent J* 61 Suppl 3, 1–3
- Bratel J, Berggren U (1991): Long-term oral effects of manual or electric toothbrushes used by mentally handicapped adults. *Clin Prev Dent* 13, 5–7
- Bratel J, Berggren U, Hirsch JM (1988): Electric or manual toothbrush? A comparison of the effects on the oral health of mentally handicapped adults. *Clin Prev Dent* 10, 23–26
- Busscher HJ, van der Mei HC (1997): Physico-chemical interactions in initial microbial adhesion and relevance for biofilm formation. *Adv Dent Res* 11, 24–32
- Candelária LF, Teramoto L, Lopes AM, Ortiz G, Moraes AT (1989): Estudo sobre motivação e reforço de motivação em escovação dentária, em escolares de 7 a 10 anos. *Rev Odont UNESP* 18, 217–223
- Chambrone L, Preshaw PM, Rosa EF, Heasman PA, Romito GA, Pannuti CM, Tu YK (2013): Effects of smoking cessation on the outcomes of non-surgical periodontal therapy: A systematic review and individual patient data meta-analysis. *J Clin Periodontol* 40, 607–615
- Chapple ILC, Genco R (2013): Diabetes and periodontal diseases: Consensus report of the Joint EFP/AAP Workshop on Periodontitis and Systemic Diseases. *J Periodontol* 84, 106–112
- Chapple ILC, van der Weijden FA, Doerfer C, Herrera D, Shapira L, Polak D, Madianos P, Louropoulou A, Machtei E, Donos N et al. (2015): Primary prevention of periodontitis: Managing gingivitis. *J Clin Periodontol* 42, 71–76
- Costerton JW, Stewart PS (2001): Battling biofilms. *Sci Am* 285, 74–81
- Creeth JE, Gallagher A, Sowinski J, Bowman J, Barrett K, Lowe S, Patel K, Bosma ML (2009): The effect of brushing time and dentifrice on dental plaque removal in vivo. *J Dent Hyg* 83, 111–116

- Daly CG, Chapple CC, Cameron AC (1996): Effect of toothbrush wear on plaque control. *J Clin Periodontol* 23, 45–49
- Dawes C (2003): What is the critical pH and why does a tooth dissolve in acid? *J Can Dent Assoc* 69, 722–724
- Deinzer R, Cordes O, Weber J, Hassebrauck L, Weik U, Krämer N, Pieper K, Margraf-Stiksrud J (2019): Toothbrushing behavior in children – an observational study of toothbrushing performance in 12 year olds. *BMC Oral Health* 19, 68
- De Smit MJ, Westra J, Brouwer E, Janssen KM, Vissink A, van Winkelhoff AJ (2015): Commentary: Periodontitis and rheumatoid arthritis: What do we know? *J Periodontol* 86, 1013–1019
- DIN EN ISO 20126 (2005): DIN EN ISO 20126, Zahnheilkunde - Handzahnbürsten - Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren (ISO 20126:2012 + Amd 1:2018); Deutsche Fassung EN ISO 20126:2012 + A1:2018 <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-20126/286766582>; abgerufen am 25.03.2020
- DMS IV: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie: Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln 2006
- Dos Santos AP, Nadanovsky P, de Oliveira BH (2011): Inconsistencies in recommendations on oral hygiene practices for children by professional dental and paediatric organisations in ten countries. *Int J Paediatr Dent* 21, 223–231
- Einwag J: Prophylaxe. In: Einwag J, Pieper K (Hrsg.): *Kinderzahnheilkunde*. 3. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer, München 2007, 114-122
- Emler BF, Windchy AM, Zaino SW, Feldman SM, Scheetz JP (1980): The value of repetition and reinforcement in improving oral hygiene performance. *J Periodontol* 51, 228–234
- Fedder H: *Wirksames Zähneputzen: Entwicklung und Erprobung einer Mundhygieneanleitung im Medienverbund*. Med. Diss. Hannover 1986

- Feil PH, Grauer JS, Gadbury-Amyot CC, Kula K, McCunniff MD (2002): Intentional use of the Hawthorne effect to improve oral hygiene compliance in orthodontic patients. *J Dent Educ* 66, 1129–1135
- Feldens EG, Kramer PF, Feldens CA, Ferreira SH (2006): Distribution of plaque and gingivitis and associated factors in 3- to 5-year-old Brazilian children. *J Dent Child (Chic)* 73, 4–10
- Folwaczny M, Hickel R (2003): Biofilm-Problem oder Perspektive. *Dtsch Zahnarztl Z* 58, 648–659
- Frandsen A: Mechanical oral hygiene practices. In: Loe H, Kleinman M (Hrsg.): *Dental plaque control measures and oral hygiene practices*. 1. Auflage; Chem Senses, Oxford 1986, 93-116
- Frandsen AM, Barbano JP, Suomi JD, Chang JJ, Burke AD (1970): The effectiveness of the Charters', scrub and roll methods of toothbrushing by professionals in removing plaque. *Scand J Dent Res* 78, 459–463
- Frank TD, Michelbrink M, Beckmann H, Schöllhorn W (2008): A quantitative dynamical systems approach to differential learning: self-organization principle and order parameter equations. *Biol Cybern* 98, 19–31
- Ganß C, Schlüter N (2016): Zähneputzen – Mythen und Wahrheiten. *Quintessence Int* 67, 1061–1067
- Gibbons RJ, Hay DI, Cisar JO, Clark WB (1988): Adsorbed salivary proline-rich protein 1 and statherin: Receptors for type 1 fimbriae of *Actinomyces viscosus* T14V-J1 on apatitic surfaces. *Infect Immun* 56, 2990–2993
- Gibbons RJ, Hay DI, Schlesinger DH (1991): Delineation of a segment of adsorbed salivary acidic proline-rich proteins which promotes adhesion of *Streptococcus gordonii* to apatitic surfaces. *Infect Immun* 59, 2948–2954
- Grossman E, Proskin H (1997): A comparison of the efficacy and safety of an electric and a manual children's toothbrush. *J Am Dent Assoc* 128, 469–474
- Guertzen W, Hellwig E, Klimek J (2013): Grundlegende Empfehlungen zur Kariesprophylaxe im bleibenden Gebiss. *Dtsch Zahnarztl Z* 68, 639–646
- Habbu SG, Krishnappa P (2015): Effectiveness of oral health education in children – a systematic review of current evidence (2005-2011). *Int Dent J* 65, 57–64

- Haken H, Kelso JA, Bunz H (1985): A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biol Cybern* 51, 347–356
- Haleem A, Khan MK, Sufia S, Chaudhry S, Siddiqui MI, Khan AA (2016): The role of repetition and reinforcement in school-based oral health education – a cluster randomized controlled trial. *BMC Public Health* 16, 2
- Hamby GR, Johnston K, Pierson D (1973): Clinical evaluation of two toothbrushes. *Tex Dent* 91, 10–13
- Hansen F, Gjermo P (1971): The plaque-removing effect of four toothbrushing methods. *Scand J Dent Res* 79, 502–506
- Hatze H (1986): Motion variability – its definition, quantification and origin. *J Mot Behav* 18, 5–16
- Hawkins BF, Kohout FJ, Lainson PA, Heckert A (1986): Duration of toothbrushing for effective plaque control. *Quintessence Int* 17, 361–365
- Heasman P, Wilson Z, Macgregor I, Kelly P (1998): Comparative study of electric and manual toothbrushes in patients with fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114, 45–49
- Heasman PA, Holliday R, Bryant A, Preshaw PM (2015): Evidence for the occurrence of gingival recession and non-carious cervical lesions as a consequence of traumatic toothbrushing. *J Clin Periodontol* 42, 237–255
- Heidemann D: Parodontologie. 3. Auflage; Urban & Schwarzenberg, München 1997
- Hellwege KD: Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe: Ein Leitfaden für die Individualprophylaxe, Gruppenprophylaxe und initiale Parodontaltherapie. 6. Auflage; Thieme, Stuttgart 2003
- Hellwig E, Lennon AM (2004): Systemic versus topical fluoride. *Caries Res* 38, 258–262
- Hellwig E, Schäfer E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. 7. Auflage; Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln 2018

- Henseling M (2014): Die differenzielle Lernmethode. <http://spielverlagerung.de/2014/11/13/die-differenzielle-lernmethode/>; abgerufen am 04.04.2016
- Himi K, Takeichi O, Imai K, Hatori K, Tamura T, Ogiso B (2019): Epstein-Barr virus reactivation by persistent apical periodontal pathogens. *Int Endod J* 53, 492–505
- Himmer K, Eickholz P (2008): Elektrische Zahnbürsten – ein Überblick. *Quintessenz* 11, 1181–1192
- Hoenderdos NL, Slot DE, Paraskevas S, van der Weijden GA (2008): The efficacy of woodsticks on plaque and gingival inflammation: a systematic review. *Int J Dent Hyg* 6, 280–289
- Hohmann A, Lames M, Letzelter M: Einführung in die Trainingswissenschaft. 3. Auflage; Limpert, Wiebelsheim 2003
- Huber B, Rüeger K, Hefti K (1985): Der Einfluss der Zahnreinigungsdauer auf die Plaquereduktion. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 95, 958–992
- Hujoel PP, Cunha-Cruz J, Banting DW, Loesche WJ (2006): Dental flossing and interproximal caries: a systematic review. *J Dent Res* 85, 298–305
- Iijima Y, Takagi O (2000): In situ acid resistance of in vivo formed white spot lesions. *Caries Res* 34, 388–394
- Imai K, Ogata Y (2020): How does Epstein-Barr Virus contribute to chronic periodontitis? *Int J Mol Sci* 21, 1940
- Jackson MA, Kellett M, Worthington HV, Clerehugh V (2006): Comparison of interdental cleaning methods: a randomized controlled trial. *J Periodontol* 77, 1421–1429
- Jongenelis AP, Wiedemann W (1997): A comparison of plaque removal effectiveness of an electric versus a manual toothbrush in children. *ASDC J Dent Child* 64, 176–182, 165
- Kandemir S (1987): It is possible to clean the bottom of bridges with dental floss. *Dent* 2, 10–11
- Keyes PH (1962): Recent advances in dental caries research: bacteriology. *Int Dent J* 12, 443–464

- Kimmelman BB, Tassman GC (1957): Research in the toothbrush: Basis and initial findings. *J Albert Einstein Med Cent (Phila)* 6, 30–38
- Kolenbrander PE, London J (1993): Adhere today, here tomorrow: Oral bacterial adherence. *J Bacteriol* 175, 3247–3252
- Kollehn K: Gebissgesundheit: Materialien für die Grundschulen (Klassen 1 - 4). 3. Auflage; Verein für Zahnhygiene, Darmstadt 2007
- König KG: Karies und Kariesprophylaxe. 2. Auflage; Goldmann, München 1973
- Korins JI, Sposato A, Leske GS, Ripa LW (1982): Toothbrushing efficiency of first-grade children. *J Pedod* 6, 148–158
- Koroluk LD, Hoover JN, Komiyama K (1994): Factors related to plaque distribution in a group of Canadian preschool children. *Int J Paediatr Dent* 4, 167–172
- Lang NP, Cumming BR, Loe H (1973): Toothbrushing frequency as it relates to plaque development and gingival health. *J Periodontol* 44, 396–405
- Lange DE, Plagmann HC, Eenboom A, Promesberger A (1977): Klinische Bewertungsverfahren zur Objektivierung der Mundhygiene. *Dtsch Zahnärztl Z* 32, 44–47
- Leach SA, Saxton CA (1966): An electron microscopic study of the acquired pellicle and plaque formed on the enamel of human incisors. *Arch Oral Biol* 11, 1081–1094
- Leal SC, Bezerra ACB, de Toledo OA (2002): Effectiveness of teaching methods for toothbrushing in preschool children. *Braz Dent J* 13, 133–136
- Leske GS, Ripa LW, Barenie JT (1976): Comparisons of caries prevalence of children with different daily toothbrushing frequencies. *Community Dent Oral Epidemiol* 4, 102–105
- Levin L, Bilder L, Borisov O (2015): Improving oral hygiene skills among children undergoing treatment at the haemato-oncology department – an interventional programme. *Int Dent J* 65, 211–215
- Lindmark U, Do T, Do Q, Bengtsson A (2012): Effectiveness of oral hygiene after supervised tooth-brushing education in six-year-old children at a primary school in Vietnam. *J Behav Health Serv Res* 1, 279–285

- Listgarten MA (1976): Structure of the microbial flora associated with periodontal health and disease in man. A light and electron microscopic study. *J Periodontol* 47, 1–18
- Löe H, Theilade E, Jensen SB (1965): Experimental gingivitis in man. *J Periodontol* 36, 177–187
- Macgregor IDM, Rugg-Gunn AJ (1979): A survey of toothbrushing sequence in children and young adults. *J Periodontal Res* 14, 225–230
- MacPherson LMD, MacFarlane TW, Stephen KW (1991): An in situ microbiological study of the early colonisation of human enamel surfaces. *Microb Ecol Health Dis* 4, 39–46
- Maheswari UN, Asokan S, Asokan S, Kumaran ST (2014): Effects of conventional vs game-based oral health education on children's oral health-related knowledge and oral hygiene status – a prospective study. *Oral Health Prev Dent* 12, 331–336
- Malik A, Sabharwal S, Kumar A, Singh Samant P, Singh A, Kumar Pandey V (2017): Implementation of game-based oral health education vs conventional oral health education on children's oral health-related knowledge and oral hygiene status. *Int J Clin Pediatr Dent* 10, 257–260
- Marinho VC, Higgins JP, Sheiham A, Logan S (2003): Fluoride toothpastes for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* 2003, CD002278
- Mayhall CW (1970): Concerning the composition and source of the acquired enamel pellicle of human teeth. *Arch Oral Biol* 15, 1327–1341
- Mazhari F, Boskabady M, Moeintaghavi A, Habibi A (2018): The effect of tooth brushing and flossing sequence on interdental plaque reduction and fluoride retention: A randomized controlled clinical trial. *J Periodontol* 89, 824–832
- McCracken GI, Janssen J, Swan M, Steen N, de Jager M, Heasman PA (2003): Effect of brushing force and time on plaque removal using a powered toothbrush. *J Clin Periodontol* 30, 409–413
- Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstrand K: *Karies: Wissenschaft und Klinische Praxis*. Thieme, Stuttgart 2012

- Meyle J, Chapple I (2015): Molecular aspects of the pathogenesis of periodontitis. *Periodontol 2000* 69, 7–17
- Miller WD: Die Mikroorganismen der Mundhöhle: Die örtlichen und allgemeinen Erkrankungen, welche durch dieselben hervorgerufen werden. Thieme, Leipzig 1889
- Moran JM, Addy M, Newcombe RG (1995): A comparative study of stain removal with two electric toothbrushes and a manual brush. *J Clin Dent* 6, 188–193
- Morris AJ, Steele J, White DA (2001): The oral cleanliness and periodontal health of UK adults in 1998. *Br Dent J* 191, 186–192
- Mühlemann HR, Son S (1971): Gingival sulcus bleeding – a leading symptom in initial gingivitis. *Helv Odontol Acta* 15, 107–113
- Müller HP: Parodontologie. 3. Auflage; Thieme, Stuttgart 2012
- Muller-Bolla M, Courson F (2013): Toothbrushing methods to use in children: a systematic review. *Oral Health Prev Dent* 11, 341–347
- Muller-Bolla M, Courson F, Maniere-Ezvan A, Viargues P (2011): Toothbrushing – Which method to use? *Rev Odontostomatol* 40, 239–260
- Mulry CA, Dellerman PA, Ludwa RJ, White DJ, Wild JE (1992): A comparison of the end-rounding of nylon bristles in commercial toothbrushes: Crest Complete and Oral-B. *J Clin Dent* 3, 47–50
- Newman HN, Wilson M: Dental plaque revisited: Oral biofilms in health and disease; proceedings of a conference held at the Royal College of Physicians. BioLine, Cardiff 1999
- Nociti FH, Casati MZ, Duarte PM (2015): Current perspective of the impact of smoking on the progression and treatment of periodontitis. *Periodontol 2000* 67, 187–210
- O’Leary T (1984): Emphasis: current approaches to prevention control. *J Am Dent Assoc* 1984, 690–702
- Ofek I, Sharon N (1990): Adhesins as lectins: specificity and role in infection. *Curr Top Microbiol Immunol* 151, 91–113

- Ögaard B, Rølla G, Ruben JA, Dijkman T, Arends J (1988): Microradiographic study of demineralization of shark enamel in a human caries model. *Eur J Oral Sci* 96, 209–211
- Ogasawara T, Watanabe T, Kasahara H (1992): Readiness for toothbrushing of young children. *ASDC J Dent Child* 59, 353–359
- Pabel SO, Freitag F, Hrasky V, Zapf A, Wiegand A (2018): Randomised controlled trial on differential learning of toothbrushing in 6- to 9-year-old children. *Clin Oral Investig* 22, 2219–2228
- Pabel SO, Freitag-Plaschke F, Hrasky V, Zapf A, Wiegand A (2020): Zähneputzen lernen – Variabilität statt Wiederholung? *Oralprophylaxe und Kinderzahnheilkunde* 42, 33–37
- Page RC, Schroeder HE (1976): Pathogenesis of inflammatory periodontal disease; a summary of current work. *Lab Invest* 34, 235–249
- Paraskevas S, Timmerman MF, van der Velden U, van der Weijden GA (2006): Additional effect of dentifrices on the instant efficacy of toothbrushing. *J Periodontol* 77, 1522–1527
- Pawlak V, Kerr JND (2008): Dopamine receptor activation is required for corticostriatal spike-timing-dependent plasticity. *J Neurosci* 28, 2435–2446
- Pfeiffer M, Jaitner T (2003): Sprungkraft im Nachwuchstraining Handball: Training und Diagnose. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft* 10, 86–95
- Poche C, McCubbrey H, Munn T (1982): The development of correct toothbrushing technique in preschool children. *J Appl Behav Anal* 15, 315–320
- Poklepovic T, Worthington HV, Johnson TM, Sambunjak D, Imai P, Clarkson JE, Tugwell P (2013): Interdental brushing for the prevention and control of periodontal diseases and dental caries in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2013, CD009857
- Quigley G, Hein JW (1962): Comparative cleansing efficiency of manual and power brushing. *J Am Dent Assoc* 65, 26–29
- Quirynen M, Bollen CM (1995): The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. A review of the literature. *J Clin Periodontol* 22, 1–14

- Ramseier CA, Mirra D, Schütz C, Sculean A, Lang NP, Walter C, Salvi GE (2015): Bleeding on Probing as it relates to smoking status in patients enrolled in supportive periodontal therapy for at least 5 years. *J Clin Periodontol* 42, 150–159
- Rateitschak KH, Rateitschak EM, Wolf HF: Parodontologie. 2. Auflage; Thieme, Stuttgart 1989
- Reardon RC, Cronin M, Balbo F, Schiff T, Menaker L, Weatherford TW, Walley D, Vidra J, Zib K (1993): Four clinical studies comparing the efficacy of flat-trim and multi-level trim commercial toothbrushes. *J Clin Dent* 4, 101–105
- Reynolds JN, Wickens JR (2002): Dopamine-dependent plasticity of corticostriatal synapses. *Neural Netw* 15, 507–521
- Richardson AS, Boyd MA, Conry RF (1977): A correlation study of diet, oral hygiene and dental caries in 457 Canadian children. *Community Dent Oral Epidemiol* 5, 227–230
- Ritz HL (1967): Microbial population shifts in developing human dental plaque. *Arch Oral Biol* 12, 1561–1568
- Rosan B, Lamont RJ (2000): Dental plaque formation. *Microbes Infect* 2, 1599–1607
- Rosema NAM, van Palenstein Helderma WH, van der Weijden GA (2012): Gingivitis and plaque scores of 8- to 11-year-old Burmese children following participation in a 2-year school-based toothbrushing programme. *Int J Dent Hyg* 10, 163–168
- Rosema NAM, Slot DE, van Palenstein Helderma WH, Wiggelinkhuizen L, van der Weijden GA (2016): The efficacy of powered toothbrushes following a brushing exercise: A systematic review. *Int J Dent Hygiene* 14, 29–41
- Rosing CK, Daudt FARL, Festugatto FE, Oppermann RV (2006): Efficacy of interdental plaque control aids in periodontal maintenance patients: A comparative study. *Oral Health Prev Dent* 4, 99–103
- Rossi GN, Sorazabal AL, Salgado PA, Squassi AF KGL (2016): Toothbrushing procedure in schoolchildren with no previous formal instruction: variables associated to dental biofilm removal. *Acta Odontol Latinoam* 29, 82–89

- Rugg-Gunn AJ, Macgregor IDM (1978): A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. *J Periodontal Res* 13, 382–389
- Sälzer S, Slot DE, van der Weijden FA, Dorfer CE (2015): Efficacy of inter-dental mechanical plaque control in managing gingivitis – a meta-review. *J Clin Periodontol* 42 Suppl 16, 92–105
- Sandstrom A, Cressey J, Stecksén-Blicks C (2011): Tooth-brushing behaviour in 6-12 year olds. *Int J Paediatr Dent* 21, 43–49
- Sarvia ME, Bush JP, Mourino AP (1989): Psychomotor skills and incentive as predictors in a children's toothbrushing program. *J Pedod* 14, 31–35
- Savelsbergh GJ, Kamper WJ, Rabius J, de Koning JJ, Schöllhorn W (2010): A new method to learn to start in speed skating: a differential learning approach. *Int J Sport Psychol* 41, 415–427
- Saxer UP, Mühlemann HR (1975): Motivation und Aufklärung. *Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 85, 905–919
- Schaefer AS, Bochenek G, Jochens A, Ellinghaus D, Dommisch H, Güzeldemir-Akçakanat E, Graetz C, Harks I, Jockel-Schneider Y, Weinspach K et al. (2015): Genetic evidence for plasminogen as a shared genetic risk factor of coronary artery disease and periodontitis. *Circ Cardiovasc Genet* 8, 159–167
- Schlueter N, Klimek J, Saleschke G, Ganss C (2010): Adoption of a toothbrushing technique: a controlled, randomised clinical trial. *Clin Oral Investig* 14, 99–106
- Schmid MO, Balmelli OP, Saxer UP (1976): Plaque-removing effect of a toothbrush, dental floss, and a toothpick. *J Clin Periodontol* 3, 157–165
- Schöllhorn W (1999): Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport* 29, 2–12
- Schöllhorn W: Eine Sprint- und Laufschule für alle Sportarten (Differenzielles Lernen). Meyer und Meyer, Aachen 2003
- Schöllhorn W: Differenzielles Lehren und Lernen von Bewegung – Durch veränderte Annahmen von Konsequenzen. In: Gabler H, Göhner U, Schiebl F (Hrsg.): Zur Vernetzung von Forschung und Lehre in Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft: 6. gemeinsames Symposium der

- dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft vom 12.-14. Februar 2004 in Tübingen. dvs, Hamburg 2005, 125–135
- Schöllhorn W (2011): Differenzielles Bewegungsklernen – Erfolg durch Abwechslung. *Physiopraxis* 9, 32–35
- Schöllhorn W (2012): Differenzielles Bewegungsklernen – Variationsreich zum Erfolg. *Ergopraxis* 5, 28–31
- Schöllhorn W, Sechelmann M, Trockel M, Westers R (2004): Nie das Richtige trainieren, um richtig zu spielen. *Leistungssport* 34, 13–17
- Schöllhorn W, Beckmann H, Michelbrink M, Sechelmann M, Trockel M, Davids K (2006): Does noise provide a basis for the unification of motor learning theories? *Int J Sport Psychol* 37, 1–21
- Schöllhorn W, Humpert V, Oelenberg M, Michelbrink M, Beckmann H (2008): Differenzielles und Mentales Training im Tennis. *Leistungssport*, 10–14
- Schöllhorn W, Mayer-Kress G, Newell KM, Michelbrink M (2009): Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Hum Mov Sci* 28, 319–333
- Schöllhorn W, Hegen P, Davids K (2012): The nonlinear nature of learning – a differential learning approach. *Open Sports Sci J* 5, 100–112
- Schou L, Wight C (1994): Does dental health education affect inequalities in dental health? *Community Dent Health* 11, 97–100
- Schroeder HE: Pathobiologie oraler Strukturen: Zähne, Pulpa, Parodont. 3. Auflage; Karger, Basel 1997
- Scully CM, Wade AS (1970): The relative plaque-removing effect of brushes of different length and texture. *Dent Pract* 20, 224–248
- Sharif MO, Alkadhimi A (2019): Patient focused oral hygiene apps: An assessment of quality (using MARS) and knowledge content. *Br Dent J* 227, 383–386
- Sharma NC, Galustians J, McCool JJ, Rustogi KN, Volpe AR (1994): The clinical effects on plaque and gingivitis over three-month's use of four complex-design manual toothbrushes. *J Clin Dent* 5, 114–118

- Sharon N (1987): Bacterial lectins, cell-cell recognition and infectious disease. *FEBS Lett* 217, 145–157
- Shellis RP (1984): Relationship between human enamel structure and the formation of caries-like lesions in vitro. *Arch Oral Biol* 29, 975–981
- Shen W, Flajolet M, Greengard P, Surmeier DJ (2008): Dichotomous dopaminergic control of striatal synaptic plasticity. *Science* 321, 848–851
- Shenoy RP, Sequeira PS (2010): Effectiveness of a school dental education program in improving oral health knowledge and oral hygiene practices and status of 12- to 13-year-old school children. *Indian J Dent Res* 21, 253–259
- Sigaud CHS, Santos BRD, Costa P, Toriyama ATM (2017): Promoting oral care in the preschool child: Effects of a playful learning intervention. *Rev Bras Enferm* 70, 519–525
- Silness J, Loe H (1964): Periodontal disease in pregnancy. II. Correlation between oral hygiene and periodontal condition. *Acta Odontol Scand* 22, 121–135
- Simmons S, Smith R, Gelbier S (1983): Effect of oral hygiene instruction on brushing skills in preschool children. *Community Dent Oral Epidemiol* 11, 193–198
- Slomiany BL, Murty VL, Zdebska E, Slomiany A, Gwozdzinski K, Mandel ID (1986): Tooth surface-pellicle lipids and their role in the protection of dental enamel against lactic-acid diffusion in man. *Arch Oral Biol* 31, 187–191
- Slot DE, Wiggelinkhuizen L, Rosema NAM, van der Weijden GA (2012): The efficacy of manual toothbrushes following a brushing exercise: a systematic review. *Int J Dent Hyg* 10, 187–197
- Smith L, Thelen E: Dynamic systems approach to development: Applications. Bradford Books, Cognitive Psychology 1993
- Srivastava N, Vasishat A, Gupta G, Rana V (2013): A comparative evaluation of efficacy of different teaching methods of tooth brushing in children contributors. *J Oral Hyg Health* 1, 118
- Stroski ML, de Souza Dal Maso AM, Wambier LM, Chibinski ACR, Pochapski MT, Santos FA, Wambier DS (2011): Clinical evaluation of three toothbrush models tested by schoolchildren. *Int J Dent Hyg* 9, 149–154

- Techakampuch P (1979): Clinical study on the effectiveness of dental floss for cleaning fixed bridges. *J Dent Assoc Thai* 29, 171–182
- Ten Cate JM (1999): Current concepts on the theories of the mechanism of action of fluoride. *Acta Odontol Scand* 57, 325–329
- Ten Cate JM, Featherstone JD (1991): Mechanistic aspects of the interactions between fluoride and dental enamel. *Crit Rev Oral Biol Med* 2, 283–296
- Tonetti MS (2009): Periodontitis and risk for atherosclerosis: An update on intervention trials. *J Clin Periodontol* 36, 15–19
- Tonetti MS, van Dyke TE (2013): Periodontitis and atherosclerotic cardiovascular disease: Consensus report of the Joint EFP/AAP Workshop on Periodontitis and Systemic Diseases. *J Clin Periodontol* 40, 24–29
- Tsamtsouris A, White GE, Clark ER (1979): The effect of instruction and supervised toothbrushing on the reduction of dental plaque in kindergarten children. *J Dent Children*, 204–209
- Turesky S, Glickman I, Sandberg R (1972): In vitro chemical inhibition of plaque formation. *J Periodontol* 43, 263–269
- Unkel JH, Fenton SJ, Hobbs G, JR, Frere CL (1995): Toothbrushing ability is related to age in children. *ASDC J Dent Child* 62, 346–348
- Valkenburg C, Slot DE, Bakker EWP, van der Weijden FA (2016): Does dentifrice use help to remove plaque? A systematic review. *J Clin Periodontol* 43, 1050–1058
- Van Palenstein Helderman WH, Kyaing MM, Aung MT, Soe W, Rosema NAM, van der Weijden GA, van 't Hof MA (2006): Plaque removal by young children using old and new toothbrushes. *J Dent Res* 85, 1138–1142
- Van der Weijden FA, Slot DE (2011): Oral hygiene in the prevention of periodontal diseases: the evidence. *Periodontol 2000* 55, 104–123
- Van der Weijden FA, Slot DE (2015): Efficacy of homecare regimens for mechanical plaque removal in managing gingivitis a meta review. *J Clin Periodontol* 42 Suppl 16, 77–91

- Van der Weijden GA, Timmerman M, Nijboer A, Lie M, van der Velden U (1993): A comparative study of electric toothbrushes for the effectiveness of plaque removal in relation to toothbrushing duration. *J Clin Periodontol* 20, 476–481
- Van der Weijden GA, Timmerman MF, Reijerse E, Danser MM, Mantel MS, Nijboer A, van der Velden U (1994): The long-term effect of an oscillating/rotating electric toothbrush on gingivitis. An 8-month clinical study. *J Clin Periodontol* 21, 139–145
- Vehof K, Janssen D, Schöllhorn W: Schreiberwerb in der Primarstufe mit Hilfe des differenziellen Lernansatzes. In: Krüger M, Neuber N, Brach M, Reinhart K (Hrsg.): *Bildungspotenziale im Sport*. Czwalina, Hamburg 2009, 290
- Versteeg PA, Rosema NAM, Timmerman MF, van der Velden U, van der Weijden GA (2008): Evaluation of two soft manual toothbrushes with different filament designs in relation to gingival abrasion and plaque removing efficacy. *Int J Dent Hyg* 6, 166–173
- Volpenhein DW, Hartman WL (1996): A comparative evaluation of the in vitro penetration performance of the improved Crest Complete toothbrush versus the Colgate Total toothbrush and the Oral-B Advantage toothbrush. *J Clin Dent* 7, 101–105
- Wagner H, Müller E, Brunner F (2004): Systemdynamische oder programmorientierte Lernmethoden. *Leistungssport* 34, 54–62
- Wainwright J, Sheiham A (2014): An analysis of methods of toothbrushing recommended by dental associations, toothpaste and toothbrush companies and in dental texts. *Br Dent J* 217, 140–141
- Walmsley AD (1997): The electric toothbrush: a review. *Br Dent J* 182, 209–218
- Walsh T, Wortington HV, Am Glenny, Applebe P, Marinho VC, Shi X (2010): Fluoride toothpastes of different concentrations for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* 20, CD007868
- Watnick PI, Lauriano CM, Klose KE, Croal L, Kolter R (2001): The absence of a flagellum leads to altered colony morphology, biofilm development and virulence in *Vibrio cholerae* O139. *Mol Microbiol* 39, 223–235

- Wiegand A, Schlueter N (2014): The role of oral hygiene: Does toothbrushing harm? *Monogr Oral Sci* 25, 215–219
- Williams K, Ferrante A, Dockter K, Haun J, Biesbrock A, Bartizek R (2004): One- and 3-minute plaque removal by a battery-powered versus a manual toothbrush. *J Periodontol* 75, 1107–1113
- Williford JW, Muhler JC, Stookey GK (1967): Study demonstrating improved oral health through education. *J Am Dent Assoc* 75, 896–902
- Winterfeld T, Schlueter N, Klimek J, Ganss C (2013): Consistency of Toothbrushing Habits: A Pilot Video Analysis Study: Abstract: 60th ORCA Congress. *Caries Res* 47, 433–531
- Winterfeld T, Schlueter N, Harnacke D, Illig J, Margraf-Stiksrud J, Deinzer R, Ganss C (2015): Toothbrushing and flossing behaviour in young adults – a video observation. *Clin Oral Investig* 19, 851–858
- Wright GZ, Banting DW, Feasby WH (1977): Effect of interdental flossing on the incidence of proximal caries in children. *J Dent Res* 56, 574–578
- Wright GZ, Feasby WH, Banting DB (1980): The effectiveness of interdental flossing with and without a fluoride dentifrice. *Pediatr Dent* 2, 105–109
- Yaacob M, Worthington HV, Deacon SA, Deery C, Walmsley AD, Robinson PG, Glenny AM (2014): Powered versus manual toothbrushing for oral health. *Cochrane Database Syst Rev* 2014, CD002281
- Yankell SL, Shi X, Emling RC (1992): Comparative laboratory evaluation of three toothbrushes regarding interproximal access efficacy. *J Clin Dent* 3, 5–8
- Yankell SL, Emling RC, Shi X (1997): Interproximal access efficacy of Sonicare Plus and Braun Oral-B Ultra compared to a manual toothbrush. *J Clin Dent* 8, 26–29
- Zimmer S: Mundhygiene und Mundhygienehilfsmittel. In: Roulet J-F, Zimmer S (Hrsg.): *Prophylaxe und Präventivzahnmedizin*. Thieme, Stuttgart 2002, 47–49

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben, nochmals herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt:

Prof. Dr. A. Wiegand für ihre unermüdliche Tatkraft bei der Betreuung und der Durchsicht der Arbeit,

Prof. Dr. G. Reich für die freundliche und gute Betreuung dieser Arbeit,

Dr. S. Pabel und Dr. V. Hráský für ihre freundliche Unterstützung im Rahmen der Studiendurchführung und die fachliche Beratung,

PD Dr. A. Zapf für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten und den Schülerinnen und Schülern der GTS Drispstedt für ihre freiwillige Teilnahme an der Studie.

