

Aus der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

(Direktor: Prof. Dr. C. Dörfer)

im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel

an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Wurzeloberflächenbearbeitung – Effizienz und Lernverhalten
verschiedener Instrumente in der curricularen Ausbildung**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Paula Fecke

aus Warburg

Kiel 2020

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Christian Graetz, Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Sönke Harder, Praxis für Zahnmedizin und Implantologie Harder / Mehl

Tag der mündlichen Prüfung: 19.03.2021

Zum Druck genehmigt, Kiel, den: 30.11.2020

Gezeichnet: Prof. Petra Ambrosch (stellv. Vorsitzende des Ausschusses für Promotion)

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur und Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Parodontitis	2
1.3 Therapie einer Parodontitis	2
1.3.1 Mechanische Wurzeloberflächenbearbeitung	3
1.3.2 Instrumente	5
1.3.2.1 Handinstrumente	5
1.3.2.2 Maschinelle Scaler	6
1.3.3 Behandler & Erfahrung	8
1.4 Curriculare Ausbildung im Fach Parodontologie	8
1.4.1 Theorie im studentischen Curriculum Parodontologie	9
1.4.2 Praxis im studentischen Curriculum Parodontologie	9
1.5 Ziele und Fragestellungen	10
2 Material und Methode	11
2.1 In-vitro-Simulation	11
2.1.2 Artificielle Konkremente	12
2.1.3 Artificieller Biofilm	12
2.2 Entwicklung des digitalen Lernprogramms Scaling	13
2.3 Instrumente	14
2.3.1 Handinstrumente	14
2.3.2 Maschinelle Instrumente	15
2.4 Ablauf der Beobachtungsphase während der curricularen Ausbildung am Phantom	16
2.5 Erfassung der Ergebnisse	17

2.5.1 Kamera, Objektiv und Aufbau.....	17
2.6 Analyse der Effektivität der Reinigungsleistung	18
2.7 Datenanalyse und statistische Auswertung	20
3 Ergebnisse	21
3.1 Reinigungsleistung Konkremente	21
3.1.1 Handinstrumente GRA	22
3.1.2 Schallscaler AIR	22
3.2 Reinigungsleistung Biofilm	23
3.2.1 Handinstrumente GRA	23
3.2.2 Schallscaler AIR	24
3.3 Zeit	24
3.3.1 Handinstrumente GRA	25
3.3.2 Schallscaler AIR	26
3.4 Effizienzanalyse der Reinigung mit Handinstrumenten und maschinellm Scaler	30
3.4.1 Lernkurven für die Entfernung des artifiziellen Biofilms.....	30
3.4.2 Lernkurven für die Entfernung der artifiziellen Konkremente	32
3.4.3 Vergleich zwischen Oberkiefer und Unterkiefer	34
3.4.4 Betrachtung auf Zahnebene	36
4 Diskussion	38
4.1 Diskussion der Ergebnisse.....	38
4.2 Diskussion der Limitationen	43
4.2.1 Modelle	43
4.2.2 Methodik	45
4.3 Schlussfolgerungen und Ausblick	48
5 Zusammenfassung.....	51
6 Literaturverzeichnis	53

7	Danksagungen.....	65
8	Lebenslauf.....	66
9	Publikation	67

Nomenklatur und Abkürzungsverzeichnis

% Prozent

AIR Schallscaler

aPDT antibakterielle photodynamische Therapie

aPTT antibakterielle photothermische Therapie

BOP Bleeding on Probing

EFP European Federation of Periodontology

GMT geschlossene mechanische Therapie

GRA Handinstrument

kHz Kilohertz

min Minuten

ml Milliliter

mm Millimeter

nm Nanometer

PWS Pulver-Wasserstrahl (-Gerät)

µm Mikrometer

RCE-b relative Reinigungsleistung Biofilm

RCE-d relative Reinigungsleistung Konkremente

SRP Scaling & Root Planing

UPT unterstützende Parodontitistherapie

UV ultraviolett

Anmerkung zur Schreibweise

Um eine bessere Lesbarkeit zu gewährleisten, wird in der folgenden Arbeit auf eine gendergerechte Schreibweise verzichtet. Das verwendete generische Maskulinum gilt im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Ursächlich für entzündliche Erkrankungen des Zahnhalteapparates ist, neben vielen anderen beeinflussenden Faktoren, die mikrobielle Plaque auf der Zahnoberfläche (Nunn, 2003). Die nicht mineralisierten Auflagerungen (Biofilm, Plaque) zusammen mit mineralisierten Auflagerungen (Zahnstein, Konkrementen) sorgen im Laufe eines Entzündungsprozesses für die Destruktion der parodontalen Strukturen, die Freilegung der Wurzeloberfläche und bei fehlender Behandlung letztendlich für den Verlust des Zahnes. Die Selbstreinigungskräfte der Mundhöhle und auch eine gute häusliche Mundhygiene reichen nicht aus, um mineralisierte Auflagerungen und subgingival liegende Plaque selbst zu entfernen (Dörfer & Staehle, 2010). Hier bedarf es professioneller Hilfe durch die zahnärztliche Praxis, welche durch ein systematisches Vorgehen mittels Prävention und Prophylaxe einschließlich Motivation mit individueller Instruktion der häuslichen Mundhygiene die Voraussetzungen für die Gesunderhaltung aller oralen Strukturen schafft (Graetz, Elsayed, Sälzer & Dörfer, 2018).

Bei einer bereits entstandenen Erkrankung des Zahnhalteapparates wie einer Gingivitis oder Parodontitis muss der Behandler bei der Entfernung dieser ursächlichen Auflagerungen besonders sorgfältig und gewissenhaft vorgehen. Diese Art der Behandlung ist jedoch sehr zeitintensiv, erfordert Training (Rühling et al., 2002) und in den meisten Fällen bleibt ein gewisser Prozentsatz, gerade im subgingivalen Bereich der Zahnoberfläche, unbehandelt (Kocher, Rühling, Momsen & Plagmann, 1997). Wissenschaftliche Untersuchungen konnten in Bezug auf die Effektivität einer Behandlung zeigen, dass neben der Wahl des geeigneten Instrumentes (Kocher, Rühling, et al., 1997) auch die Motivation und Selbsteinschätzung des Behandlers (König et al., 2002) eine wichtige Rolle spielt. Darüber hinaus gibt es aber auch ergonomische Gesichtspunkte, die sowohl für den Behandler (Effektivität) als auch für den Patienten (Ergebnis) zu beachten sind (Graetz, Plaumann, et al., 2016).

Zusammenfassend kann angenommen werden, dass bei der Therapiewahl neben dem Verhältnis von Wirkung (z.B. Reinigungsleistung) zu Nebenwirkung (z.B. Destruktion der Zahnhartsubstanz) die folgenden Punkte berücksichtigt werden sollten: (1) eigene Erfahrung im Umgang mit den Instrumenten, (2) eigene Motivation,

eine adäquate Therapie durchzuführen, (3) die Verfügbarkeit geeigneter Instrumente, (4) nationale Regularien zur Durchführung und Abrechnung der Maßnahmen und (5) praxisspezifische Aspekte wie das Zeit- und Kostenmanagement. Möglicherweise spielt aber auch ein bisher wenig untersuchter Aspekt, nämlich die spezifische Art und Weise des Trainings zur Handhabung der verschiedenen Instrumente eine entscheidende Rolle bei der Reinigung von Wurzeloberflächen (Rühling et al., 2002).

1.2 Parodontitis

Die Entstehung einer Parodontitis ist wie oben bereits erwähnt multifaktoriell bedingt. Als entscheidender Faktor für das Auftreten und die Progression einer Parodontitis gelten pathogene Mikroorganismen (Dommisch & Jepsen, 2015; Kerschull & Papapanou, 2011; Meyle & Chapple, 2015). Um zu verstehen, was eine parodontale Erkrankung ausmacht, sollte zunächst die parodontale Gesundheit definiert werden. Als parodontale Gesundheit wird die Symbiose aus natürlich vorkommendem Biofilm und der angemessenen Immunantwort des Wirts verstanden (Kilian et al., 2016). Eine Parodontitis ist dementsprechend als Folge einer Dysbiose, also eines Ungleichgewichts zwischen den verschiedenen bakteriellen Spezies und einer damit einhergehenden gesteigerten proinflammatorischen Wirtsantwort zu erklären (Marsh & Zaura, 2017).

Darüber hinaus tragen auch die genetisch determinierte unspezifische und spezifische Immunabwehr, sowie Allgemeinsyndrome und Allgemeinerkrankungen zur Ausbildung einer Parodontitis bei. Ebenfalls nicht zu vergessen sind Gewohnheiten wie Rauchen, Alkoholkonsum und die Ernährung, da diese im direkten und indirekten Zusammenhang die Entzündungsreaktion des Organismus aber auch den Biofilm beeinflussen (Kilian et al., 2016; Wolf, Rateitschak & Rateitschak, 2012).

1.3 Therapie einer Parodontitis

Eine erfolgreiche Behandlung einer Parodontitis besteht darin, die Entzündungs- und Zerstörungsprozesse aufzuhalten, einen gesunden Zustand wiederherzustellen und diesen zu erhalten und damit den Zahnerhalt dauerhaft zu sichern (Plagmann, 1998). Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Behandlung der Parodontitis scheint deren systematische und an den Schweregrad und Umfang angepasste Therapie zu sein

(Plagmann, 1998). Dabei lassen sich verschiedene Phasen unterscheiden deren Behandlungsschritte aufeinander aufbauen; die initiale / antiinfektiöse, die korrektive und die unterstützende Phase (Plagmann, 1998).

Im Rahmen der initialen Phase der antiinfektiösen Therapie stehen die Motivation und Instruktion des Patienten im Vordergrund, um neben einer Verhaltensveränderung (Ernährung, Rauchverhalten) auch die häusliche Mundhygiene den individuellen Gegebenheiten anzupassen. Im Anschluss an die Initialtherapie erfolgt die Entfernung bzw. Disruption des dysbiotischen Biofilms und seiner mineralisierten Ablagerungen durch eine mechanische Instrumentierung der Zahnwurzeloberflächen im Rahmen eines geschlossenen Vorgehens (geschlossene mechanische Therapie, GMT), historisch als Scaling und Root Planing bezeichnet (SRP).

Falls im Anschluss während der Reevaluation noch Behandlungsbedarf, z. B. aufgrund von aktiven Taschen oder fortgeschrittener Furkationsbeteiligung festgestellt wird, kann eine korrektive Phase zur weiteren Reduktion von Sondierungstiefen und / oder zur Regeneration parodontaler Strukturen mit chirurgischen Maßnahmen (offenes Vorgehen durch Elevation eines Zugangslappens) erfolgen.

Danach schließt sich eine erneute Reevaluation der bisherigen Therapiemaßnahmen an und bei Erfolg dieser, schließt sich die unterstützende Parodontitistherapie (UPT) zur Sicherung des dauerhaften Therapieerfolges an. Diese lebenslange Nachsorge dient der regelmäßigen Kontrolle der Entzündungsfreiheit und ermöglicht ein sofortiges Eingreifen bei wiederauftretenden Entzündungsprozessen, weshalb die Intervalle der Sitzungen risikoorientiert geplant werden müssen (Plagmann, 1998). Sollte erneut weiterführender Behandlungsbedarf bestehen, kann der Patient wieder im Rahmen der antiinfektiösen oder Korrektivtherapiephase mit entsprechenden Maßnahmen behandelt werden (Hellwig, Klimek & Attin, 2013).

1.3.1 Mechanische Wurzeloberflächenbearbeitung

Die mechanische Wurzeloberflächenbearbeitung zur Entfernung des dysbiotischen Biofilms und seiner mineralisierten Auflagerungen ist bis heute essentieller Teil der Therapie einer Parodontitis (Laleman et al., 2017). Hierfür steht eine Vielzahl an Instrumenten und Verfahren zur Verfügung. Die klassische Instrumentierung der Wurzeloberfläche kann sowohl mit Handinstrumenten (z.B. Gracey-Küretten), als auch mit maschinell betriebenen Systemen, wie Schall- oder Ultraschallscalern erfolgen. In

klinischen Studien konnten keine gravierenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Instrumententypen in Bezug auf deren Effektivität bei der Entfernung von Biofilm festgestellt werden (Suvan et al., 2019; Tunkel, Heinecke & Flemmig, 2002). Vielmehr wird eine Kombination aus manuellen und maschinellen Systemen empfohlen (Jepsen, Deschner, Braun, Schwarz & Eberhard, 2011). Die Instrumentierung kann Seiten- bzw. Quadrantenweise erfolgen oder in Form eines Full-Mouth-Scaling in einem Termin bzw. innerhalb von 24 Stunden. Klinische Studien zeigen keinen Vorteil einer der Varianten (Eberhard, Jepsen, Jervoe-Storm, Needleman & Worthington, 2015; Suvan et al., 2019). Alternativ oder auch ergänzend zu der Instrumentierung mit Handinstrumenten und maschinellen Systemen können optische Verfahren mit Lasern unterschiedlicher Wellenlängen verwendet werden. Mit der klassischen Instrumentierung vergleichbare Ergebnisse erzielt z.B. der Erbium:YAG-Hartgewebslaser, jedoch ist der Einsatz mit einem erhöhten Zeitaufwand verbunden (Sgolastra, Petrucci, Gatto & Monaco, 2012). Laser mit geringerer Wellenlänge eignen sich eher als Ergänzung zur klassischen Therapie, wobei der klinisch relevante langfristige Nutzen unklar bleibt (Sgolastra, Severino, Gatto & Monaco, 2013; Sgolastra, Severino, Petrucci, Gatto & Monaco, 2014). Ebenfalls noch nicht ausreichend untersucht sind der Einsatz der antibakteriellen photodynamischen und photothermischen Therapie (aPDT & aPTT). Es gibt jedoch Studien, die zeigen, dass der zusätzliche Einsatz einer aPDT zum herkömmlichen SRP zu einer signifikanten Verringerung der Blutung auf Sondieren (BOP) nach drei und sechs Monaten führt (Novaes et al., 2012; Yilmaz et al., 2002). Außerdem hat die kombinierte Anwendung auch einen positiven Effekt auf die Sondierungstiefen und das klinische Attachmentlevel (Chondros et al., 2009). Entsprechend aktueller parodontaler Behandlungsempfehlungen der Europäischen Gesellschaft für Parodontologie (EFP) fehlt bis heute ein Nachweis patientenrelevanter Vorteile, da die verfügbare Evidenz zur adjuvanten Therapie mit Laser und aPDT durch die geringe Anzahl randomisiert klinisch-kontrollierter Studien und die Heterogenität der Studiendesigns begrenzt ist (Salvi et al., 2019).

Im Rahmen der UPT ist der Einsatz von Pulver-Wasserstrahl-Geräten (PWS-Geräte) derzeit sehr populär. Mit diesen kann Biofilm schnell und gründlich mithilfe eines meist auf Glycin basierenden, abrasiven Pulvers entfernt werden (Flemmig et al., 2012). Zur Entfernung harter Auflagerungen ist das PWS nicht geeignet.

Generell lässt sich festhalten, dass die jeweiligen Instrumente situationsspezifisch ausgewählt werden sollten und die Kombination der verschiedenen Geräte am effektivsten zu sein scheint. So eignen sich maschinelle Systeme, wie Ultraschallscaler oder PWS-Geräte vor allem, um nicht mineralisierte Auflagerungen zu entfernen. Hingegen stellen Schallscaler und die klassischen Handinstrumente immer noch das Mittel der Wahl in der aktiven Therapiephase dar, um massive Konkremente zu entfernen (Graetz, Bräuning, et al., 2016).

Unabhängig davon, welches Instrument für die Bearbeitung der Wurzeloberfläche verwendet wird, ist ein systematisches Training für den Umgang mit den Instrumenten unerlässlich (Plagmann & Rühling, 2004).

1.3.2 Instrumente

Wie bereits oben ausgeführt, kann der Behandler auf verschiedene Instrumente zurückgreifen, um die Wurzeloberfläche eines Zahnes zu reinigen. Im Folgenden werden nur die in dieser Arbeit verwendeten Instrumententypen näher beschrieben.

1.3.2.1 Handinstrumente

Auf der einen Seite gibt es die Handinstrumente, die aufgrund der manuellen Führung eine bessere Taktilität durch den Behandler aufweisen (Mishra & Prakash, 2013; Plagmann, 1998). Dadurch, dass sie einfach gebaut und kostengünstig betrieben werden können, sind sie sehr weit verbreitet (Khosravi, Bahrami, Atabaki, Shokrgozar & Shokri, 2004).

Zur Bearbeitung subgingival liegender Bereiche werden vor allem Küretten eingesetzt. Diese bestehen aus einem Griff, der wiederum über einen Schaft mit dem Arbeitsende verbunden ist. Das abgerundete Arbeitsende ist nur in den beiden vorderen Dritteln geschärft und hat einen halbkreisförmigen Querschnitt. Das Arbeitsende wird unterteilt in Fazialfläche, Arbeitsflächen und Schneidekanten. Der Schaft kann noch weiter in unterschiedliche Abschnitte (Einser-, Zweierschaft usw.) differenziert werden, je nach Häufigkeit seiner Abwinkelungen.

Grundsätzlich werden Universal- und Spezialküretten unterschieden. Die Universalküretten weisen zwei gerade, schneidende Kanten an ihrer Fazialfläche auf, die in 90° vom Einserschaft abgewinkelt ist. Für die vorliegende Studie wurden von

den Probanden nur Spezialküretten angewendet. Diese besitzen eine zum Zahn gerichtete, schneidende Kante an ihrer Fazialfläche, die in 110° vom Einserschaft abgewinkelt ist (Abbildung 1). Eine derartige Konstruktion bietet die Möglichkeit, das jeweilige Instrument bereichsspezifisch auszuwählen und somit leichter und effektiver zu arbeiten. Allerdings sind dadurch auch mehrere unterschiedlich gewinkelte Instrumente für die verschiedenen Zahntypen und -flächen notwendig.

Der Instrumentierungsvorgang erfolgt in sich überlappenden Zügen von apikal nach koronal durch Auf- und Abbewegungen aus dem Handgelenk oder Drehbewegungen aus dem Unterarm (Plagmann & Rühling, 2004) (Abbildung 2).

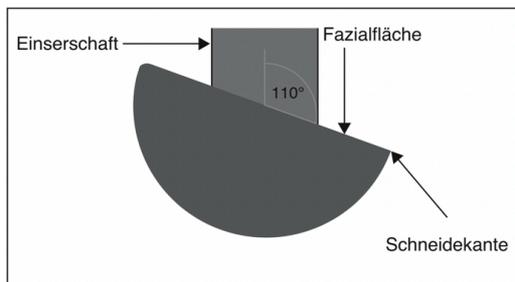


Abbildung 1: Querschnitt einer herkömmlichen Gracey-Kürette

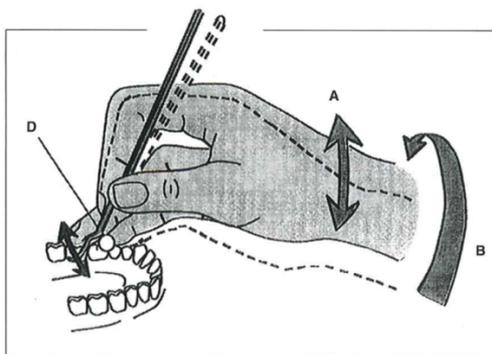


Abbildung 2: Auf- und Abbewegungen aus dem Handgelenk (A), Drehbewegungen aus dem Unterarm (B). Der vierte Finger dient der Abstützung und ist zeitgleich Drehpunkt (D) für diese Bewegungen. (Originalabbildung aus Trainingsprogramm für Scaling mit Gracey-Küretten (Plagmann & Rühling, 2004))

1.3.2.2 Maschinelle Scaler

Auf der anderen Seite gibt es die maschinell betriebenen Scaler, die entweder mittels eines Luftstromes (Schallscaler), eines Magnetfeldes (magnetostriktiver Ultraschallscaler) oder eines Piezokristalls (piezoelektrische Ultraschallscaler) angetrieben werden. Durch die so entstehende Schwingung der Arbeitsspitze werden die Verunreinigungen von der Wurzeloberfläche entfernt. Um Gewebeschädigungen

durch die dabei entstehende Hitze am Zahn zu vermeiden, muss für alle maschinellen Scaler eine ausreichende Kühlwasserversorgung gewährleistet sein (Kocher & Plagmann, 1996; Walmsley, Walsh & Laird, 1988).

In der vorliegenden Untersuchung wurden ausschließlich Schallscaler am Phantom verwendet, bei denen es sich um druckluftgetriebene Handstücke handelt, die über das Kupplungsstück der Dentalturbine an die Dentaleinheit angeschlossen werden. Die Arbeitsspitze erreicht Schwingungen in Frequenzen zwischen 6 und 8 kHz durch einen in Bewegung gebrachten Exzenter. Ihre Bewegung verläuft dabei quer zur Griffachse auf einer räumlich-ellipsoiden, fast kreisrunden Bahn (Abbildung 3). Je nach Hersteller liegt ihre Amplitude bei ca. 60 - 1000 μm (Petersilka & Flemmig, 2004). Der Instrumentierungsvorgang mit dem Schallscaler erfolgt in vertikalen und horizontalen Bahnen, sodass sich ein gitterartiges Muster auf der Wurzeloberfläche darstellt (Arnold, Hoffmann & Willershausen, 2010) (Abbildung 4). Diese Systematik stellt die Bearbeitung der gesamten Oberfläche sicher, da eine visuelle Kontrolle nicht möglich ist (Graetz & Springer, 2014).

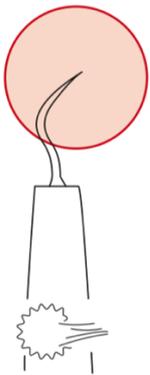


Abbildung 3: Schwingungsrichtung in der Hauptamplitude eines Schallscalers (Originalabbildung aus (Graetz, Bräuning, et al., 2016)

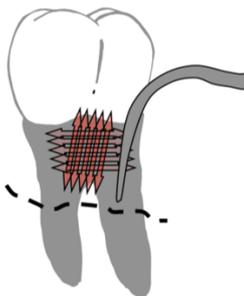


Abbildung 4: Instrumentierung mit überlappenden horizontalen und vertikalen Bahnen (Originalabbildung aus Trainingsprogramm zur maschinellen Wurzeloberflächenbearbeitung mit Schallscalern (Graetz & Springer, 2014)

1.3.3 Behandler & Erfahrung

Wie oben bereits erwähnt, scheint auch die Erfahrung und Motivation des Behandlers eine entscheidende Rolle für den Erfolg einer Parodontitistherapie zu spielen. Sowohl zum Erlernen der Handhabung als auch zur Festigung der Fertigkeiten im Umgang mit den Instrumenten sind praktische Trainingseinheiten gerade für unerfahrene Behandler eine Grundvoraussetzung (Badersten, Nilveus & Egelberg, 1985).

In mehreren klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass die Erfahrung des Behandlers im Umgang mit dem Instrument entscheidend für den Erfolg der Maßnahme ist (Fleischer, Mellonig, Brayer, Gray & Barnett, 1989; Stassinakis, Hugo & Hotz, 1995). Vor allem in der Region der Molaren (Fleischer et al., 1989) und bei moderaten bis hohen Sondierungstiefen (Brayer, Mellonig, Dunlap, Marinak & Carson, 1989) werden mit mehr Behandlungserfahrung und -routine im Umgang mit dem jeweiligen Instrument bessere Ergebnisse der Instrumentierung erreicht.

In verschiedenen in-vitro-Untersuchungen von Arbeitsgruppen um Prof. Dr. Kocher (Kiel, Greifswald) wurden die Ergebnisse nach der Wurzeloberflächenbearbeitung mit manuellen und maschinellen Instrumenten durch erfahrene und unerfahrene Behandler miteinander verglichen (Kocher, Riedel & Plagmann, 1997; Kocher, Rühling, et al., 1997). Hier stellte sich heraus, dass erfahrene Behandler zwar mehr Zeit benötigten, jedoch unabhängig vom verwendeten Instrument mehr Beläge entfernten, also effektiver arbeiteten als unerfahrene Behandler. Um vergleichbar gute Therapieerfolge wie die erfahrenen Behandler zu erreichen, empfahlen die Autoren den unerfahrenen Behandlern die Verwendung von maschinellen Systemen (Kocher, Riedel, et al., 1997; Stassinakis et al., 1995). Aber auch durch verschiedene Formen der Motivation ließ sich der Reinigungserfolg bei unerfahrenen Behandlern (König et al., 2002) verbessern.

1.4 Curriculare Ausbildung im Fach Parodontologie

Zum Zeitpunkt der Durchführung der Untersuchung gliederte sich das Zahnmedizinstudium in zwei Studienabschnitte, die Vorklinik und die Klinik. Im vorklinischen Abschnitt, welcher die Semester 1 - 5 umfasste, wurden vor allem naturwissenschaftliche und anatomische Schwerpunkte gesetzt, aber auch ein erster Einblick in die Zahnersatzkunde gegeben.

Die Semester 6 - 10 gehörten zum klinischen Abschnitt. Hier beschäftigten sich die Studierenden neben Zahnersatzkunde, Kieferorthopädie und Chirurgie, auch mit der Zahnerhaltungskunde und Parodontologie. Der grundsätzliche Aufbau des Studiums war deutschlandweit identisch, lediglich die Einteilung der Lehrveranstaltungen pro Semester konnte je nach Universität variieren (*Approbationsordnung für Zahnärzte, 1955*).

Die folgenden Ausführungen über den Ablauf der curricularen Ausbildung im Fach Parodontologie während des Studiums der Zahnmedizin, beziehen sich auf den Universitätsstandort Kiel und der zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie geltenden Approbationsordnung (AO) vom 26.01.1955 (*Approbationsordnung für Zahnärzte, 1955*).

1.4.1 Theorie im studentischen Curriculum Parodontologie

Das theoretische Wissen im Fach Parodontologie wurde den Studierenden über Vorlesungen und Seminare in den Semestern 6 - 8 vermittelt. Außerdem erfolgten Lernerfolgskontrollen in Form von Klausuren zum jeweiligen Semesterende.

1.4.2 Praxis im studentischen Curriculum Parodontologie

Zusätzlich zu den theoretischen Lehrveranstaltungen erhielten die Studierenden praktische Kurse, um den Umgang mit manuellen und maschinellen Instrumenten zur Wurzeloberflächenbearbeitung zu erlernen. Diese Kurse erfolgten zu Beginn an Phantomeinheiten (6. und 7. Semester) und dann im Laufe des 8. Semesters im Rahmen eines praktischen Kurses am Patienten (*Studienordnung für Studierende des Studienganges Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der CAU Kiel, 2019*).

1.5 Ziele und Fragestellungen

Das Ziel der Beobachtungsstudie war es, den Trainingseffekt eines neuen digital gestützten Lernprogramms hinsichtlich der Effektivität bei der Entfernung von subgingivalem artifiziellen Biofilm und simulierten harten Auflagerungen mit zwei verschiedenen Instrumenten durch unerfahrene studentische Behandler des siebten Semesters zu untersuchen.

Die primäre Hypothese besagte, dass die Reinigungsleistung (% entfernte simulierte Auflagerungen) für Schallscaler (AIR) im Vergleich zu den Küretten (GRA) am Ende des Beobachtungszeitraum eines Semesters größer ist. In weiteren Fragestellungen wurde der Einfluss der Instrumente, spezifischer Faktoren wie Zahntyp, Kiefer und Anzahl der Trainingseinheiten auf die Effektivität und Zeit der Instrumentierung näher betrachtet.

2 Material und Methode

2.1 In-vitro-Simulation

2.1.1 Phantomkopf und Modelle

Für diese Studie wurden die für die Studentenausbildung im allgemeinen verwendeten Phantomköpfe mit speziellen Ober- und Unterkiefermodellen (A-PB OK & A-PB UK, frasaco GmbH, Tettngang, Deutschland) bestückt. Diese Modelle simulierten eine weit fortgeschrittene Parodontitis mit horizontalem Knochenverlust, vertikalen Taschen und Furkationsbeteiligung an den Molaren. Dadurch war es möglich, anatomische Besonderheiten und deren Zugänglichkeit für den Behandler realistisch zu simulieren. Um eine visuelle Kontrolle des Behandlers während der subgingivalen Instrumentierung auszuschließen, wurden die Kiefermodelle mit auswechselbaren Gingivamasken aus elastischem Silikon desselben Herstellers (A-PB WOK & A-PB WUK, frasaco GmbH, Tettngang, Deutschland) bestückt (Abbildung 5).

Die Kiefermodelle wurden mit den entsprechenden Modellzähnen aus Duroplast (A-PB ZE, A-PB ZE 1, A-PB ZE 2, & A-PB ZE 3, frasaco GmbH, Tettngang, Deutschland) ausgerüstet, von denen insgesamt 12 als Testzähne (11, 14, 16, 17, 21, 25, 31, 34, 36, 37, 43, 45) festgelegt wurden. Diese Zähne wiesen die natürlichen anatomischen Gegebenheiten im koronalen und zervikalen Bereich auf. Sie wurden einzeln in die Modelle geschraubt und waren somit auch einzeln entnehmbar.

Durch eine farbliche Markierung der Zähne wurde sichergestellt, dass die StudienteilnehmerInnen sie dem zu nutzenden Instrument zur Wurzeloberflächenbearbeitung immer eindeutig zuordnen konnten. Blau markierte Zähne wurden ausschließlich mit den Handinstrumenten bearbeitet (OK 11, 14, 16 und im UK 31, 45, 37) und rot markierte Zähne mit dem Schallscaler (OK 21, 25, 17 und im UK 34, 36, 43). Die zu behandelnden Zähne waren an jedem der vier Testtage identisch, wobei die Simulation des subgingivalen Biofilms und der Konkremente nach jeder Evaluation erneuert wurden.

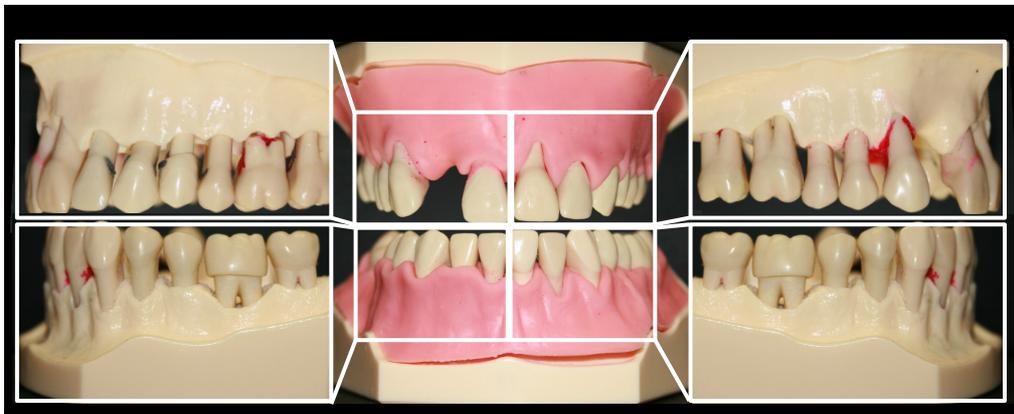


Abbildung 5: Ober- und Unterkiefermodelle (A-PB OK & A-PB UK, frasaco GmbH, Tettang, Deutschland) mit und ohne Gingivamasken (A-PB WOK & A-PB WUK, frasaco GmbH, Tettang, Deutschland)

2.1.2 Artificielle Konkremente

Um harte Auflagerungen, sogenannte Konkremente, zu simulieren, wurde ein spezielles Gemisch aus Pulver und Flüssigkeit verwendet (A-CK, Frasaco, Tettang, Deutschland). Diese waren im Durchmesser ca. 1,5 mm groß und wurden in einem Bereich von 1 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze und 2 mm oberhalb des Taschenbodens für alle Testtage identisch an den Zähnen aufgetragen. Dies erfolgte immer durch dieselbe Person und konnte mittels Fotos, die bei der ersten Vorbereitung der Zähne gemacht wurden, verifiziert werden. Für die Zähne 14, 16, 17, 25, 31, 34, 43 und 45 befanden sich die Konkremente jeweils mesial und distal, für die Zähne 11 und 21 mesial, distal und palatinal, sowie für die Zähne 36 und 37 mesial, distal und vestibulär. So ergaben sich für beide Instrumentengruppen jeweils 14 zu entfernende Konkremente.

2.1.3 Artificieller Biofilm

Um einen artifiziellen Biofilm nachzuahmen, wurde ein spezieller transparenter Nagellack (Shiny White, Rival de Loop Young, Rossmann, Burgwedel, Deutschland) verwendet, welcher unter Bestrahlung mit ultraviolettem Licht blau fluoresziert. Dieser wurde in einem Mischungsverhältnis von 3 : 1 mit Aceton verdünnt, um eine möglichst realistische Nachbildung eines dentalen Biofilms zu erhalten (Graetz, Schwendicke, et al., 2015; Rühling et al., 2002). Das so entstandene Gemisch wurde im Tauchverfahren auf die Modellzähne im Bereich von der künstlichen Schmelz-Zement-Grenze bis zum Limbus alveolaris gleichmäßig dünn aufgetragen.

2.2 Entwicklung des digitalen Lernprogramms Scaling

Als Basis des digitalen Lernprogramms diente das Trainingsprogramm für den Umgang mit Handinstrumenten (Plagmann & Rühling, 2004).

Dieses Programm sollte den Probanden einen strukturierten Arbeitsablauf zum Reinigen von Wurzeloberflächen vermitteln. Für die Behandlung mit Handinstrumenten umfasste das Programm 32 Schritte, für den Schallscaler waren es 24 Schritte (Graetz & Springer, 2014).

Das Programm ermöglichte die visuelle Darstellung auf Bildschirmen für jeden Probanden. Zusätzlich konnte durch kurze Videoclips die Sitzposition von Behandler und Patient, sowie der Umgang mit den Instrumenten demonstriert werden (Abbildung 6).

Unterstützend dazu waren drei parodontologische Fachkräfte vor Ort, die die Studierenden im Umgang mit dem Trainingsprogramm angeleitet haben.



Abbildung 6: Probanden während einer Trainingseinheit zur Wurzeloberflächenbearbeitung im Phantomsaal

2.3 Instrumente

2.3.1 Handinstrumente

Als Handinstrumente wurde den Studierenden ein Set aus vier Double Gracey Küretten der Firma American Eagle gestellt (Abbildung 7). Darunter befanden sich jeweils eine Kürette für mesiale, eine Kürette für distale Flächen, sowie eine Kürette für die vestibulären und oralen Glatflächen und eine Frontzahn-Kürette (Nr. 5/6, 7/8, 11/12 und 13/14 American Eagle Instruments, Missoula, MT, USA). Neue Küretten wurden nur zu Beginn (Baseline / T0) benutzt. Für die folgenden Testeinheiten erfolgte die Zuordnung der Küretten randomisiert. Die Küretten wurden nach jeder Nutzung von einer erfahrenen Dentalhygienikerin geprüft und falls notwendig mittels Arkansasstein und Öl aufgeschliffen.



Abbildung 7: Set mit den vier Küretten (Nr. 5/6, 7/8, 11/12 und 13/14 American Eagle Instruments, Missoula, MT, USA), PA-Sonde und Spiegel

2.3.2 Maschinelle Instrumente

Für die maschinelle Wurzeloberflächenreinigung verwendeten die Studierenden den Schallscaler Proxeo (W&H, Bürmoos, Österreich) (Abbildung 8). Dieser wurde über das Turbinen-Kupplungsstück an die Dentaleinheit angeschlossen und über einen Schlauch mit der notwendigen Druckluft und Wasserkühlung (30 ml / min) versorgt. Der Schallscaler wurde auf dem Level 2 (medium) verwendet. Für den Schallscaler standen den Studierenden drei verschiedene Spitzen zur Verfügung: eine gerade, eine nach links und eine nach rechts gewinkelte Spitze (1AP, 2APr, 2API, W&H, Bürmoos, Österreich) (Abbildung 8).

Auch die Schallscalerspitzen wurden nach jedem Gebrauch auf ihre Länge oder andere Verschleißerscheinungen kontrolliert.



Abbildung 8: Schallscaler Proxeo (W&H, Bürmoos, Österreich) mit Drehmomentschlüssel (Fa. KaVo Dental, Biberach, Deutschland) und den drei verschiedenen Spitzen (1AP, 2APr, 2API, W&H, Bürmoos, Österreich)

2.4 Ablauf der Beobachtungsphase während der curricularen Ausbildung am Phantom

2.4.1 Studiendesign

Die vorliegende in-vitro-Untersuchung beschäftigte sich mit der Entfernung von nicht mineralisierten Auflagerungen und Konkrementen von der Oberfläche von Modellzähnen. Die Probanden der Studie waren Studierende des siebten Semesters, welche im Rahmen ihrer curricularen Ausbildung das systematische Arbeiten mit Hand- und maschinellen Instrumenten erlernten (Graetz & Rühling, 2008; Plagmann, 1998). Die Beobachtungsphase dauerte insgesamt 14 Wochen und beinhaltete neben den wöchentlichen Übungseinheiten vier Termine (Woche 1, 6, 11, 14) zur Evaluierung des Lernfortschrittes. Die vier Evaluationen erfolgten randomisiert und die Reihenfolge, in der die Instrumente benutzt werden sollten, wurde durch einen am Computer in der Aufzeichnungssoftware bestimmten Algorithmus per Zufall festgelegt. Zu Beginn erhielten die Studierenden eine zweistündige theoretische Einweisung. Darauf folgte der erste Test, im weiteren Verlauf Baseline bzw. T0 genannt. In den folgenden vier Wochen übten die Probanden jeweils zweimal 45 Minuten den Umgang mit den Handinstrumenten, sowie zweimal 45 Minuten den Gebrauch des Schallscalers. Nach einer Woche wurde dann wieder eine Kontrolle durchgeführt, im weiteren Verlauf T1 genannt. Anschließend übten die Studierenden wieder für jeweils zwei Wochen den Umgang mit den beiden Instrumentengruppen. Danach wurde dann wieder eine Testeinheit durchgeführt, im weiteren Verlauf T2 genannt. An diesen Durchgang schlossen sich zwei weitere Wochen des Trainings an, in denen die Studierenden jeweils noch einmal die Handhabung mit den Gracey Küretten und einmal mit dem Schallscaler vertieften. In der darauffolgenden Woche fand die letzte Lernkontrolle, im weiteren Verlauf T3 genannt, statt (Abbildung 9).

Für beide Instrumentengruppen haben die Studierenden bei jedem Durchgang eigenständig die Zeit gestoppt, die sie für die Bearbeitung der jeweils sechs Zähne benötigt haben.

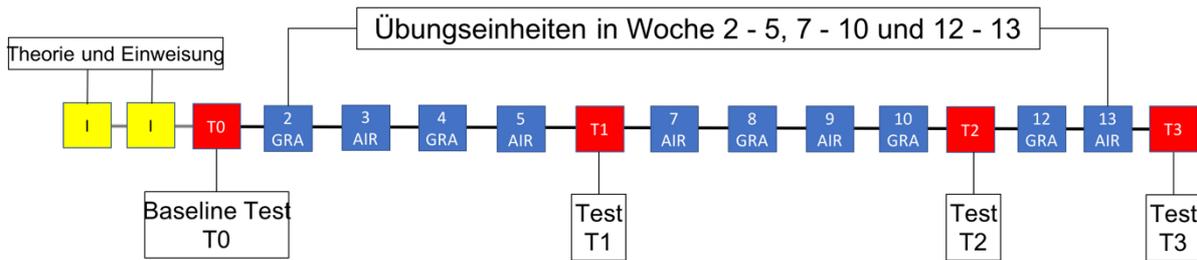


Abbildung 9: Wochenplan der Studie mit den vier Testzeitpunkten (T0, T1, T2, T3) sowie den Übungseinheiten mit den Handinstrumenten (GRA) und dem maschinellen Scaler (AIR)

2.5 Erfassung der Ergebnisse

2.5.1 Kamera, Objektiv und Aufbau

Um die Bearbeitung der Wurzeloberfläche für jede Fläche jedes Zahnes bestimmen zu können, wurden die zu bearbeitenden Testzähne nach jedem Durchgang aus den Modellen herausgeschraubt und dann von jeder Seite ihrer Wurzel (mesial, distal, vestibulär, oral) unter ultraviolettem Licht fotografiert.

Um die Reproduzierbarkeit der Aufnahmen zu gewährleisten wurde jeder Zahn auf einem standardisierten Plastikblock (Lego GmbH, Grasbrunn, Deutschland) positioniert. Für alle 12 Zähne gab es eine eigene Aufnahmeeinheit aus Kunststoff. Dieser Block wurde dann auf dem Kamertisch in einer festgelegten Position fixiert. Anschließend wurden die Zähne unter Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (UV-A, 350 - 370 nm) von jeder der vier Seiten (mesial, distal, vestibulär, oral) fotografiert, sodass am Ende 1728 Bilder entstanden (Abbildung 10). Durch die Steckverbindung der Legosteine ließ sich die Position zwischen Zahnoberfläche und Kamera für alle vier Seiten immer wieder exakt einstellen.

Als Kamera wurde eine digitale Spiegelreflexkamera mit einem 100 mm Macro-Zoom Objektiv verwendet (Canon EOS D30, Tokyo, Japan).

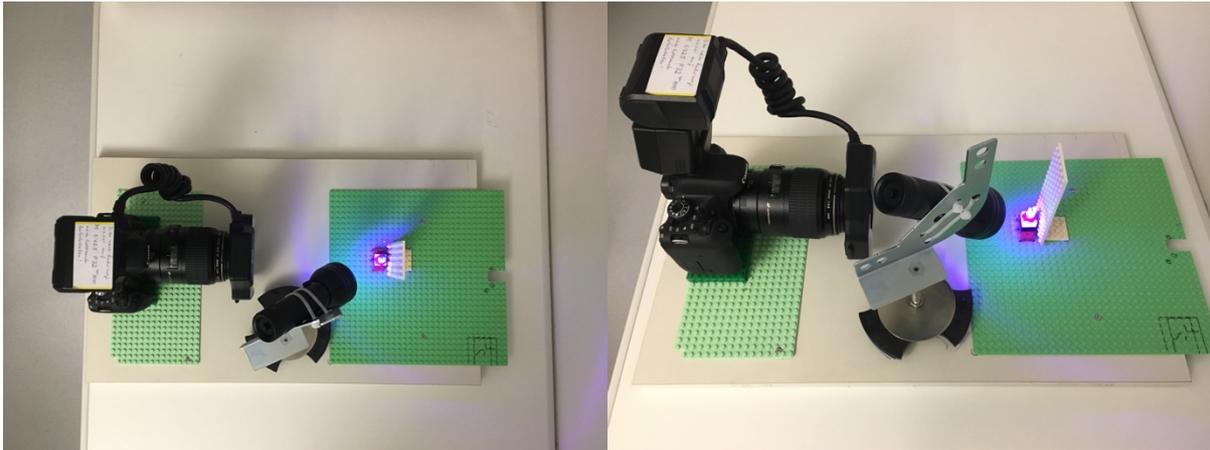


Abbildung 10: Aufbau des Versuchstisches mit definierter Position für Kamera, UV-Licht-Lampe und Zahn

2.6 Analyse der Effektivität der Reinigungsleistung

2.6.1 Artificieller Biofilm

Die Analyse der Effektivität der Reinigungsleistung in Bezug auf den künstlichen Biofilm wurde mit Hilfe einer digitalen Bildbearbeitungssoftware (Image J, NIH, Bethesda, USA) auf den aufgenommenen Fotos durchgeführt. Der verwendete Nagellack ermöglichte die genaue Abgrenzung von gereinigter und nicht gereinigter Fläche. Alle Bilder durchliefen im Programm mehrere Bearbeitungsschritte. Zuerst wurde der Bildausschnitt festgelegt, dann wurde das Bild in ein 8 bit Graustufenbild umgewandelt. Nun wurde durch die Funktion „Threshold“ der Bereich der gereinigten Fläche rot angezeigt. Der Steuerungsbefehl „Analyze particles“ gab dann die gereinigte Fläche in Prozent wieder (Abbildung 11). Für mehrwurzelige Zähne mit Furkationsbeteiligung (16, 17, 36, 37) wurde keine Bewertung des Furkationsbereichs durchgeführt (Abbildung 11, untere Bildreihe).

Diese Prozentangaben wurden dann in eine Excel Tabelle (Microsoft Excel 16, Microsoft Corporation, One Microsoft Way Redmond, WA, USA) exportiert, um anschließend mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS Statistics 24 (IBM, Chicago, USA) ausgewertet zu werden.

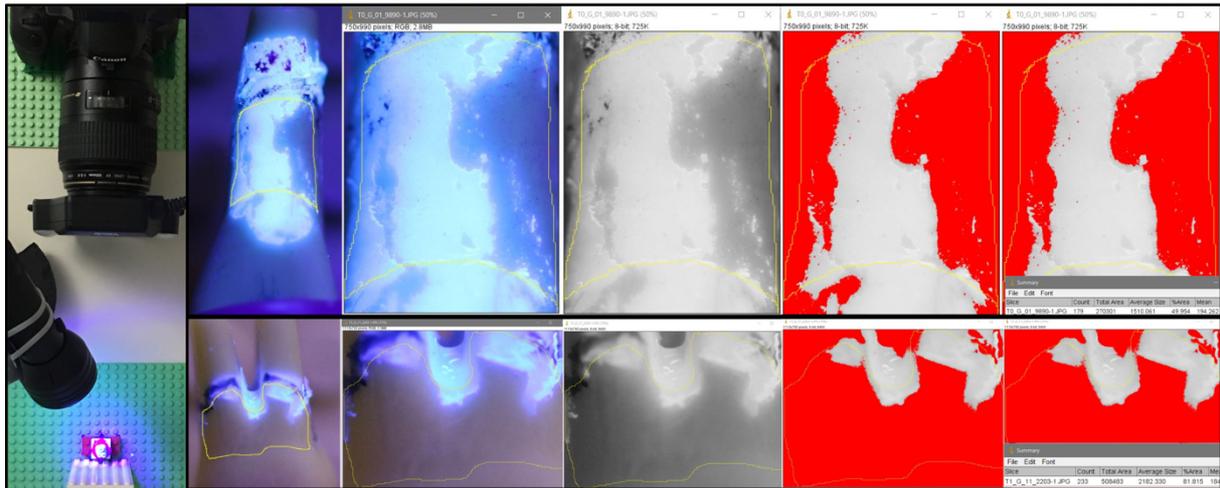


Abbildung 11: Bearbeitungsschritte zur Analyse der Reinigungsleistung des künstlichen Biofilms von links nach rechts (obere Bildreihe zeigt einen einwurzeligen Zahn, untere Bildreihe einen mehrwurzeligen Zahn): Aufnahme eines Fotos, Festlegung eines Bildausschnitts (gelbe Umrandung), Bildausschnitt, Umwandlung in 8 bit Graustufenbild, Befehl „Threshold“ zeigt nun gereinigte Fläche rot an, Befehl „Analyze particles“ errechnet gereinigte Fläche in Prozent

2.6.2 Künstliche Konkrement

Die Analyse der Effektivität der Reinigungsleistung in Bezug auf die künstlichen Konkrement erfolgte immer durch dieselbe Person per visueller Kontrolle, ob das Konkrement vollständig entfernt wurde oder ob es nicht entfernt wurde. Die erhaltenen Daten wurden ebenfalls in einer Excel Tabelle (Microsoft Excel 16, Microsoft Corporation, One Microsoft Way Redmond, WA, USA) erfasst, um anschließend mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS Statistics 24 (IBM, Chicago, USA) ausgewertet zu werden.

2.7 Datenanalyse und statistische Auswertung

Zu Beginn der Studie fand eine Informationsveranstaltung für alle Studierenden des siebten Semesters statt (n = 31), bei der sie über die Studie und den Ablauf aufgeklärt wurden. Die Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie erfolgte in schriftlicher Form. Eine Studierende entschied sich gegen die Teilnahme. Ein positives Ethikvotum zur Durchführung der Studie lag im Vorfeld unter dem Aktenzeichen AZ D452/18 vor.

Die Randomisierung der Instrumente und Testzähne für jeden Testtag, sowie die Erfassung aller Daten erfolgte mit Hilfe des Programms Microsoft Excel (Microsoft Excel 16, Microsoft Corporation, One Microsoft Way Redmond, WA, USA). Die statistische Analyse wurde mit der Software SPSS Statistics 24 (IBM, Chicago, USA) berechnet. Eine Normalverteilung der Daten wurde zuvor in einem Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk sowie Chi Quadrat Test überprüft. Alle Tests wurden als zweiseitige Tests geplant und ein p-Wert von $\leq 0,05$ wurde als statistisch signifikant angenommen. Da die Reinigungsleistung in Prozent der Fläche nicht normal verteilt war ($p > 0,0001$), wurden signifikante Unterschiede mittels eines nicht-parametrischen t-Tests bestimmt. Als Post-hoc-Test wurde die Bonferroni-Methode zur Neutralisierung einer eventuellen Alphafehler-Kumulierung bei multiplen Vergleichen angewendet ($p = 0,05 / 6 = 0,0083$). Eine Zuordnung zwischen Variablen wurde mit Hilfe der Pearson-Korrelation und Spearmans-Rangkorrelationskoeffizientenanalyse analysiert.

3 Ergebnisse

3.1 Reinigungsleistung Konkremente

In Tabelle 1 wird die relative Reinigungsleistung für die harten Auflagerungen (RCE-d in %) dargestellt. RCE-d ist definiert als Anzahl der harten Auflagerungen vor und nach der Bearbeitung der Wurzeloberflächen aller Prü fzähne (n = 48 von 12 Prü fzähnen) durch die Behandler (n = 30). Handinstrumente und maschineller Scaler werden getrennt voneinander betrachtet, sowie alle vier Zeitpunkte (T0, T1, T2, T3).

Testtag	RCE-d in %				Unterschiede zwischen den Gruppen
	Anzahl an GRA*	Anzahl an AIR*	GRA	AIR	
T0	386	414	85,48 (12,32)	65,71 (15,27)	p < 0,001
T1	407	414	84,52 (13,58)	65,48 (14,90)	p < 0,001
T2	374	398	79,26 (15,71)	67,49 (16,11)	p < 0,001
T3	378	413	84,68 (16,84)	77,85 (13,98)	p < 0,001

Unterschiede zwischen den Testtagen T0 - T3		
	p-Werte ^a	p-Werte ^a
T0 vs. T1	p = 0,257	p = 0,750
T0 vs. T2	p < 0,001	p = 0,274
T0 vs. T3	p = 0,417	p < 0,001
T1 vs. T2	p < 0,001	p = 0,012
T1 vs. T3	p = 0,885	p < 0,001
T2 vs. T3	p < 0,001	p < 0,001

Tabelle 1: Gegenüberstellung der verschiedenen Instrumententypen (GRA & AIR) zu den verschiedenen Testzeitpunkten (T0 - T3) unter Beachtung der entfernten harten Auflagerungen (Durchschnittswerte RCE-d in %) für alle 12 Testzähne;

(*Anzahl insgesamt 420), (^a: angepasst an Bonferroni p ≤ 0,0083)

3.1.1 Handinstrumente GRA

Der prozentuale Anteil von entfernten Konkrementen beginnt bei T0 mit 85,48 (12,32) %. Der Anteil fällt dann bei T1 auf 84,52 (13,58) % (T0 gegenüber T1: $p = 0,257$) und bei T2 weiter auf 79,26 (15,71) % (T1 gegenüber T2: $p < 0,001$). Bei T3 steigt er dann wieder an auf 84,68 (16,84) % (T2 gegenüber T3: $< 0,001$). Der Unterschied zwischen T0 und T3 ist statistisch nicht signifikant ($p = 0,417$) (Tabelle 1).

3.1.2 Schallscaler AIR

Der prozentuale Anteil von entfernten Konkrementen beginnt bei T0 mit 65,71 (15,27) %. Der Anteil fällt dann bei T1 auf 65,48 (14,90) % ab und steigt bei T2 auf 67,49 (16,11) %. Bei T3 steigt er dann weiter an auf 77,85 (13,98) % (Tabelle 1).

Die RCE-d-Werte für AIR bei T0 (65,71 (15,27) %) und T1 / T2 (65,48 (14,90) %, $p = 0,750$ / 67,49 (16,11) %, $p = 0,012$ (angepasst an Bonferroni)) unterscheiden sich statistisch nicht signifikant. Die Verbesserung zwischen T0 und T3 für RCE-d in der AIR-Gruppe ist statistisch signifikant (77,85 (13,98) %, $p < 0,001$) (Tabelle 1).

Der Vergleich von RCE-d beider Instrumentengruppen zeigt zu allen Zeitpunkten eine statistisch signifikante Überlegenheit der GRA-Gruppe (T0: GRA 85,48 (12,32) % gegenüber AIR 65,71 (15,27) % Wirksamkeit; $p < 0,001$ und T3: GRA 84,68 (16,84) % gegenüber AIR 77,85 (13,98) % Wirksamkeit; $p < 0,001$) (Tabelle 1).

3.2 Reinigungsleistung Biofilm

In Tabelle 2 wird die relative Reinigungsleistung für den artifiziellen Biofilm (RCE-b in %) als Flächendifferenz vor und nach der Bearbeitung der Wurzeloberflächen aller Prüfzähne (n = 48 von 12 Prüfzähnen) durch die Behandler (n = 30) dargestellt. Die Betrachtung von Handinstrumenten und maschinellem Scaler, sowie die Betrachtung aller vier Testzeitpunkte (T0, T1, T2, T3) erfolgt separat.

Testtag	RCE-b in %				
	Anzahl an GRA*	Anzahl an AIR*	GRA	AIR	Unterschiede zwischen den Gruppen
T0	672	712	64,18 (25,74)	62,25 (26,69)	p = 0,172
T1	700	712	58,62 (24,18)	63,56 (24,55)	p < 0,001
T2	640	680	64,05 (24,51)	69,17 (23,55)	p < 0,001
T3	660	704	71,54 (23,90)	71,75 (23,05)	p = 0,864
Unterschiede zwischen den Testtagen T0 - T3					
	p-Werte^a	p-Werte^a			
T0 vs. T1	p < 0,001	p = 0,203			
T0 vs. T2	p = 0,627	p < 0,001			
T0 vs. T3	p < 0,001	p < 0,001			
T1 vs. T2	p < 0,001	p < 0,001			
T1 vs. T3	p < 0,001	p < 0,001			
T2 vs. T3	p < 0,001	p = 0,001			

Tabelle 2: Gegenüberstellung der verschiedenen Instrumententypen (GRA & AIR) zu den verschiedenen Testzeitpunkten (T0 - T3) unter Beachtung des entfernten artifiziellen Biofilms (Durchschnittswerte RCE-b in Prozent) für alle 12 Testzähne; (*Anzahl insgesamt 720), (^a: angepasst an Bonferroni p ≤ 0,0083)

3.2.1 Handinstrumente GRA

Der prozentuale Anteil an gereinigter Fläche liegt für T0 bei 64,18 (25,74) %. RCE-b sinkt dann bei T1 auf 58,62 (24,18) % (p < 0,001), steigt dann für T2 wieder (RCE-b: 64,05 (24,51) %, p < 0,001) und erreicht sein Maximum bei T3 (RCE-b: 71,54 (23,90) %, p < 0,001) (Tabelle 2).

3.2.2 Schallscaler AIR

Der prozentuale Anteil an gereinigter Fläche liegt bei T0 bei 62,25 (26,69) %. Dieser steigt dann leicht an bei T1 (RCE-b: 63,56 (24,55) %), ohne statistisch signifikante Veränderung zwischen T0 und T1 ($p = 0,203$). Für T2 steigt er weiter an auf 69,17 (23,55) % und erreicht auch hier sein Maximum bei T3 mit 71,75 (23,05) %, sodass die Reinigungsleistung hier statistisch signifikant erhöht wird (T1 - T2: $p < 0,001$ und T2 - T3: $p = 0,001$) (Tabelle 2).

3.3 Zeit

In Tabelle 3 wird die Behandlungszeit (in min) für die jeweils sechs Zähne separat für die beiden Instrumentengruppen und die vier Evaluierungszeitpunkte (T0, T1, T2, T3) dargestellt.

Testtag	Behandlungszeit in min für 6 Testzähne				Unterschiede zwischen den Gruppen
	Anzahl an GRA*	Anzahl an AIR*	GRA	AIR	
T0	30	27	28,63 (4,77)	32,41 (7,17)	$p < 0,001$
T1	30	30	21,87 (4,18)	23,57 (4,34)	$p < 0,001$
T2	30	30	19,67 (3,40)	19,67 (3,78)	$p = 1,000$
T3	30	30	16,67 (3,31)	19,80 (4,52)	$p < 0,001$
Unterschiede zwischen den Testtagen T0 - T3					
	p-Werte^a	p-Werte^a			
T0 vs. T1	$p < 0,001$	$p < 0,001$			
T0 vs. T2	$p < 0,001$	$p < 0,001$			
T0 vs. T3	$p < 0,001$	$p < 0,001$			
T1 vs. T2	$p < 0,001$	$p < 0,001$			
T1 vs. T3	$p < 0,001$	$p < 0,001$			
T2 vs. T3	$p < 0,001$	$p = 0,393$			

Tabelle 3: Gegenüberstellung der verschiedenen Instrumententypen (GRA & AIR) zu den verschiedenen Testzeitpunkten (T0 - T3) unter Beachtung der benötigten Zeit (Durchschnittswerte in Minuten) für alle 12 Testzähne;

(*Anzahl insgesamt 30), (^a: angepasst an Bonferroni $p \leq 0,0083$)

3.3.1 Handinstrumente GRA

Die Probanden starten bei T0 mit einer Behandlungszeit von 28,63 (4,77) min. Sie werden dann im Verlauf der Evaluation immer schneller. Zum Zeitpunkt von T3 liegt ihre Zeit bei 16,67 (3,31) min für die sechs zu behandelnden Zähne (Tabelle 3). Bei der Endbewertung (T3) beträgt die berechnete Zeit pro Zahn 2,78 (0,55) min (Abbildung 14).

Wie in Abbildung 14 dargestellt, verringert sich die Behandlungszeit pro Zahn mit den Küretten von T0 bis T3 um 2,0 min und die Mehrheit aller 30 Probanden benötigen unter 4,0 min (GRA: n = 29) (Abbildung 12). Insgesamt reduzieren alle Teilnehmer ihre eigene Behandlungszeit während der Trainingsphase mit den Handinstrumenten.

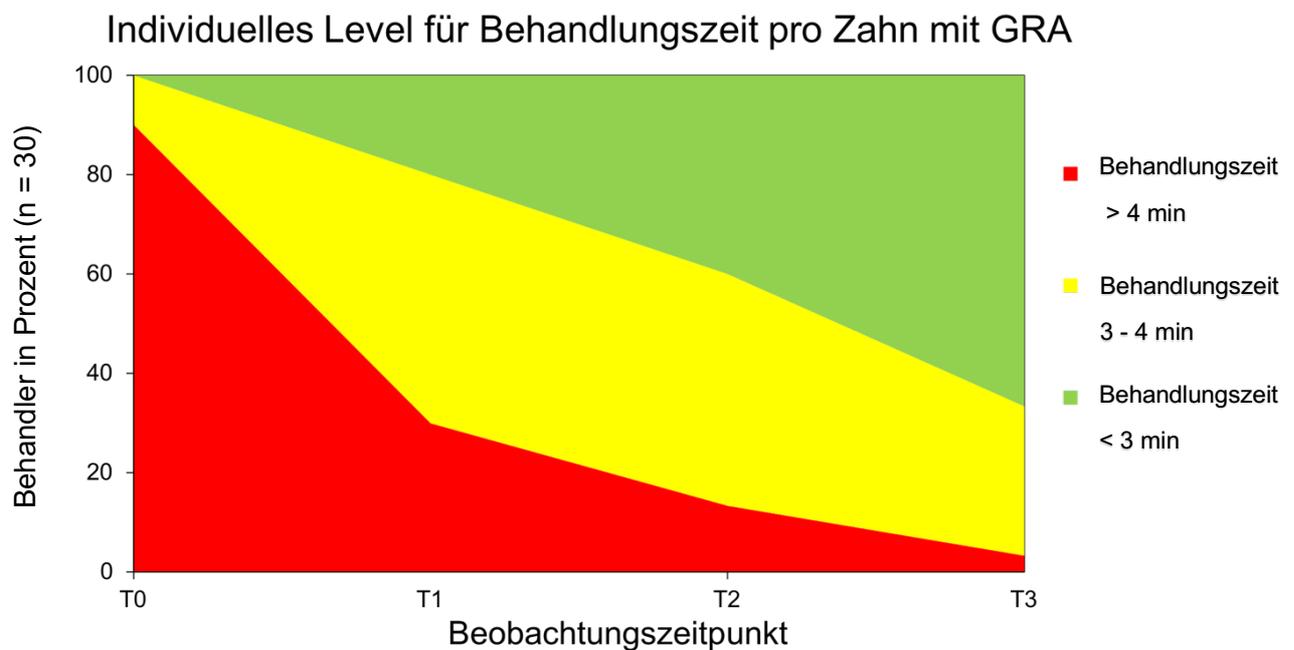


Abbildung 12: Individuelles Level der Behandler (n = 30) für die benötigte Behandlungszeit in Minuten pro Zahn mit den Handinstrumenten (GRA) zu allen vier Zeitpunkten (T0 - T3)

3.3.2 Schallscaler AIR

Mit dem Schallscaler beginnen die Probanden mit einer Zeit von 32,41 (7,17) min. Im Verlauf verringern sie ihre Zeit bei T1 auf 23,57 (4,34) min und bei T2 weiter auf 19,67 (3,78) min. Für den Zeitpunkt T3 liegt ihre Zeit dann bei 19,80 (4,52) min (Tabelle 3). Bei der Endbewertung (T3) beträgt die berechnete Zeit pro Zahn 3,30 (0,75) min (Abbildung 14).

Wie in Abbildung 13 veranschaulicht wird, verringert sich die Behandlungszeit pro Zahn mit dem Schallscaler von T0 bis T3 um 2,1 min und die Mehrheit aller 30 Probanden benötigen unter 4,0 min (AIR: n = 23). Insgesamt reduzieren 28 Teilnehmer ihre eigene Behandlungszeit während der Trainingsphase mit dem Schallscaler, zwei Teilnehmer verbessern sich nicht.

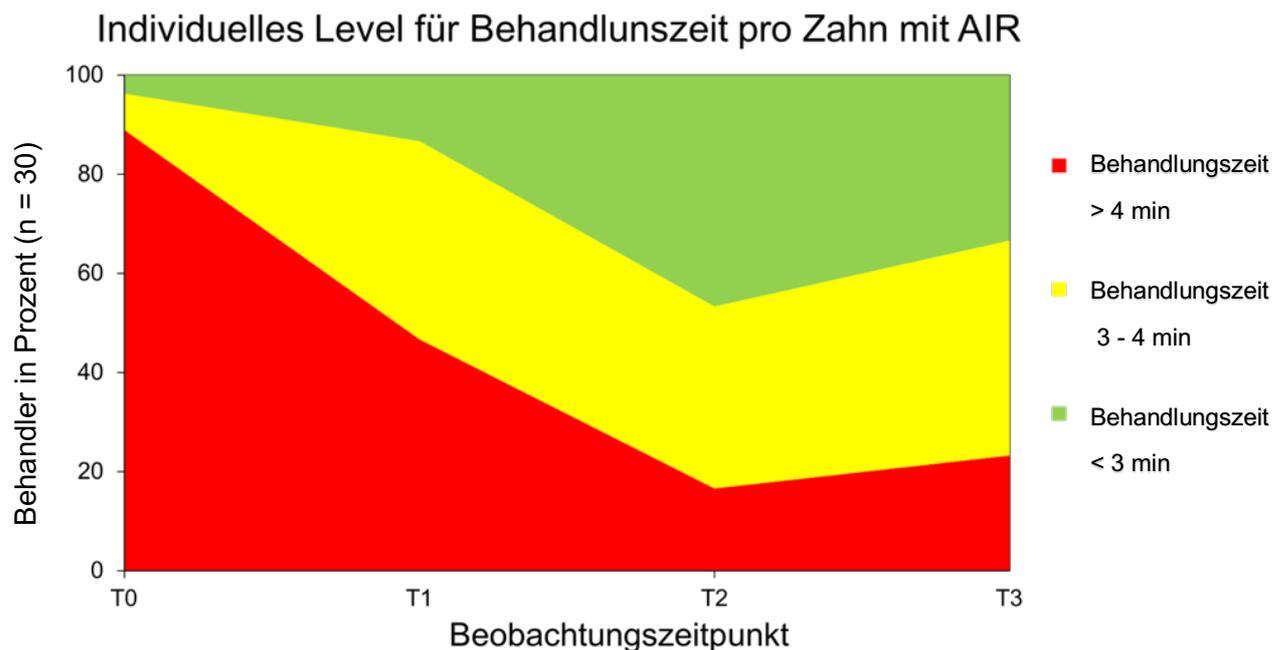


Abbildung 13: Individuelles Level der Behandler (n = 30) für die benötigte Behandlungszeit pro Zahn mit dem Schallscaler (AIR) zu allen vier Zeitpunkten (T0 - T3)

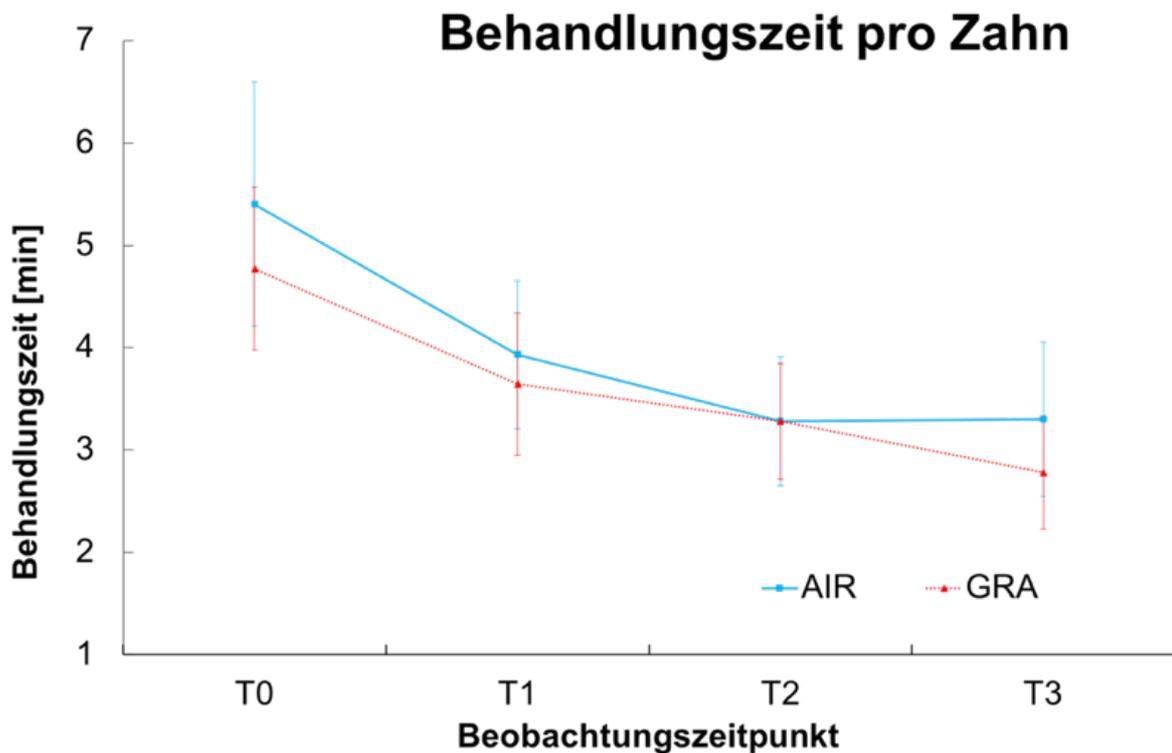


Abbildung 14: Behandlungszeit pro Zahn in Minuten mit Handinstrumenten (GRA) und Schallscaler (AIR) zu allen vier Testzeitpunkten (T0 - T3)

Für die Reinigungsleistung wurden zwei Level definiert. Für Level eins mussten 70 % des artifiziellen Biofilms oder der harten Auflagerungen entfernt werden, für Level zwei bis 80 %. Nicht ausreichend wurde als 0 - 69 % des entfernten artifiziellen Biofilms oder der harten Auflagerungen beschrieben.

Zu Studienbeginn T0 können 60 % aller Teilnehmer in der GRA-Gruppe keine Reinigungsleistung von 70 % erreichen, um den artifiziellen Biofilm zu entfernen (73,33 % der AIR-Gruppe). Nach der systematischen Schulungsphase (T3) reduziert sich diese Anzahl der Probanden auf 33,33 % (GRA) und 36,67 % (AIR) (Abbildung 15 & 16).

Insgesamt zeigen 18 Probanden eine höhere Wirksamkeit bei der Entfernung von artifiziellm Biofilm mit Küretten bei T3 gegenüber T0 (AIR: 24 Probanden) und 12 Probanden eine geringere Wirksamkeit (AIR: 6 Probanden).

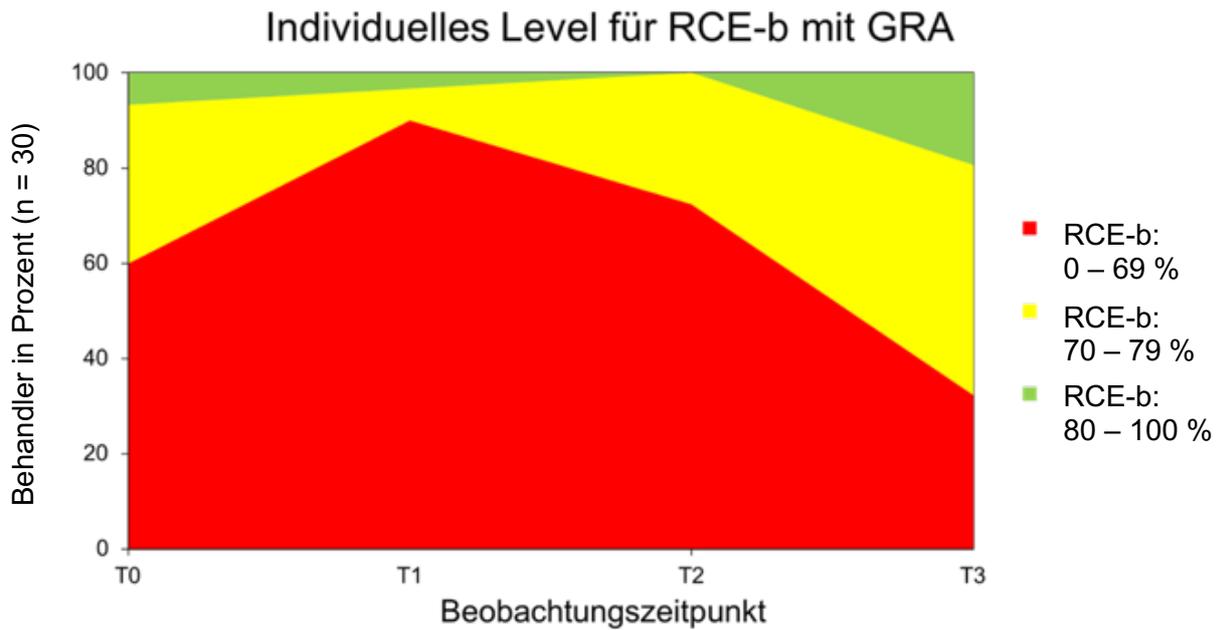


Abbildung 15: Individuelles Level der Behandler (n = 30) für die Entfernung des artifiziiellen Biofilms (RCE-b in Prozent) mit Handinstrumenten (GRA) zu allen vier Zeitpunkten (T0 - T3)

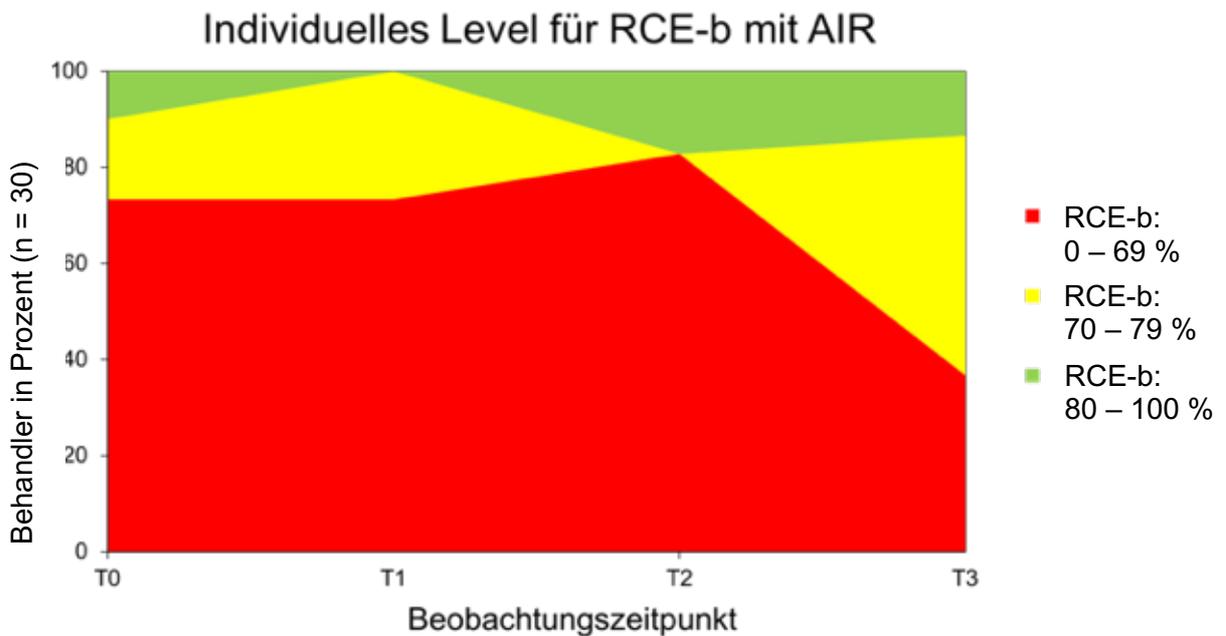


Abbildung 16: Individuelles Level der Behandler (n = 30) für die Entfernung des artifiziiellen Biofilms (RCE-b in Prozent) mit dem Schallscaler (AIR) zu allen vier Zeitpunkten (T0 - T3)

Für RCE-d ist die Lernkurve ähnlich. Dementsprechend kann zum Zeitpunkt T0 kein Proband in der AIR-Gruppe alle harten Ablagerungen entfernen (GRA: 26,67 %), bei T3 jedoch 10 % (GRA: 36,67 %) (Abbildung 17 & 18).

Weitere Veränderungen der individuellen Wirksamkeitsniveaus von RCE-b und RCE-d sind in Abbildung 15 - 18 gezeigt.

Bei der Entfernung von harten Auflagerungen verbessern 13 Probanden in der GRA-Gruppe ihre eigene Wirksamkeit (AIR: 22 Probanden) und 12 Probanden verschlechtern sich (AIR: Probanden). Fünf Probanden zeigen ähnliche Ergebnisse bei T0 und T3 für RCE-d (AIR: 2 Probanden).

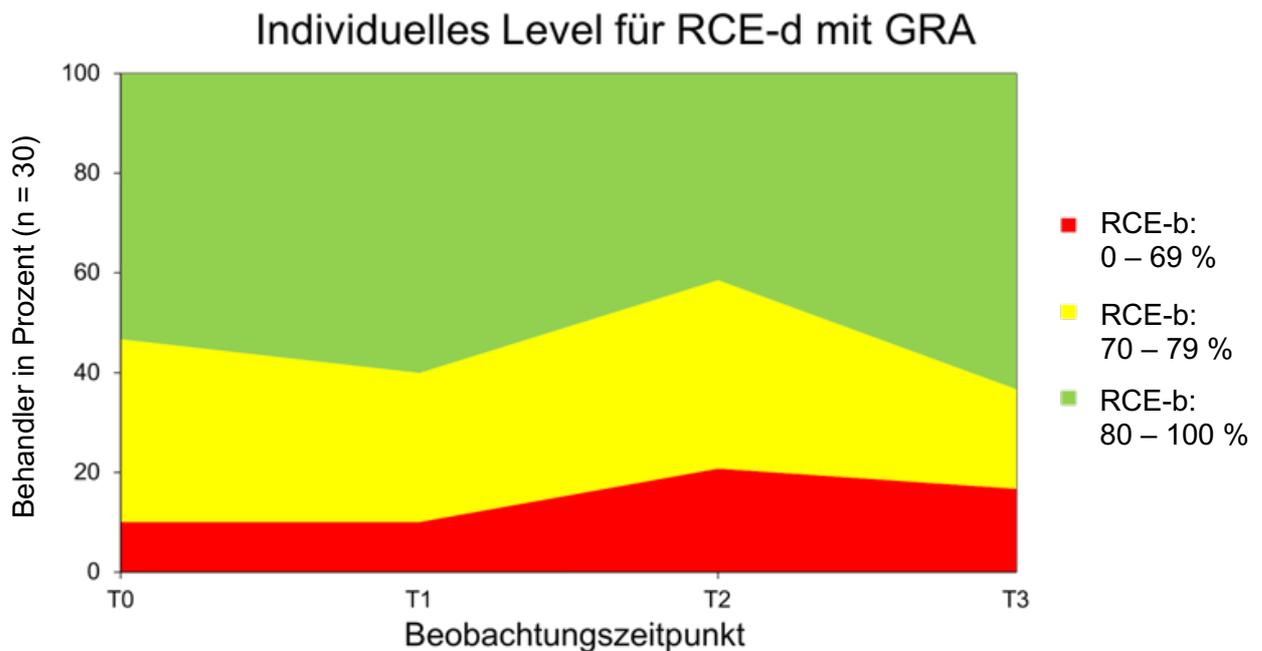


Abbildung 17: Individuelles Level der Behandler (n = 30) für die Entfernung der harten Auflagerungen (RCE-d in Prozent) mit Handinstrumenten (GRA) zu allen vier Zeitpunkten (T0 - T3)

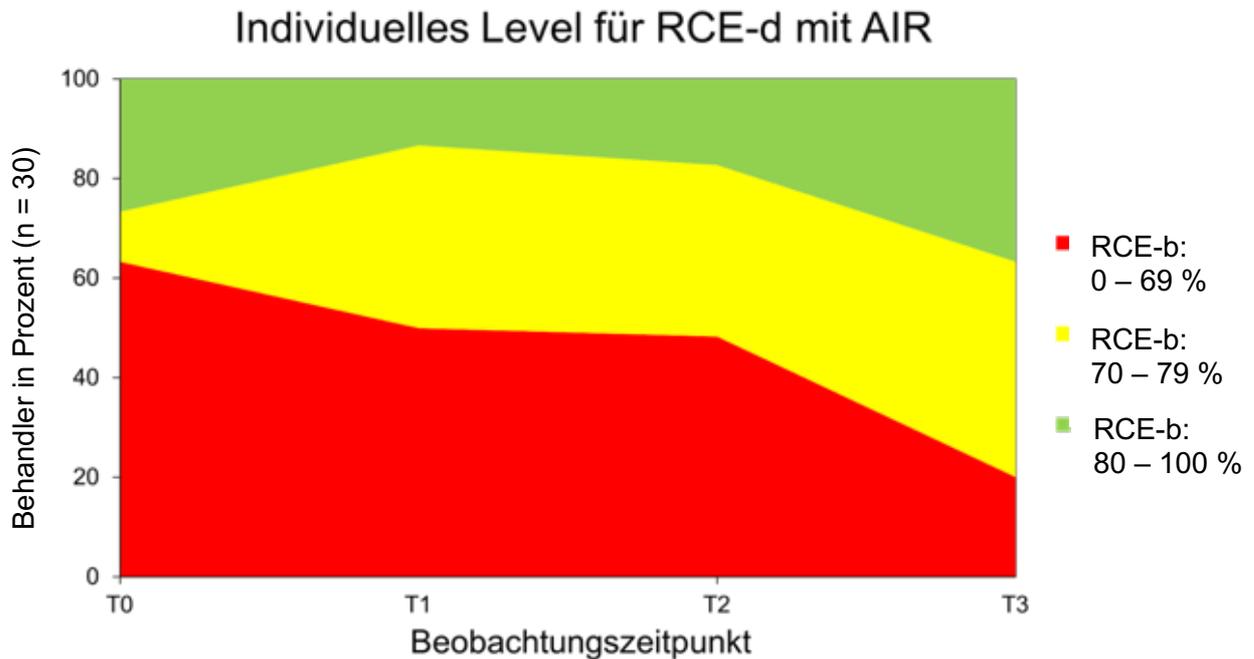


Abbildung 18: Individuelles Level der Behandler (n = 30) für die Entfernung der harten Auflagerungen (RCE-d in Prozent) mit dem Schallscaler (AIR) zu allen vier Zeitpunkten (T0 - T3)

3.4 Effizienzanalyse der Reinigung mit Handinstrumenten und maschinellen Scaler

3.4.1 Lernkurven für die Entfernung des artifiziellen Biofilms

Die Darstellung der Lernkurven für die beiden Instrumente (GRA & AIR) für die Entfernung von artifiziellem Biofilm (RCE-b) zeigt, dass beide zu Studienbeginn (T0) etwa auf dem gleichen Niveau starten (GRA von 64,18 (25,74) % und für AIR von 62,25 (26,69) % RCE-b bei T0 ($p = 0,172$) (Abbildung 19).

Trotz der unterschiedlichen Progression während der Trainingsphase entfernen alle Behandler den artifiziellem Biofilm (RCE-b) ohne statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Instrumentengruppen bei der abschließenden Bewertung (T3: $p = 0,864$) (Abbildung 19).

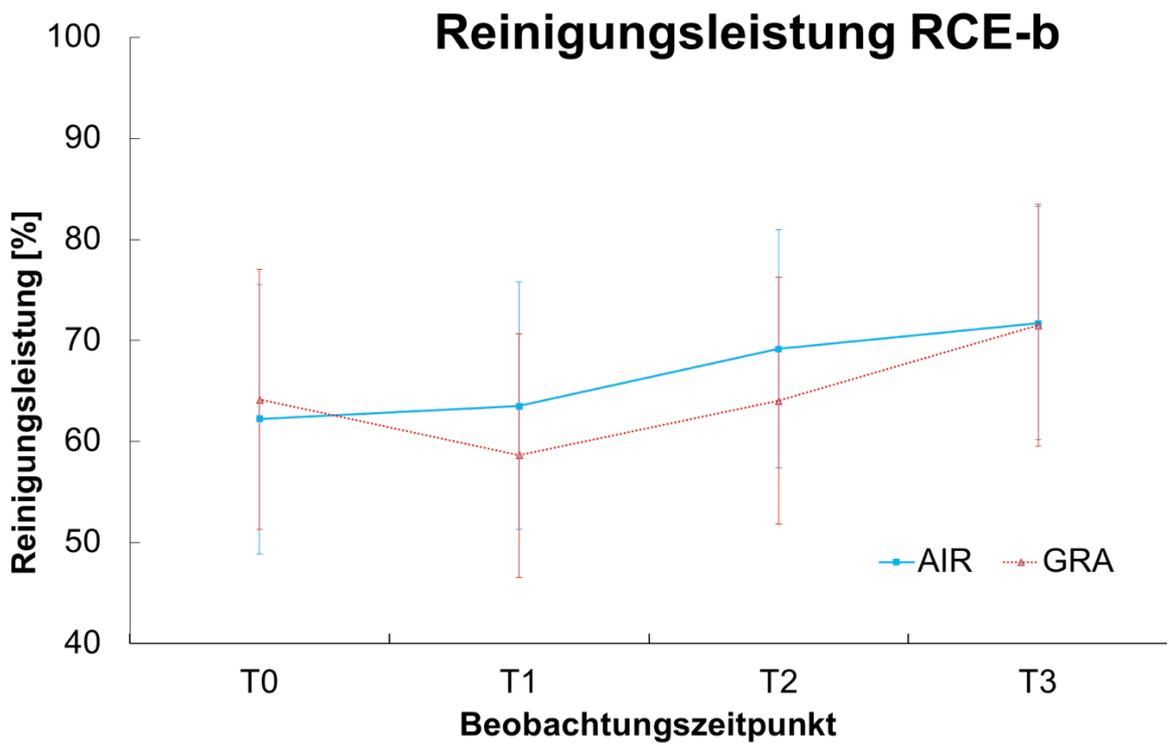


Abbildung 19: Reinigungsleistung in Prozent für den artifiziiellen Biofilm (RCE-b) für Handinstrumente (GRA) und Schallscaler (AIR) zu allen vier Testzeitpunkten (T0 - T3)

3.4.2 Lernkurven für die Entfernung der artifiziellen Konkremete

Beim Vergleich der Entfernung der Konkremete (RCE-d) durch die beiden unterschiedlichen Instrumentengruppen untereinander, zeigt die GRA-Gruppe eine statistisch signifikante Überlegenheit zu allen Zeitpunkten (T0: GRA 85,48 (12,32) % gegenüber AIR 65,71 (15,27) % Wirksamkeit; $p < 0,001$ und T3: GRA 84,68 (16,84) % gegenüber AIR 77,85 (13,98) % Wirksamkeit; $p < 0,001$) (Abbildung 20).

Die RCE-d-Werte für AIR bei T0 und T1 / T2 (65,48 (14,90) %, $p = 0,750$ / 67,49 (16,11) %, $p = 0,012$ (angepasst an Bonferroni)) unterscheiden sich statistisch nicht signifikant.

Die Verbesserung zwischen T0 und T3 für RCE-d in der AIR-Gruppe ist statistisch signifikant (77,85 (13,98) % $p < 0,001$).

Der Verlauf der Lernkurve für GRA zeigt ein anderes Muster; nach gleicher Wirksamkeit bei T0 bis T1 (84,52 (13,58) %, $p = 0,257$) wird die niedrigste Wirksamkeit bei T2 (79,26 (15,71) %, $p < 0,001$) gefunden, welche dann bis T3 (84,68 (16,84) %, $p < 0,001$) wieder zunimmt. Der Unterschied zwischen T0 und T3 ist jedoch statistisch nicht signifikant ($p = 0,417$).

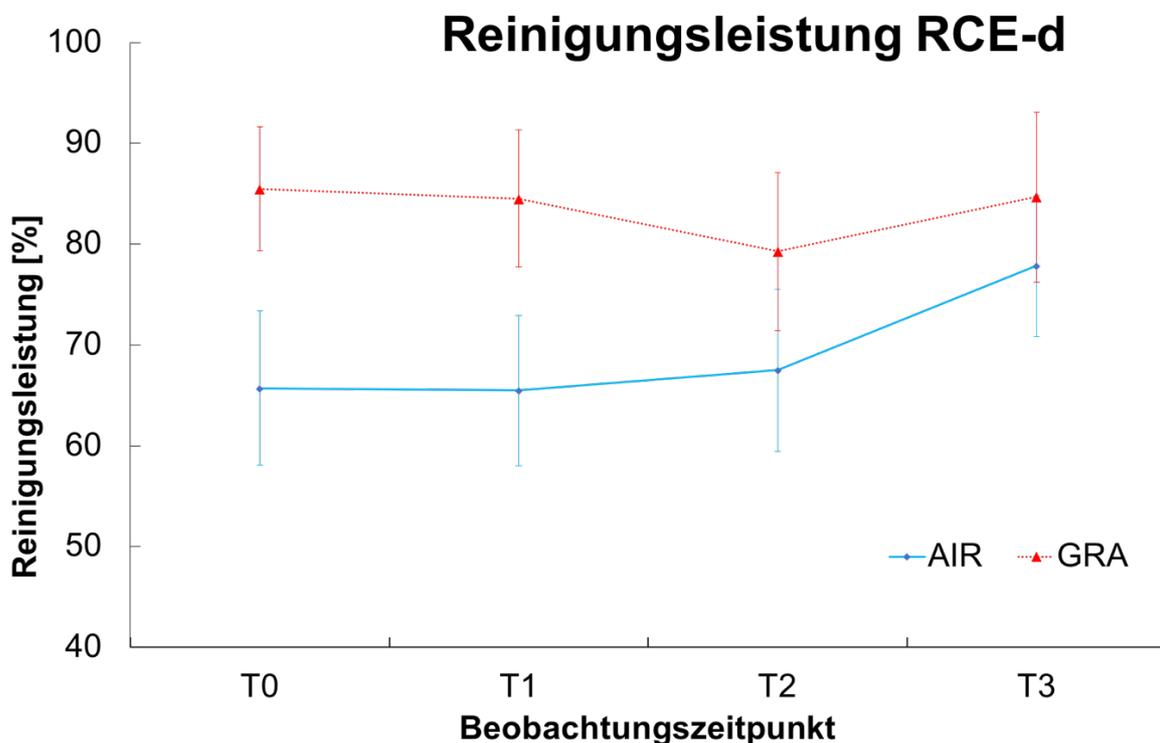


Abbildung 20: Reinigungsleistung in Prozent für die Konkremete (RCE-d) für Handinstrumente (GRA) und Schallscaler (AIR) zu allen vier Testzeitpunkten (T0 - T3)

Hinsichtlich der Wirksamkeit von RCE-b über die Behandlungszeit kann eine kontinuierliche Verbesserung von T0 auf T3 für GRA und AIR beobachtet werden (Abbildung 21).

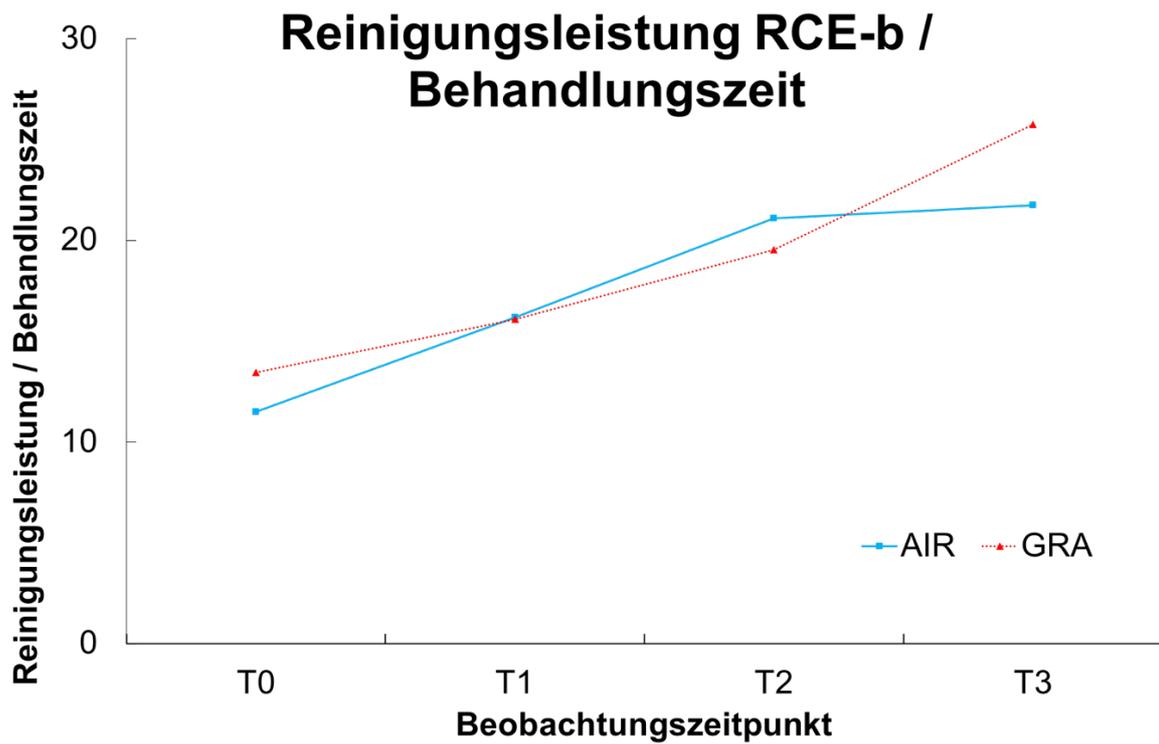


Abbildung 21: Quotient aus Reinigungsleistung und Behandlungszeit für Handinstrumente (GRA) und Schallscaler (AIR) zu allen vier Testzeitpunkten (T0 - T3)

3.4.3 Vergleich zwischen Oberkiefer und Unterkiefer

Zu Beginn der Studie werden für beide Instrumentengruppen keine signifikanten Unterschiede zur Entfernung des artifiziellen Biofilms (RCE-b) im Oberkiefer gegenüber dem Unterkiefer gemessen (GRA / AIR: $p = 0,011$ (angepasst an Bonferroni) / $p = 0,367$) (Tabelle 4).

Bei T3 können beide Instrumentengruppen eine statistisch signifikant höhere Wirksamkeit im Unterkiefer erreichen (GRA: 74,23 (24,18) % / AIR: 73,39 (22,38) %) gegenüber Oberkiefer (GRA: 68,88 (23,36) % / AIR: 70,05 (23,18) %) (alle Gruppen T0 - T3: $p = 0,001$) ohne statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Instrumentengruppen (Oberkiefer / Unterkiefer: $p = 0,514$ / $p = 0,638$) (Tabelle 4).

Für die Entfernung von harten Auflagerungen (RCE-d) bei T3 finden wir im Vergleich zu RCE-b in der AIR-Gruppe eine höhere Wirksamkeit im Oberkiefer im Vergleich zum Unterkiefer (83,68 (19,76) % / 74,26 (12,11) %, $p < 0,001$), aber für GRA sind die Ergebnisse ähnlich (95,95 (11,52) % / 93,14 (11,28) %, $p = 0,311$) (Tabelle 4).

Im Gegensatz zum beobachteten Trainingseffekt bei der Entfernung des artifiziellen Biofilms in beiden Gruppen wird eine Verbesserung bei der Entfernung von harten Auflagerungen nur bei dem Schallscaler (AIR) beobachtet.

GRA					
	Testtag			Unterschiede zwischen OK & UK	
		RCE-b	RCE-d	RCE-b	RCE-d
OK	T0	66,63 (23,91)	92,95 (10,80)	p = 0,011	p = 0,822
	T1	56,49 (24,0)	84,01 (15,1)	p = 0,022	p = 0,140
	T2	61,67 (24,02)	87,68 (17,53)	p = 0,018	p = 0,586
	T3	68,88 (23,36)	95,95 (11,52)	p = 0,004	p = 0,311
UK	T0	61,60 (27,33)	92,38 (16,66)		
	T1	60,69 (24,21)	90,0 (13,62)		
	T2	66,26 (24,80)	85,19 (16,26)		
	T3	74,23 (24,18)	93,14 (11,28)		
AIR					
	Testtag			Unterschiede zwischen OK & UK	
		RCE-b	RCE-d	RCE-b	RCE-d
OK	T0	63,16 (25,61)	71,66 (26,82)	p = 0,367	p = 0,099
	T1	66,49 (22,50)	71,90 (25,29)	p = 0,001	p = 0,049
	T2	68,52 (22,69)	74,87 (22,14)	p = 0,473	p = 0,055
	T3	70,05 (23,18)	83,68 (19,76)	p = 0,055	p = 0,030
UK	T0	61,35 (27,70)	62,37 (14,25)		
	T1	60,63 (26,15)	61,41 (13,19)		
	T2	69,81 (24,39)	64,98 (15,20)		
	T3	73,39 (22,83)	74,26 (12,11)		
Unterschiede zwischen GRA & AIR					
	Testtag				
		RCE-b	RCE-d		
OK	T0	p = 0,065	p < 0,001		
	T1	p < 0,001	p = 0,028		
	T2	p < 0,001	p = 0,018		
	T3	p = 0,514	p = 0,005		
UK	T0	p = 0,907	p < 0,001		
	T1	p = 0,979	p < 0,001		
	T2	p = 0,061	p < 0,001		
	T3	p = 0,638	p < 0,001		

Tabelle 4: Gegenüberstellung der verschiedenen Instrumententypen (GRA & AIR) zu den verschiedenen Testzeitpunkten (T0 - T3) unter Beachtung des entfernten artifiziellen Biofilms (Durchschnittswerte RCE-b in Prozent) und den harten Auflagerungen (Durchschnittswerte RCE-d in Prozent) separat für Ober- und Unterkiefer für alle 12 Testzähne

3.4.4 Betrachtung auf Zahnebene

Auf Zahnebene wird zum Zeitpunkt T3 in der AIR-Gruppe bei den Prämolaren die besten Reinigungsleistungen bei RCE-b erzielt im Vergleich zu den Molaren und Frontzähnen ($p < 0,001$). Für die GRA-Gruppe bei RCE-b können keine solchen Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 5 & 6).

Die Benutzung von Handinstrumenten (GRA) bei Molaren führt zu statistisch signifikant besseren RCE-b-Ergebnissen ($p = 0,001$) im Vergleich zu dem Schallscaler (AIR), während bei Prämolaren die Wirksamkeit in der AIR-Gruppe höher ist (81,28 (19,0) %; GRA: 71,35 (22,09); $p < 0,001$) (Tabelle 5 & 6).

		GRA		
	Testtag	RCE-b	RCE-d	Unterschiede zwischen den Testtagen für RCE-b ^a
Frontzahn	T0	58,60 (27,22)		T0 - T1: $p = 0,157$
	T1	55,23 (25,10)	n.a.	T0 - T2: $p = 0,575$
	T2	60,39 (27,28)		T0 - T3: $p \leq 0,001$
	T3	71,14 (26,36)		T1 - T2: $p = 0,064$
				T1 - T3: $p \leq 0,001$
			T2 - T3: $p \leq 0,001$	
Prämolar	T0	67,36 (25,22)		T0 - T1: $p = 0,235$
	T1	65,21 (24,55)	n.a.	T0 - T2: $p = 0,490$
	T2	68,05 (23,08)		T0 - T3: $p = 0,048$
	T3	71,35 (22,09)		T1 - T2: $p = 0,264$
				T1 - T3: $p = 0,001$
			T2 - T3: $p = 0,211$	
Molar	T0	66,69 (23,72)		T0 - T1: $p \leq 0,001$
	T1	55,49 (21,56)	n.a.	T0 - T2: $p = 0,017$
	T2	64,01 (22,38)		T0 - T3: $p = 0,040$
	T3	72,08 (23,35)		T1 - T2: $p \leq 0,001$
				T1 - T3: $p \leq 0,001$
			T2 - T3: $p \leq 0,001$	

Tabelle 5: Entfernter artifizierlicher Biofilm (Durchschnittswerte RCE-b in %) und entfernte harte Auflagerungen (Durchschnittswerte RCE-d in %) durch die Handinstrumente (GRA) separat für die verschiedenen Zahntypen (Frontzahn, Prämolar, Molar) zu den verschiedenen Testzeitpunkten (T0 - T3); (^a: angepasst an Bonferroni $p \leq 0,0083$)

AIR				
	Testtag	RCE-b	RCE-d	Unterschiede zwischen den Testtagen für RCE-b ^a
Frontzahn	T0	65,08 (26,59)		T0 - T1: p = 0,298
	T1	66,74 (23,14)	n.a.	T0 - T2: p = 0,321
	T2	67,42 (23,13)		T0 - T3: p = 0,013
	T3	69,19 (22,59)		T1 - T2: p = 0,958
				T1 - T3: p = 0,089 T2 - T3: p = 0,207
Prämolar	T0	65,33 (25,42)		T0 - T1: p = 0,010
	T1	70,18 (20,05)	n.a.	T0 - T2: p ≤ 0,001
	T2	78,83 (19,56)		T0 - T3: p ≤ 0,001
	T3	81,28 (19,0)		T1 - T2: p ≤ 0,001
				T1 - T3: p ≤ 0,001 T2 - T3: p = 0,017
Molar	T0	56,42 (27,14)		T0 - T1: p = 0,201
	T1	53,99 (26,91)	n.a.	T0 - T2: p = 0,012
	T2	61,53 (24,32)		T0 - T3: p ≤ 0,001
	T3	64,95 (24,10)		T1 - T2: p ≤ 0,001
				T1 - T3: p ≤ 0,001 T2 - T3: p = 0,028
Unterschiede zwischen GRA & AIR				
	Testtag	RCE-b ^a	RCE-d	
Frontzahn	T0	p = 0,010		
	T1	p < 0,001		
	T2	p = 0,004	n.a.	
	T3	p = 0,401		
Prämolar	T0	p = 0,388		
	T1	p = 0,017		
	T2	p < 0,001	n.a.	
	T3	p < 0,001		
Molar	T0	p < 0,001		
	T1	p = 0,504		
	T2	p = 0,258	n.a.	
	T3	p = 0,001		

Tabelle 6: Entfernter artifizieller Biofilm (Durchschnittswerte RCE-b in Prozent) und entfernte harte Auflagerungen (Durchschnittswerte RCE-d in Prozent) durch den maschinellen Scaler (AIR) separat für die verschiedenen Zahntypen (Frontzahn, Prämolar, Molar) zu den verschiedenen Testzeitpunkten (T0 - T3); zusätzlich Vergleich der beiden Instrumententypen (GRA & AIR) separat für die verschiedenen Zahntypen (Frontzahn, Prämolar, Molar) zu den verschiedenen Testzeitpunkten (T0 - T3); (^a: angepasst an Bonferroni p ≤ 0,0083)

4 Diskussion

Das Ziel dieser in-vitro-Untersuchung war es, den Ausbildungseffekt auf unerfahrene Behandler durch ein digital gestütztes Lernprogramm zur Entfernung von artifiziellem Biofilm und harten Auflagerungen mittels manueller und maschineller Instrumente zu betrachten.

Ein Bericht über den 1. Europäischen Workshop zur parodontalen Ausbildung stellt die Kompetenzen, die man nach einem abgeschlossenem Studium der Zahnmedizin erworben haben sollte, dar (Sanz & Meyle, 2010). Dort wird klar formuliert, dass ein Zahnarzt / Zahnärztin fähig sein muss, die Wurzeloberfläche supra- und subgingival zu reinigen, sowohl mit Handinstrumenten als auch mit maschinellen Systemen. Daher ist es nötig, eben dieses Wissen und den Umgang mit den jeweiligen Instrumenten im Rahmen des Studiums zu lehren. Insbesondere steht hierbei im Vordergrund, wie den Studierenden eine angemessene klinische Erfahrung vermittelt werden kann.

4.1 Diskussion der Ergebnisse

In der aktuellen Studie konnte gezeigt werden, dass unerfahrene Studierende, die nur eine theoretische Demonstration erhielten, in der Lage waren eine Reinigungsleistung für den artifiziiellen Biofilm (RCE-b) von im Mittel 64 % mit Handinstrumenten (GRA) und 62 % mit dem Schallscaler (AIR) zu erreichen. Nach sechs Monaten mit wöchentlichen Trainingseinheiten von 45 Minuten verbesserten sie sich mit den Handinstrumenten und mit dem Schallscaler auf jeweils 72 %. Dies entsprach einer signifikanten Steigerung von 7,5 % (GRA) bzw. 10 % (AIR) ($p \leq 0,001$).

Für die Reinigungsleistung wurden zwei Level definiert. Für Level eins mussten 70 % des artifiziiellen Biofilms oder der harten Auflagerungen entfernt werden, für Level zwei bis einschließlich 80 %. Nicht ausreichend wurde als 0 - 69 % des entfernten artifiziiellen Biofilms oder der harten Auflagerungen beschrieben. Die Festlegung dieser Level basierte auf wissenschaftlichen Hypothesen, da eine 100 %ige Entfernung von Plaque und Biofilm aufgrund von klinischen Einschränkungen wie Einziehungen an Wurzeln und Furkationen (Graetz et al., 2011) sowie Limitationen der Instrumente (Matuliene et al., 2008) nicht realisierbar ist. Dass Parodontitistherapien trotzdem erfolgreich verlaufen, lässt sich anhand des „kritischen Maßes“ erklären (Eickholz, 2007), wobei anzunehmen ist, dass bereits eine 70 bis 80 %ige Instrumentierung für den Erfolg ausreichend ist. Denn diese Reduktion der entzündlichen Last (Kepic,

O'Leary & Kafrawy, 1990) sorgt dafür, dass die destruierende Abwehrreaktion des Patienten gebremst wird (Nevins, Becker & Kornman, 1989).

Auffällig war, dass zu Beginn (T0) bereits 40 % aller Studierenden eine Wirksamkeit von 70 % für die Entfernung von artifiziellem Biofilm mit Handinstrumenten erreichten. Mit dem Schallscaler gelang dies nur 27 % der Probanden. Am Ende der Beobachtungsphase (T3) schafften 85 % aller Studierenden mit den Handinstrumenten und 87 % der Studierenden mit dem Schallscaler eine suffiziente Bearbeitung der Wurzeloberfläche von > 70 %. Für die Entfernung von artifiziellem Biofilm (RCE-b) vor dem Beginn der Trainingseinheit (T0) und danach (T3), konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Instrumenten festgestellt werden.

Während der gesamten Trainingsphase haben sich mehr als die Hälfte der Behandler in Bezug auf ihre Reinigungsleistung für den artifiziiellen Biofilm verbessert. Diese Verbesserung ist bei beiden Instrumentengruppen festzustellen, wobei sich 18 Studierende (60 %) mit den Handinstrumenten gesteigert haben und mit dem Schallscaler sogar 24 Studierende (80 %).

Betrachtet man den Verlauf der Reinigungsleistung für die harten Auflagerungen (RCE-d) fällt auf, dass hier nur 13 Studierende (43 %) ihre Wirksamkeit mit Handinstrumenten verbessern konnten, wohingegen 22 Studierende (73 %) mit dem Schallscaler ihre Leistung steigerten. Die bessere Leistung zu Beginn mit den Handinstrumenten und der damit einhergehende Mangel an Verbesserung (GRA: T0: 86 % gegenüber T3: 85 %), sowie die geringe Zahl an Studenten, die sich steigern konnten, könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Studierenden ein halbes Jahr zuvor bereits ein Trainingsprogramm am Phantomkopf für den Umgang mit Universalkürette und Scaler durchlaufen haben. Es kann angenommen werden, dass dieses erworbene Wissen zum grundsätzlich ähnlichen Umgang mit den Gracey Küretten übertragen wurde. Hingegen waren die Studierenden im Umgang mit maschinellen Instrumenten völlig unerfahren. Ein solches Phänomen wurde auch schon durch frühere Studien an unerfahrenen, wenig erfahrenen und sogar erfahrenen Behandlern belegt (Graetz, Schwendicke, et al., 2015; Rühling et al., 2002).

Es ist nicht verwunderlich, dass die Studierenden zu Beginn (T0) noch deutlich mehr Zeit für die Wurzeloberflächenbearbeitung pro Zahn aufwendeten, als am Ende der Beobachtungsphase (T3) (Tabelle 3). So benötigten die noch unerfahrenen Behandler zu Beginn der Untersuchung (T0) mit den Handinstrumenten (GRA) 29 min für die

sechs zu behandelnden Zähne, mit dem Schallscaler (AIR) lag ihre Zeit bei 32 min. Am Ende der Evaluationsphase (T3) konnten sie bei beiden Instrumentengruppen eine deutliche Zeitersparnis erzielen. So erreichten sie für GRA 17 min und für AIR 20 min. Dies entspricht einer Zeitersparnis von 41 % bei den Handinstrumenten und 38 % bei dem Schallscaler. Diese deutliche Reduktion des Zeitaufwandes für beide Instrumente am Ende der Trainingsphase könnte dadurch erklärt werden, dass die Entfernung von Biofilm und harten Auflagerungen ohne visuelle Kontrolle für unerfahrene und vor allem untrainierte Behandler schwieriger ist, da sie noch kein Gefühl für taktiles Arbeiten besitzen und das Wissen über die komplexe Wurzelmorphologie fehlt. Es kann angenommen werden, dass sie im Laufe der Untersuchung mit den wöchentlichen Trainingseinheiten eine gewisse Routine, umgangssprachlich ein gewisses Gefühl für das Tasten der zu reinigenden Zahnoberflächen erlangten, welches zur Reduzierung der Behandlungszeit beigetragen haben könnte. Diese sich langsam aufbauende Routine spiegelt sich auch in einer effektiveren Entfernung des artifiziellen Biofilms (RCE-b) mit dem Schallscaler (T0 - T1) und einen Termin später auch mit den Handinstrumenten (T0 - T2) wider. Diese leichte Verzögerung könnte auf die komplexere Handhabung der Handinstrumente zurückzuführen sein (Plagmann, 1998). Im Gegensatz zu anderen Studien, in denen maschinelle Instrumente als effektiver beschrieben wurden, da sie eine Zeitersparnis im Vergleich zu Handinstrumenten mit sich brachten (Tunkel et al., 2002; Walmsley, Lea, Landini & Moses, 2008), konnte in der vorliegenden in-vitro-Studie diese Beobachtung nicht bestätigt werden. Jedoch liegen hier auch Unterschiede zwischen der Situation am Phantomkopf und der realen klinischen Situation vor.

Die oft diskutierte Zeitersparnis von bis zu 50 % durch die Verwendung eines maschinellen Systems (Matuliene, 2010) sollte hinterfragt werden, da sie sowohl abhängig von der Erfahrung des Behandlers als auch vom Ausgangsbefund zu sein scheint (Axelsson & Lindhe, 1981; König, Plagmann, Langenfeld & Kocher, 2001; Zitzmann, Buset & Weiger, 2012). Arbeitsgeräusche und Schwingungen der maschinellen Scaler scheinen häufig ein „automatisches“ Debridement, vor allem eine schnellere Reinigung der Wurzeloberflächen vorzutäuschen. Dies sollten besonders unerfahrene Behandler berücksichtigen. Aufgrund der fehlenden Kontrollmöglichkeiten der eigenen Effektivität bei der Entfernung von subgingivalen Auflagerungen, insbesondere aber von nichtmineralisierten Biofilmen, ist eine

systematische Arbeitsweise mit überlappenden Bahnen – egal mit welchem Instrument – der Garant für eine gleichbleibend hohe Effizienz (Graetz, Schwendicke, et al., 2015; Kocher, Rühling, et al., 1997; Rühling et al., 2003; Rühling et al., 2002). Eine solche Instrumentierung der Wurzeloberflächen ist und bleibt zeitaufwendig und je nach Schwierigkeitsgrad (Masse, Härte und Größe der Auflagerungen, Taschentiefe, Einziehungen, etc.) und Erfahrung (Graetz, Schwendicke, et al., 2015) benötigt man je Zahn rund drei Minuten (Axelsson & Lindhe, 1981; König et al., 2001; Zitzmann et al., 2012). Diese Einschätzung stützt unsere Erkenntnisse in Bezug auf die Behandlungszeit pro Zahn. Zu Beginn des systematischen Trainings (T0) benötigten die unerfahrenen Studierenden sowohl mit den Handinstrumenten als auch mit dem maschinell betriebenen Scaler fast fünf Minuten pro Zahn. Im Verlauf der Beobachtungsphase reduzierten sie ihre Zeit auf etwa drei Minuten pro Zahn, wobei sie im Vergleich der beiden Gruppen mit den Handinstrumenten generell etwas schneller waren (Tabelle 3). Dementsprechend erreichten die unerfahrenen Behandler nach dem sechsmonatigen Training diese drei Minuten pro Zahn, die als notwendig für eine angemessene Reinigungsleistung angesehen werden mit beiden Instrumentengruppen (Axelsson & Lindhe, 1981; König et al., 2001; Zitzmann et al., 2012). Daher muss die primär aufgestellte Hypothese, dass die Studierenden mit dem Schallscaler nach dem sechsmonatigen Training effektiver und schneller reinigen als mit den Handinstrumenten, verworfen werden.

Die Benutzung des Schallscalers erfolgte in der vorliegenden Studie nach Herstellerempfehlung auf dem Level 2 (medium) der Amplitude. Studien belegen jedoch, dass die Einstellung der Amplitude die Resultate der Reinigungsleistung von Schall- und Ultraschallscalern beeinflusst (Flemmig, Petersilka, Mehl, Hickel & Klaiber, 1998a; Flemmig et al., 1997). Diese zeigten, dass die Verwendung auf Level 3 (high) bessere Resultate in Bezug auf die Entfernung von Zahnstein liefern, jedoch einhergehen mit Schädigungen der Wurzeloberfläche. Demnach ist die Einstellung auf Level 3 (high) Situationen vorbehalten, in denen besonders harte, mineralisierte Auflagerungen entfernt werden müssen, wie es in der antiinfektiösen Therapie vorkommen kann (Graetz, Bräuning, et al., 2016).

Die Schlussfolgerung, dass der Umgang sowohl mit Handinstrumenten als auch mit maschinellen Scalern ein stetiges Training erfordert, steht im Einklang mit Erkenntnissen anderer Untersuchungen (Graetz, Schwendicke, et al., 2015; Rühling

et al., 2002). Eine frühere Arbeitsgruppe um PD Dr. Graetz stellte ebenfalls fest, dass Schallinstrumente den Handinstrumenten in Bezug auf die Behandlungszeit nicht überlegen sind (Graetz, Schwendicke, et al., 2015). Hingegen beeinflusste die klinische Erfahrung des Behandlers das Resultat der Reinigungsleistung in hohem Maße. Das Ergebnis umfasste hier allerdings nicht nur die entfernte Menge simulierten Biofilms pro Zeit, sondern auch das Ausmaß der Schädigung der Wurzeloberfläche. So verursachten wenig erfahrene Behandler mit Handinstrumenten eine größere Schädigung als erfahrene Behandler (Graetz, Schwendicke, et al., 2015). Dies deutet daraufhin, dass die erfahrenen Behandler besser einzuschätzen wussten, wie stark der Anpressdruck sein muss, wenn nur Biofilm und nicht dessen mineralisierte Auflagerungen entfernt werden sollen.

Ebenfalls eine Kieler Arbeitsgruppe um Dr. Rühling konnte schon vor 18 Jahren zeigen, dass die maschinell betriebenen Systeme gegenüber den Handinstrumenten in der Hand von unerfahrenen Behandlern bezüglich der Effizienz keinen Vorteil besitzen. Im Gegenteil kamen sie zu dem Schluss, dass bei komplizierten anatomischen Wurzeloberflächen maschinelle Scaler weniger effektiv sind als Handinstrumente (Rühling et al., 2002). Dies widerspricht aber der heutigen Einschätzung, da die damals untersuchten maschinellen Scaler eine besondere Gruppe von oszillierend arbeitenden Instrumenten darstellten (Periopolisher-System, Hawe Neos Dental, Bioggio, Schweiz), welche mit heutigen Schall- und Ultraschallscalern und den verfügbaren filigranen Arbeitsspitzen nicht zu vergleichen sind. Trotzdem stellten auch sie fest, dass ein systematisches Training dazu führt, dass die Behandler vergleichbare Resultate mit Handinstrumenten und maschinellen Systemen erreichen können.

Eine erfolgreiche Parodontitistherapie sollte neben der effizienten Entfernung von Biofilm und Konkrementen durch eine weitestgehende Schonung der Wurzeloberfläche gekennzeichnet sein (Graetz et al., 2017). Graetz et al. untersuchten den Effekt, den verschiedene Instrumente für die Reinigung von Wurzeloberflächen auf deren Rauigkeit haben kann. Dabei wurden erfahrene (n = 7) und unerfahrene Behandler (n = 4) miteinander verglichen. In der Studie wurden die gleichen Modellzähne verwendet wie in der vorliegenden, sodass ein direkter Vergleich möglich ist. Den Behandlern standen neben speziellen Handinstrumenten in Form von neuentwickelten Double Gracey Mini Spezialküretten (Anterior und Posterior

Scandette, American Eagle Instruments, Missoula, USA) auch maschinelle Systeme wie ein Schall- (Typ Synea, W&H, Bürmoos, Österreich) und Ultraschallscaler (Typ Tigon+, W&H, Bürmoos, Österreich) zur Verfügung. Letztendlich konnten die Behandler mit allen drei Instrumententypen die Wurzeloberfläche suffizient reinigen, am effektivsten waren sie aber mit dem Schallscaler (87 %) im Vergleich zu den beiden anderen Instrumententypen (Double Gracey™ Mini Spezialküretten 78 %, Ultraschallscaler 73 %, jeweils $p < 0,001$). Handinstrumente hinterließen jedoch den höchsten Grad an Rauigkeit, gefolgt vom Schallscaler und dann dem Ultraschallscaler. Erfahrene Behandler zeigten zwar generell eine höhere Effektivität, allerdings konnte auch ein unerfahrener Anwender nach Einweisung in die korrekte Benutzung eine Oberfläche vergleichbarer Qualität produzieren. Daher scheint ein systematisches Training im Umgang mit dem jeweiligen Instrument ebenso wichtig wie die jahrelange Routine zu sein (Graetz et al., 2017).

4.2 Diskussion der Limitationen

4.2.1 Modelle

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine in-vitro-Simulation, bei der der subgingivale Biofilm und die harten Auflagerungen mithilfe eines Lackgemisches auf der Oberfläche von Modellzähnen nachgeahmt wurden. Daher ist eine Übertragung der vorliegenden Ergebnisse auf die reale, klinische Situation nur bedingt möglich (Kocher, Rühling, et al., 1997). Außerdem kann der Effekt der verwendeten Gingivamasken auf die Eindringtiefe der Küretten, bzw. auf die Dämpfung des oszillierenden Schallscalers nicht abgesehen werden (Gankerseer & Walmsley, 1987; Graetz, Schwendicke, et al., 2015; Kocher, Rühling, et al., 1997; Rühling et al., 2002). Ein Vergleich zu den natürlichen Gegebenheiten der menschlichen Gingiva ist daher in dieser Modellsimulation nur eingeschränkt möglich.

Des Weiteren simulierten die verwendeten Modelle eine weit fortgeschrittene Parodontitis mit horizontalem Knochenverlust, vertikalen Taschen und Furkationsbeteiligung, die eine Instrumentierung deutlich erschwerten (Bower, 1979; Kocher, Tersic-Orth & Plagmann, 1998). Durch die methodenimmanente Einschränkungen bei der planmetrischen Bestimmung der Reinigungsleistung wurde diese Region nicht statistisch erfasst, sondern dienten ausschließlich dazu, den

Schwierigkeitsgrad für den Behandler zu erhöhen. Dies könnte erklären, warum die Studierenden mit dem Schallscaler keine bessere Reinigungsleistung bei Molaren erreichten, so wie es im Vorfeld hypothetisch angenommen wurde. Eine Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Tunkel (Universität Münster, Deutschland) konnte zeigen, dass Schall- und Ultraschallscaler bei mehrwurzeligen Zähnen effizienter zu sein scheinen (Kocher, Riedel, et al., 1997; Kocher, Rühling, et al., 1997; Tunkel et al., 2002). Hingegen zeigte eine andere in-vitro-Untersuchung eine gute Zugänglichkeit für beide Instrumentengruppen bei einer horizontalen Taschentiefe von weniger als 2 mm (Sugaya, Kawanami & Kato, 2002). Demnach kann das vermeintlich schlechtere Resultat der Reinigungsleistung bei den Molaren mit dem Schallscaler nicht nur darauf zurückzuführen sein, dass der Furkationsbereich nicht untersucht wurde, sondern auch darauf, dass die Studierenden im Umgang mit dem maschinell betriebenen System noch kaum Erfahrung hatten und mittels weiterführender Trainingsprogramme üben müssen. Es scheint, dass gerade das fehlende Verständnis zur Morphologie der subgingival gelegenen Anteile der Wurzeloberflächen bei unerfahrenen Behandlern zu schlechteren Ergebnissen führen kann (Graetz, Schwendicke, et al., 2015) und zukünftige Bestrebungen zu bildgebenden Verfahren wie dem Einsatz von dentalen Endoskopen Abhilfe schaffen könnten (Graetz, Schorr, Christofzik, Dörfer & Sälzer, 2020). Dies ist derzeit Gegenstand von in-vitro- und in-vivo-Studien der Kieler Arbeitsgruppe.

Die vorliegende Untersuchung wurde mit präfektionierten Parodontitismodellen des Ober- und Unterkiefers (A-PB OK & A-PB UK, frasaco GmbH, Tettngang, Deutschland) durchgeführt. Dadurch waren zwar identische reproduzierbare Testzähne für alle Probanden an den sich wiederholenden Evaluationsterminen möglich, hingegen stimmte die Verteilung der künstlichen Testzähne im Kiefer zwischen den beiden Instrumentengruppen nicht exakt überein, sondern nur hinsichtlich des Zahntyps / grobe Morphologie (Frontzahn, Prämolare, Molar) und des Kiefers. Für den Schallscaler waren die Zähne auf alle vier Quadranten (17, 21, 25, 34, 36, 43) verteilt, für die Handinstrumente im ersten, dritten und vierten Quadranten (11, 14, 16, 31, 37, 45). Daher konnte ein Störfaktor in Bezug auf die gleichmäßige Seitenverteilung nicht vollständig ausgeschlossen werden, der beispielsweise durch die Händigkeit des Anwenders beeinflusst werden könnte (Canakci et al., 2004). Eine türkische Arbeitsgruppe um Canakci (Universität Atatürk, Türkei) konnte in einer Studie mit

Studenten feststellen, dass linkshändige Studenten, die an Phantomeinheiten für Rechtshänder arbeiteten, ein subgingivales Debridement weniger erfolgreich durchzuführen schienen als rechtshändige Studenten (Canakci et al., 2004). Zwar wiesen die Linkshänder im Laufe der Untersuchung einen vergleichbaren Lernerfolg wie die Rechtshänder auf, jedoch ist die klare Empfehlung der Autoren, die Ausbildung für Linkshänder entsprechend anzupassen mittels spezieller Arbeitsprinzipien für Linkshänder und einen linkshändigen Ausbilder, um so die Ergebnisse des subgingivalen Scalings zu verbessern (Canakci et al., 2004).

4.2.2 Methodik

In der vorliegenden Studie wurden die Resultate der entfernten artifiziiellen harten Auflagerungen nur auf Patientenebene und nicht auf Kiefer- / Zahnebene analysiert. Es konnte aus methodischen Gründen (Ungleichverteilung der Konkremete je Zahngruppe) nur der Prozentsatz aus der Anzahl der entfernten harten Auflagerungen im Vergleich zur Gesamtzahl an harten Auflagerungen je Proband und Instrument errechnet werden. In zukünftigen Untersuchungen sollte man hierbei auf eine noch höhere Reproduzierbarkeit achten. Trotzdem ermöglichten die vorgestellten in-vitro-Analysen definierte und klinisch nicht messbare Parameter unter reproduzierbaren Bedingungen zu beobachten, wodurch die Sensitivität der Untersuchungen erhöht wird. Somit ist es möglich, die einzelnen Untersuchungsgruppen objektiviert miteinander zu vergleichen. Im Rahmen der vorliegenden Studie gab es keine Kontrollgruppe. Zukünftige Untersuchungen sollten diese jedoch berücksichtigen, um die Validität der Ergebnisse zu erhöhen.

Außerdem wurde die Wurzeloberflächenbeschaffenheit in dieser Untersuchung nicht bewertet. Diese sollte jedoch in zukünftigen Studien mit einbezogen werden, da die Schonung der Wurzeloberfläche, wie oben bereits erläutert, ebenfalls einen wichtigen Aspekt einer erfolgreichen Parodontitistherapie darstellt (Graetz et al., 2017).

Durch das breite Spektrum an Instrumenten sollte vor jeder Behandlung definiert werden, ob nur Biofilme oder auch harte, mineralisierte Auflagerungen entfernt werden müssen. Dementsprechend unterscheidet sich die Instrumentenauswahl auch in den einzelnen Phasen der Parodontitistherapie. So werden in der Prävention und UPT besonders Ultraschallscaler und PWS-Geräte eingesetzt (beide nicht Gegenstand der vorliegenden Studie), da sie eine geringere Abrasivität auf der Zahnoberfläche

aufweisen (Sanz, Teughels & Group, 2008; Sculean et al., 2013; Trenter, Landini & Walmsley, 2003). Wenn jedoch harte Auflagerungen entfernt werden sollen, wie im Rahmen der antiinfektiösen Therapie und in der vorliegenden Studie simuliert, stehen Handinstrumente und Schallscaler im Vordergrund (Graetz, Bräuning, et al., 2016). Ein nicht zu vernachlässigender Punkt jeder Studie ist die mögliche Selektionsbias. Im vorliegenden Fall wurden nur zwei Instrumente aus zwei Instrumentengruppen verglichen, wohingegen es eine immerwährende Dynamik bei der Weiter- und Fortentwicklung von Techniken / Methoden in der Medizin gibt. Deshalb darf nicht unerwähnt bleiben, dass es innerhalb der Parodontalprophylaxe / nicht-chirurgischen Parodontitistherapie während der letzten Jahre einen oftmals schon als Paradigmenwechsel bezeichneten Trend zur Verwendung von PWS-Geräten gab (Sculean et al., 2013). Durch die allgegenwärtige Vermarktung der PWS-Technik und progressive Werbung wird dem Praktiker oftmals eine höhere Wirksamkeit und vorteilhaftere Nutzung gegenüber maschinellen Scalern und vor allem Handinstrumenten versprochen. Diese These ist aber noch unzureichend durch wissenschaftliche Studien belegt. Auch muss betont werden, dass mittels der PWS-Technik keine harten Auflagerungen entfernt werden können. Daraus leitet sich die grundsätzliche Überlegung ab, dass auch diese Methode nur in der oben bereits erläuterten Kombination verschiedener Instrumente in spezifischen Therapiephasen mit unterschiedlichen Behandlungsschwerpunkten wirklich sinnvoll ist. Im Rahmen der systematischen Parodontitistherapie scheint die PWS-Technik unter ausschließlicher Verwendung niedrig-abrasiver Pulver einzig in der UPT vordergründig indiziert, da meist nur nicht mineralisierte Auflagerungen entfernt werden und maximal zahnhartsubstanzschonend gearbeitet werden muss (Axelsson, Nystrom & Lindhe, 2004; Tunkel et al., 2002). Aufgrund dessen scheint sie der traditionellen Verfahrensweise mit Handinstrumentierung (Hagi, Hofmanner, Salvi, Ramseier & Sculean, 2013; Moene, Decaillet, Andersen & Mombelli, 2010; Wennstrom, Dahlen & Ramberg, 2011) und anschließender Politur mit rotierenden Gummikelchen unter Verwendung von verschiedenen abrasiven Polierpasten überlegen (Camboni & Donnet, 2016; Chetrus & Ion, 2013). Zusätzlich ist die Technik im Rahmen der patientenindividualisierten Zahnmedizin von Vorteil, da sie einerseits sehr schmerzarm ist und andererseits auch eine antibakterielle Wirkung aufweist (Bühler, Amato, Weiger & Walter, 2016a; Sahrman, Ronay, Schmidlin, Attin & Paque, 2014). Wie bereits

ausgeführt ermöglicht die PWS-Technik nicht nur ein zahnhartsubstanzschonendes Arbeiten (Bühler, Schmidli, Weiger & Walter, 2015; Sahrman et al., 2014), sondern vermeidet auch eine Weichgewebsschädigung, sofern eine herstellerkonforme Anwendung erfolgt (Petersilka et al., 2008). Beide letztgenannten Aspekte resultieren in einer hohen Patientenakzeptanz, da sowohl während der Anwendung als auch nach der Reinigung mit PWS-Geräten weniger Missemphindungen auftreten (Bühler et al., 2016a; Bühler, Amato, Weiger & Walter, 2016b). Allerdings sollte in diesem Zusammenhang immer beachtet werden, dass bei der Anwendung eines PWS-Gerätes die Gefahr eines subkutanen Emphysems besteht (Petersilka, Panitz, Weresch, Eichinger & Kern, 2010). Dieses kann durch den falschen Arbeitswinkel oder zu hohem Druck entstehen, wobei die Gefahr in Regionen mit geringem oder keinem gingivalen Attachment (akuter Taschenabszess, Paro-Endo-Läsionen, Rezessionen etc.) besonders hoch ist. Daher muss aus forensischen Gründen immer eine Aufklärung über diese seltene, aber mögliche Komplikation erfolgen. Als Behandler ist man verpflichtet Emphyseme differenzialdiagnostisch einzuschätzen, um gegebenenfalls notwendige Behandlungsmaßnahmen einleiten zu können (Hochleitner, 2013). Ein weiteres Risiko für Personal und Patienten stellt die permanente Pulver- bzw. Aerosolexposition dar, wobei Letzteres potenziell infektiös ist. Für Asthmatiker besteht eine absolute Kontraindikation und der Patient als auch der Behandler sollten eine Schutzbrille tragen.

Neben PWS-Geräten mit niedrig abrasivem Pulver eignen sich aber auch Ultraschallscaler zum Einsatz in der UPT, welche ebenfalls nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung waren. Diese supra- und subgingival eingesetzten Geräte verursachen geringere Oberflächenaufrauungen und Hartsubstanzverluste, gegenüber den hier trainierten Hand- und Schallinstrumenten (Bühler et al., 2015; Sahrman et al., 2014). Zukünftige Studien sollten deshalb unbedingt den Vergleich von Hand- und Schallinstrumenten mit Ultraschall- und Pulver-Wasser-Strahlgeräten beinhalten (Laleman et al., 2017), weil beide Techniken spezifische Anforderungen an den Anwender stellen. Vor allem im Vergleich von Schallscaler zu Ultraschallscaler fällt auf, dass der Ultraschallscaler deutlich techniksensitiver ist. Aufgrund der unterschiedlichen Schwingungsbewegung ist das Abtragsmuster sehr stark abhängig vom Anpressdruck und der Angulation des Instrumentes und erfordert so einen routinierten Behandler (Flemmig et al., 1998a; Flemmig, Petersilka, Mehl, Hickel &

Klaiber, 1998b). Leider ist es häufig so, dass derartige Geräte in der Praxis ohne ausreichende Instruktion in ihre Anwendung angeschafft werden. Daher wäre es wünschenswert ein entsprechendes Trainingsprogramm, wie es in der vorliegenden Studie hinsichtlich Lerneffekt für Handinstrumente und Schallscaler evaluiert wurde, ebenfalls für den Ultraschallscaler zu entwickeln, um optimale Behandlungsergebnisse auch bei untrainierten Anwendern zu erzielen.

4.3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Fazit dieser Studie ist, dass ein systematisches und digitalisiertes interaktives Trainingsprogramm am Phantomkopf für das Erlernen einer suffizienten Wurzeloberflächenbearbeitung für Behandler mit keiner oder wenig Erfahrung sehr hilfreich ist. Nach der sechsmonatigen Schulung erreichten die Studierenden eine Reinigungsleistung im Mittel von mehr als 70 % für den artifiziellen Biofilm und fast 80 % für harte Auflagerungen.

Leistung wurde hierfür als Wirksamkeit in Relation zur Behandlungszeit definiert und diese verbesserte sich im Verlauf der gesamten Studie für beide Instrumentengruppen kontinuierlich. Während die Studierenden zu Beginn der Untersuchung (T0) nur eine Reinigungsleistung von 60 % für den artifiziellen Biofilm mit beiden Instrumenten erreichten, steigerten sie sich am Ende (T3) auf 70 %. Für die harten Auflagerungen gelang ihnen am Anfang (T0) eine Effizienz von 80 % mit GRA und 65 % mit AIR. Bis zum Zeitpunkt T3 verbesserten sie sich auf 80 % für beide Instrumententypen.

Unabhängig davon, welches Instrument verwendet wird, stellt das SRP bis heute den „Goldstandard“ für eine erfolgreiche antiinfektiöse Therapie der Parodontitis dar (Cobb, 2002). Hierfür greifen die Behandler meistens auf maschinell anwendbare Geräte zurück, die nicht nur eine Zeitersparnis, sondern auch eine ausbleibende körperliche Ermüdung versprechen (Cobb, 2002). Dies kann unter anderem auf eine bessere Arbeitsergonomie bei der Anwendung von maschinellen Scalern gegenüber Handinstrumenten zurückzuführen sein (Graetz, Plaumann, et al., 2016), aber auch darauf, dass maschinelle Scaler oftmals den Eindruck einer höheren Effektivität aufgrund des sauberen Arbeitsfeldes (Wasserkühlung), der Geräusentwicklung und der weniger komplexen Handhabung vermitteln. Diese Aspekte stehen in Einklang mit Ergebnissen eines niederländischen Forschungsteams. Die Gruppe um van der Zande (Universität Amsterdam, Niederlande) führte im Rahmen einer Studie eine Befragung

unter Zahnärzten durch in Bezug auf die Verwendung von digitalen Technologien (van der Zande, Gorter, Bruers, Aartman & Wismeijer, 2018). Zahnärzte, die als „high technology users“ eingestuft wurden, begründeten ihre Benutzung mit einer Verbesserung der Qualität der Arbeit, als wertvoll für die Zahnarztpraxis und als anwenderfreundlicher (van der Zande et al., 2018).

Eine Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Walmsley (Universität Birmingham, Großbritannien) stellte fest, dass eine Kombination aus den verschiedenen zur Wurzeloberflächenbearbeitung zur Verfügung stehenden Instrumente, durch instrumentenspezifische Eigenschaften wie Arbeitsweise und Einsatzbereich, einen positiven Effekt hatte (Walmsley et al., 2008). Dies lässt den Schluss zu, dass nur durch die individuelle Kombination verschiedener Instrumente während des SRP ein optimales Ergebnis in Bezug auf die Entfernung von Biofilm und Konkrementen erzielt werden kann und gleichzeitig die Wurzeloberfläche geschont wird (Graetz, Bräuning, et al., 2016).

Aus den vorangegangenen Erläuterungen wird deutlich, dass maschinelle Scaler für die Behandlung einer Parodontitistherapie heutzutage essentiell sind. Jedoch sollten die damit verbundenen Nebenwirkungen nicht unbeachtet bleiben (Paramashivaiah & Prabhuji, 2013). In der zahnärztlichen Praxis werden durch ihren Einsatz die meisten Spritz- und Aerosolkontaminierungen verursacht. So konnten Arbeitsgruppen um PD Dr. Graetz zeigen, dass Schall- und Ultraschallgeräte zwar gleichermaßen effektiv die Wurzeloberfläche reinigen, die Schallgeräte jedoch ein höheres Risiko für den Behandler aufgrund von Spritzkontaminierungen bergen (Graetz, Bielfeldt, Tillner, Plaumann & Dörfer, 2014; Graetz, Plaumann, et al., 2015). Daher sind nicht nur zu Zeiten wie der Covid-19-Pandemie mit Beginn im Frühjahr 2020, sondern grundsätzlich bei jeder zahnärztlichen Behandlung, die empfohlenen Schutzmaßnahmen zu befolgen, um Behandler und Patient ausreichend zu schützen (Cottone & Molinari, 1991; Drisko et al., 2000; Feres, Figueiredo, Faveri, Stewart & de Vizio, 2010; Harrel, 2004; Szymanska, 2007).

Entsprechend der vorliegenden Ergebnisse und der externen Evidenz lässt sich ableiten, dass optimale Resultate nur durch eine perfekt abgestimmte Kombination der einzelnen Instrumente entsprechend der jeweiligen systemimmanenten Vor- und Nachteile möglich sind. Für den Anwender bedeutet dies, dass neben einem hohen Grad an Erfahrung (Graetz, Schwendicke, et al., 2015) auch ein stetes Training im

Umgang mit den Instrumenten notwendig ist, um eine erfolgreiche Parodontitistherapie durchführen zu können (König et al., 2002). Entgegen der weit verbreiteten Annahme unterstreicht die vorliegende Untersuchung noch einmal die Empfehlung, dass gerade auch maschinelle Scaler ein umfassendes Training benötigen um damit effektiv, schnell und gleichzeitig schonend (nicht Gegenstand der Untersuchung) arbeiten zu können. Sie bedingen zwar systemimmanent eine einfachere Anwendung gegenüber Handinstrumenten (Asadoorian, Botbyl & Goulding, 2015), sind aber nicht zwangsläufig Garant besserer Behandlungsergebnisse (Suvan et al., 2019). Deshalb braucht eine patientenindividualisierte Zahnmedizin entsprechende adaptierbare Lehrkonzepte, um die zukünftigen Zahnärzte bestmöglich auf die Praxis vorzubereiten. Dabei ist die differenzierte Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen der zur Verfügung stehenden Behandlungsmethoden von entscheidender Bedeutung. Zukünftige Untersuchungen müssen aber mit Hilfe zusätzlicher Kontrollgruppen die hier vorgestellten Studienergebnisse eines digital unterstützten Lehr-/Trainingskonzeptes im direkten Vergleich mit herkömmlichen Methoden verifizieren.

5 Zusammenfassung

In der heutigen Zeit ist digitales Lernen fester Bestandteil in den meisten Studiengängen. In der Humanmedizin nimmt dies bereits einen hohen Stellenwert ein und entsprechende Lernplattformen stellen die notwendige Basis zur Interaktion von Studierenden und Dozenten dar. Hingegen ist im Bereich des zahnmedizinischen Curriculums bisher der Einsatz digitalisierter Lernprogramme noch rudimentär, teils begründet darin, dass das Zahnmedizinstudium durch eine sehr hohe Integration von präsenzpflichtigen Leistungen der Studierenden unter Supervision am Patienten geprägt ist, aber auch der fehlenden technischen Ausstattung insbesondere in den vorklinischen Semestern. Dies im Rahmen eines Lehrprojektes zumindest für den Teilbereich der Parodontologie zu ändern, war die Aufgabenstellung des vorliegenden Promotionsvorhabens. Ziel der Beobachtungsstudie war es, den Einfluss eines neu entwickelten digital gestützten Lehr- / Trainingsprogramms für den Umgang mit Handinstrumenten und maschinellen Scaler auf den Lernerfolg von unerfahrenen Behandlern während der subgingivalen Instrumentierung von Wurzeloberflächen am Phantomkopf zu untersuchen.

Im Rahmen der Beobachtungsphase wurden nach schriftlichem Einverständnis zur Studienteilnahme (positives Ethikvotum AZ D452/18) 30 Studierenden des siebten Semesters Zahnmedizin an der Christian-Albrecht-Universität zu Kiel evaluiert. Den Studierenden wurde ein Satz handelsüblicher seitenspezifischer Spezialküretten (GRA) zur Verfügung gestellt, welche sich aufgrund der manuellen Führung durch den Anwender durch eine hohe Taktilität während der Bearbeitung der subgingivaler Wurzeloberflächen auszeichnen. Die Anwendung dieser Handinstrumente wurden verglichen mit Druckluft betriebenen maschinellen Scalern (AIR), die aufgrund der mit bis zu 8 kHz schwingenden Arbeitsspitzen ein leichthändigeres Instrumentieren insbesondere tiefer parodontaler Taschen ermöglichen. Der Lernerfolg im Umgang mit den Instrumenten wurde an vier Tagen während der 14 Wochen dauernden Studie evaluiert. Das Training und die Tests wurden an Phantomkopfeinheiten durchgeführt, bestückt mit speziellen Parodontitismodellen bei denen subgingival artifizieller Biofilm und harte Auflagerungen simuliert wurden. Für beide Instrumentengruppen wurden jeweils sechs Zähne festgelegt, die von den Probanden gereinigt werden sollten. So konnte zum einen die relative Reinigungsleistung bei der Entfernung von subgingival

simuliertem Biofilm (in %) und harten Auflagerungen (in %), sowie die dafür benötigte Zeit (in min) betrachtet werden.

Eine vorhergehende Poweranalyse ergab eine Mindestanzahl von $n = 175$ Zähnen je Gruppe pro Testtag als ausreichend. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk-Test und Chi Quadrat Test. Da die Reinigungsleistung in Prozent der Fläche nicht normal verteilt war ($p > 0,0001$), wurden signifikante Unterschiede mittels des nicht-parametrischen t-Tests bestimmt. Alle Tests waren zweiseitig, die statistische Signifikanz wurde mit $p \leq 0,05$ angenommen und mit der Bonferroni-Methode für Mehrfachvergleiche angepasst ($p = 0,05 / 6 = 0,0083$).

Zu Beginn der Studie (T0) starteten die Studierenden mit einer durchschnittlichen Reinigungsleistung des artifiziellen Biofilms von 64,2 % für GRA (AIR: 62,3; %; $p = 0,172$). Harte Auflagerungen wurden in 85,5 % für GRA (AIR: 65,7; %; $p < 0,001$) erfolgreich entfernt. Nach 14 Wochen Training erreichten die Studierenden bei der abschließenden Kontrolle (T3) in beiden Instrumentengruppen ohne signifikante Unterschiede die höchste Reinigungseffizienz für artifizielle Biofilme (GRA / AIR: 71,5 % / 71,8 %; $p = 0,864$). Hingegen bei der Entfernung der artifiziellen harten Auflagerungen verzeichneten sie eine signifikant verbesserte Reinigungsleistung mit dem maschinellen System (GRA / AIR: 84,7 % / 77,9 %; $p < 0,001$).

Innerhalb der Grenzen dieser Studie kann gezeigt werden, dass mit einem digitalisierten Trainingsprogramm bei reduzierter Supervision durch Dozenten für Studierende der Zahnmedizin mit wenig Erfahrung im Umgang mit Handinstrumenten bzw. unerfahren in der Anwendung von Schallscalern eine deutliche Steigerung der Effizienz innerhalb von kurzer Zeit und zehn Trainingssitzungen erreichbar ist. Nach diesem interaktiven Training sind die Teilnehmer in der Lage artifiziellen Biofilm mit einer Wirksamkeit von mehr als 70 % (sogar 80 % der harten Ablagerungen) innerhalb von 3 Minuten je Zahn zu entfernen. Sie konnten die Reinigungsleistung und die Behandlungszeit für beide Instrumentengruppen kontinuierlich verbessern. Zukünftige Studien sollten das Zusammenspiel von direkten digitalen Feedback-Systemen und der Motivation / Selbsteinschätzung der Nutzer während des Trainings untersuchen und dies mit den Ergebnissen von Kontrollgruppenkohorten nach konventionellen Lehrmethoden vergleichen.

6 Literaturverzeichnis

Approbationsordnung für Zahnärzte. (1955). Bundesministerium für Gesundheit

Arnold, W. H., Hoffmann, T., & Willershausen, B. (2010). Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie *Georg Thieme Verlag Stuttgart*, 309.

Asadoorian, J., Botbyl, D., & Goulding, M. J. (2015). Dental hygienists' perception of preparation and use for ultrasonic instrumentation. *Int J Dent Hyg*, 13(1), 30-41. doi:10.1111/idh.12092

Axelsson, P., & Lindhe, J. (1981). The significance of maintenance care in the treatment of periodontal disease. *J Clin Periodontol*, 8(4), 281-294. doi:10.1111/j.1600-051x.1981.tb02039.x

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(9), 749-757. doi:10.1111/j.1600-051X.2004.00563.x

Badersten, A., Nilveus, R., & Egelberg, J. (1985). Effect of non-surgical periodontal therapy. VI. Localization of sites with probing attachment loss. *J Clin Periodontol*, 12(5), 351-359. doi:10.1111/j.1600-051x.1985.tb00925.x

Bower, R. C. (1979). Furcation morphology relative to periodontal treatment. Furcation entrance architecture. *J Periodontol*, 50(1), 23-27. doi:10.1902/jop.1979.50.1.23

Brayer, W. K., Mellonig, J. T., Dunlap, R. M., Marinak, K. W., & Carson, R. E. (1989). Scaling and root planing effectiveness: the effect of root surface access and operator experience. *J Periodontol*, 60(1), 67-72. doi:10.1902/jop.1989.60.1.67

- Bühler, J., Amato, M., Weiger, R., & Walter, C. (2016a). A systematic review on the effects of air polishing devices on oral tissues. *Int J Dent Hyg*, *14*(1), 15-28. doi:10.1111/idh.12120
- Bühler, J., Amato, M., Weiger, R., & Walter, C. (2016b). A systematic review on the patient perception of periodontal treatment using air polishing devices. *Int J Dent Hyg*, *14*(1), 4-14. doi:10.1111/idh.12119
- Bühler, J., Schmidli, F., Weiger, R., & Walter, C. (2015). Analysis of the effects of air polishing powders containing sodium bicarbonate and glycine on human teeth. *Clin Oral Investig*, *19*(4), 877-885. doi:10.1007/s00784-014-1317-z
- Camboni, S., & Donnet, M. (2016). Tooth Surface Comparison after Air Polishing and Rubber Cup: A Scanning Electron Microscopy Study. *J Clin Dent*, *27*(1), 13-18.
- Canakci, V., Cicek, Y., Canakci, C. F., Demir, T., Kavrut, F., & Kara, C. (2004). Effect of handedness on learning subgingival scaling with curettes: a study on manikins. *Int J Neurosci*, *114*(11), 1463-1482. doi:10.1080/00207450490476093
- Chetrus, V., & Ion, I. R. (2013). Dental Plaque-Classification, Formation and Identification. *International Journal of Medical Dentistry*, *Volume 3*(2 April / June 2013), 139-143.
- Chondros, P., Nikolidakis, D., Christodoulides, N., Rossler, R., Gutknecht, N., & Sculean, A. (2009). Photodynamic therapy as adjunct to non-surgical periodontal treatment in patients on periodontal maintenance: a randomized controlled clinical trial. *Lasers Med Sci*, *24*(5), 681-688. doi:10.1007/s10103-008-0565-z
- Cobb, C. M. (2002). Clinical significance of non-surgical periodontal therapy: an evidence-based perspective of scaling and root planing. *J Clin Periodontol*, *29 Suppl 2*, 6-16.

- Cottone, J. A., & Molinari, J. A. (1991). State-of-the-art infection control in dentistry. *J Am Dent Assoc*, 122(8), 33-41. doi:10.14219/jada.archive.1991.0254
- Domisch, H., & Jepsen, S. (2015). Diverse functions of defensins and other antimicrobial peptides in periodontal tissues. *Periodontol 2000*, 69(1), 96-110. doi:10.1111/prd.12093
- Dörfer, C. E., & Staehle, H. J. (2010). Strategien der häuslichen Plaquekontrolle *up2date Zahnmedizin* 228-254.
- Drisko, C. L., Cochran, D. L., Blieden, T., Bouwsma, O. J., Cohen, R. E., & Damoulis, P. (2000). Position paper: sonic and ultrasonic scalers in periodontics. Research, Science and Therapy Committee of the American Academy of Periodontology. *J Periodontol*, 71(11), 1792-1801. doi:10.1902/jop.2000.71.11.1792
- Eberhard, J., Jepsen, S., Jervoe-Storm, P. M., Needleman, I., & Worthington, H. V. (2015). Full-mouth treatment modalities (within 24 hours) for chronic periodontitis in adults. *Cochrane Database Syst Rev*(4), CD004622. doi:10.1002/14651858.CD004622.pub3
- Eickholz, P. (2007). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis: Unterstützende Parodontitistherapie (UPT). Teil 1: Ziele und Inhalte. *Parodontologie* 18, 165-170.
- Feres, M., Figueiredo, L. C., Favari, M., Stewart, B., & de Vizio, W. (2010). The effectiveness of a preprocedural mouthrinse containing cetylpyridinium chloride in reducing bacteria in the dental office. *J Am Dent Assoc*, 141(4), 415-422. doi:10.14219/jada.archive.2010.0193
- Fleischer, H. C., Mellonig, J. T., Brayer, W. K., Gray, J. L., & Barnett, J. D. (1989). Scaling and root planing efficacy in multirrooted teeth. *J Periodontol*, 60(7), 402-409. doi:10.1902/jop.1989.60.7.402

- Flemmig, T. F., Arushanov, D., Daubert, D., Rothen, M., Mueller, G., & Leroux, B. G. (2012). Randomized controlled trial assessing efficacy and safety of glycine powder air polishing in moderate-to-deep periodontal pockets. *J Periodontol*, 83(4), 444-452. doi:10.1902/jop.2011.110367
- Flemmig, T. F., Petersilka, G. J., Mehl, A., Hickel, R., & Klaiber, B. (1998a). The effect of working parameters on root substance removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro. *J Clin Periodontol*, 25(2), 158-163. doi:10.1111/j.1600-051x.1998.tb02422.x
- Flemmig, T. F., Petersilka, G. J., Mehl, A., Hickel, R., & Klaiber, B. (1998b). Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic scaler influencing root substance removal in vitro. *J Periodontol*, 69(5), 547-553. doi:10.1902/jop.1998.69.5.547
- Flemmig, T. F., Petersilka, G. J., Mehl, A., Rudiger, S., Hickel, R., & Klaiber, B. (1997). Working parameters of a sonic scaler influencing root substance removal in vitro. *Clin Oral Investig*, 1(2), 55-60. doi:10.1007/s007840050011
- Gankerseer, E. J., & Walmsley, A. D. (1987). Preliminary investigation into the performance of a sonic scaler. *J Periodontol*, 58(11), 780-784. doi:10.1902/jop.1987.58.11.780
- Graetz, C., Bielfeldt, J., Tillner, A., Plaumann, A., & Dörfer, C. E. (2014). Spatter contamination in dental practices--how can it be prevented? *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*, 118(4), 1122-1134.
- Graetz, C., Bräuning, A., Plaumann, A., Springer, C., Kahl, M., & Dörfer, C. E. (2016). Antiinfektiöse Therapie - Instrumente zur Wurzeloberflächenbearbeitung im Fokus.
- Graetz, C., Dörfer, C. E., Kahl, M., Kocher, T., Fawzy El-Sayed, K., & Wiebe, J. F. (2011). Retention of questionable and hopeless teeth in compliant patients treated for aggressive periodontitis. *J Clin Periodontol*, 38(8), 707-714. doi:10.1111/j.1600-051X.2011.01743.x

- Graetz, C., Elsayed, K. F., Sälzer, S., & Dörfer, C. E. (2018). s3-Leitlinie: Häusliches mechanisches Biofilmmanagement in der Prävention und Therapie der Gingivitis
- Graetz, C., Plaumann, A., Bielfeldt, J., Tillner, A., Sälzer, S., & Dörfer, C. E. (2015). Efficacy versus health risks: An in vitro evaluation of power-driven scalers. *J Indian Soc Periodontol*, 19(1), 18-24. doi:10.4103/0972-124X.145796
- Graetz, C., Plaumann, A., Rauschenbach, S., Bielfeldt, J., Dörfer, C. E., & Schwendicke, F. (2016). Removal of simulated biofilm: a preclinical ergonomic comparison of instruments and operators. *Clin Oral Investig*, 20(6), 1193-1201. doi:10.1007/s00784-015-1605-2
- Graetz, C., Plaumann, A., Wittich, R., Springer, C., Kahl, M., Dörfer, C. E., & El-Sayed, K. F. (2017). Removal of simulated biofilm: an evaluation of the effect on root surfaces roughness after scaling. *Clin Oral Investig*, 21(4), 1021-1028. doi:10.1007/s00784-016-1861-9
- Graetz, C., & Rühling, A. (2008). *Trainingsprogramm zum Scaling mit Universalküretten und Scaler*. Kiel Print & Copy Paradies.
- Graetz, C., Schorr, S., Christofzik, D., Dörfer, C. E., & Sälzer, S. (2020). How to train periodontal endoscopy? Results of a pilot study removing simulated hard deposits in vitro. *Clin Oral Investig*, 24(2), 607-617. doi:10.1007/s00784-019-02913-0
- Graetz, C., Schwendicke, F., Plaumann, A., Rauschenbach, S., Springer, C., & Kahl, M. (2015). Subgingival instrumentation to remove simulated plaque in vitro: influence of operators' experience and type of instrument. *Clin Oral Investig*, 19(5), 987-995. doi:10.1007/s00784-014-1319-x
- Graetz, C., & Springer, C. (2014). *Trainingsprogramm zur maschinellen Wurzeloberflächenbearbeitung mit Schallscalern: Klinik für*

Zahnerhaltungskunde und Parodontologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holtstein, Campus Kiel, Funktionsbereich Parodontologie

- Hagi, T. T., Hofmanner, P., Salvi, G. E., Ramseier, C. A., & Sculean, A. (2013). Clinical outcomes following subgingival application of a novel erythritol powder by means of air polishing in supportive periodontal therapy: a randomized, controlled clinical study. *Quintessence Int*, 44(10), 753-761. doi:10.3290/j.qi.a30606
- Harrel, S. K. (2004). Airborne spread of disease--the implications for dentistry. *J Calif Dent Assoc*, 32(11), 901-906.
- Hellwig, E., Klimek, J., & Attin, T. (2013). Einführung in die Zahnerhaltung. *Deutscher Zahnärzte Verlag Köln*, 523f.
- Hochleitner, S. (2013). Pulverstrahltechnik in der Parodontologie. *Plaque N Care* 1:14–17.
- Jepsen, S., Deschner, J., Braun, A., Schwarz, F., & Eberhard, J. (2011). Calculus removal and the prevention of its formation. *Periodontol 2000*, 55(1), 167-188. doi:10.1111/j.1600-0757.2010.00382.x
- Kebschull, M., & Papapanou, P. N. (2011). Periodontal microbial complexes associated with specific cell and tissue responses. *J Clin Periodontol*, 38 Suppl 11, 17-27. doi:10.1111/j.1600-051X.2010.01668.x
- Kepic, T. J., O'Leary, T. J., & Kafrawy, A. H. (1990). Total calculus removal: an attainable objective? *J Periodontol*, 61(1), 16-20. doi:10.1902/jop.1990.61.1.16
- Khosravi, M., Bahrami, Z. S., Atabaki, M. S., Shokrgozar, M. A., & Shokri, F. (2004). Comparative effectiveness of hand and ultrasonic instrumentations in root surface planing in vitro. *J Clin Periodontol*, 31(3), 160-165. doi:10.1111/j.0303-6979.2004.00458.x

- Kilian, M., Chapple, I. L., Hannig, M., Marsh, P. D., Meuric, V., & Pedersen, A. M. (2016). The oral microbiome - an update for oral healthcare professionals. *Br Dent J*, 221(10), 657-666. doi:10.1038/sj.bdj.2016.865
- Kocher, T., & Plagmann, H. C. (1996). Heat propagation in dentin during instrumentation with different sonic scaler tips. *Quintessence Int*, 27(4), 259-264.
- Kocher, T., Riedel, D., & Plagmann, H. C. (1997). Debridement by operators with varying degrees of experience: a comparative study on manikins. *Quintessence Int*, 28(3), 191-196.
- Kocher, T., Rühling, A., Momsen, H., & Plagmann, H. C. (1997). Effectiveness of subgingival instrumentation with power-driven instruments in the hands of experienced and inexperienced operators. A study on manikins. *J Clin Periodontol*, 24(7), 498-504. doi:10.1111/j.1600-051x.1997.tb00218.x
- Kocher, T., Tersic-Orth, B., & Plagmann, H. C. (1998). Instrumentation of furcation with modified sonic scaler inserts: a study on manikins (II). *J Clin Periodontol*, 25(6), 451-456. doi:10.1111/j.1600-051x.1998.tb02473.x
- König, J., Plagmann, H. C., Langenfeld, N., & Kocher, T. (2001). Retrospective comparison of clinical variables between compliant and non-compliant patients. *J Clin Periodontol*, 28(3), 227-232. doi:10.1034/j.1600-051x.2001.028003227.x
- König, J., Rühling, A., Schlemme, H., Kocher, T., Schwahn, C., & Plagmann, H. C. (2002). Learning root debridement with curettes and power-driven instruments in vitro: the role of operator motivation and self-assessment. *Eur J Dent Educ*, 6(4), 169-175. doi:10.1034/j.1600-0579.2002.00258.x
- Laleman, I., Cortellini, S., De Winter, S., Rodriguez Herrero, E., Dekeyser, C., Quirynen, M., & Teughels, W. (2017). Subgingival debridement: end point, methods and how often? *Periodontol 2000*, 75(1), 189-204. doi:10.1111/prd.12204

- Marsh, P. D., & Zaura, E. (2017). Dental biofilm: ecological interactions in health and disease. *J Clin Periodontol*, 44 Suppl 18, S12-S22. doi:10.1111/jcpe.12679
- Matuliene, G. (2010). Umfassende Parodontitistherapie: das Berner Konzept. *ZMK* 26, 486-504.
- Matuliene, G., Pjetursson, B. E., Salvi, G. E., Schmidlin, K., Bragger, U., Zwahlen, M., & Lang, N. P. (2008). Influence of residual pockets on progression of periodontitis and tooth loss: results after 11 years of maintenance. *J Clin Periodontol*, 35(8), 685-695. doi:10.1111/j.1600-051X.2008.01245.x
- Meyle, J., & Chapple, I. (2015). Molecular aspects of the pathogenesis of periodontitis. *Periodontol 2000*, 69(1), 7-17. doi:10.1111/prd.12104
- Mishra, M. K., & Prakash, S. (2013). A comparative scanning electron microscopy study between hand instrument, ultrasonic scaling and erbium doped:Yttrium aluminum garnet laser on root surface: A morphological and thermal analysis. *Contemp Clin Dent*, 4(2), 198-205. doi:10.4103/0976-237X.114881
- Moene, R., Decaillet, F., Andersen, E., & Mombelli, A. (2010). Subgingival plaque removal using a new air-polishing device. *J Periodontol*, 81(1), 79-88. doi:10.1902/jop.2009.090394
- Nevins, M., Becker, W., & Kornman, K. (1989). Proceedings of the world workshop in clinical periodontics *Princeton, New Jersey: American Academy of Periodontology*.
- Novaes, A. B., Jr., Schwartz-Filho, H. O., de Oliveira, R. R., Feres, M., Sato, S., & Figueiredo, L. C. (2012). Antimicrobial photodynamic therapy in the non-surgical treatment of aggressive periodontitis: microbiological profile. *Lasers Med Sci*, 27(2), 389-395. doi:10.1007/s10103-011-0901-6

- Nunn, M. E. (2003). Understanding the etiology of periodontitis: an overview of periodontal risk factors. *Periodontol 2000*, 32, 11-23. doi:10.1046/j.0906-6713.2002.03202.x
- Paramashivaiah, R., & Prabhuji, M. L. (2013). Mechanized scaling with ultrasonics: Perils and proactive measures. *J Indian Soc Periodontol*, 17(4), 423-428. doi:10.4103/0972-124X.118310
- Petersilka, G., Faggion, C. M., Jr., Stratmann, U., Gerss, J., Ehmke, B., Haerberlein, I., & Flemmig, T. F. (2008). Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *J Clin Periodontol*, 35(4), 324-332. doi:10.1111/j.1600-051X.2007.01195.x
- Petersilka, G., & Flemmig, T. (2004). Periodontal Debridement with Sonic and Ultrasonic Scalers. *Periodontics*.
- Petersilka, G., Panitz, W., Weresch, R., Eichinger, M., & Kern, U. (2010). Luftemphyseme im Rahmen der Parodontitistherapie. Eine Fallserie mit kritischer Literaturübersicht. *Parodontologie*, 21:165-175.
- Plagmann, H. C. (1998). Lehrbuch der Parodontologie *Carl Hanser Verlag München*, 43-578.
- Plagmann, H. C., & Rühling, A. (2004). Trainingsprogramm zum Scaling mit Gracey-Küretten. *Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, Funktionsbereich Parodontologie*
- Rühling, A., König, J., Rolf, H., Kocher, T., Schwahn, C., & Plagmann, H. C. (2003). Learning root debridement with curettes and power-driven instruments. Part II: Clinical results following mechanical, nonsurgical therapy. *J Clin Periodontol*, 30(7), 611-615. doi:10.1034/j.1600-051x.2003.00305.x
- Rühling, A., Schlemme, H., König, J., Kocher, T., Schwahn, C., & Plagmann, H. C. (2002). Learning root debridement with curettes and power-driven instruments.

Part I: a training program to increase effectivity. *J Clin Periodontol*, 29(7), 622-629. doi:10.1034/j.1600-051x.2002.290706.x

Sahrman, P., Ronay, V., Schmidlin, P. R., Attin, T., & Paque, F. (2014). Three-dimensional defect evaluation of air polishing on extracted human roots. *J Periodontol*, 85(8), 1107-1114. doi:10.1902/jop.2014.130629

Salvi, G. E., Stahli, A., Schmidt, J. C., Ramseier, C. A., Sculean, A., & Walter, C. (2019). Adjunctive laser or antimicrobial photodynamic therapy to non-surgical mechanical instrumentation in patients with untreated periodontitis. A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. doi:10.1111/jcpe.13236

Sanz, M., & Meyle, J. (2010). Scope, competences, learning outcomes and methods of periodontal education within the undergraduate dental curriculum: a consensus report of the 1st European Workshop on Periodontal Education--position paper 2 and consensus view 2. *Eur J Dent Educ*, 14 Suppl 1, 25-33. doi:10.1111/j.1600-0579.2010.00621.x

Sanz, M., Teughels, W., & Group, A. o. E. W. o. P. (2008). Innovations in non-surgical periodontal therapy: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology. *J Clin Periodontol*, 35(8 Suppl), 3-7. doi:10.1111/j.1600-051X.2008.01256.x

Sculean, A., Bastendorf, K. D., Becker, C., Bush, B., Einwag, J., & Lanoway, C. (2013). A paradigm shift in mechanical biofilm management? Subgingival air polishing: a new way to improve mechanical biofilm management in the dental practice. *Quintessence Int*, 44(7), 475-477. doi:10.3290/j.qi.a29615

Sgolastra, F., Petrucci, A., Gatto, R., & Monaco, A. (2012). Efficacy of Er:YAG laser in the treatment of chronic periodontitis: systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 27(3), 661-673. doi:10.1007/s10103-011-0928-8

- Sgolastra, F., Severino, M., Gatto, R., & Monaco, A. (2013). Effectiveness of diode laser as adjunctive therapy to scaling root planning in the treatment of chronic periodontitis: a meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 28(5), 1393-1402. doi:10.1007/s10103-012-1181-5
- Sgolastra, F., Severino, M., Petrucci, A., Gatto, R., & Monaco, A. (2014). Nd:YAG laser as an adjunctive treatment to nonsurgical periodontal therapy: a meta-analysis. *Lasers Med Sci*, 29(3), 887-895. doi:10.1007/s10103-013-1293-6
- Stassinakis, A., Hugo, B., & Hotz, P. (1995). [Personnel and instrumental differences in the treatment of root surfaces. A comparison on a phantom model]. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 105(5), 623-628.
- Studienordnung für Studierende des Studienganges Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der CAU Kiel.* (2019). Kiel Medizinische Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Sugaya, T., Kawanami, M., & Kato, H. (2002). Accessibility of an ultrasonic furcation tip to furcation areas of mandibular first and second molars. *J Int Acad Periodontol*, 4(4), 132-137.
- Suvan, J., Leira, Y., Moreno, F., Graziani, F., Derks, J., & Tomasi, C. (2019). Subgingival Instrumentation for Treatment of Periodontitis. A Systematic Review. *J Clin Periodontol*. doi:10.1111/jcpe.13245
- Szymanska, J. (2007). Dental bioaerosol as an occupational hazard in a dentist's workplace. *Ann Agric Environ Med*, 14(2), 203-207.
- Trenter, S. C., Landini, G., & Walmsley, A. D. (2003). Effect of loading on the vibration characteristics of thin magnetostrictive ultrasonic scaler inserts. *J Periodontol*, 74(9), 1308-1315. doi:10.1902/jop.2003.74.9.1308
- Tunkel, J., Heinecke, A., & Flemmig, T. F. (2002). A systematic review of efficacy of machine-driven and manual subgingival debridement in the treatment of chronic

- periodontitis. *J Clin Periodontol*, 29 Suppl 3, 72-81; discussion 90-71. doi:10.1034/j.1600-051x.29.s3.4.x
- van der Zande, M. M., Gorter, R. C., Bruers, J. J. M., Aartman, I. H. A., & Wismeijer, D. (2018). Dentists' opinions on using digital technologies in dental practice. *Community Dent Oral Epidemiol*, 46(2), 143-153. doi:10.1111/cdoe.12345
- Walmsley, A. D., Lea, S. C., Landini, G., & Moses, A. J. (2008). Advances in power driven pocket/root instrumentation. *J Clin Periodontol*, 35(8 Suppl), 22-28. doi:10.1111/j.1600-051X.2008.01258.x
- Walmsley, A. D., Walsh, T. F., & Laird, W. R. (1988). Ultrasonic instruments in dentistry: 1. The ultrasonic scaler. *Dent Update*, 15(8), 321-323, 325-326.
- Wennstrom, J. L., Dahlen, G., & Ramberg, P. (2011). Subgingival debridement of periodontal pockets by air polishing in comparison with ultrasonic instrumentation during maintenance therapy. *J Clin Periodontol*, 38(9), 820-827. doi:10.1111/j.1600-051X.2011.01751.x
- Wolf, H. F., Rateitschak, E. M., & Rateitschak, K. H. (2012). Parodontologie 22.
- Yilmaz, S., Kuru, B., Kuru, L., Noyan, U., Argun, D., & Kadir, T. (2002). Effect of gallium arsenide diode laser on human periodontal disease: a microbiological and clinical study. *Lasers Surg Med*, 30(1), 60-66. doi:10.1002/lsm.10010
- Zitzmann, N., Buset, S., & Weiger, R. (2012). Parodontale Therapie und prothetische Versorgung im parodontal vorgeschädigten Gebiss. *up2date Zahnmedizin*, 59-81.

7 Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich gerne bei den Menschen bedanken, die großen Anteil an der Fertigstellung dieser Dissertation haben.

Dabei möchte ich mich ganz besonders bei meinem Doktorvater Herrn PD Dr. Christian Graetz bedanken, zum einen für die Überlassung des Dissertationsthemas und zum anderen für sein Engagement und seinen fachlichen Beistand, wodurch mir dieses Promotionsvorhaben erst ermöglicht wurde.

Mein Dank gilt ebenso Prof. Dr. Christof Dörfer, Direktor der Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie im UKSH, Campus Kiel, für die Nutzungsmöglichkeit der dortigen Infrastruktur.

Für die engagierte Teilnahme an der Studie möchte ich mich bei den Studierenden des damaligen siebten Semesters der Zahnmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bedanken.

Den Firmen American Eagle Instruments, Inc., Missoula (USA) und W&H GmbH, Bürmoos (Österreich) danke ich für die großzügige Bereitstellung der Instrumente.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Kollegin und guten Freundin Hannah Reuter bedanken, die mich an etlichen Wochenenden tatkräftig bei der Vorbereitung der Kiefermodelle unterstützt hat.

Ganz besonders danke ich auch meinem Freund Fabian, der nicht nur während der Versuchsdurchführung, sondern auch während der Niederschrift dieser Arbeit stets an meiner Seite war und hoffentlich auch immer sein wird.

Abschließend möchte ich noch meiner gesamten Familie und besonders meinen Eltern, Peter und Martina und meinen Brüdern, Wilm und Arnd, von ganzem Herzen danken, nicht nur für die Unterstützung während der Anfertigung dieser Promotionsarbeit, sondern für den Zusammenhalt und die Liebe in allen Lebenslagen.

8 Lebenslauf

Entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen

9 Publikation

Aus dieser Dissertation ist folgende Publikation hervorgegangen:

Graetz C., **Fecke P.**, Seidel M., Engel A. S., Schorr S., Sentker J., Dörfer C. E., Sälzer, S. (2020) Evaluation of a systematic digitized training program on the effectivity of subgingival instrumentation with cures and sonic scalers in-vitro. Clinical Oral Investigations, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03356-8>