

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

Einfluss eines fiberoptisch-unterstützten Systems auf Qualität und Effizienz
der Parodontitistherapie – Ergebnisse einer *in-vitro*-Untersuchung aus
dem Funktionsbereich Parodontologie

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Susanne Schorr
aus Heidelberg

Kiel 2020

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Christian Graetz

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Dr. Falk Birkenfeld

Tag der mündlichen Prüfung: 08.07.2021

Zum Druck genehmigt: Kiel, den 20.05.2021

gez.: Priv.-Doz. Dr. Christian Graetz

Vorsitzende/r der Prüfungskommission

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufbau des Parodontiums	2
1.1.1	Das Zusammenspiel aus Gingiva, Desmodont, Wurzelzement und Alveolarknochen	2
1.2	Ätiologie der Parodontitis	4
1.3	Therapie der Parodontitis	4
1.4	Professionelle mechanische Plaqueentfernung (PMPR) und nicht-chirurgische Parodontaltherapie (NSPT)	5
1.4.1	Reevaluation	6
1.4.2	Korrektive (chirurgische) Phase.....	6
1.4.3	Curriculare Ausbildung	9
2	Zielsetzung	10
3	Material und Methoden	10
3.1	Parodontale Endoskopie	10
3.2	Funktionsweise von faseroptischen Systemen	11
3.3	Versuchsaufbau.....	12
3.4	Behandlungs- und Instrumentierungsverfahren	13
3.5	Zähne und Modellherstellung.....	18
3.6	Fragebogen	20
3.7	Statistische Auswertungsmethoden	21
4	Ergebnisse.....	21
4.1	Diagnose und Wirksamkeit der Behandlung von harten Auflagerungen	21
4.2	Behandlungszeit.....	22
5	Diskussion	26
5.1	Behandlungsdauer	28
5.2	Kosten	30
5.3	Kosten-Nutzen	31
5.4	Reinigungseffektivität	32

5.5	Diskussion des Studienziels und der studienbedingten Limitationen	36
6	Zusammenfassung	39
7	Befundbogen	41
8	Literaturverzeichnis	42
9	Abbildungsverzeichnis	48
10	Tabellenverzeichnis	50
11	Anhang	51
11.1	Votum der Ethikkommission	51
11.2	Eidesstattliche Erklärung	52
11.3	Publikationen im Rahmen der Dissertation	53
11.4	Danksagung	54

1 Einleitung

"Heilen ist eine Frage der Zeit, mitunter aber auch eine Frage der Möglichkeit."

(Hippokrates von Kos, 460 bis etwa 377 v. Chr., griechischer Arzt)

An diesem Zitat hat sich bis heute nicht viel geändert. Gerade in einer Subspezialisierung wie der Zahnmedizin werden immer noch Kontroversen über das Aussehen und Umfang der Therapie der Volkskrankheiten Karies und Parodontitis geführt. Letztere Erkrankung stellt durch ihre multifaktorielle Charakteristik einen hohen Anspruch an das zahnärztliche Team in Diagnostik und Therapie. In der Medizin und Zahnmedizin wird Heilung als Wiederherstellung der Gesundheit unter Erreichen des Ausgangszustandes (*restitutio ad integrum*) definiert. Dies ist, wie später noch ausführlich ausgeführt wird, für die Parodontitis eine der strittigen Fragen, denn eine Heilung von irreversiblen Destruktionen des Zahnhalteapparates sind nur bedingt und kaum vorhersagbar möglich, weshalb derzeit versucht wird, die Endpunkte einer Therapie genauer zu definieren (Loos and Needleman 2020). Natürlich sind deutliche Fortschritte im Bereich der anti-infektiösen und regenerativen Parodontitistherapie beschrieben (Garcia Canas, Khouly et al. 2015, Smiley, Tracy et al. 2015, Diaz-Faes, Fernandez-Somoano et al. 2020), welche aber zu einem Trend mit starker Betonung auf minimal-invasive Behandlungen führten (Keestra, Grosjean et al. 2015, Chambrone, Vargas et al. 2016). Mögliche ergänzende Therapieformen mit Einsatz von Lasern oder antibakteriellen Wirkstoffen, wie beispielsweise die photodynamische Therapie sind beschrieben, um den Patientinnen und Patienten die klassischen parodontal (chirurgischen) Maßnahmen, welche vor allem mechanisch geprägt sind, zu ersparen. Aufgrund der noch fehlenden Datengrundlage ist der Patientenvorteil dieser Therapiemaßnahmen jedoch noch unklar und bedarf weiterer Untersuchungen (Salvi, Stähli et al. 2019). Aber sind schwere Verlaufsformen der Parodontitis wirklich vorhersagbar allein minimal-invasiv zu lösen? Was bedeutet überhaupt minimal-invasiv in der Parodontologie? Unbestritten ist, dass chirurgische Eingriffe trotz fortschrittlichster Techniken und Erkenntnisse immer noch mit gesundheitlichen Risiken und Nebenwirkungen für den Patienten verbunden sind, weswegen das Interesse an minimal-invasiven Behandlungsmethoden ungebrochen ist. Sogenannte Schlüssellochoperationen zählen heute oftmals bereits zum Standard in verschiedenen chirurgischen Disziplinen und ermöglichen risikoarme ambulante Eingriffe. Dadurch werden stationäre Aufenthalte in vielen Fällen unnötig und Kosten können gesenkt werden (de Wit 1993, Cher, Frasco et al. 2016). Ähnliche Bestrebungen finden sich auch in der Zahnmedizin, nur lassen sich etablierte Verfahren aus der Chirurgie oder Gynäkologie mittels Fiberoptiken eine visuelle Diagnostik und Therapie vorzunehmen, nicht ohne weiteres in die Mundhöhle übertragen. Bisher gab es nur vereinzelt Versuche diese neuen Wege mit fiberoptisch-gestützten, bildgebenden

Verfahren auch für die nicht-chirurgische Diagnostik und Therapie parodontaler Erkrankungen im nicht einsehbaren Bereich der erkrankten Zahnfleischtasche nutzbar zu machen (Kwan 2005, Kuang, Hu et al. 2017). Aufgrund vorhergehender Forschungsprojekte zur Verbesserung der Diagnostik in der Parodontologie (Graetz, Plaumann et al. 2014) sowie der langjährigen Erfahrung in der Lehre konventioneller Vorgehensweisen im Funktionsbereich Parodontologie der Klinik für Zahnerhaltung und Parodontologie im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, sowie durch eine Lehrpreis-Auslobung der CAU für innovative Lehrprojekte konnte eine dieser Promotionsschrift zugrundeliegenden Untersuchung erstmals in Deutschland die zukunftsweisende Technik der Endoskopie analog anderer medizinischer Disziplinen in der curricularen Ausbildung in der Zahnmedizin untersucht werden.

1.1 Aufbau des Parodontiums

Der Zahnhalteapparat ist ein komplexes System, das den Zahn in seinem Knochenfach fixiert. Zum Zahnhalteapparat werden die Gingiva, der Wurzelzement, das Desmodont und der Alveolarknochen gezählt. Diese Komponenten sorgen im gesunden Zustand gemeinsam für die Stabilität der Zähne, dem Abfangen von Kaukräften oder passiven Auslenkungen und trennen die Mundhöhle von der Zahnwurzel und damit effektiv vor Noxen, wie beispielsweise parodontalpathogene Mikroorganismen.

1.1.1 Das Zusammenspiel aus Gingiva, Desmodont, Wurzelzement und Alveolarknochen

Die Gingiva, die zur mastikatorischen Mukosa gezählt wird, umgibt den Zahnhals und den koronalen Abschnitt des Alveolarknochens. Mit diesen Komponenten ist sie unverschieblich verbunden und reicht vom Saum der freien marginalen Gingiva bis hin zur mukogingivalen Grenzlinie wo sie in die Alveolarmukosa übergeht. Der am weitesten koronal liegende Anteil der Gingiva, die freie marginale Gingiva, bildet auch den rinnenförmigen Sulkus aus, der kragenförmig um die zervikalen Anteile der Zähne verläuft. Richtung Mundhöhle ist der Sulkus von oralem Epithel bedeckt, zahnwärts von oralem Sulkusepithel. Den Boden des Sulkus kleidet der oberflächliche Anteil des Saumepithels aus, das einen dichten Verbund zum Zahnschmelz über hemidesmosomale Verknüpfungen herstellt und so den Zahnhals sowie die Wurzel wesentlich vor Noxen schützt, was unter anderem die hohe Zellumsatzrate von etwa 6 Tagen möglich macht (Lüllmann-Rauch 2009). Durch verschiedene Faktoren wie beispielsweise eine gestörte Immunsituation oder mangelhafte Mundhygiene kann es zu einer pathologischen bakteriellen Besiedelung durch Plaque in diesem Bereich kommen (Page and Kornman 1997). Im Rahmen einer beginnenden Entzündungsreaktion kann sich das Saumepithel auflockern und damit den dichten Verbund zum Schmelz nicht weiter

aufrechterhalten. Auf diese Weise können Bakterien ungehindert in die Tiefe vordringen und unbehandelt über eine Gingivitis zu einer Parodontitis mit Knochenverlust führen. Die Unverschieblichkeit der befestigten Gingiva wird durch einen komplexen Faserapparat des gingivalen Bindegewebes bewerkstelligt, dessen kollagene Fasern in diverse Richtungen ausstrahlen und zu einem Teil aus dem supraalveolären Wurzelzement und zum anderen Teil aus dem Periost entspringen (Abbildung 1-1). Richtung apikal beginnt der desmodontale Spalt, der die Wurzel vollständig umgibt und ebenfalls mit komplexen Faserbündeln, die sowohl an Wurzelzement als auch an Alveolarknochen inserieren, ausgefüllt ist. Durch diese speziell auf die Belastung ausgerichteten Faserbündel ist der Zahn in seinem Knochenfach federnd gelagert.

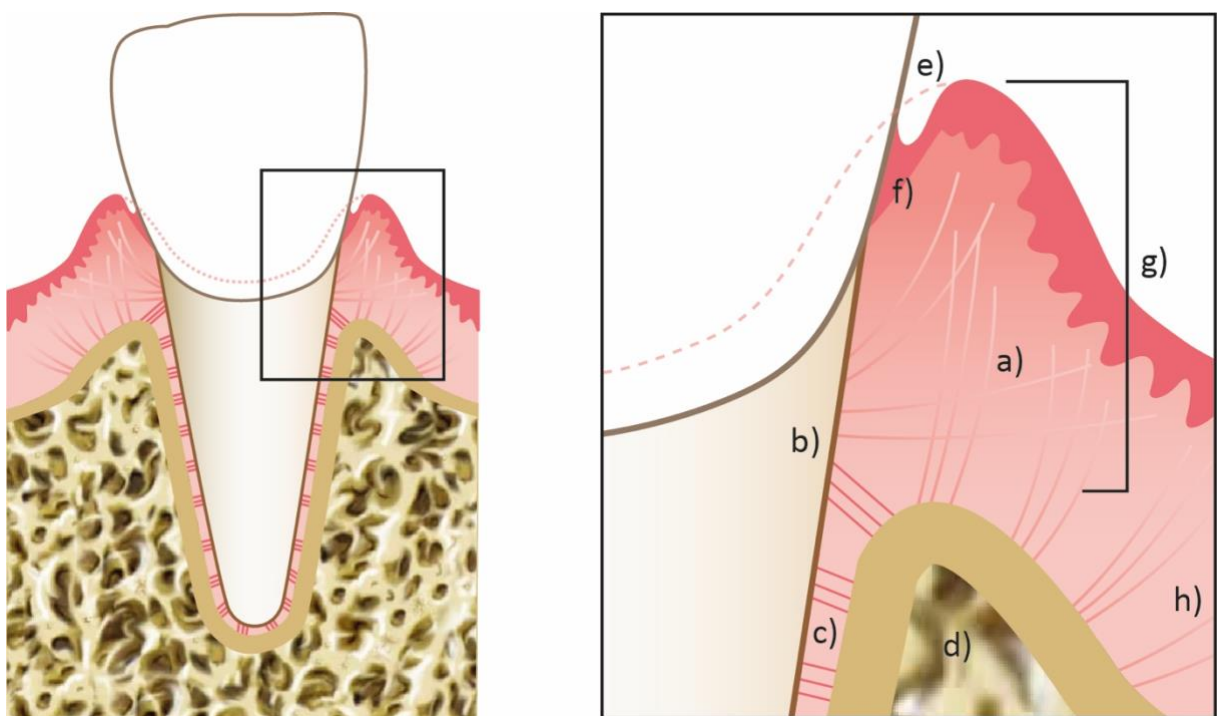


Abbildung 1-1: Aufbau des Parodontiums

Links: Übersicht des Zahnes und des Zahnhalteapparates; rechts: vergrößerte Abbildung der beteiligten Komponenten:

a) Gingiva mit kollagenen Faserbündeln, die in diverse Richtungen ausstrahlen, b) Wurzelzement, an den kollagene Fasern inserieren, c) Desmodontaler Spalt, der mit desmodontalen Fasern (Sharpey-Fasern) ausgefüllt ist und den Zahn federnd lagert, d) Alveolarknochen, der über das Fasernetzwerk mit der h) befestigten Gingiva und dem Wurzelzement verbunden ist, e) Gingivaler Sulkus, der zahnwärts am Boden mit dem f) Saumepithel ausgekleidet ist, das einen dichten Verbund zum Zahnschmelz bildet. Supraalveolär befindet sich die g) freie marginale Gingiva.

1.2 Ätiologie der Parodontitis

Die Mundhöhle bietet zahlreichen Mikroorganismen beste Lebensvoraussetzungen. In ihrem warmen, feuchten Milieu können sich vor allem an den Oberflächen der Zahnhartsubstanzen Bakterien anhaften, in kurzer Zeit kolonialisieren und einen Biofilm ausbilden. Durch gelöste mineralische Bestandteile des Speichels kann der Biofilm mineralisieren und Zahnstein entsteht. Dies ist nicht nur oberhalb des Zahnfleisches möglich. Auch subgingival koagrieren Bakterien zu Biofilmen und können durch gelöste mineralische Substanzen der Sulkusflüssigkeit mineralisieren. Die Oberflächen dieser sogenannten subgingivalen Konkreme sind rau und bieten wiederum weiteren vitalen Bakterien eine gute Grundlage für die Vermehrung. Bei einer gestörten Immunsituation kann es daraufhin zu einer Entzündungsreaktion kommen, die unbehandelt zu einem Knochenverlust und damit zu einer Parodontitis führt (Abbildung 1-2).



Abbildung 1-2: Von links nach rechts: Entstehung einer Parodontitis beginnend mit der Anlagerung erster Mikroorganismen, über die Ausbildung eines Biofilms mit einhergehender Entzündungsreaktion, bis hin zu schwerer parodontaler Zerstörung

1.3 Therapie der Parodontitis

Die Parodontitis ist eine multifaktorielle, biofilminduzierte Entzündungskrankheit des Zahnhalteapparates, wobei die Parodontitis mit einer Prävalenz von 11,2 % die sechsthäufigste Erkrankung des Menschen ist (Kassebaum, Bernabe et al. 2014). Während eine unbehandelte Parodontitis lokal in der Mundhöhle in letzter Konsequenz zu Zahnverlust führt, soll durch eine adäquate Parodontaltherapie eine biologische Verträglichkeit der zuvor erkrankten Wurzeloberflächen erreicht werden

(Westfelt 1996, Petersilka, Ehmke et al. 2002). Eine Wiederanlagerung benachbarter Gewebe an der Wurzeloberfläche kann somit wieder ermöglicht werden (Lowenberg, Thibault et al. 1986, Frantz and Polson 1988, Babay 2000, Khosravi, Bahrami et al. 2004). Die Entfernung von Biofilm und/oder harten Auflagerungen ist dabei, wenn auch zeitaufwendig, das Fundament der Parodontaltherapie. Insbesondere subgingivale harte Auflagerungen sollten während der kausalen Therapie genau erkannt und gründlich entfernt werden, da ihre poröse Oberfläche verschiedene toxische Produkte mit potenzieller Schädigung des parodontalen Gewebes aufnehmen kann und damit ihr Verbleib auf den Wurzeloberflächen zum Fortbestand der Erkrankung führen kann (Kocher 1990). Die moderne Parodontaltherapie gliedert sich in mehrere Abschnitte, welche im Folgenden näher beschrieben werden und entsprechend dem Schweregrad und individueller Patientenfaktoren individualisiert werden müssen.

1.4 Professionelle mechanische Plaqueentfernung (PMPR) und nicht-chirurgische Parodontaltherapie (NSPT)

Zu Beginn der Parodontaltherapie steht neben der Reinigung der erkrankten Zähne und deren Wurzeloberflächen auch die Beeinflussung patientenindividueller Faktoren, wie die Verbesserung der häuslichen Mundhygiene oder eine Nikotinentwöhnung im Vordergrund. Für den professionellen Rahmen in der zahnärztlichen Praxis dieser initialen Phase wurden viele verschiedene Techniken und Hilfsmittel entwickelt, die zu einer suffizienten Entfernung von harten und weichen Auflagerungen, auch subgingival, führen sollen. Dies wird zunächst nicht-chirurgisch (nicht-chirurgische Parodontaltherapie = NSPT) mit Instrumenten wie Küretten und Scalern (Handinstrumente) oder maschinell betriebenen Systemen vorgenommen, wie den schall- und ultraschallbetriebenen Scalern mit entsprechenden Instrumentenansätzen, Pulver-Wasserstrahlgeräten und Laser-unterstützte Systeme. Adjuvant sind auch antimikrobielle Agenzien zum Spülen der infizierten Zahnfleischtaschen wie beispielsweise ozoniertes Wasser (Vasthavi, Babu et al. 2020), chlorhexidinhaltige Lösungen/Gele (Arweiler, Auschill et al. 2018) oder Photosensibilatoren in Kombination mit starken Lichtquellen im Rahmen der photodynamischen Therapie (Cadore, Reis et al. 2019) beschrieben worden. Diese sollen aber nach aktuellen systematischen Analysen nicht im Rahmen der NSPT zur Anwendung kommen (Sanz, Herrera et al. 2020). Ziel dieser Phase der Parodontaltherapie ist die möglichst vollständige Entfernung der ursächlichen mikrobiellen Auflagerungen (professionelle mechanische Plaqueentfernung = PMPR). Um den Erfolg oder Misserfolg der Therapie im Anschluss beurteilen zu können, wird zu Beginn eine umfassende Befunderhebung der erkrankten Zähne durchgeführt. Dazu zählen verschiedene Parameter und Indizes zur Quantifizierung von Plaque, wie der *plaque control record* (PCR) und verschiedenen

Indizes zur Beschreibung der Entzündung der Gingiva mittels Blutungsindizes, z.B. *bleeding on probing* (BOP), dem Gingiva-Blutungs-Index (GBI) oder dem Papillen-Blutungs-Index (PBI). Weiterhin ist das Erheben von Sondierungstiefen je Zahn (ST) und dem klinischen Attachment Level beispielsweise bei bereits freiliegenden Wurzeloberflächen sowie weiterführenden Parametern (Zahnbeweglichkeit, Furkationsbeteiligung etc.) notwendig, um Rückschlüsse auf Schwere und Umfang der Erkrankung zu ziehen (Tonetti, Greenwell et al. 2018).

1.4.1 Reevaluation

Einige Wochen nach erfolgter antiinfektiöser Therapiephase findet ein Kontrolltermin zur Reevaluation statt. Dabei wird der Erfolg der bisherigen Maßnahmen überprüft, indem erneut die Surrogatparameter der Entzündung und Destruktion des Zahnhalteapparates erhoben und mit den Daten zu Beginn der Therapie verglichen werden. Sind noch immer entzündliche Prozesse und/oder erhöhte Sondierungstiefen >4 mm vorhanden, wird bei dieser Neubewertung entschieden, ob eine erneute Instrumentierung der Wurzeloberfläche einzelner Zähne wiederholt oder weiterführend im Rahmen eines chirurgischen Eingriffes erforderlich ist, um mögliche bisher unerreichte Auflagerungen unter Sicht zu entfernen.

1.4.2 Korrektive (chirurgische) Phase

Ist ein chirurgischer Eingriff erforderlich, um Entzündungsfreiheit zu erlangen oder weiterführende Maßnahmen wie resektive Therapien durchzuführen (Megarbane, Kassir et al. 2018), kann dies in der korrektiven/ chirurgischen Phase mittels einer Zugangslappenoperation erfolgen. Somit können die entsprechenden Wurzeloberflächen unter direkter Aufsicht therapiert werden. Hier kommen wieder die bereits genannten Systeme zur mechanischen Bearbeitung von Wurzeloberflächen zum Einsatz. Jedoch sind all diese chirurgischen Eingriffe immer mit Risiken, postoperativen Wundbeschwerden sowie einer umfassenden (zahn)ärztlichen Nachsorge verbunden (Pippi 2017). Dies unterstreicht den bereits erwähnten Wunsch an weniger invasiven Methoden auf beiden Seiten, also auf Patientenebene als auch dem zahnärztlichen Praxisteam.

Neben mannigfaltigen Möglichkeiten der Entfernung von harten Auflagerungen sind nur wenige Systeme entwickelt worden, um subgingivale Auflagerungen zu identifizieren und prinzipiell auch nur für die mineralisierten Formen (Archana 2014). Somit konnte allein im Rahmen eines chirurgischen Eingriffes unter Abklappen des die Wurzeloberfläche bedeckenden Zahnfleisches bisher die subgingival liegenden Anteile der Zahnoberfläche direkt sichtbar gemacht werden, um harte Auflagerungen zu erkennen und/oder den Erfolg einer Reinigungsmaßnahme zu kontrollieren.

Wurde hingegen nicht-chirurgisch vorgegangen, stand den Behandelnden lediglich eine taktile Kontrolle mit Instrumenten wie Küretten (Meyer and Lie 1977) oder speziellen Parodontalsonden, wie beispielsweise sogenannten Explorern (Sherman, Hutchens et al. 1990) zur Verfügung. Um aber harte Auflagerungen richtig zu erkennen, diese suffizient zu entfernen und die Behandlungsergebnisse zu verbessern (Meissner, Oehme et al. 2005), sind umfangreiche Erfahrungen mit derartigen Instrumenten und ein systematisches Vorgehen Voraussetzung (Rühling, Schlemme et al. 2002, Graetz, Schwendicke et al. 2015). Das Ziel der Kontrolle der Entfernung von Zahnstein ist die Verbesserung der nicht-chirurgischen Therapie, oftmals als *scaling and root planing* (SRP) bezeichnet. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Systeme zur Erkennung von harten Auflagerungen entwickelt, die auf unterschiedlichen Technologien beruhen und einen chirurgischen Eingriff überflüssig machen oder zumindest im Rahmen eines minimal-invasiven chirurgischen Vorgehens (MIS) durchführbar sind.

Einige dieser Entwicklungen waren nur für die Diagnostik vorgesehen, also dem Erkennen von subgingivalen harten Auflagerungen (Archana 2014). Andere Systeme, wie beispielsweise solche in Kombination von Ultraschall-Scalern (Meissner, Oehme et al. 2005, Meissner, Oehme et al. 2008) oder Erbium-Laser mit licht- oder schwingungsbasierenden Rückkopplungssystemen (Krause, Braun et al. 2007) konnten neben der Diagnostik auch die Entfernung der Auflagerungen gleichermaßen erfolgreich ermöglichen (Sanz, Teughels et al. 2008, 2011). Die Rückkopplungskontrolle beider Systeme gestattete eine selektivere Entfernung von harten Auflagerungen mit geringerer oder sogar ohne Entfernung einer klinisch relevanten Menge an Wurzelzement, als die konventionelle Therapie ohne integrierte Rückkopplung (Herrero, Garcia-Kass et al. 2010). Es muss aber betont werden, dass die verringerte Destruktion der Zahnoberflächen nicht nur allein durch die Kontrollmöglichkeit zu erklären ist, sondern auch sehr stark vom angewendeten Instrument abhängt. Systemimmanent führt die Verwendung konventioneller Schallscaler oder Handinstrumente nämlich immer zu einem höheren Substanzverlust als nach Ultraschallscaler- oder Laserinstrumentierung (Graetz, Plaumann et al. 2016, Graetz, Plaumann et al. 2017).

Die Endoskopie wird in vielen Teilbereichen der Chirurgie seit Jahren bereits als Standardverfahren durchgeführt. Die direkte Visualisierung im menschlichen Körper ohne Operation ist ein wichtiger Meilenstein in der Medizin und so ist es verständlich, dass der Wunsch nach einem derartigen Verfahren auch in der Parodontologie besteht. Die Verwendung von Endoskopen z.B. in der Gynäkologie (Hysteroskopie), in der Bauchchirurgie (Laparoskopie) oder in der Orthopädie (Arthroskopie) ermöglicht es, durch natürliche Kanäle oder kleinstmögliche Zugänge, die während der minimal-invasiven Chirurgie erzeugt werden, auf das Operationsgebiet zu sehen. In der Zahnheilkunde, insbesondere in der Parodontologie, ist ein analoges Verfahren zur subgingivalen

Diagnostik mittels parodontaler Endoskopie (PE) zwar entwickelt, aber bisher nur in spezialisierten Praxen oder Forschungseinrichtungen genutzt worden (Kwan 2005, Geisinger, Mealey et al. 2007). Die Entwicklung eines parodontalen Endoskopes (Kuang, Hu et al. 2017), sowie dessen Verwendung, vor allem in Kombination mit Instrumenten für die Wurzeloberflächenbearbeitung, hat durchaus hohe technische Anforderungen. Während viele andere endoskopische Verfahren in Intubationsnarkose oder Sedierung erfolgen müssen, da unter anderem ein operativer Zugang erforderlich ist (z. B. bei der Arthroskopie), sind die Patienten bei der parodontalen Endoskopie lediglich im Bereich der zu behandelnden Zahnregion lokal anästhesiert und somit wach und ansprechbar. Die Behandelnden sehen sich daher mit Bewegungen, sowie Reaktionen der Patientinnen und Patienten auf die Behandlung konfrontiert, während sie auf Zehntelmillimeter genau im Sulkus instrumentieren. Zusätzlich erschwerend ist die simultane Nutzung weiterer Instrumente zur Reinigung der Wurzeloberflächen. Während die Studienteilnehmer mit einer Hand und einem Fuß das PE steuern und dabei auf einen Monitor mit Darstellung der subgingival liegenden Wurzeloberfläche blicken, bedienen sie gleichzeitig mit der anderen Hand und gegebenenfalls dem freien Fuß ein Instrument zur Wurzeloberflächenbearbeitung (z. B. maschinelle Scaler). Gerade aber diese maschinell angetriebenen Instrumente sind für eine erfolgreiche Wurzeloberflächenbearbeitung im Vergleich zu Handinstrumenten einfacher zu bedienen und scheinen zeitsparender zu sein (Tunkel, Heinecke et al. 2002, Suvan, Leira et al. 2020). Jedoch ergaben sich bei einer 2017 durchgeführten systematischen Analyse zum Einsatz derartiger Endoskope im Rahmen der nicht-chirurgischen Therapie keine Verbesserungen hinsichtlich der Taschentiefe (PPD = *pocket probing depth*), des klinischen Attachmentverlustes (CAL = *clinical attachment level*) oder der Blutung bei Sondierung (BOP = *bleeding on probing*) (Kuang, Hu et al. 2017). Diese Übersichtsarbeit konnte nur eine Studie detektieren, in der klinische Verbesserungen bei PPD und CAL durch eine direkte Visualisierung mittels des PE während einer parodontalen minimal-invasiven chirurgischen Therapie festgestellt wurden (Harrel, Abraham et al. 2014, Harrel, Abraham et al. 2016). Die Autoren bewerteten die Studienergebnisse zum Einsatz solcher Geräte aber als vergleichsweise zeitintensiver, unabhängig von der Art der für die Oberflächenbearbeitung verwendeten Instrumente (Kuang, Hu et al. 2017). Dennoch gelangten die Autoren zu dem Schluss, dass die Verwendung eines PE im Vergleich zu herkömmlichen SRP-Techniken zusätzliche Vorteile für die Entfernung von harten Auflagerungen bieten kann. Entgegen der vielfältigen publizierten Forschungsergebnisse zur dentalen Endoskopie innerhalb der letzten 15 Jahre finden sich aber nur sehr wenige Hinweise zum Praxiseinsatz (Kuang, Hu et al. 2017). Mögliche Gründe könnten neben den höheren Kosten die zeitaufwendigere Behandlung und die begrenzte Evidenz von dentalen Endoskopen sein. Harte subgingivale Auflagerungen müssen exakt erkannt und lokalisiert werden, um diese auch erfolgreich entfernen zu können. Dies erfordert, analog zu anderen endoskopischen Verfahren, eine gute

Schulung und Erfahrung im Umgang mit dem System, was ein weiterer Grund für die geringe Etablierung sein könnte. Daher sollte der Einfluss der Anwendenden bezüglich des Behandlungserfolges nicht vernachlässigt werden.

1.4.3 Curriculare Ausbildung

Aufgrund der vielfältigen Herausforderungen der Befundung und Therapie in den beengten Verhältnissen der humanen Mundhöhle, lernen Studierende der Zahnmedizin im Hochschulunterricht an sogenannten Phantomköpfen mit teils echten (extrahierten Zähnen) oder gänzlich künstlichen Kiefer- und Zahnmodellen, bevor sie reale Patienten behandeln. Dies dient vor allem aus forensischer Sicht der Gewährleistung, dass beim Anwenden von Instrumenten in der Mundhöhle keine Schädigung der intakten Strukturen von Weich- und Hartgeweben entstehen. Durch stetigen Zuwachs an Erfahrung und einer verbesserten Wirksamkeit der Therapieschritte können Studierende beispielsweise beim SRP eine höhere Effektivität (Reinigungsleistung bei Entfernung der Auflagerungen) bei gleichzeitiger Minimierung nachteiliger Auswirkungen (Destruktion der Zahnhartsubstanz, Weichgewebeverletzungen) erreichen. Obwohl die artifiziellen Modelle keine perfekte realistische Situation simulieren, wie es noch im Detail zu diskutieren ist, so ist doch das *in-vitro*-Training ein wichtiger Schritt, um das Behandlungsergebnis und die Behandlungszeit zu optimieren. Viele Studien haben sich wiederholt mit den Vor- und Nachteilen spezifischer Lernprogramme für das SRP beschäftigt (König, Rühling et al. 2002, Heym, Krause et al. 2016, Gartenmann, Hofer et al. 2019, Graetz, Fecke et al. 2020). Entsprechend einer von mir im Rahmen des Dissertationsvorhabens durchgeführten nicht systematischen Literaturrecherche am 12.02.2018 (Aktualisierung am 12.10.2020) gibt es kein etabliertes Schulungsprogramm für den Einsatz von dentalen Endoskopen in der Hochschullehre (online Suchbegriffe in den medline/Pubmed Datenbanken sowie einer google-gestützten Recherche: *dental endoscopy in university, periodontal endoscopy in university, periodontal university training program, perioscopy training program, periodontal endoscopy education*). Es ist denkbar, dass bisher der Fokus eher auf den besonders erfahrenen Anwenderinnen und Anwendern lag, welche mit einem dentalen Endoskop möglicherweise noch effektiver und substanzschonend im Sinne des minimal-invasiven Ansatzes zu instrumentieren vermögen, auch weil die Kosten eines solchen Systems nicht unerheblich sind (Geisinger, Mealey et al. 2007). Gegenwärtig gibt es einen Trend zur nicht-chirurgischen Parodontitistherapie wie z.B. MIS-Therapie (Ghezzi, Ferrantino et al. 2016, Barbato, Selvaggi et al. 2020), möglicherweise aufgrund einer gleich guten Effizienz bei reduzierter postoperativer Traumata und daher einer besseren Patientenakzeptanz (Ribeiro, Casarin et al. 2011). Der Wunsch nach verbesserter Kontrolle jeglicher nicht-chirurgischer Parodontitistherapie

ist nicht neu, die zusätzlichen Vorteile von dentalen Endoskopen als einen Lösungsansatz sind aber immer noch unbekannt (Kuang, Hu et al. 2017). Daher sollten in der der Promotion zugrunde liegenden Studie die möglichen Vorteile eines kommerziell vermarkteten dentalen Endoskopes in den Händen von Anwenderinnen und Anwendern mit unterschiedlicher Behandlungserfahrung und Spezialisierung vergleichend bewertet werden.

2 Zielsetzung

Mittels der der Promotion zugrundeliegenden *in-vitro*-Simulation sollte untersucht werden, wie sich verschiedene Parameter (Kiefer, Zahntyp, Sondierungstiefe, Attachmentverlust, Furkationsbeteiligung, Wurzelfraktur) auf die subgingivale Diagnostik und Reinigungsleistung von simulierten harten Auflagerungen auswirken. Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

1. bei zusätzlicher Verwendung eines dentalen Endoskopes während des SRP werden mehr simulierte harte Auflagerungen pro Zahn erkannt und entfernt gegenüber der Kontrollgruppe ohne zusätzliche Verwendung eines dentalen Endoskopes,
2. die Anwendung eines dentalen Endoskopes im Vergleich zur Kontrolle ohne zusätzliche Verwendung eines dentalen Endoskopes erfordert mehr Zeitaufwand.

3 Material und Methoden

3.1 Parodontale Endoskopie

Parodontale endoskopische Systeme umfassen ein Abbildungssystem mit einem faseroptischen Leiter, der die subgingival liegende Wurzeloberfläche auf einem Bildschirm betrachten lässt (Kuang, Hu et al. 2017). Das Glasfaserbündel des getesteten dentalen Endoskopes (PE) der Firma (Perioscopy©, Danville Materials, Zest Dental Solutions, CA, USA), vertrieben von (Sigma Dental-Systems - EMASDI GmbH, Handewitt, Deutschland) wird in eine sterile Ummantelung eingeführt (Abbildung 3-1), die eine Kontamination des Lichtleiters verhindert und mit einer Wasserpumpe verbunden ist. So kann ein kontinuierlicher Fluss des Spülmediums (Wasser) zur Spitze des Lichtleiters gewährleistet werden. Das An- und Abschalten der Pumpe erfolgt über einen Fußanlasser. Während der Arbeit wird somit die Zahnfleischtasche mit Wasser gespült und durch den Wasserdruck offen gehalten, was verhindert, dass mögliche Blutungen oder Weichgewebe aber auch lose im Zahnfleischsulkus schwimmende Partikel die Sicht einschränken. Folglich sollten die Studienteilnehmenden neben Pathologien der Wurzeloberfläche (z.B. Frakturlinien, Schmelz-

auflagerungen usw.) auch die mineralisierten und nicht-mineralisierten Biofilmauflagerungen visuell in Echtzeit auf der untersuchten Wurzeloberfläche lokalisieren können und sie durch die vergrößerte Darstellung auf dem Monitor (Faktor: 48x) bei Notwendigkeit subgingival therapieren (Kuang, Hu et al. 2017).

3.2 Funktionsweise von faseroptischen Systemen

Bei einer Faseroptik, die sowohl Licht, als auch Bilder überträgt, liegen die einzelnen Fasern als Bündel sowohl am Eintrittsende, als auch am Austrittsende des Lichtleiters in einer gleichbleibenden kohärenten geometrischen Anordnung vor. Jede Faser durchmisst etwa 10-80 µm und besitzt im Inneren ein Kernglas mit hohem Brechungsindex. Von außen wird das Kernglas durch ein sehr dünnes Mantelglas mit einem geringeren Brechungsindex gefasst. Das Licht, sowie Videobilder werden bei einer Anordnung wie dieser, auch über gekrümmte Wege, nach dem Prinzip der Totalreflexion fortgeleitet. Als Lichtquelle dienen in der Regel Kaltlicht-LEDs am Eintrittsende der Faseroptik.

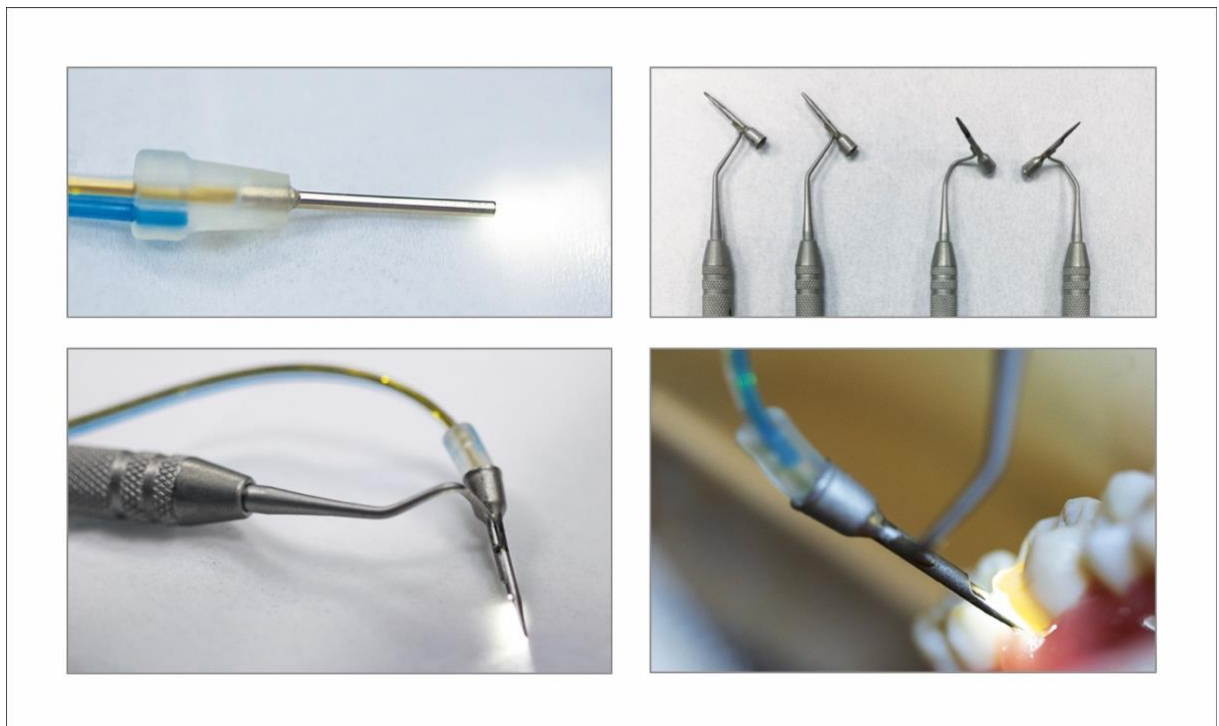


Abbildung 3-1: Oben links: Faseroptischer Leiter in einer sterilen Ummantelung mit integrierter Wasserleitung. Oben rechts: Vier verschiedene PE-Sonden, die je nach Bearbeitungsgebiet (Molaren- (rechts) oder Frontzahnbereich (links)) stärker oder schwächer anguliert sind und sowohl für die rechte, als auch für die linke Seite ausgerichtet sind. Unten links: Faseroptischer Leiter in eine Molaren-PE-Sonde integriert. Unten rechts: Typische Arbeitsweise mit einer PE-Sonde, die mit der Öffnung zum Zahn zeigt und in die parodontale Tasche eingebracht wird.

Bei dem in dieser Studie untersuchten PE werden die Videobilder in Echtzeit mit bis zu 48-facher Vergrößerung auf einen HD-fähigen Monitor übertragen. Der Lichtleiter enthält 19 einzelne LED-Lichtleiterfasern bei einem Gesamtdurchmesser von 1 mm und einer Länge von 1 m, sowie einen 10 Megapixel Bildleiter. Eine manuelle Fokussierung ist im Bereich von 2 bis 6 mm vom Austritts-ende möglich. Durch eine CCD/LED-Kamera werden die analogen Bilddaten digitalisiert und über den Monitor abgebildet¹.

3.3 Versuchsaufbau

Der verwendete *in-vitro*-Versuchsaufbau simuliert eine nicht-chirurgische Parodontitistherapie mit dem getesteten PE unter Verwendung von Gracey-Spezialküretten (Mini-Gracey, American Eagle Instruments, Missoula, MT, USA) und einem Schallscaler (Synea, W & H, Bürmoos, Österreich) an einem Phantomkopf (Abbildungen 3-1 - 3-9) . Allen Studienteilnehmenden stand die gleiche Instrumentenauswahl für das Instrumentieren der subgingivalen Wurzeloberflächen zur Verfügung (Abbildung 3-2), wobei jeweils ein neuer Satz der Spezialküretten Anwendung fand. Der Schallscaler wurde mit Luftdruck auf der Turbinenkupplung der dentalen Einheit (Kavo Estetica©) und Wasserkühlung nach Empfehlung der Herstellerangaben auf Stufe 2, was "mittlere" Amplitude bedeutet, kombiniert mit einer geraden Slimline-Spitze (1AP, W & H, Bürmoos, Österreich) mit rundem Querschnitt betrieben (Abbildung 3-2).

¹ Entsprechend den Herstellerangaben unter: <https://www.zestdent.com/index.php/periосcopy-unit.html>



Abbildung 3-2: Versuchsaufbau:

Links: Komplettes Perioscopy©-System.

Oben rechts: Für alle Studienteilnehmenden gleichbleibende Instrumentenauswahl: Links: PE-Sonden für die Aufnahme des Lichtleiters, Mitte: Gracey Minishape Küretten, Rechts: Kuhhornsonde, Parodontalsonde und zahnärztlicher Spiegel. Unten Mitte: Slimline-Spitze (1AP, W & H, Bürmoos, Österreich) mit rundem Querschnitt.

Unten rechts: Phantomkopf mit integrierten Echtzahnmodellen, die im Vorfeld mit artifiziellen Konkrementen und einer Zahnfleischmaske präpariert wurden.

3.4 Behandlungs- und Instrumentierungsverfahren

Vor Beginn der Untersuchung wurden die Studienteilnehmenden über Umfang und Durchführung der Versuche aufgeklärt. Alle gaben ihr schriftliches Einverständnis ab. Ein positives Votum der Ethikkommission der Christian-Albrechts-Universität zur Nutzung von extrahierten humanen Zähnen im Rahmen der *in-vitro*-Untersuchung lag zu Beginn der Studie vor (AZ: D582/17).

Alle 11 eingeschlossenen Studienteilnehmenden waren entweder zahnärztliches Personal mit Tätigkeitsschwerpunkt Parodontologie (n = 6) oder zertifizierte Dentalhygienikerinnen (n = 5). Alle waren in der systematischen Instrumentierung von Wurzeloberflächen mit Gracey-Küretten und

Schallscalern geschult und angestellt an der Klinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Funktionsbereich Parodontologie im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel. Sie verfügten über eine unterschiedlich lange Berufserfahrung von 2 bis 31 Jahren. Alle Studienteilnehmenden erhielten über den deutschlandweiten Vertrieb der Herstellerfirma (Sigma Dental-Systems - EMASDI GmbH, Handewitt, Deutschland) das gleiche Schulungsprogramm zur Verwendung von PE, einschließlich theoretischer Anweisungen gemäß der Herstellerrichtlinien, sowie praktische Übungen im Rahmen einer Patientenbehandlung. Darüber hinaus wurde das Arbeitsprinzip des PE erläutert und in einer Patientenbehandlung durch erfahrene firmenzugehörige Instruktoren demonstriert, danach aber von den Neuanwenderinnen und Neuanwendern nicht mehr in der täglichen Routine eingesetzt. Alle elf Studienteilnehmenden führten die Oberflächenbearbeitung mit den Küretten und dem Schallscaler nach ihrer Wahl während einer Sitzung in zufälliger Reihenfolge entweder mit PE (Test) oder ohne PE (Kontrolle: nPE) durch. Eine vorhergehende Randomisierung bestimmte zwei mit PE zu behandelnde, diagonal zueinander liegende Kieferquadranten am Phantomkopf, sowie die Sequenz des Beginnes mit (PE *versus* nPE). Die benötigte Zeit sowohl für die Befunderhebung der Kontroll- (nPE) und Testquadranten (PE) als auch für die Behandlung der Kontroll- (nPE) und Testquadranten (PE) wurde jeweils einzeln ermittelt. Die Befunderhebung beinhaltete die Messung der Sondierungstiefen (ST), des *clinical attachment level* (CAL) und der Furkationsbeteiligung mehrwurzeliger Zähne. Dies wurde teilnehmerspezifisch in einen Befundbogen übertragen. Ebenfalls sollten harte Auflagerungen oder andere Pathologien, wie Wurzelfrakturen (Abbildungen 3-3 - 3-6), Schmelzauflagerungen oder ähnliches an den Testzähnen dokumentiert werden. Im Anschluss wurde die Behandlung durchgeführt, bei der die Studienteilnehmenden dazu angehalten waren, die identifizierten harten Auflagerungen anzuzeigen, sodass diese als identifiziert in den Befundbogen aufgenommen werden konnten.

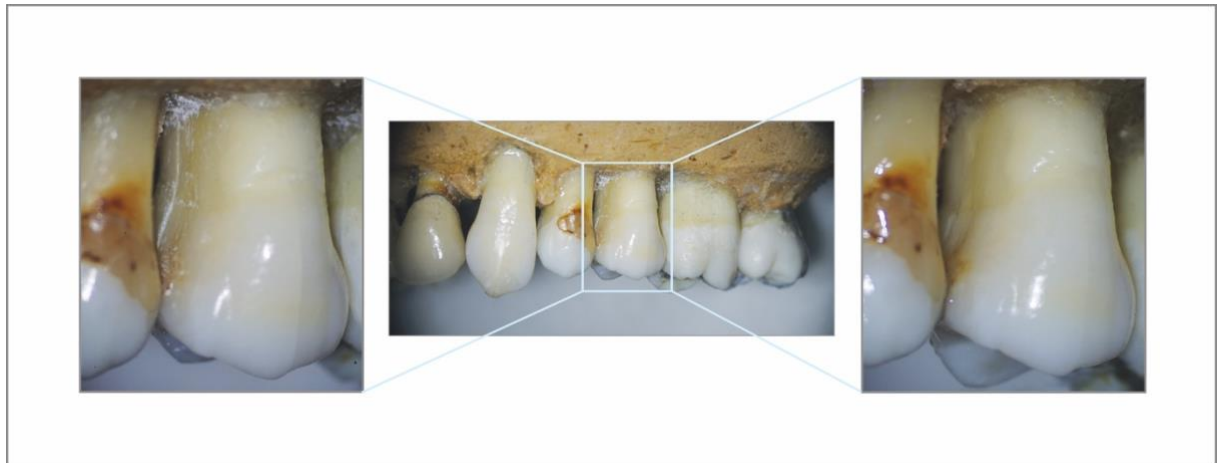


Abbildung 3-3: Artifizell erzeugte Wurzellängsfraktur an Zahn 25 am selbst entwickelten Oberkieferrechtzahnmodell ohne Zahnfleischmaske
 Links im trockenen Zustand
 Rechts im befeuchteten Zustand



Abbildung 3-4: Artifizell erzeugte Wurzelquerfraktur an Zahn 25 am selbst entwickelten Oberkieferrechtzahnmodell ohne Zahnfleischmaske
 Links im trockenen Zustand
 Rechts im befeuchteten Zustand

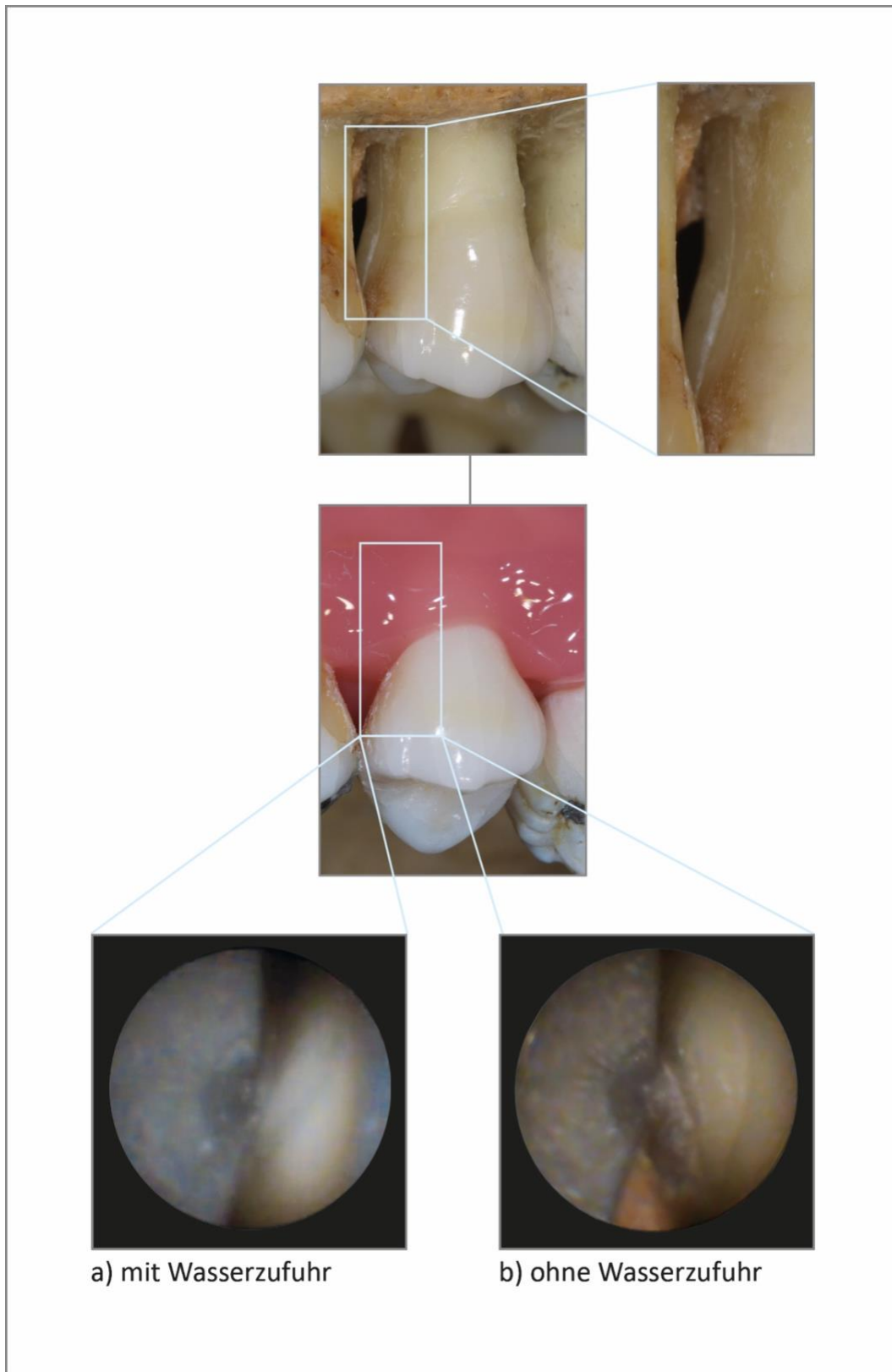


Abbildung 3-5: Längsfraktur

Oben mitte: artifiziell erzeugte Längsfraktur am Echtzahnmodell; Oben rechts: Vergrößerung des Defekts;
Mitte: Defekt durch Gingivamaske abgedeckt; a) Defekt abgebildet mit PE und Wasserzufuhr; b) Defekt
abgebildet mit PE ohne Wasserzufuhr (mittlere Übersichtsaufnahme des Zahnes 25 mit Zahnfleischmaske)

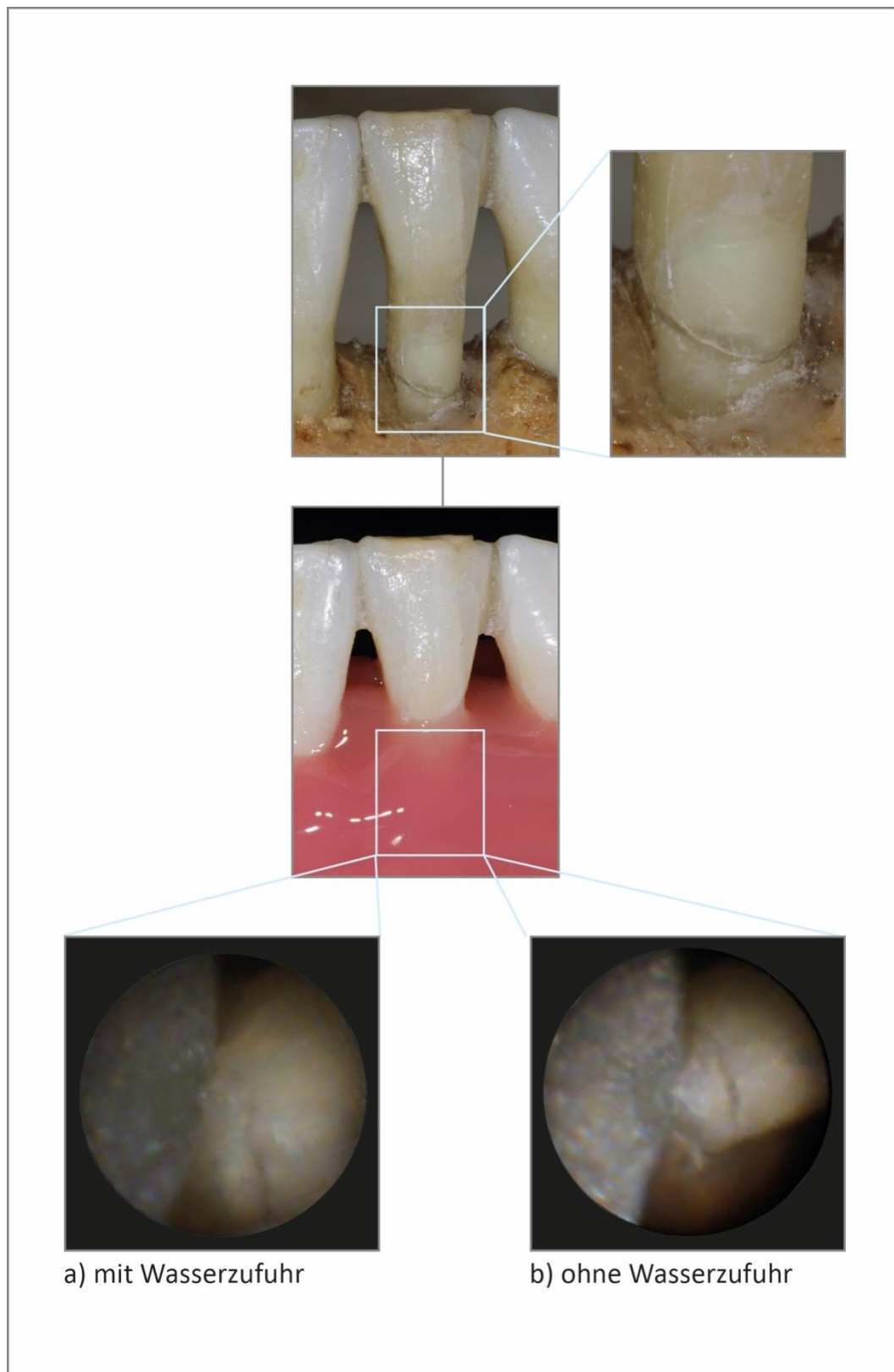


Abbildung 3-6: Querfraktur

Oben mitte: artifiziell erzeugte Querfraktur am Echtzahnmodell; Oben rechts: Vergrößerung des Defekts;
 Mitte: Defekt durch Gingivamaske abgedeckt; a) Defekt abgebildet mit PE und Wasserzufuhr; b) Defekt
 abgebildet mit PE ohne Wasserzufuhr (mittlere Übersichtsaufnahme des Zahnes 31 mit Zahnfleischmaske)

3.5 Zähne und Modellherstellung

Für die Behandlungssimulation wurden Phantomköpfe mit selbst entwickelten Parodontitis-Modellen ausgestattet. Alle Testzähne waren extrahierte, natürliche Zähne: Zwölf Frontzähne (einwurzellig), acht Prämolaren (ein- und mehrwurzellig) und acht Molaren (mehrwurzellig, Weisheitszähne wurden ausgeschlossen). Die Echtzähne wurden zunächst gründlich gereinigt und in Wachs auf einer Platte im Zahnbogen positioniert, die über ein Gewinde in den Phantomkopf eingeschraubt werden kann. Zahn 25 und Zahn 31 wurden außerdem mithilfe einer Druckpresse einmal längs (Zahn 25) und einmal quer (Zahn 31) gespalten, um jeweils eine unterschiedliche Wurzelfraktur zu simulieren. Anschließend wurden die Zahnfragmente mit einem Cyanacrylat-Klebstoff wieder passend miteinander verklebt. Mit einem 2:1 Gemisch aus Superhartgips Typ 4 und feinen Sägespänen wurde die simulierte Knochenbasis auf die Platte gegossen und damit die Zahnwurzeln eingefasst und fixiert. Im noch verformbaren Zustand wurden verschiedene Defekte in den Gips eingearbeitet, die eine ausgeprägte Parodontitis mit mäßigem bis fortgeschrittenem horizontalen Knochenverlust sowie isolierten, tiefen vertikalen Defekten und Furkationsbeteiligung der Molaren simulierten. Die Zähne waren somit für die Studienteilnehmenden, sowohl in anatomischer Hinsicht als auch bezüglich der Zugänglichkeit, unterschiedlich schwer zu instrumentieren (der mittlere klinische Attachmentverlust \pm SD (CAL) betrug $5,86 \pm 2,12$ mm bei einer mittleren Taschentiefe (PPD) von $5,06 \pm 1,74$ mm).



Abbildung 3-7: Oberkiefer Echtzahnmodell links mit aufgebrachtten artifiziellen Konkrementen und rechts mit darüber positionierter Zahnfleischmaske



Abbildung 3-8: Unterkiefer Echtzahnmodell links mit aufgebrachtten artifiziellen Konkrementen und rechts mit darüber positionierter Zahnfleischmaske

Die Wurzeloberflächen dieser Zähne wurden zufällig mit speziellem Konkrement-Lack (A-CK, Frasaco, Tettang, Deutschland) punktförmig zwischen Schmelz-Zement-Grenze und simuliertem Alveolarknochen beschichtet (Abbildung 3-9). Pro Studienteilnehmenden wurden 38 subgingivale harte Auflagerungen simuliert. Die Positionierung wurde zu Beginn des ersten Tests durch die Promovierende für alle Teilnehmenden festgelegt und fotografisch, sowie schriftlich auf einem Befundbogen protokolliert und für jeden Teilnehmenden gleichbleibend simuliert. Der Konkrement-Lack wurde in einem Abstand von mindestens 2 mm vom Boden der Zahnfleischtasche aufgebracht, um die intraorale Situation so realistisch wie möglich zu simulieren (Abbildung 3-9). Die Wurzeloberflächen aller Zähne im Unter- und Oberkiefer wurden mit einer selbst entwickelten und hergestellten Zahnfleischmaske aus weichbleibendem A-Silikon (KwickModel© GINGIVA SOFT, R-dental Dentalerzeugnisse GmbH, Hamburg, Deutschland) mit im Mittel $1,05 \pm 1,0$ mm koronal der Schmelz-Zement-Grenze liegendem *margo gingivae* abgedeckt. So konnte ein visuelles Erkennen von harten Auflagerungen bzw. die direkte Sicht in tiefere Zahnfleischtaschen vermieden werden (Abbildung 3-7 und 3-8). Die Zahnfleischmasken, sowie die simulierten harten Auflagerungen wurden für jeden Studienteilnehmenden erneuert.



Abbildung 3-9: Artificielle Konkremete auf den Wurzeloberflächen der Ober- und Unterkiefermodelle

3.6 Fragebogen

Direkt nach jedem Testablauf wurden die Studienteilnehmenden gebeten, einen Fragebogen auszufüllen, um unter anderem die berufliche Qualifikation und Berufserfahrung der Teilnehmenden, sowie das individuelle Empfinden der Effizienz und Qualität der eigenen Arbeit, mit und ohne PE, sowie das persönliche Empfinden über die Handhabung des PE zu bestimmen. Die Auswertung des Fragebogens erfolgte deskriptiv über die graphische Darstellung der Ergebnisse.

3.7 Statistische Auswertungsmethoden

Gemäß der Stichprobengrößenberechnung von Geisinger, Mealey et al. (2007), erschienen $n = 50$ Zähne (insgesamt 100 Zähne) pro Gruppe ausreichend, um einen Unterschied von weniger als fünf Prozent für entfernte harte Auflagerungen zwischen PE und nPE (Trennschärfe von 80 %) festzustellen. Geisinger, Mealey et al. (2007) fanden eine statistisch signifikante mittlere Differenz ($p < 0,001$) von verbliebenen harten Auflagerungen auf Test- (2,14 %) und Kontrollflächen (3,13 %).

In der vorliegenden Untersuchung waren die Ergebnisse zumeist ordinal skaliert (ja / nein) und wurden unter Verwendung von Microsoft Excel in Kreuztabellen erfasst. Mittelwerte, Prozentsätze und Standardabweichungen wurden unter Verwendung von Microsoft Excel (Microsoft Excel 16, Microsoft Corporation, One Microsoft Way Redmond, WA, USA) berechnet und in SPSS Statistics (SPSS Statistics 24, IBM, Chicago, IL, USA) übertragen. Die Normalverteilung der verbleibenden simulierten harten Auflagerungen und die Behandlungszeit wurden mittels Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk sowie dem Chi-Quadrat-Test getestet. Es zeigte sich, dass die residualen harten Auflagerungen nicht normal verteilt vorlagen. Daher wurden mögliche Assoziationen zwischen den zu testenden Variablen unter Verwendung der Pearson-Korrelation und des Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten analysiert. Alle Tests waren zweiseitig; eine statistische Signifikanz wurde angenommen, wenn $p \leq 0,05$ ist.

4 Ergebnisse

4.1 Diagnose und Wirksamkeit der Behandlung von harten Auflagerungen

Im Allgemeinen zeigten sich unter Benutzung eines dentalen Endoskopes (PE) signifikant bessere Ergebnisse bei der subgingivalen Erkennung und Diagnostik von harten Auflagerungen ($p < 0,001$, Abbildung 4-1, Tabelle 1).

Die Verwendung des PE hinterließ ungeachtet der Erfahrung der Studienteilnehmenden deutlich weniger verbliebene harte Auflagerungen als ohne PE ($p = 0,002$, Tabelle 1). Im Detail hatten alle Studienteilnehmenden mithilfe des PE im Mittel \pm SD 90,78 % \pm 12,10 % [Bereich: 58,80 - 100 %] aller simulierten harten Auflagerungen entfernt (Kontrolle: 79,98 \pm 22,15 % [Bereich: 38,10-100 %]), wohingegen drei Studienteilnehmende (alle DHs) 100 % Reinigungseffektivität zeigten (Kontrolle ohne PE: $n = 2$ (alle ZÄ), Abbildung 4-2).

Auf Zahnebene wurde ein Vorteil von PE nur für Frontzähne unabhängig vom Kiefer nachgewiesen (Tabelle 1, $p < 0,001$). Unabhängig von der Erfahrung der Studienteilnehmenden, führte der

Gebrauch von PE auf Kieferebene nur im Oberkiefer zu weniger verbliebenen simulierten harten Auflagerungen (Tabelle 1, $p < 0,001$). Es wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der entfernten simulierten harten Auflagerungen und den lokalen Taschentiefen festgestellt, unabhängig davon, ob ein PE verwendet wurde oder nicht ($p = 0,212$).

Mithilfe eines dentalen Endoskopes zeigte die Gruppe der Zahnärzte und Zahnärztinnen im Vergleich zur Gruppe der Dentalhygienikerinnen weder einen signifikanten Unterschied bei der Diagnostik ($p = 0,514$), noch bei der Wirksamkeit bei der Entfernung harter Auflagerungen ($p = 0,579$, Tabelle 1), wohingegen sie ohne Verwendung eines dentalen Endoskopes (Kontrolle) signifikant mehr harte Auflagerungen entfernten als die Gruppe der Dentalhygienikerinnen (Tabelle 1, $p = 0,004$). Die Verwendung von Lupenbrillen ($n = 5$; eine Dentalhygienikerin und vier Zahnärzte und Zahnärztinnen) mit 2,5-facher Vergrößerung führte nur in der Kontrollgruppe (nPE) zu signifikant weniger verbliebenen harten Auflagerungen im Vergleich zur Behandlung ohne Lupenbrille ($p < 0,001$).

4.2 Behandlungszeit

Die Behandlungszeit unterschied sich signifikant zwischen der Verwendung eines PE ($54,73 \pm 13,12$ Minuten) und nPE ($33,00 \pm 11,33$ Minuten) (Tabelle 1, $p < 0,001$). Darüber hinaus benötigte die Gruppe der Dentalhygienikerinnen mehr Zeit für die Behandlung aller Testzähne ($58,60 \pm 14,61$ [45-80] Minuten), als die Gruppe der Zahnärztinnen und Zahnärzte ($51,75 \pm 9,79$ [40-67] Minuten) ($p < 0,001$). Abbildung 4-3 zeigt die Behandlungszeit und die Wirksamkeit der Entfernung von harten Auflagerungen für jeden Studienteilnehmenden, der PE und nPE verwendet. Nur eine Teilnehmerin sparte mit PE drei Minuten Zeit (Abbildung 4-3, Studienteilnehmerin sieben in der Gruppe der Dentalhygienikerinnen).

Tabelle 1: Vergleich der Ergebnisse nach der richtigen Diagnose und Entfernung von harten Auflagerungen sowie der Behandlungszeit für Test (mit PE) und Kontrollgruppe (ohne PE), getrennt für verschiedene Zahntypen und Kiefer (signifikante Unterschiede sind fett hervorgehoben). (PE: Parodontale Endoskopie)

Ergebnisse von Diagnostik und Behandlung für Test (PE) und Kontrollgruppe (nPE)			
	N der nicht diagnostizierten/ entfernten harten Auflagerungen	N der korrekt diagnostizierten/ entfernten harten Auflagerungen	p-Wert
Diagnostik			
Unter Verwendung von PE	21	170	p<0.001
Ohne Verwendung von PE (nPE)	75	152	
Behandlung			
Unter Verwendung von PE	15	176	p=0.002
Ohne Verwendung von PE (nPE)	46	181	
Oberkiefer			
Unter Verwendung von PE	6	86	p<0.001
Ohne Verwendung von PE (nPE)	27	91	
Unterkiefer			
Unter Verwendung von PE	12	90	p=0.254
Ohne Verwendung von PE (nPE)	19	90	
Frontzahnregion			
Unter Verwendung von PE	4	72	p<0.001
Ohne Verwendung von PE (nPE)	20	58	
Prämolarregion			
Unter Verwendung von PE	5	44	p=0.234
Ohne Verwendung von PE (nPE)	13	59	
Molarregion			
Unter Verwendung von PE	9	60	p=0.517
Ohne Verwendung von PE (nPE)	13	64	
	Mit PE	Ohne PE (nPE)	
Behandlungszeit in Minuten (Mittel±SD)	54.73±13.12 [40-80]	33.00±11.33 [20-53]	p<0.001
Zusätzliche Verwendung von Lupenbrillen			
Prozent der korrekt diagnostizierten harten Auflagerungen mithilfe einer Lupenbrille	86.52	70.30	
Prozent der korrekt diagnostizierten harten Auflagerungen ohne Lupenbrille	88.57	64.29	
<i>P-Wert zwischen den Gruppen</i>	p=0.665	p=0.339	
Prozent der entfernten harten Auflagerungen mithilfe einer Lupenbrille	88.76	90.10	
Prozent der entfernten harten Auflagerungen ohne Lupenbrille	92.38	71.43	
<i>P-Wert zwischen den Gruppen</i>	p=0.387	p<0.001	
Qualifikation			
Prozent der korrekt diagnostizierten harten Auflagerungen in der Gruppe der Zahnärzte/-innen	88.99	65.57	
Prozent der korrekt diagnostizierten harten Auflagerungen in der Gruppe der Dentalhygienikerinnen	85.88	68.57	
<i>P-Wert zwischen den Gruppen</i>	p=0.514	p=0.632	
Prozent der entfernten harten Auflagerungen in der Gruppe der Zahnärzte/-innen	91.74	86.88	
Prozent der entfernten harten Auflagerungen in der Gruppe der Dentalhygienikerinnen	89.41	71.43	
<i>P-Wert zwischen den Gruppen</i>	p=0.579	p=0.004	

Vergleich der Diagnostik und Wirksamkeit der Entfernung von subgingivalen harten Auflagerungen mit (PE) und ohne (nPE) Verwendung von Perioscopy

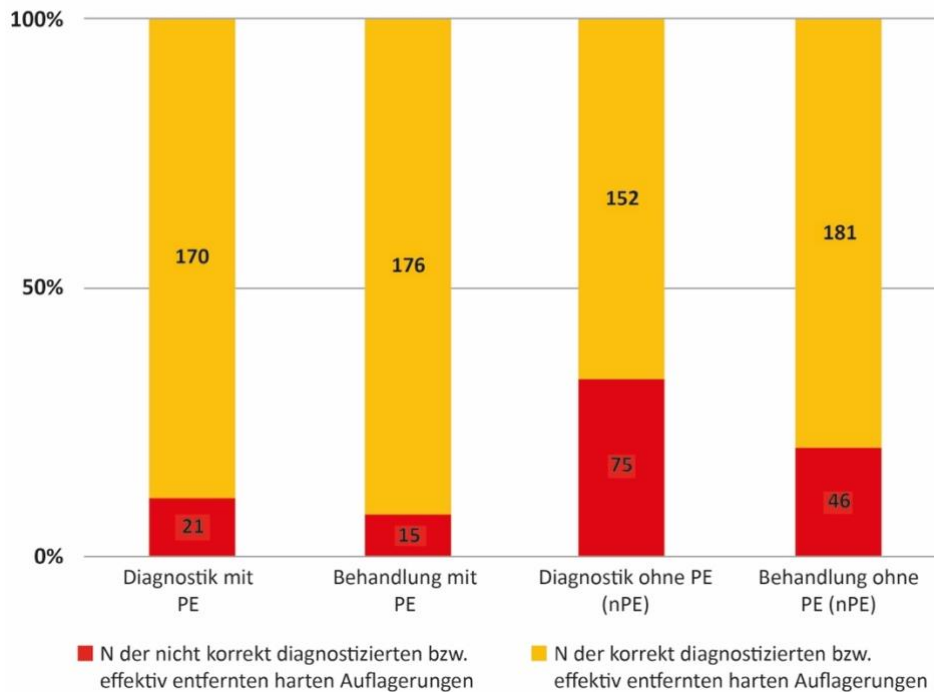


Abbildung 4-1: Vergleich von Diagnostik und Wirksamkeit der Entfernung von simulierten harten Auflagerungen (PE: Parodontale Endoskopie)

Effektivität bei der Entfernung von harten Auflagerungen getrennt jeden Studienteilnehmenden

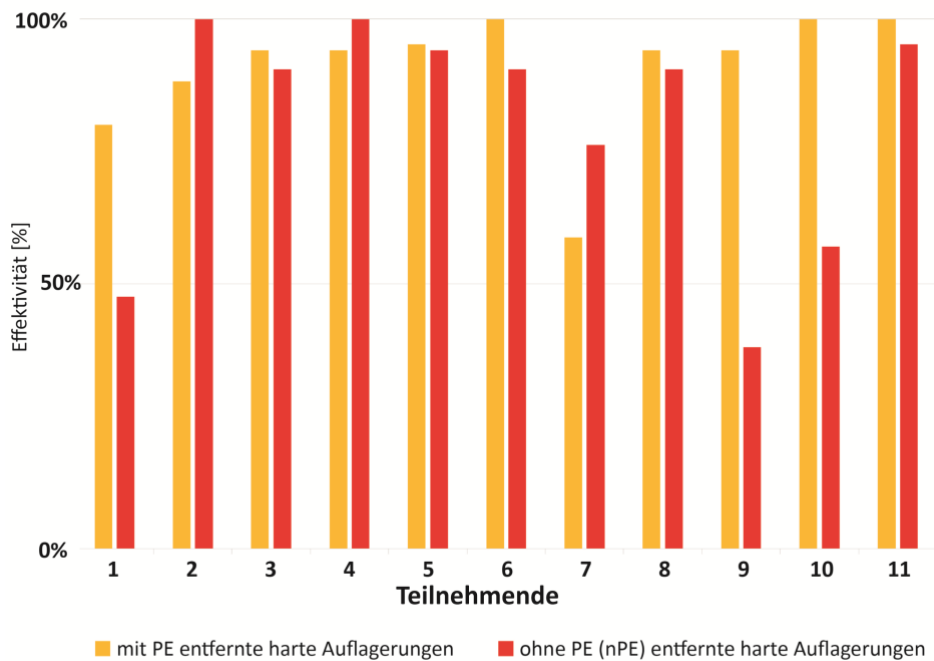


Abbildung 4-2: Effektivität der Reinigungsleistung hinsichtlich der Entfernung von simulierten harten Auflagerungen je Studienteilnehmenden (PE: Parodontale Endoskopie)

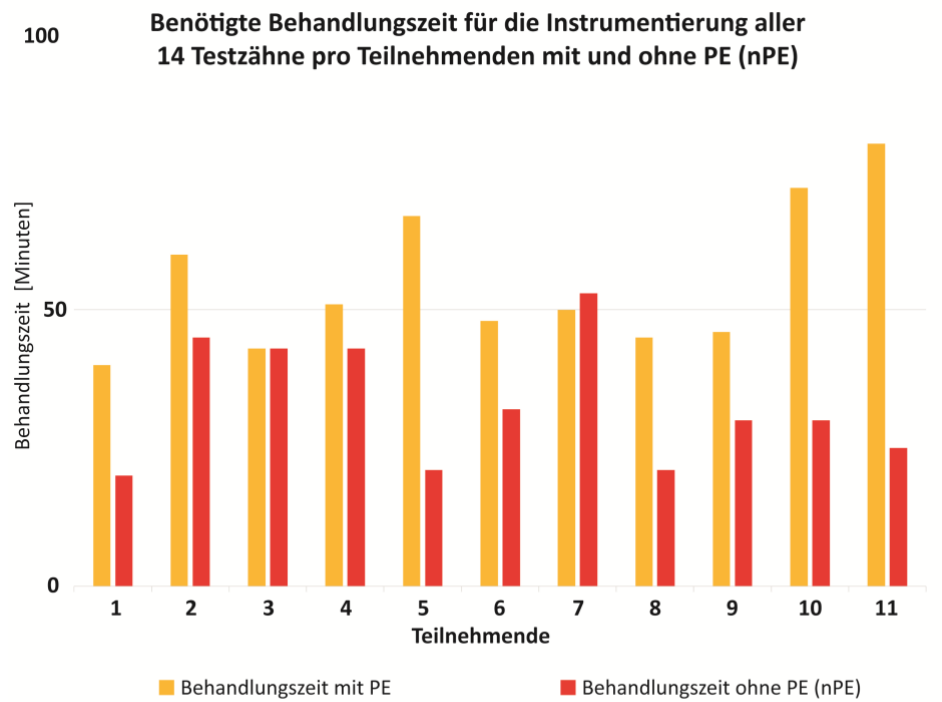


Abbildung 4-3: Benötigte Behandlungszeit für die Instrumentierung aller zu instrumentierenden Zähne in der Test- versus Kontrollgruppe (PE: Parodontale Endoskopie)

5 Diskussion

Die vorliegende *in-vitro*-Studie zeigt, dass durch die zusätzliche Verwendung eines dentalen Endoskopes während des subgingivalen Debridements etwa 11 % mehr simulierte harte Auflagerungen pro Zahn entfernt werden, als die konventionelle subgingivale Bearbeitung der Wurzeloberflächen ($p = 0,002$, Tabelle 1). Es erfordert jedoch auch etwa 22 Minuten mehr Behandlungszeit (Tabelle 1). Somit können beide anfangs aufgestellten Hypothesen bestätigt werden.

Eine der möglichen Ursachen für den erhöhten Zeitaufwand ist, dass alle Studienteilnehmenden in der Verwendung von Schall- und konventionellen Handinstrumenten praktisch geschult waren, jedoch nicht vertraut mit der kombinierten Verwendung von Instrumenten und dentalem Endoskop. Somit waren die Studienteilnehmenden mit beiden Arten von Instrumenten ohne dentales Endoskop erfahrener und infolgedessen hierbei zeiteffektiver. Die zusätzliche Verwendung von PE erfordert eine völlig andere Art der Arbeitsweise. Die moderne Zahnmedizin zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass vielfältige Hilfsmittel wie spezielle Spiegel, Abhaltehilfen, Trockenlegung aber auch die Verwendung von Vergrößerungshilfen bis hin zum Operationsmikroskop die direkte Sicht auf das „field of interest“ ermöglichen. Somit verwundert es kaum, dass das indirekte Arbeiten über den Monitor des PE nicht in jedem Fall und sofort zu besseren Ergebnissen führt. Sicherlich ist dessen Abbildungsschärfe über die Fiberoptik ohne Frage auch noch optimierungsbedürftig, wie in einer im Rahmen der Dissertation von mir vorgenommenen graphischen Simulation zu erkennen ist. Erst durch die Umrandung und farblich abgegrenzte flächige Darstellung der unterschiedlichen anatomischen Strukturen und Instrumente im Sulkus ist es dem ungeübten Auge möglich, die einzelnen Strukturen voneinander abzugrenzen (Abbildung 5-1).

Andererseits kann ebenso für konventionelle Methoden die auf Taktilität beim SRP setzen nicht zwangsläufig eine verbesserte Detektion von z.B. subgingival liegenden harten Auflagerungen festgestellt werden (Pippin and Feil 1992). Insbesondere bei Seitenzähnen im retralen Bereich der Mundhöhle wurde in der vorliegenden Untersuchung festgestellt, dass die systemimmanenten Sonden zur Aufnahme der Lichtleiterspitze nicht ausreichend anguliert sind, was erklären könnte, warum sich der Gebrauch des PE im Vergleich zu nPE für diese Zähne nicht als überlegen erwiesen hat. Gerade aber hier wäre eine Verbesserung im Rahmen der nicht-chirurgischen Technik wünschenswert, da sich gerade Molaren durch mehrere Wurzeln und eine komplexere Zahnwurzelmorphologie auszeichnen und insgesamt schwerer zu therapieren und langfristig eine schlechtere Überlebenswahrscheinlichkeit aufweisen (Nibali, Sun et al. 2018, Dommisch, Walter et al. 2020). Die Effektivität bei der Entfernung der simulierten harten Auflagerungen lag für den

gesamten Seitenzahnbereich mit und ohne den Gebrauch eines PE bei 45,45 %. Trotzdem konnten in der vorliegenden Untersuchung 9 Studienteilnehmende im Seitenzahnbereich mit PE immerhin 81,82 % der simulierten harten Auflagerungen richtig detektieren – ohne PE waren es nur 18,18 %. Deshalb verwundert es auch nicht, dass im Frontzahnbereich 63,64 % der Studienteilnehmenden mit dem PE effektiver waren als ohne. Möglicherweise liegt dies wiederum in der Natur der Komplexität der Handhabung des PE, denn in der vorderen Region der Mundhöhle stören die starren Instrumente des PE weniger als im Seitenzahnbereich. Es kann festgestellt werden, dass für eine verbesserte Handhabung und Effektivität im retralen Bereich nicht nur deutliche Bestrebungen zur Verbesserung der Bildqualität notwendig sind, sondern auch Weiterentwicklungen der Führungshilfen für die PE-Technik unternommen werden müssen.

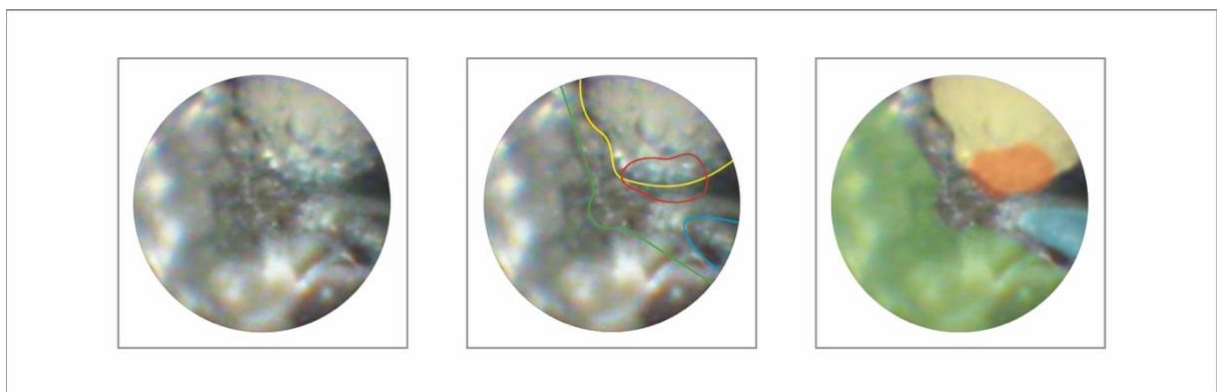


Abbildung 5-1: Monitorabbildung des "field of interest".

Links: Abbildung einer Wurzeloberfläche mit harten Auflagerungen bei gleichzeitiger Instrumentierung mittels eines Schallscalars

Mitte: Das gleiche Bild mit Umrissen der einzelnen Bildbestandteile: Grün: Spitze der PE-Sonde; blau: Spitze des Schallscalars; gelb: Teil der Wurzeloberfläche mit sichtbaren Luftblasen; rot: künstliche Auflagerung

Rechts: Das gleiche Bild und eine flächige Darstellung der einzelnen Strukturen

Die Abgrenzung der einzelnen Strukturen voneinander kann unter Umständen eine Herausforderung darstellen und das Diagnostizieren möglicher Defekte erschweren.

5.1 Behandlungsdauer

Ebenfalls kann die Handhabung und die mangelnde praktische Ausbildung bei der Verwendung eines PE eine Erklärung für eine verlängerte Behandlungsdauer sein (Osborn, Lenton et al. 2014). Die wenigen publizierten Studien lassen aber nur indirekt Rückschlüsse und Vergleiche zur vorliegenden Studie zu, da eine Behandlung oftmals *in vivo* am Patienten erfolgte (Shi, Xia et al. 2020). Hierbei muss beachtet werden, dass viele Rahmenbedingungen, welche die Therapiedauer beeinflussen werden, nur schwer *in vivo* kontrollierbar sind. Eine der wenigen Studien, welche die Behandlungsdauer detailliert analysiert haben, wurde von Geisinger, Mealey et al. (2007) publiziert. Die Autoren berichteten über eine durchschnittliche Behandlungszeit pro Zahn von $19,88 \pm 6,37$ Minuten mit PE und $13,76 \pm 4,08$ Minuten pro Kontrollzahn ($p < 0,001$) ohne den Einsatz der dentalen Endoskopie bei 15 Probanden mit 50 Zahnpaaren. Dabei wurde jedes untersuchte „Zahnpaar“ randomisiert mittels SRP mit oder ohne PE behandelt. Dies ist im Vergleich zur Testgruppe in der vorliegenden *in-vitro*-Studie fast fünfmal länger (~ 4 Minuten pro Zahn / harte Auflagerungen) und erscheint auch im Vergleich zu anderen Studien zur Effektivität des SRP äußerst lang (Rühling, Schlemme et al. 2002). In Deutschland wird eine nicht-chirurgische Parodontitis-therapie nach kassenzahnärztlichen Bewertungsmaßstäben abgerechnet und mit bis zu 27,30 € je Zahn vergütet (BEMA Katalog Nr. P200, P201). Wenn also der Unterschied in der Behandlungszeit zwischen Test und Kontrolle mit 2,66 bis zu 11,27 Minuten pro Zahn gemessen wird (Geisinger, Mealey et al. 2007), so bedeutet dies, dass die monetäre Vergütung pro Zahn um etwa 4,42 - 12,56 € und pro Minute um etwa 0,32 - 0,91 € sinkt. Dies wird sicherlich in einem marktwirtschaftlich geprägten nationalen Gesundheitssystem wie in Deutschland auf Dauer anderweitig kompensiert werden müssen, entweder durch Anhebung der Bewertungsmaßstäbe oder eine zusätzliche Kostenerstattung durch die Patienten privat. Eine mögliche Erklärung, warum auch in anderen *in-vivo*-Studien neben der diskutierten von Geisinger, Mealey et al. (2007) so lange Behandlungsdauern je Zahn gefunden wurden (Michaud, Schoolfield et al. 2007), ist sicherlich dem Aspekt geschuldet, dass in diesen Studien nur sogenannte hoffnungslose Zähne behandelt wurden, welche im Vorfeld der Studien als nicht erhaltungsfähig eingestuft worden waren und im Anschluss an das SRP extrahiert wurden. Diese Zähne werden eine deutlich komplexere Behandlungsnotwendigkeit mit viel mehr Granulationsgewebe, deutlich höheren ST und verstärkten Blutungen aufweisen (Geisinger 2018), als Zähne, welche normalerweise im Rahmen einer nicht-chirurgischen Therapie erfolgreich zu therapieren sind (Sanz, Herrera et al. 2020).

In der aktuellen *in-vitro*-Studie waren alle Studienteilnehmenden als wenig erfahren in der Anwendung eines PE einzustufen. Der Einfluss der Erfahrung mit dem PE kann deshalb nur begrenzt bewertet werden, hingegen wurden in der Studie von Geisinger, Mealey et al. (2007) die

Behandlungszeiten im Hinblick auf den Zeitpunkt der Aufnahme der Patientengruppen in die Studie separat berücksichtigt (erste Gruppe: früh in die Studie einbezogen (Behandlungszeit: $26,34 \pm 5,63$ Minuten pro Zahn), zweite Gruppe: auf halbem Weg eingeschlossen ($20,04 \pm 4,81$ Minuten pro Zahn), dritte Gruppe: spät eingeschlossen ($15,23 \pm 3,35$ Minuten pro Zahn), unter der Annahme, dass die Behandelnden am Ende der Studie erfahrener und folglich schneller wurden. Jedoch muss nochmals angemerkt werden, dass eine detaillierte Behandlungszeit pro Zahn nicht gemessen wurde und nur die mittlere Zeit der Gesamtbehandlung aller Zähne durch die Anzahl der jeweils mit oder ohne PE behandelten Zähne dividiert wurde. Für die vorliegende Studie kann aber angenommen werden, dass alle Studienteilnehmenden sich während der gesamten Behandlungszeit von $54,73 \pm 12,52$ Minuten für 14 Zähne in der Anwendung von PE durch die gemachten Erfahrungen schulten und bei wiederholten folgenden Anwendungen schneller wurden (Kim and Baek 2004). Gerade dieser Aspekt des erhöhten Zeitaufwandes bei PE-Anwendung könnte aber für gezielte Behandlungen während der Reevaluationsphase der Parodontaltherapie durch eine höhere Effektivität bei der Detektion von kausalen harten Auflagerungen den weiteren Behandlungsaufwand der verbliebenen entzündlichen Taschen zu reduzieren helfen, wie von Osborn, Lenton (2014) erwähnt.

Mit einer Ausnahme benötigten alle Studienteilnehmenden längere Behandlungszeiten unter Verwendung des PE (Abbildung 4-3). Acht von elf Studienteilnehmenden waren mit PE effektiver bei der Entfernung von harten Auflagerungen, wobei sich dieser Effekt besonders im Oberkiefer abzeichnete (Abbildung 4-2, Tabelle 1). Die besten Behandlungsergebnisse wurden beim SRP der Frontzähne in beiden Kiefern erzielt, da diese wie bereits erwähnt leichter zugänglich und damit einfacher zu behandeln sind. Im verwendeten Modell zeigten sowohl die mittleren Unterkiefer- als auch Oberkieferschneidezähne neben konvexen Wurzeloberflächen tiefe und schmale vertikale Defekte (Adriaens and Adriaens 2004). Dies könnte dahingehend gewertet werden, dass erfahrene Zahnärztinnen und Zahnärzte oder Dentalhygienikerinnen, zu denen die Mehrheit der Studienteilnehmenden gezählt werden können ($n=7$, Fachgebietserfahrung >10 Jahre), besser in der Lage sind, die sich aus der Wurzelanatomie ergebenden Schwierigkeiten bei der Behandlung dieser subgingival liegenden Wurzeloberflächen zu erkennen und für eine suffizientere Instrumentierung umzusetzen (Rühling, Schlemme et al. 2002, Graetz, Schwendicke et al. 2015). In ähnlicher Weise könnten bessere Behandlungsergebnisse mit PE im Oberkiefer auf die komplexere Wurzelanatomie, einschließlich tiefer Konkavitäten, der oberen im Vergleich zu den unteren Zähnen zurückzuführen sein (Dörfer C. E. 2000). Es kann vermutet werden, dass Zähne mit komplexer Wurzelanatomie von der Verwendung von PE im Vergleich zum herkömmlichen SRP profitieren könnten. Diese Vermutung sollte in *in-vivo*-Studien geprüft werden, um die Auswirkungen einer nicht-chirurgischen

Parodontitistherapie mit Hilfe eines PE auf klinische Parameter wie *bleeding on probing* (BOP) oder dem Gewinn des *clinical attachment levels* (CAL) zu untersuchen (Kuang, Hu et al. 2017). Entgegen dieser Hypothese konnten in der vorliegenden *in-vitro*-Studie, in der derartige Surrogatparameter nicht untersucht werden konnten, die Frontzähne effektiver hinsichtlich der Reinigungsleistung als Molaren unter Verwendung des PE behandelt werden. Dies könnte durch die fehlende Erfahrung der Studienteilnehmenden im Umgang mit dem PE zu erklären sein. Besonders im Bereich komplexer Wurzelanatomien, wie beispielsweise bei mehrwurzeligen Molaren, könnte die herausfordernde Handhabung des PE zu einer vergleichsweise schwierigeren Diagnostik und Wurzeloberflächenbearbeitung geführt haben (Geisinger, Mealey et al. 2007). Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen einer klinischen Studie von Michaud, Schoolfield et al. (2007), die ebenfalls nicht nachweisen konnte, dass die Verwendung von PE als Ergänzung zum herkömmlichen SRP eine signifikante Verbesserung der Entfernung von harten Auflagerungen gerade bei mehrwurzeligen Zähnen zur Folge hatte. Laut Osborn, Lenton et al. (2014) kann die Diagnostik und Behandlung mittels PE aber auch getrennt erfolgen, um die Wirksamkeit zu verbessern. In der vorliegenden Studie wurde dies entsprechend durchgeführt. Dann wird jedoch mehr Zeit benötigt, um die gereinigte Wurzeloberfläche neu zu diagnostizieren und eventuelle verbliebene harte Auflagerungen zu lokalisieren, und folglich die richtige Position wiederzufinden, um diesen Bereich weiter zu instrumentieren. Wenn ein PE nur zur Kontrolle von vorher ohne PE gereinigten Wurzeloberflächen zum Einsatz kommt, geht der entscheidende Vorteil der Minimalinvasivität mit beispielweise einer geringeren Wurzeloberflächendestruktion teils verloren.

5.2 Kosten

Nicht unerwähnt dürfen die Kosten des Einsatzes des getesteten PE bleiben. Das in Deutschland derzeitig einzig als Medizinprodukt für die Anwendung am Menschen zugelassene System aus der Studie stellt eine kostenintensive Anschaffung dar. Ein komplettes mobiles System beläuft sich auf über 30.000 €, auch wird für jede Behandlung eine sterile neue Schutzhülle (ca. 80 €) benötigt. Allein die Kosten für eine sterile Ummantelung sind etwa 8x so hoch, wie bei einer Laryngoskopie und etwa 3x so hoch, wie bei einer Schweb- oder Stützlaryngoskopie (Gebührenordnung für Ärzte: Nr. 1530 Untersuchung des Kehlkopfes mit dem Laryngoskop, 10,61 €; Nr. 1533 Schweb- oder Stützlaryngoskopie, 29,14 €). Dabei wurden die Kosten des PE und die Behandlungszeit noch nicht berücksichtigt. Ein Grund für die hohen Anschaffungs-/ Verbrauchskosten könnte sein, dass die Endoskopie in der Zahnheilkunde noch nicht etabliert ist und daher ein höherer Aufwand seitens der Herstellerfirmen entsprechend den individuellen Anforderungen in der jeweiligen nationalen Medizin (Zulassung, Hygiene etc.) bei nur geringer zu erwartenden Marge erforderlich macht. Es ist

aber anzunehmen, dass insbesondere die Herstellungskosten aufgrund des technischen Fortschritts von Kameras und Prozessoren weiter sinken werden und dadurch die dentale Endoskopie ähnliche Tendenzen zur Kostensenkung und -verteilung in der Zahnmedizin aufzeigen wird, wie beispielsweise bei Operationsmikroskopen in der Zahnchirurgie oder Endodontologie (Arnold 2020).

5.3 Kosten-Nutzen

Wie die Studienergebnisse zeigen, muss mit einem höheren Kosten- und Zeitaufwand für die Behandlung mit einem PE gerechnet werden. Jedoch muss anerkannt werden, dass aufgrund der aufgezeigten signifikant höheren Effizienz bei der Diagnostik und Entfernung von harten Auflagerungen (Abbildungen 4-1 - 4-3) der Einsatz eines dentalen Endoskopes für die Reevaluationsphase sinnvoll ist, was zu spezifischeren Behandlungsschritten im Rahmen der nicht-chirurgischen, minimal-invasiven Parodontitistherapie führen kann. In dieser Behandlungsphase kann eine insgesamt kürzere Gesamtbehandlungszeit angenommen werden, da ja nur lokal Zähne mit Resttaschen oder Rezidiven nachbehandelt werden. Somit ergäbe sich durch die Vermeidung unnötiger (Über)Instrumentierung von nicht erkrankten Wurzeloberflächen eine reduziertere Destruktion von Zahnhart- und Weichgeweben, sowie einer damit einhergehenden höheren Patientenakzeptanz (Ribeiro, Casarin et al. 2011). Neben der zum Zeitpunkt der Studiendurchführung noch vergleichsweise ungünstigen Wirtschaftlichkeit von dentalen Endoskopen könnten aber auch die aufgezeigten besseren Behandlungsergebnisse gerade das zahnärztlichen Kollegium ohne Spezialisierung für den Fachbereich Parodontologie überzeugen, den eigenen Behandlungserfolg zu steigern und eine höhere Akzeptanz in der Praxis für alle Therapieschritte der Parodontitis zu generieren (Kamath and Umesh Nayak 2014). Während einer langfristigen unterstützenden Parodontitistherapie kann davon ausgegangen werden, dass eine geringere Anzahl von Zähnen mit verbleibenden tiefen Taschen die Gesamtkosten im Maßstab senkt (Schwendicke, Biffar et al. 2017, Schwendicke, Engel et al. 2018) und sich die Mundgesundheitsqualität der Patientinnen und Patienten verbessert (Sonnenschein, Betzler et al. 2018, Graetz, Schwalbach et al. 2020). Daher sollte sich die weitere Forschung darauf konzentrieren, Ergebnisse zu den zusätzlichen Kosten und Auswirkungen von dentalen Endoskopen zur Berechnung eines inkrementellen Kosten-Nutzen-Verhältnisses (*incremental cost effectiveness ratio*, ICER) vorzulegen (Listl and Birch 2013). Listl und Birch nehmen an, dass bei einem ICER-Wert von dentalen Endoskopen im Vergleich zu einem Schwellenparameter k festgestellt werden kann, ob die durchschnittlichen Kosten pro Einheit für zusätzlichen Gesundheitsgewinn von PE geringer sind, als die durchschnittlichen Kosten pro Einheit Gesundheitskosten, die durch diesen Schwellenwert impliziert werden. Es sei speziell für

Deutschland erwähnt, dass auch eine Delegation der Maßnahmen gerade in der initialen und der unterstützenden Parodontistherapiephase an weitergebildetes Prophylaxe-Personal nochmals hilft die Kosten zu senken. Für die vorliegende Untersuchung wurde deshalb diese Berufsgruppe explizit eingeschlossen, wobei die eingeschlossenen Dentalhygienikerinnen die Gruppe der am höchsten qualifizierten innerhalb des Prophylaxe-Personals darstellen und im Mittel circa zwei Minuten schneller bei der konventionellen Bearbeitung der Wurzeloberflächen waren, als die Zahnärztinnen und Zahnärzte (ZÄ) (DH = 31,8 Min., ZÄ = 34 Min.). Eine Ursache hierfür könnte die längere Berufserfahrung von im Mittel 2,5 Jahren, die tägliche Routine des SRP und die anzunehmende höhere Motivation zum Arbeiten mit einem PE im Delegationsrahmen in der Gruppe der DH sein².

5.4 Reinigungseffektivität

Wie bereits diskutiert ist die Handhabung eines PE während der simultanen Anwendung verschiedener Instrumente zum SRP unhandlich und gewöhnungsbedürftig (Kuang, Hu et al. 2017). Deshalb muss zwingend vom Hersteller die Handhabung des PE bei simultaner Wurzeloberflächenbearbeitung verbessert werden. Es genügt nicht nur einen besseren Überblick und höher aufgelöste Abbildungen über die subgingivale Wurzeloberfläche zu erhalten. Insbesondere muss in Kombination mit sehr dünnen Schall- oder Ultraschallinstrumenten auch die effektive Entfernung der erkannten Auflagerungen gewährleistet werden.

Aber ist es zwingend erforderlich, eine visuelle Kontrolle über die Wurzeloberflächen zu erhalten? Bei einem adäquaten therapeutischen Vorgehen sollte man annehmen, dass die Wurzeloberflächen systematisch in überlappenden Bahnen bearbeitet werden und somit eine effektive Entfernung von subgingivalen harten Auflagerungen gewährleistet ist. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die Behandlung in der Praxis ein derartig systematisches Vorgehen überhaupt zulässt, wenn wirtschaftlich-ökonomische Faktoren, wie beispielsweise die benötigte, oftmals verlängerte Behandlungszeit in nicht spezialisierten Praxen und ein ausgeprägtes anatomisches Verständnis für Wurzeloberflächen auf der Ebene der Behandelnden hinzukommen. Zusätzlich könnte es durch Beeinflussungen seitens der Industrie, die maschinelle Scaler anbieten dazu führen, dass die systematische Arbeitsweise unnötig erscheint. Die Systeme werden oftmals als effektivere und leichter anzuwendende Variante bei der Wurzeloberflächenbearbeitung gegenüber Handinstru-

² <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/prophylaxe/parodontologie/zusammenarbeit-zwischen-dentalhygienikerin-und-zahnarzt>

menten beworben. Evidenzbasiert ist jedoch die Erkenntnis, dass sowohl mit Handinstrumenten, als auch mit maschinellen Systemen gleich gut instrumentiert werden kann (Walmsley, Lea et al. 2008) und diese in Kombination zu nutzen in der aktuellen EFP S3-Leitlinie empfohlen wird (Sanz, Herrera et al. 2020). Denkbar wäre, dass durch einen punktuellen, zielgerichteten Einsatz des PE an beispielsweise schwer zugänglichen Bereichen eine Zeitersparnis erreicht werden könnte. Neben einer ökonomischeren und effizienteren Behandlung könnte so auch eine unnötige Überinstrumentierung der nicht-erkrankten Bereiche der Zähne wie es eine konventionelle überlappende Instrumentierung bedingt, vermieden werden. Verschiedene Subgruppenanalysen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zeigen keine Korrelation zwischen entfernten simulierten harten Auflagerungen an Zähnen und ortsspezifischen Taschentiefen, unabhängig von der Erfahrung der Studienteilnehmenden. Sicherlich haben die verwendeten Zahnfleischmasken ein Eindringen der PE-Sonden des dentalen Endoskopes in den Sulkus behindert, wie es auch in anderen vergleichbaren *in-vitro*-Studien diskutiert wurde (Graetz, Schwendicke et al. 2015), aber es muss auch die mögliche Dämpfung von oszillierenden Instrumenten durch das Material der Zahnfleischmaske diskutiert werden (Gankerseer and Walmsley 1987, Kocher, Rühling et al. 1997, Rühling, Schlemme et al. 2002). Dadurch sinkt die Reinigungsleistung des Scalersystems. Aber auch die Handhabung der Handinstrumente im simulierten Sulkus ist durch die Zahnfleischmaske nur bedingt mit der *in-vivo*-Situation vergleichbar und kann den Anwendenden erschwert erscheinen (Graetz, Plaumann et al. 2016). Bedingt quantifizierbar in der vorliegenden Untersuchung ist der Einfluss der Morphologie der Kiefer. Die Simulation des Alveolarkamms mit einem Gemisch aus Gips und Sägespänen sollte zwar eine realistische Knochenmorphologie und -haptik bei Gebrauch des PE erzeugen, könnte aber ebenfalls Einfluss auf die Ergebnisse dergestalt gehabt haben, dass die Oberfläche rauer und weicher im Gegensatz zur natürlichen Knochenoberfläche war. Die Zahntypen waren für die Behandlung mit und ohne den Gebrauch von PE gleichverteilt (je ein OK- und UK-Quadrant), jedoch wechselten durch die Randomisierung die Quadranten für die Behandlung mit und ohne PE, wodurch lediglich eine Quantifizierung der Zahntypen unabhängig von ihrer Lage im Kiefer durchgeführt werden konnte. Der Prozentsatz der verbliebenen simulierten harten Auflagerungen in der vorliegenden Studie von $9,22 \pm 12,10$ % auf den Zähnen (ohne PE: $20,02 \pm 22,12$ %) ist jedoch mit den aktuellen Daten *in vivo* vergleichbar (Rabani, Ash et al. 1981, Kocher, Rühling et al. 1997, Geisinger, Mealey et al. 2007). Neben diesem signifikanten Unterschied bei der Entfernung von harten Auflagerungen gab es den bereits diskutierten signifikanten Unterschied bei der Behandlungszeit pro Zahn zwischen Test- und Kontrollgruppe. Eine geeignete Schulung für Anwendende mit PE in Bezug auf die gezielte Behandlung und Befundung könnte bei einzelnen Bereichen der Wurzeloberfläche eine Zeitersparnis, sowie eine geringere Zerstörung der Wurzeloberflächen bewirken. Jedoch wurde

auch dies in der vorliegenden Studie nicht bewertet. Jedoch dürfte, analog zur laparoskopischen Chirurgie, in der Ärztinnen und Ärzte die Möglichkeit haben, sich auf die anspruchsvolle Handhabung eines Endoskopes mit einem entsprechenden Trainingsmodell zunächst *in vitro* vorzubereiten und ihre chirurgischen Fähigkeiten mit einem sogenannten Pelvitainer in einem sicheren und risikoarmen Umfeld zu verbessern, das Training mit dem PE an einem entsprechenden Modell zu einer ebenso effektiveren Arbeitsweise führen. Bisher wurden jedoch außerhalb der Kieler Arbeitsgruppe noch keine Bestrebungen für ein *in-vitro*-Trainingsprogramm für die parodontale Endoskopie publiziert. Also werden die ersten Behandlungen derzeit immer noch direkt am Patienten durchgeführt. Möglichen Risiken, wie beispielsweise eine irreversible Gewebedestruktion, die eine Erstanwendung eines derart kompliziert zu bedienenden Diagnostik- und Therapiegerätes mit sich bringt, sollten zukünftig durch die hier gezeigte *in-vitro*-Simulation zu verhindern sein. Es sei aber festgestellt, dass die Studie unabhängig vom verwendeten Instrument für alle hier untersuchten, mit der PE-Technik unerfahrenen Studienteilnehmenden eine hohe Wirksamkeit bei der Konkremententfernung während der Wurzeloberflächenbearbeitung zeigte (Laleman, Cortellini et al. 2017).

Ein weiterer Einflussfaktor für die Steigerung der klinischen Effektivität ist der adjuvante Einsatz von Therapien im Rahmen des SRP. Zusätzliche Maßnahmen, wie die photodynamische, antimikrobielle Therapie oder bestimmte Probiotika sollen mithilfe ihrer antientzündlichen Wirkung die kausale Therapie der Entfernung von subgingivalen Biofilmen und mineralisierten Auflagerungen unterstützen. Diese werden aber derzeit als Begleittherapie im Rahmen der nicht-chirurgischen Parodontitistherapie nicht empfohlen (Sanz, Herrera et al. 2020). Anders wird die Verwendung von Lupenbrillen bzw. Vergrößerungshilfen zur Erhöhung der Sehschärfe diskutiert. Diese werden mittlerweile als eine Ursache verbesserter klinischer Behandlungsergebnisse in der Zahnheilkunde angesehen (Eichenberger, Perrin et al. 2011, Corbella, Taschieri et al. 2018, Dadwal, Kaur et al. 2018). Aber trotz der potenziellen Vorteile von Lupenbrillen werden Einschränkungen und Kontroversen gerade in der Prophylaxe und Therapie der Parodontitis diskutiert (Sunell and Rucker 2004, Hayes, Taylor et al. 2016, Corbella, Taschieri et al. 2018, Dadwal, Kaur et al. 2018). Denn beispielsweise stellten Corbella et al. (2018) fest, dass die Verwendung von Lupenbrillen mit oder ohne Beleuchtung die klinischen und patientenbezogenen Ergebnisse von supragingivalem Scaling nicht signifikant verbesserte. Viele Studien konzentrierten sich auf mögliche Vorteile für Ergonomie und Körperhaltung bei Verwendung von Vergrößerungshilfen (Maillet, Millar et al. 2008, Ludwig, McCombs et al. 2017). Dem stehen die signifikanten Verbesserungen in der Diagnostik und Therapie von Zahnhartsubstanzen gegenüber, weshalb heute deren Verwendung bereits im Rahmen der curricularen Ausbildung in der Zahnmedizin gefordert werden (Yoshioka, Kobayashi et al. 2002).

In der vorliegenden Untersuchung wurde für die Studienteilnehmenden, die Lupenbrillen (mit und ohne Beleuchtung) verwendeten, in der Kontrolle (nPE) signifikant bessere Reinigungsergebnisse gefunden (Tabelle 1). Die Verwendung der Lupenbrille und des PE hingegen konnte keine zusätzliche Verbesserung der Reinigungseffektivität aufzeigen. Obwohl Studien auch eine verringerte Zerstörung der Zahnoberfläche bei Verwendung von Vergrößerungshilfen während des SRP fanden (Dadwal, Kaur et al. 2018), wird dieser Vorteil kontrovers diskutiert. Sunell and Rucker (2004) fanden keine geringere Zahnhartsubstanzdestruktion bei Verwendung der Lupenbrille in ihrer Untersuchung und vermuteten, dass eine erhöhte Sehschärfe weniger vorteilhaft ist als eine taktile Sensibilität und Propriozeption während des subgingivalen Scalings. Dennoch zeigte die vorliegende *in-vitro*-Studie keinen signifikanten Unterschied in der Wirksamkeit hinsichtlich der Entfernung von harten Auflagerungen und der Diagnostik zwischen Zahnärztinnen und Zahnärzten und Dentalhygienikerinnen, wenn beide Gruppen Lupenbrillen verwendeten, obwohl diese im Allgemeinen häufiger von der zahnärztlichen Gruppe verwendet wurden. Keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Diagnose von harten Auflagerungen zu finden überraschte nicht (Tabelle 1), da Lupenbrillen im subgingivalen Bereich, in dem die taktile Diagnostik die überlegene Maßnahme ist, erwartungsgemäß nur begrenzt zu einer Verbesserung führen können. Ganz von der Hand zu weisen ist aber die vorteilhafte Verwendung von Lupenbrillen auch bei der geschlossenen Parodontitistherapie nicht, denn mit Hilfe von Instrumenten wie Schallansätzen oder Küretten kann während des SRP ein besserer Blick in den Sulkus entstehen, wenn die Instrumente das durch die vorhandene Entzündung ohnehin bereits gelockerte Gewebe nochmals etwas verdrängen und so eine direkte Sicht, zumindest in den oberen Abschnitt der Zahnfleischtasche, ermöglichen. Trotzdem sollten Vergleiche von Ergebnissen angesichts der großen Vielfalt an Interessensgebieten und Studiendesigns, aber auch der mögliche Einfluss der Industrie auf die jeweilige Untersuchung mit Vorsicht interpretiert werden (Kocher, Rühling et al. 1997, Auplish, Needleman et al. 2000, Graetz, Schwendicke et al. 2015). Gerade letzteres führt immer wieder zu Kontroversen bei der wissenschaftlichen Interpretation von Studien, wie z.B. für evidenzbasierte Empfehlungen und Leitlinien³.

³ Bezugnehmend auf die Reaktion von Herrn Prof. Dr. Eickholz und Frau Prof. Dr. Dannewitz auf einen Leserbrief von Herrn Prof. Dr. Hahn über die aktuellen S3-LL in der zm, Ausgabe 10, 2020, S. 12

5.5 Diskussion des Studienziels und der studienbedingten Limitationen

Während sich die aktuelle Pilotstudie auf die Wirksamkeit von PE während des SRP konzentrierte, wurde die Schädigung der Wurzeloberfläche nicht bewertet (Tunkel, Heinecke et al. 2002, Walmsley, Lea et al. 2008). Aus bisherigen *in-vitro*-Untersuchungen der Kieler Arbeitsgruppe, die sich ausschließlich auf den Biofilm konzentrierten (Rühling, Schlemme et al. 2002, Graetz, Schwendicke et al. 2015, Graetz, Plaumann et al. 2016), könnte abgeleitet werden, dass es hilfreich ist, vor der Behandlung im Rahmen der Studie das Ziel der Behandlung zu definieren: In der aktuellen Studie strebten die Studienteilnehmenden die Entfernung von simuliertem Biofilm und harten Auflagerungen an, wie dies bei der Initial- und/oder der nicht-chirurgischen Parodontaltherapie geschieht, jedoch wurden nur die verbliebenen harten Auflagerungen gemäß der Untersuchungsmethode gemessen. Aufgrund des Studiendesigns verfügten die Studienteilnehmenden über Küretten für die Behandlung ohne PE, bei denen ein gewisser Oberflächenabrieb höchstwahrscheinlich auch während der unterstützenden Parodontaltherapie unvermeidbar ist (Kocher, Rühling et al. 1997). Während die Studienteilnehmenden für die Behandlung mit PE möglicherweise die Schallscaler bevorzugten, werden weniger rigorose Versuche zur Entfernung harter Auflagerungen unternommen (Graetz, Plaumann et al. 2017). In der vorliegenden Studie wurde anhand einer beispielhaften Darstellung festgestellt, dass die kombinierte Handhabung des PE und des für SRP erforderlichen Instrumentes / Gerätes sich nicht in der Morphologie der Wurzelzerstörung widerspiegelt (Abbildung 5-2), wie sie von der Kieler Arbeitsgruppe zuvor beschrieben wurde, z.B. für Küretten in vertikal überlappender Arbeitsweise (Graetz, Schwendicke et al. 2015). Dies könnte daran liegen, dass die Spitzen des Instruments und der Faseroptik des PE sich gegenseitig in der Arbeitsweise beeinflussen. Bei der gezeigten Abbildung handelt es sich jedoch lediglich um eine ungenaue Verhältnismäßigkeit anhand zweier übereinander gelagerter Bilder und darf, da keine systematische planmetrische Auswertung stattgefunden hat, nicht verallgemeinert werden.

Wie bereits oben beschrieben, stellt die Abbildungsschärfe bzw. die Auflösung des Monitors einen Faktor dar, der sich negativ auf die Behandlung mit dem PE auswirken könnte. Hierzu muss aber erwähnt werden, dass das der Simulation zugrundeliegende Bild lediglich eine Bildschirmaufnahme aus einem Bewegtbild ist und daher eine unzureichende Auflösung besitzt, um weiterführende Aussagen über die Bildqualität treffen zu können. Trotzdem sollte der Aspekt der Verbesserung der Bildqualität und Auflösung in der Weiterentwicklung der Technik des dentalen Endoskopes unbedingt berücksichtigt werden.

Zudem wurden weitere Befunde, wie die artifizell erzeugte Wurzellängs- und Querfraktur, in der vorliegenden Studie nicht näher untersucht. Die Studienteilnehmenden wurden zwar gebeten, auf andere auffällige Befunde während ihrer Behandlungszeit am Modell zu achten und diese anzuzeigen, jedoch hat keiner der Studienteilnehmenden auf vorliegende Wurzelfrakturen hingewiesen. Mehrere Gründe kommen hierfür in Frage, wie beispielsweise die noch zu geringe Auflösung und unscharfe Abbildung des Monitors und der Fiberoptik (Geisinger, Mealey et al. 2007), um solch feine Unterschiede in der Wurzeloberflächenstruktur klar erkennen zu können. Zusätzlich könnte der Lichtbrechungseffekt der beiden Fraktur Grenzflächen durch die Hydratisierung des Zahnes während des obligaten Spülens zu gering sein, wodurch kein eindeutiger Kontrast erzeugt wird, um die Frakturlinie zu identifizieren (Abbildungen 3-3 - 3-6). Auch denkbar wäre der Aspekt, dass der Fokus der Studienteilnehmenden während der Befundung des Modells auf der Identifizierung von harten Auflagerungen lag, da dies und die Entfernung derselben das primäre Ziel der Untersuchung war.

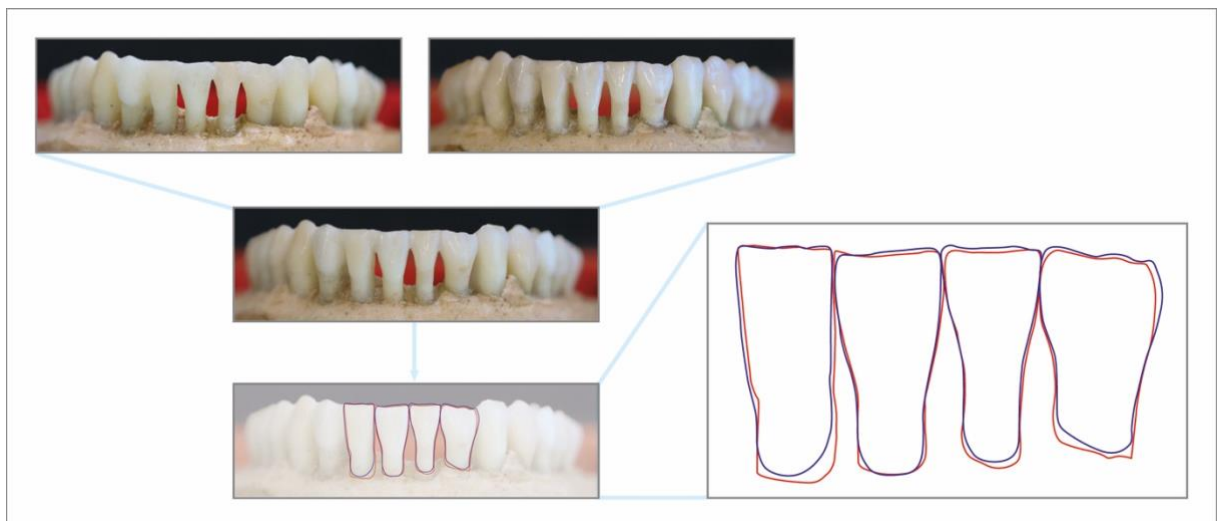


Abbildung 5-2: Beispielhafter Vergleich des Wurzelumfangs der unteren vier Frontzähne vor und nach der Behandlung durch 11 Studienteilnehmende. Die Wurzelkonturen wurden mithilfe eines Illustrationsprogramms (Adobe Illustrator CC) in Form eines Umrisses vor und nach Ablauf der Studie skizziert und überlagert. Durch die randomisierte Verteilung der einzelnen Quadranten wurden alle Zähne sowohl mit, als auch ohne PE behandelt.:

Oben links: Unterkiefer-Echtzahnmodell vor Ablauf der Studie

Oben rechts: Unterkiefer-Echtzahnmodell nach der elften Behandlung

Mitte links: Überlagerung des Vorher- und Nachher-Bildes

Unten links: Nachgezogene Zahnkonturen: Vorher (blaue Linie) und nachher (rote Linie)

Rechts: Vergrößerung der überlagernden Konturlinien

In dieser beispielhaften zweidimensionalen Darstellung ist kein eindeutiger Verlust von Zahnhartsubstanz im Wurzelbereich erkennbar.

Aufgrund des Charakters der vorliegenden *in-vitro*-Studie, dürfen die Ergebnisse nicht einfach auf den klinischen Rahmen übertragen werden (Kocher, Rühling et al. 1997). Die Verwendung von Konkrement-Lack zur Simulation subgingivaler harter Auflagerungen auf der Wurzeloberfläche natürlicher Zähne erlaubt es nicht, unsere Ergebnisse auf klinische Situationen zu übertragen. Die Durchführung von *in-vitro*-Vergleichsanalysen ermöglicht es jedoch, definierte und klinisch nicht messbare Parameter unter reproduzierbaren Bedingungen zu untersuchen und damit die Empfindlichkeit der Vergleiche zu erhöhen. Eine weitere Einschränkung ist, dass diese Studie angesichts der Stichprobengröße und ihrer unausgewogenen Verteilung als Pilotstudie im Hinblick auf ihre statistische Aussagekraft zur Bewertung von Unterschieden zwischen Anwendergruppen zu betrachten ist. Zusätzlich muss hervorgehoben werden, dass sich die vorliegende Studie auf die Entfernung subgingivaler Konkremente und nicht von Biofilm konzentrierte. Zukünftige Studien sollten eine Kombination aus lokaler Behandlung mit PE unter Verwendung von Schall- / Ultraschallscalern für die harten Auflagerungen und einer abschließenden subgingivalen Politur mittels eines Pulverwasserstrahlgerätes mit nicht abrasivem Pulver zur Entfernung des Biofilms untersuchen (Laleman, Cortellini et al. 2017). Außerdem sollte der Vergleich zum Abtrag von Wurzelzement mit und ohne PE Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Durch eine Kombination dieser beiden Behandlungsmethoden in der parodontalen nicht-chirurgischen Therapie kann die höchste Wirksamkeit in Kombination mit der geringsten vermuteten Anzahl von Nebenwirkungen erreicht werden.

Wie bereits unter dem Punkt Behandlungszeit diskutiert, wurde in der vorliegenden Studie nicht spezifisch erfasst, ob die Behandlungen mithilfe des PE in simultaner Verwendung eines Instrumentes zur Wurzeloberflächenbearbeitung oder getrennt in abwechselnder Arbeitsweise erfolgten. Weitere Studien sollten spezifisch untersuchen, ob es bei simultaner Verwendung von PE und Instrument zur Wurzeloberflächenbearbeitung, wie es das System ja ermöglicht, zu einer Reduktion der Behandlungszeit führt.

6 Zusammenfassung

Minimal-invasive, fiberoptisch-gestützte Eingriffe sind in vielen chirurgischen Disziplinen bereits als Goldstandard etabliert. Sie helfen nicht nur intra- und postoperative Risiken zu minimieren, sondern führen auch zu einer Kostenreduktion, da oftmals ein stationärer Aufenthalt vermeidbar wird und damit die Nachsorge der Patienten auf ein geringes Maß reduziert werden kann. Auch in der Zahnmedizin rücken diese Vorteile immer mehr in den Fokus. Das „Endoskop für die Zahnfleischtasche“ soll die Ursache der Erkrankung unter Verzicht chirurgischer Intervention erkennbar machen und die Therapie zielgerichtet und effektiv gestalten. Der direkte Blick auf die Wurzeloberflächen war bisher nur mittels eines parodontal-chirurgischen Eingriffes möglich; nun kann dies minimalinvasiv und damit weichgewebe- bzw. hartschubstanzschonend erfolgen. Jedoch erfordert die Behandlung mit einem parodontalen Endoskop (PE) eine zeitaufwendige Trainingsphase. Während in anderen Fachbereichen bereits spezielle Simulationsmodelle existieren, sind diese für das PE nicht verfügbar. Analog zu der Handhabung eines Laparoscopes ist der Umgang mit einem PE mindestens gleichermaßen komplex, da (a) die beengten Verhältnisse im Mundraum ein Hantieren deutlich limitieren und (b) die Behandlung des Patienten in Lokalanästhesie erfolgt, durch die der Behandelnde (un)erwartete Bewegungen des Patientenkopfes mit beachten muss.

In der vorliegenden *in-vitro*-Simulationsstudie wurde die Effektivität in der Diagnostik und Entfernung harter subgingivaler Auflagerungen während der nicht-chirurgischen Parodontitis-therapie mit und ohne eines PE untersucht.

Hierfür wurden spezielle Echtzahnmodelle entwickelt, die mit parodontalen Knochendefekten und artifiziellen harten Auflagerungen eine realitätsgetreue intraorale Situation simulierten. Elf Studienteilnehmende aus dem Funktionsbereich Parodontologie befundeten die Echtzahnmodelle mit und ohne die Hilfe eines PE und instrumentierten diese anschließend mit Handinstrumenten, sowie maschinellen Scalern. Die Anzahl der richtig (a) diagnostizierten und (b) entfernten harten Auflagerungen sowie die Behandlungsdauer wurden dokumentiert.

Neben einer signifikant verbesserten Diagnostik der harten Auflagerungen ($p < 0,001$), ergab die Verwendung eines PE auch signifikant bessere Reinigungsergebnisse bei der Entfernung dieser simulierten Auflagerungen ($p < 0,01$). Allerdings wurden hierfür etwa 22 Minuten mehr, und damit ein signifikant größerer Zeitaufwand ($p < 0,001$) zur Behandlung gegenüber der Kontrollgruppe (ohne PE) benötigt. Auf Zahnebene zeigte sich nur für die Frontzähne beider Kiefer ein Vorteil bei zusätzlicher Verwendung des PE ($p < 0,001$). Außerdem verblieben nach Verwendung des PE im Oberkiefer signifikant weniger harte Auflagerungen gegenüber dem Unterkiefer ($p < 0,001$).

Weitere signifikante Einflussfaktoren auf den Reinigungserfolg wie die Behandlungserfahrung oder die Taschentiefen konnten, unabhängig davon ob ein PE verwendet wurde, nicht festgestellt werden ($p = 0,212$).

Diese Ergebnisse belegen, dass die signifikant verbesserte Entfernung subgingivaler, simulierter harter Auflagerungen mit einem PE mit einem höheren Zeitaufwand einhergeht. Somit kann die Verwendung eines PE die Wirksamkeit der traditionellen nicht-chirurgischen Parodontitistherapie bei der Instrumentierung der Wurzeloberflächen in bestimmten Bereichen / Zahntypen (Oberkiefer / Frontzähne) verbessern. Jedoch sollten sich alle Erstanwender/-innen vor der Behandlung mittels eines PE zwingend mit der spezifischen Verfahrensweise vertraut machen und einen höheren Zeitaufwand einplanen, um akzeptable Ergebnisse zu erzielen.

Zukünftige Studien sollten insbesondere die Auswirkungen eines speziell auf die parodontale Endoskopie zugeschnittenen systematischen Trainings untersuchen und die Verbesserung klinischer Behandlungsergebnisse berücksichtigen. Sowohl die Effizienz (z. B. Prozent der verbleibenden harten Auflagerungen) als auch die Nebenwirkungen (z. B. Zerstörung der Wurzeloberfläche, postoperative Schmerzen) sollten hierbei im Fokus stehen. Zudem sollte es noch Verbesserungen am Gerät selbst geben, wie beispielsweise eine Überarbeitung der Angulation der Instrumente zur Führung der Lichtleiter in der Zahnfleischtasche, sowie die Auflösung der Fiberoptik und die Abbildungsschärfe, was aber bereits im Rahmen der Untersuchung initiiert wurde.

Grundsätzlich kann, aufgrund der vorliegenden Studienergebnisse, die parodontale Endoskopie als eine hilfreiche Unterstützung für die Visualisierung von residualen infizierten Bereichen oder tiefen Taschen während der Reevaluationsphase der Parodontitistherapie angesehen werden.

7 Befundbogen

Befundbogen: Perioscopy-Studie

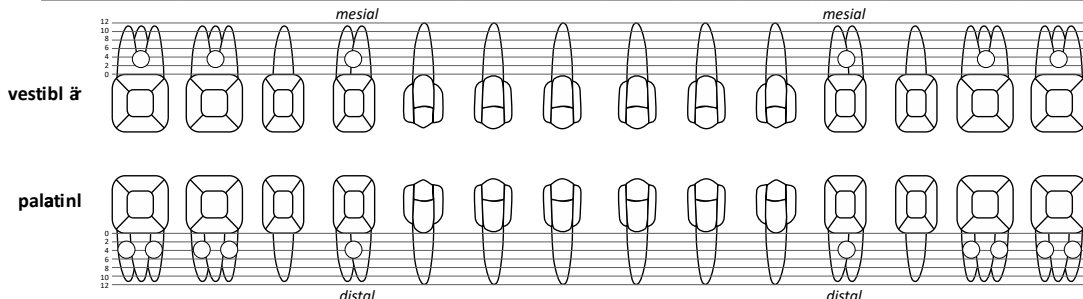
Behandlernr.: 11 Datum: 03.09.18
 Erfahrener Behandler
 Unerfahrener Behandler
 Zeitpunkt Befund Beginn: _____ Uhr
 Zeitpunkt Befund Ende: _____ Uhr

Perioscopy genutzt in Quadrant: I. II. III. IV.
 Random.: 1 2
 (1 = mit P. li. oben, re. unten; 2 = mit P. re. unten, li. oben)
 Ohne P. Beginn: _____ Uhr
 Mit P. Ende: _____ Uhr Ohne P. Ende: _____ Uhr

Bitte befunden Sie in der für Sie nötigen Zeit die beiden Ihnen vorliegenden Echtzahnmodelle. Bitte geben Sie Ihre Messungen für Sondierungstiefen (ST: 6x pro Zahn), Gingivahyperplasie (Hyperpl.) und Furkationsbe- teiligungen (Grad I bis III) für den Eintrag im Befundbogen an. Subgingivale Konkremente werden mit unge- fährer Lage in das Schema eingezeichnet und als „x“ unter dem Punkt Konkr. markiert. Supragingivale Befunde fließen nicht mit in die Befundung ein.

Oberkiefer

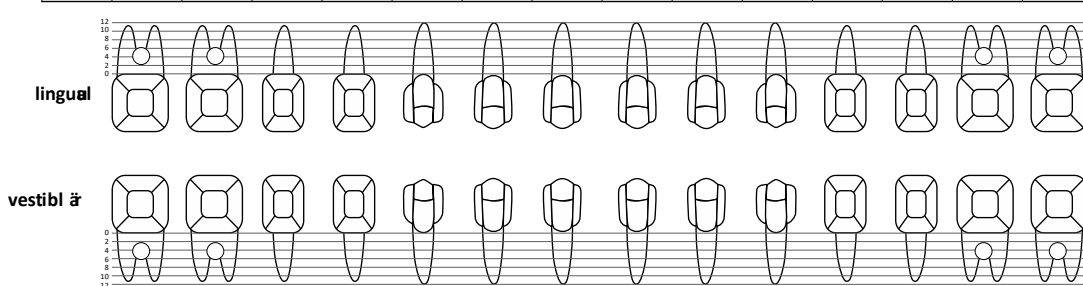
	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27
Sonätigs														
Konkrn														
Furkatio			/		/	/	/	/	/	/		/		
Hyperpl.														
ST 3x														



ST 3x														
Hyperph														
Furkatio			/		/	/	/	/	/	/		/		
Konkr.														
Sonätig														
	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27

Unterkiefer

	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37
Sonätig														
Konkrn														
Furkatio			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
Hyperpl.														
ST 3x														



ST 3x														
Hyperph														
Furkatio			/	/	/	/	/	/	/	/	/	/		
Konkr.														
Sonätig														
	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37

8 Literaturverzeichnis

(2011). "American Academy of Periodontology statement on the efficacy of lasers in the non-surgical treatment of inflammatory periodontal disease." J Periodontol **82**(4): 513-514.

Adriaens, P. A. and L. M. Adriaens (2004). "Effects of nonsurgical periodontal therapy on hard and soft tissues." Periodontol 2000 **36**: 121-145.

Archana, V. (2014). "Calculus detection technologies: where do we stand now?" J Med Life **7 Spec No. 2**: 18-23.

Arnold, M. (2020). Vergrößerungshilfen in der Endodontie. ZM 1-3.

Arweiler, N. B., T. M. Auschill and A. Sculean (2018). "Patient self-care of periodontal pocket infections." Periodontol 2000 **76**(1): 164-179.

Auplish, G., I. G. Needleman, D. R. Moles and H. N. Newman (2000). "Diamond-coated sonic tips are more efficient for open debridement of molar furcations. A comparative manikin study." J Clin Periodontol **27**(5): 302-307.

Babay, N. (2000). "Comparative SEM study on the effect of root conditioning with EDTA or tetracycline Hcl on periodontally involved root surfaces." Indian J Dent Res **11**(2): 53-57.

Barbato, L., F. Selvaggi, Z. Kalemaj, J. Buti, E. Bendinelli, M. Marca and F. Cairo (2020). "Clinical efficacy of minimally invasive surgical (MIS) and non-surgical (MINST) treatments of periodontal intra-bony defect. A systematic review and network meta-analysis of RCT's." Clin Oral Investig **24**(3): 1125-1135.

Cadore, U. B., M. B. L. Reis, S. H. L. Martins, M. M. Invernici, A. B. Novaes, Jr., M. Taba, Jr., D. B. Palioto, M. R. Messori and S. L. S. Souza (2019). "Multiple sessions of antimicrobial photodynamic therapy associated with surgical periodontal treatment in patients with chronic periodontitis." J Periodontol **90**(4): 339-349.

Chambrone, L., M. Vargas, S. Arboleda, M. Serna, M. Guerrero, J. de Sousa and G. I. Lafaurie (2016). "Efficacy of Local and Systemic Antimicrobials in the Non-Surgical Treatment of Smokers With Chronic Periodontitis: A Systematic Review." J Periodontol **87**(11): 1320-1332.

Cher, D. J., M. A. Frasco, R. J. Arnold and D. W. Polly (2016). "Cost-effectiveness of minimally invasive sacroiliac joint fusion." Clinicoecon Outcomes Res **8**: 1-14.

Corbella, S., S. Taschieri, N. Cavalli and L. Francetti (2018). "Comparative evaluation of the use of magnification loupes in supragingival scaling procedures." J Investig Clin Dent **9**(2): e12315.

Dadwal, A., R. Kaur, V. Jindal, A. Jain, A. Mahajan and A. Goel (2018). "Comparative evaluation of manual scaling and root planing with or without magnification loupes using scanning electron microscope: A pilot study." J Indian Soc Periodontol **22**(4): 317-321.

de Wit, A. (1993). "Hysteroscopy: an evolving case of minimally invasive therapy in gynaecology." Health Policy **23**(1-2): 113-124.

- Diaz-Faes, L., A. Fernandez-Somoano, A. Magan-Fernandez and F. Mesa (2020). "Efficacy of regenerative therapy in aggressive periodontitis: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled clinical trials." Clin Oral Investig **24**(4): 1369-1378.
- Domisch, H., C. Walter, B. Dannewitz and P. Eickholz (2020). "Resective surgery for the treatment of furcation involvement: A systematic review." J Clin Periodontol **47** Suppl **22**: 375-391.
- Dörfer C. E., e. a. (2000). "[Number and morphology of root-concavities.]" Dtsch Zahnärztl Z: p. 257-263.
- Eichenberger, M., P. Perrin, K. W. Neuhaus, U. Bringolf and A. Lussi (2011). "Influence of loupes and age on the near visual acuity of practicing dentists." J Biomed Opt **16**(3): 035003.
- Frantz, B. and A. Polson (1988). "Tissue interactions with dentin specimens after demineralization using tetracycline." J Periodontol **59**(11): 714-721.
- Gankerseer, E. J. and A. D. Walmsley (1987). "Preliminary investigation into the performance of a sonic scaler." J Periodontol **58**(11): 780-784.
- Garcia Canas, P., I. Khouly, J. Sanz and P. M. Loomer (2015). "Effectiveness of systemic antimicrobial therapy in combination with scaling and root planing in the treatment of periodontitis: a systematic review." J Am Dent Assoc **146**(3): 150-163.
- Gartenmann, S. J., D. Hofer, D. Wiedemeier, P. Sahrman, T. Attin and P. R. Schmidlin (2019). "Comparative effectiveness of hand scaling by undergraduate dental students following a two-week pre-clinical training course." Eur J Dent Educ **23**(1): 1-7.
- Geisinger, M. L. (2018). "Letters." J Am Dent Assoc **149**(3): 170.
- Geisinger, M. L., B. L. Mealey, J. Schoolfield and J. T. Mellonig (2007). "The effectiveness of subgingival scaling and root planing: an evaluation of therapy with and without the use of the periodontal endoscope." J Periodontol **78**(1): 22-28.
- Ghezzi, C., L. Ferrantino, L. Bernardini, M. Lencioni and S. Masiero (2016). "Minimally Invasive Surgical Technique in Periodontal Regeneration: A Randomized Controlled Clinical Trial Pilot Study." Int J Periodontics Restorative Dent **36**(4): 475-482.
- Graetz, C., P. Fecke, M. Seidel, A. S. Engel, S. Schorr, J. Sentker, C. E. Dörfer and S. Sälzer (2020). "Evaluation of a systematic digitized training program on the effectivity of subgingival instrumentation with curettes and sonic scalers in vitro." Clin Oral Investig.
- Graetz, C., A. Plaumann, S. Rauschenbach, J. Bielfeldt, C. E. Dörfer and F. Schwendicke (2016). "Removal of simulated biofilm: a preclinical ergonomic comparison of instruments and operators." Clin Oral Investig **20**(6): 1193-1201.
- Graetz, C., A. Plaumann, J. F. Wiebe, C. Springer, S. Sälzer and C. E. Dörfer (2014). "Periodontal probing versus radiographs for the diagnosis of furcation involvement." J Periodontol **85**(10): 1371-1379.
- Graetz, C., A. Plaumann, R. Wittich, C. Springer, M. Kahl, C. E. Dörfer and K. F. El-Sayed (2017). "Removal of simulated biofilm: an evaluation of the effect on root surfaces roughness after scaling." Clin Oral Investig **21**(4): 1021-1028.

- Graetz, C., M. Schwalbach, M. Seidel, A. Geiken and F. Schwendicke (2020). "Oral health-related quality of life impacts are low 27 years after periodontal therapy." J Clin Periodontol.
- Graetz, C., F. Schwendicke, A. Plaumann, S. Rauschenbach, C. Springer, M. Kahl, S. Sälzer and C. E. Dörfer (2015). "Subgingival instrumentation to remove simulated plaque in vitro: influence of operators' experience and type of instrument." Clin Oral Investig **19**(5): 987-995.
- Harrel, S. K., C. M. Abraham, F. Rivera-Hidalgo, J. D. Shulman and M. E. Nunn (2014). "Videoscope-assisted minimally invasive periodontal surgery (V-MIS)." J Clin Periodontol **41**(9): 900-907.
- Harrel, S. K., C. M. Abraham, F. Rivera-Hidalgo, J. D. Shulman and M. E. Nunn (2016). "Videoscope-Assisted Minimally Invasive Periodontal Surgery: One-Year Outcome and Patient Morbidity." Int J Periodontics Restorative Dent **36**(3): 363-371.
- Hayes, M. J., J. A. Taylor and D. R. Smith (2016). "Introducing loupes to clinical practice: dental hygienists experiences and opinions." Int J Dent Hyg **14**(3): 226-230.
- Herrero, A., A. I. Garcia-Kass, C. Gomez, M. Sanz and J. A. Garcia-Nunez (2010). "Effect of two kinds of Er:YAG laser systems on root surface in comparison to ultrasonic scaling: an in vitro study." Photomed Laser Surg **28**(4): 497-504.
- Heym, R., S. Krause, T. Hennesen, V. Pitchika, C. Ern and R. Hickel (2016). "A New Model for Training in Periodontal Examinations Using Manikins." J Dent Educ **80**(12): 1422-1429.
- Kamath, D. G. and S. Umesh Nayak (2014). "Detection, removal and prevention of calculus: Literature Review." Saudi Dent J **26**(1): 7-13.
- Kassebaum, N. J., E. Bernabe, M. Dahiya, B. Bhandari, C. J. Murray and W. Marcenes (2014). "Global Burden of Severe Tooth Loss: A Systematic Review and Meta-analysis." J Dent Res **93**(7 Suppl): 20S-28S.
- Keestra, J. A., I. Grosjean, W. Coucke, M. Quirynen and W. Teughels (2015). "Non-surgical periodontal therapy with systemic antibiotics in patients with untreated aggressive periodontitis: a systematic review and meta-analysis." J Periodontol Res **50**(6): 689-706.
- Khosravi, M., Z. S. Bahrami, M. S. Atabaki, M. A. Shokrgozar and F. Shokri (2004). "Comparative effectiveness of hand and ultrasonic instrumentations in root surface planing in vitro." J Clin Periodontol **31**(3): 160-165.
- Kim, S. and S. Baek (2004). "The microscope and endodontics." Dent Clin North Am **48**(1): 11-18.
- Kocher, T. (1990). "[Root surface instrumentation]." Parodontol **1**(2): 141-152.
- Kocher, T., A. Rühling, H. Momsen and H. C. Plagmann (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.
- König, J., A. Rühling, H. Schlemme, T. Kocher, C. Schwahn and H. C. Plagmann (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.

- Krause, F., A. Braun, O. Brede, J. Eberhard, M. Frentzen and S. Jepsen (2007). "Evaluation of selective calculus removal by a fluorescence feedback-controlled Er:YAG laser in vitro." J Clin Periodontol **34**(1): 66-71.
- Kuang, Y., B. Hu, J. Chen, G. Feng and J. Song (2017). "Effects of periodontal endoscopy on the treatment of periodontitis: A systematic review and meta-analysis." J Am Dent Assoc **148**(10): 750-759.
- Kwan, J. Y. (2005). "Enhanced periodontal debridement with the use of micro ultrasonic, periodontal endoscopy." J Calif Dent Assoc **33**(3): 241-248.
- Laleman, I., S. Cortellini, S. De Winter, E. Rodriguez Herrero, C. Dekeyser, M. Quirynen and W. Teughels (2017). "Subgingival debridement: end point, methods and how often?" Periodontol 2000 **75**(1): 189-204.
- Listl, S. and S. Birch (2013). "Reconsidering value for money in periodontal treatment." J Clin Periodontol **40**(4): 345-348.
- Loos, B. G. and I. Needleman (2020). "Endpoints of active periodontal therapy." J Clin Periodontol **47 Suppl 22**: 61-71.
- Lowenberg, B., J. Thibault, C. Lawrence and J. Sodek (1986). "The influence of chemically-induced modifications of root surfaces on cell migration, attachment, and orientation." J Dent Res **65**(7): 1010-1015.
- Ludwig, E. A., G. B. McCombs, S. L. Tolle and D. M. Russell (2017). "The Effect of Magnification Loupes on Dental Hygienists' Posture while Exploring." J Dent Hyg **91**(4): 46-52.
- Lüllmann-Rauch, R. (2009). Taschenlehrbuch Histologie, Thieme Verlag.
- Maillet, J. P., A. M. Millar, J. M. Burke, M. A. Maillet, W. A. Maillet and N. R. Neish (2008). "Effect of magnification loupes on dental hygiene student posture." J Dent Educ **72**(1): 33-44.
- Megarbane, J. M., A. R. Kassir, N. Mokbel and N. Naaman (2018). "Root Resection and Hemisection Revisited. Part II: A Retrospective Analysis of 195 Treated Patients with Up to 40 Years of Follow-up." Int J Periodontics Restorative Dent **38**(6): 783-789.
- Meissner, G., B. Oehme, J. Strackeljan and T. Kocher (2005). "Influence of handling-relevant factors on the behaviour of a novel calculus-detection device." J Clin Periodontol **32**(3): 323-328.
- Meissner, G., B. Oehme, J. Strackeljan and T. Kocher (2008). "Clinical subgingival calculus detection with a smart ultrasonic device: a pilot study." J Clin Periodontol **35**(2): 126-132.
- Meyer, K. and T. Lie (1977). "Root surface roughness in response to periodontal instrumentation studied by combined use of microroughness measurements and scanning electron microscopy." J Clin Periodontol **4**(2): 77-91.
- Michaud, R. M., J. Schoolfield, J. T. Mellonig and B. L. Mealey (2007). "The efficacy of subgingival calculus removal with endoscopy-aided scaling and root planing: a study on multirrooted teeth." J Periodontol **78**(12): 2238-2245.

- Nibali, L., C. Sun, A. Akcali, Y. C. Yeh, Y. K. Tu and N. Donos (2018). "The effect of horizontal and vertical furcation involvement on molar survival: A retrospective study." J Clin Periodontol **45**(3): 373-381.
- Osborn, J. B., P. A. Lenton, S. A. Lunos and C. M. Blue (2014). "Endoscopic vs. tactile evaluation of subgingival calculus." J Dent Hyg **88**(4): 229-236.
- Page, R. C. and K. S. Kornman (1997). "The pathogenesis of human periodontitis: an introduction." Periodontol 2000 **14**: 9-11.
- Petersilka, G. J., B. Ehmke and T. F. Flemmig (2002). "Antimicrobial effects of mechanical debridement." Periodontol 2000 **28**: 56-71.
- Pippi, R. (2017). "Post-Surgical Clinical Monitoring of Soft Tissue Wound Healing in Periodontal and Implant Surgery." Int J Med Sci **14**(8): 721-728.
- Pippin, D. J. and P. Feil (1992). "Interrater agreement on subgingival calculus detection following scaling." J Dent Educ **56**(5): 322-326.
- Rabbani, G. M., M. M. Ash, Jr. and R. G. Caffesse (1981). "The effectiveness of subgingival scaling and root planing in calculus removal." J Periodontol **52**(3): 119-123.
- Ribeiro, F. V., R. C. Casarin, M. A. Palma, F. H. Junior, E. A. Sallum and M. Z. Casati (2011). "Clinical and patient-centered outcomes after minimally invasive non-surgical or surgical approaches for the treatment of intrabony defects: a randomized clinical trial." J Periodontol **82**(9): 1256-1266.
- Rühling, A., H. Schlemme, J. König, T. Kocher, C. Schwahn and H. C. Plagmann (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.
- Salvi, G. E., A. Stähli, J. C. Schmidt, C. A. Ramseier, A. Sculean and C. Walter (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.
- Sanz, M., D. Herrera, M. Kerschull, I. Chapple, S. Jepsen, T. Beglundh, A. Sculean, M. S. Tonetti, E. F. P. W. Participants and C. Methodological (2020). "Treatment of stage I-III periodontitis-The EFP S3 level clinical practice guideline." J Clin Periodontol **47 Suppl 22**: 4-60.
- Sanz, M., W. Teughels and A. o. E. W. o. P. Group (2008). "Innovations in non-surgical periodontal therapy: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology." J Clin Periodontol **35**(8 Suppl): 3-7.
- Schwendicke, F., A. S. Biffar and C. Graetz (2017). "Long-term treatment costs for aggressive periodontitis in a German population." J Clin Periodontol **44**(12): 1245-1252.
- Schwendicke, F., A. S. Engel and C. Graetz (2018). "Long-term treatment costs of chronic periodontitis patients in Germany." J Clin Periodontol **45**(9): 1069-1077.
- Sherman, P. R., L. H. Hutchens, Jr. and L. G. Jewson (1990). "The effectiveness of subgingival scaling and root planing. II. Clinical responses related to residual calculus." J Periodontol **61**(1): 9-15.

- Shi, J. H., J. J. Xia, L. Lei, S. Jiang, H. C. Gong, Y. Zhang, Y. Cheng and H. X. Li (2020). "[Efficacy of periodontal endoscope-assisted non-surgical treatment for severe and generalized periodontitis]." Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi **38**(4): 393-397.
- Smiley, C. J., S. L. Tracy, E. Abt, B. S. Michalowicz, M. T. John, J. Gunsolley, C. M. Cobb, J. Rossmann, S. K. Harrel, J. L. Forrest, P. P. Hujoel, K. W. Noraian, H. Greenwell, J. Frantsve-Hawley, C. Estrich and N. Hanson (2015). "Systematic review and meta-analysis on the nonsurgical treatment of chronic periodontitis by means of scaling and root planing with or without adjuncts." J Am Dent Assoc **146**(7): 508-524 e505.
- Sonnenschein, S. K., C. Betzler, R. Kohnen, J. Krisam and T. S. Kim (2018). "Oral health-related quality of life in patients under supportive periodontal therapy." Acta Odontol Scand **76**(8): 572-579.
- Sunell, S. and L. Rucker (2004). "Surgical magnification in dental hygiene practice." Int J Dent Hyg **2**(1): 26-35.
- Suvan, J., Y. Leira, F. M. Moreno Sancho, F. Graziani, J. Derks and C. Tomasi (2020). "Subgingival instrumentation for treatment of periodontitis. A systematic review." J Clin Periodontol **47 Suppl 22**: 155-175.
- Tonetti, M. S., H. Greenwell and K. S. Kornman (2018). "Staging and grading of periodontitis: Framework and proposal of a new classification and case definition." J Periodontol **89 Suppl 1**: S159-S172.
- Tunkel, J., A. Heinecke and T. F. Flemmig (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.
- Vasthavi, C., H. M. Babu, V. M. Rangaraju, S. Dasappa, L. Jagadish and R. Shivamurthy (2020). "Evaluation of ozone as an adjunct to scaling and root planing in the treatment of chronic periodontitis: A randomized clinico-microbial study." J Indian Soc Periodontol **24**(1): 42-46.
- Walmsley, A. D., S. C. Lea, G. Landini and A. J. Moses (2008). "Advances in power driven pocket/root instrumentation." J Clin Periodontol **35**(8 Suppl): 22-28.
- Westfelt, E. (1996). "Rationale of mechanical plaque control." J Clin Periodontol **23**(3 Pt 2): 263-267.
- Yoshioka, T., C. Kobayashi and H. Suda (2002). "Detection rate of root canal orifices with a microscope." J Endod **28**(6): 452-453.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Aufbau des Parodontiums Links: Übersicht des Zahnes und des Zahnhalteapparates; rechts: vergrößerte Abbildung der beteiligten Komponenten: a) Gingiva mit kollagenen Faserbündeln, die in diverse Richtungen ausstrahlen, b) Wurzelzement, an den kollagene Fasern inserieren, c) Desmodontaler Spalt, der mit desmodontalen Fasern (Sharpey-Fasern) ausgefüllt ist und den Zahn federnd lagert, d) Alveolarknochen, der über das Fasernetzwerk mit der h) befestigten Gingiva und dem Wurzelzement verbunden ist, e) Gingivaler Sulkus, der zahnwärts am Boden mit dem f) Saumepithel ausgekleidet ist, das einen dichten Verbund zum Zahnschmelz bildet. Supraalveolär befindet sich die g) freie marginale Gingiva.	3
Abbildung 1-2: Von links nach rechts: Entstehung einer Parodontitis beginnend mit der Anlagerung erster Mikroorganismen, über die Ausbildung eines Biofilms mit einhergehender Entzündungsreaktion, bis hin zu schwerer parodontaler Zerstörung.....	4
Abbildung 3-1: Oben links: Fiberoptischer Leiter in einer sterilen Ummantelung mit integrierter Wasserleitung. Oben rechts: Vier verschiedene PE-Sonden, die je nach Bearbeitungsgebiet (Molaren- (rechts) oder Frontzahnbereich (links)) stärker oder schwächer anguliert sind und sowohl für die rechte, als auch für die linke Seite ausgerichtet sind. Unten links: Fiberoptischer Leiter in eine Molaren-PE-Sonde integriert. Unten rechts: Typische Arbeitsweise mit einer PE-Sonde, die mit der Öffnung zum Zahn zeigt und in die parodontale Tasche eingebracht wird.	11
Abbildung 3-2: Versuchsaufbau: Links: Komplettes Perioscopy©-System. Oben rechts: Für alle Studienteilnehmenden gleichbleibende Instrumentenauswahl: Links: PE-Sonden für die Aufnahme des Lichtleiters, Mitte: Gracey Minishape Kùretten, Rechts: Kuhhornsonde, Parodontalsonde und zahnärztlicher Spiegel. Unten Mitte: Slimline-Spitze (1AP, W & H, Bürmoos, Österreich) mit rundem Querschnitt. Unten rechts: Phantomkopf mit integrierten Echtzahnmodellen, die im Vorfeld mit artifiziellen Konkrementen und einer Zahnfleischmaske präpariert wurden.	13
Abbildung 3-3: Artifiziell erzeugte Wurzellängsfraktur an Zahn 25 am selbst entwickelten Oberkieferrechtzahnmodell ohne Zahnfleischmaske Links im trockenen Zustand Rechts im befeuchteten Zustand	15
Abbildung 3-4: Artifiziell erzeugte Wurzelquerfraktur an Zahn 25 am selbst entwickelten Oberkieferrechtzahnmodell ohne Zahnfleischmaske Links im trockenen Zustand Rechts im befeuchteten Zustand	15
Abbildung 3-5: Längsfraktur Oben mitte: artifiziell erzeugte Längsfraktur am Echtzahnmodell; Oben rechts: Vergrößerung des Defekts; Mitte: Defekt durch Gingivamaske abgedeckt; a) Defekt abgebildet mit PE und Wasserzufuhr; b) Defekt abgebildet mit PE ohne Wasserzufuhr (mittlere Übersichtsaufnahme des Zahnes 25 mit Zahnfleischmaske).....	16

Abbildung 3-6: Querfraktur Oben mitte: artifiziell erzeugte Querfraktur am Echtzahnmodell; Oben rechts: Vergrößerung des Defekts; Mitte: Defekt durch Gingivamaske abgedeckt; a) Defekt abgebildet mit PE und Wasserzufuhr; b) Defekt abgebildet mit PE ohne Wasserzufuhr (mittlere Übersichtsaufnahme des Zahnes 31 mit Zahnfleischmaske).....	17
Abbildung 3-7: Oberkiefer Echtzahnmodell links mit aufgebrachtten artifiziellen Konkrementen und rechts mit darüber positionierter Zahnfleischmaske.....	18
Abbildung 3-8: Unterkiefer Echtzahnmodell links mit aufgebrachtten artifiziellen Konkrementen und rechts mit darüber positionierter Zahnfleischmaske.....	19
Abbildung 3-9: Artifizielle Konkremeente auf den Wurzeloberflächen der Ober- und Unterkiefermodelle	20
Abbildung 4-1: Vergleich von Diagnostik und Wirksamkeit der Entfernung von simulierten harten Auflagerungen (PE: Parodontale Endoskopie).....	24
Abbildung 4-2: Effektivität der Reinigungsleistung hinsichtlich der Entfernung von simulierten harten Auflagerungen je Studienteilnehmenden (PE: Parodontale Endoskopie)	24
Abbildung 4-3: Benötigte Behandlungszeit für die Instrumentierung aller zu instrumentierenden Zähne in der Test- versus Kontrollgruppe (PE: Parodontale Endoskopie)	25
Abbildung 5-1: Monitorabbildung des "field of interest". Links: Abbildung einer Wurzeloberfläche mit harten Auflagerungen bei gleichzeitiger Instrumentierung mittels eines Schallscalers Mitte: Das gleiche Bild mit Umrissen der einzelnen Bildbestandteile: Grün: Spitze der PE-Sonde; blau: Spitze des Schallscalers; gelb: Teil der Wurzeloberfläche mit sichtbaren Luftblasen; rot: artifizielle Auflagerung Rechts: Das gleiche Bild und eine flächige Darstellung der einzelnen Strukturen Die Abgrenzung der einzelnen Strukturen voneinander kann unter Umständen eine Herausforderung darstellen und das Diagnostizieren möglicher Defekte erschweren.....	27
Abbildung 5-2: Beispielhafter Vergleich des Wurzelumfangs der unteren vier Frontzähne vor und nach der Behandlung durch 11 Studienteilnehmende. Die Wurzelkonturen wurden mithilfe eines Illustrationsprogramms (Adobe Illustrator CC) in Form eines Umrisses vor und nach Ablauf der Studie skizziert und überlagert. Durch die randomisierte Verteilung der einzelnen Quadranten wurden alle Zähne sowohl mit, als auch ohne PE behandelt.: Oben links: Unterkiefer-Echtzahnmodell vor Ablauf der Studie Oben rechts: Unterkiefer-Echtzahnmodell nach der elften Behandlung Mitte links: Überlagerung des Vorher- und Nachher-Bildes Unten links: Nachgezogene Zahnkonturen: Vorher (blaue Linie) und nachher (rote Linie) Rechts: Vergrößerung der überlagernden Konturlinien In dieser beispielhaften zweidimensionalen Darstellung ist kein eindeutiger Verlust von Zahnhartsubstanz im Wurzelbereich erkennbar.....	37

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Ergebnisse nach der richtigen Diagnose und Entfernung von harten Auflagerungen sowie der Behandlungszeit für Test (mit PE) und Kontrollgruppe (ohne PE), getrennt für verschiedene Zahntypen und Kiefer (signifikante Unterschiede sind fett hervorgehoben). (PE: Parodontale Endoskopie) 23

11 Anhang

11.1 Votum der Ethikkommission

**MEDIZINISCHE FAKULTÄT
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL**



ETHIK-KOMMISSION

Universitäts-Klinik - Schwannenweg 20 - 24105 Kiel

PD Dr. Christian Graetz
UKSH Campus Kiel
Klinik für Zahnerhaltungskunde und
Parodontologie
Arnold-Heller-Straße 3, Haus 26
24105 Kiel

Postadresse:
Arnold-Heller-Straße 3 / Haus 9
D-24105 Kiel
Telefon: 0431 / 500-14191
Telefax: 0431 / 500-14195
ethikkomm@mail.uni-kiel.de

Datum: 12. Januar 2018

AZ: D 582/17 (bitte stets angeben)
Studienplan: **Wissenschaftliche Untersuchungen an operativ entfernten Zähnen**
Anschreiben v. 20.12.17; Informationsblatt und Einverständniserklärung für
wissenschaftliche Untersuchungen an körpereigenem Material - ZAHN
**Studienleiter und
Antragsteller:** PD Dr. Christian Graetz, UKSH Campus Kiel
Antrag vom: 20. Dezember 2017 (Eingang: 27. Dezember 2017)

Sehr geehrter Herr Dr. Graetz,

wir bestätigen den Eingang des obengenannten Antrages zur Beratung gemäß § 15 Berufsordnung (BO) der Ärztekammer Schleswig-Holstein. Nach Durchsicht der Unterlagen durch die Geschäftsstelle und durch mich als Vorsitzenden der Ethik-Kommission bestehen gegen die Durchführung der Studie keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken.

Die im Folgenden aufgeführten Hinweise müssen beachtet werden:

1. Es ist darauf zu achten, dass ausschließlich anonymisiertes Material verwendet wird (gemäß Informationsblatt) und dass die Patienten zusätzlich die allgemeine Einwilligungserklärung unterzeichnen.
2. Es wird darauf hingewiesen, dass künftige Änderungen der Studie der Ethik-Kommission anzuzeigen sind und gegebenenfalls eine erneute Beratung erforderlich machen.
3. Die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung dieser Studie verbleibt beim Studienleiter und Klinikdirektor.
4. Gemäß Deklaration von Helsinki **muss** der Ethik-Kommission nach Studienende ein Abschlussbericht vorgelegt werden, der eine Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Studie enthält.

Wir wünschen Ihnen für die Durchführung Ihrer Studie viel Erfolg.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen


Prof. Dr. med. H. M. Mehdorn
Vorsitzender der Ethik-Kommission


Dr. med. Christine Glinicke
Geschäftsführung der Ethik-Kommission

AZ_D 582/17_Jan18

1

11.2 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die eingereichte Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe verfasst, andere als die in ihr angegebene Literatur nicht benutzt und dass ich alle ganz oder annähernd übernommenen Textstellen sowie verwendete Grafiken, Tabellen und Auswertungsprogramme kenntlich gemacht habe. Außerdem versichere ich, dass die vorgelegte elektronische mit der schriftlichen Version der Dissertation übereinstimmt und die Abhandlung in dieser oder ähnlicher Form noch nicht anderweitig als Promotionsleistung vorgelegt und bewertet wurde.

Unterschrift

Ort, Datum

Vor- und Zuname: Susanne Schorr

Geburtsdatum: 25.07.1983

Geburtsort: Heidelberg

11.3 Publikationen im Rahmen der Dissertation

(peer reviewed)

- 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, 607-617. doi:10.1007/s00784-019-02913-0.
- Graetz, C., **Schorr, S.**, Christofzik, D., Dörfer, C. E., Engel, A. S., Kahl, M., Springer, C., Sälzer, S. (2019) Periodontal Endoscopy - evaluation of an in vitro training. International Poster Journal of Dentistry and Oral Medicine

(not peer reviewed)

- Graetz, C. & **Schorr, S.** (2019) Das Endoskop für die Zahnfleischtasche – nur zur Diagnostik? Wehrmedizin und Wehrpharmazie 2, 2-4.
- **S. Schorr**, D. Christofzik, C. E. Dörfer, A. S. Engel, M. Kahl, C. Springer, S. Sälzer, C. Graetz (2019) Parodontale Endoskopie – eine Trainingsevaluation im in vitro Test
Posterbeitrag, DG Paro-Jahrestagung 2019

11.4 Danksagung

Schreib' doch eine Doktorarbeit, haben sie gesagt... Das wird dir sicher viel Freude bereiten, haben sie gesagt...

Jetzt erwartet der Eine oder die Andere sicher haarsträubende Details aus dem Doktorandenleiden der nicht mehr ganz so jungen Autorin. So sehr mich das verblüfft, aber sie hatten recht. So wenig ich mich im Vorfeld habe wissenschaftlich arbeiten sehen, so viel Unterstützung habe ich im Kreis meiner Kollegen, Familie und Freunde erfahren. Und so wenig ich daran geglaubt habe, eine Doktorarbeit zu schreiben, könne Spaß machen, umso mehr Lügen wurde ich gestraft. Das geht sicher nicht jedem so. Ich habe so viele Gruselgeschichten über Doktorarbeiten und Einzelschicksale gehört, die mich ernsthaft haben zweifeln lassen, ob ich das überhaupt kann. Und ich bin mir fast sicher, dass ich es ohne all die Hilfe, die aufbauenden Worte und offenen Ohren sehr viel schwerer gehabt hätte. Nun habe ich das große Glück, in einer Abteilung der Zahnklinik zu arbeiten, in der nicht nur ein wunderbares kollegiales Klima herrscht, es gibt im 2. OG der Zahnklinik einen mysteriösen Ort, an dem hoffnungslose Wissenschaftsneulinge aufgefangen und aufgepeppelt werden. Es ist das Büro für „spektakulär-spontane Wunscherfüllungen“ und es ist das Büro von PD Dr. Christian Graetz, den ich hier an allererster Stelle nennen muss, denn ihm habe ich all das hier zu verdanken. Ohne die Gefahr, ihn jetzt mit den Augen rollen zu sehen (er mag es nicht, wenn man so oft ‚Danke‘ sagt), kann ich mich jetzt in aller Form bei ihm bedanken. Hätte ich lediglich deine Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten erfahren, wäre ich bestens betreut gewesen. Darüber hinaus warst du aber auch noch zu jeder Zeit ansprechbar, über die Grenzen der Doktorarbeit hinaus verständnisvoll und lösungsorientiert. Egal, welche Frage ich an dich herangetragen habe, sie wurde mit Witz und Leidenschaft für die Wissenschaft beantwortet. Ich bin nie mit leeren Händen gegangen.

Die Studie wäre nicht durchführbar gewesen, ohne die hilfsbereiten, interessierten und geduldigen Kolleginnen und Kollegen des Funktionsbereiches Parodontologie, Christian, Maren, Claudi, Sonja, Sophie, Johanna, Ilona, Sabine, Kerstin, Diana und Tanja. Vielen Dank für eure tolle Mitarbeit.

Zusätzlich möchte ich dem „Projekt Erfolgreiches Lehren und Lernen (PerLe)“ der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel für die Lehrpreis-Auslobung für innovative Lehrprojekte danken, mit deren Hilfe die parodontale Endoskopie in die curriculare Ausbildung der Zahnmedizin-Studierenden Einzug halten konnte.

Die Mitarbeiter der Zahntechnik in der prothetischen Abteilung Buschi, Raphael, Britta und Karsten standen mir jederzeit mit Rat und Tat bei der Herstellung der Echtzahnmodelle zur Seite.

Ich danke Frank Lehmann und seinen Kollegen aus der Sektion Werkstoffkunde und Technologie der Abteilung für Prothetik für ihre Hilfe. Eure fast kindesgleiche Faszination und Neugier bei der Umsetzung von artifiziellen Wurzelfrakturen an der Druckpresse waren ein Augen- und Seelenschmaus.

Außerdem möchte ich Udo Gertler herzlich für seine Expertise im Bereich Epithesen danken, der mir sehr bei der Auswahl des weichbleibenden Materials für die Zahnfleischmasken geholfen hat und der Firma R-Dental für die Bereitstellung des Materials für die Zahnfleischmasken.

Meiner Familie, der ich diese Arbeit widme: Sibylle und Matthias Schorr, meiner anderen Zwillingshälfte, Johanna Schorr und meiner leider schon verstorbenen Großmutter Eva Schorr möchte ich sagen, dass ich der glücklichste Mensch bin, euch an meiner Seite zu wissen. Ohne euch, wäre ich heute keine Zahnärztin und hätte schon gar keine Dissertation verfasst und wäre ganz nebenbei nicht mal auf der Welt. Ich kann mich noch gut an das Weihnachtsfest erinnern, an dem ich, unglücklich ob meiner (Arbeits-)Situation und ohne Masterplan zur Hand, in eurer Mitte saß und wir gemeinsam, Oma und Jobi ganz vorne mit dabei, über ein mögliches Zahnmedizinstudium sinniert haben. Ohne euch wäre das nichts geworden. Ihr alle habt an mich geglaubt. Keiner war sich für meinen Wiederaufbau nach längeren Durststrecken und Motivationstälern zu schade und mich erreichten immer die richtigen Worte, um weiter zu machen. Liebe Mama, du hast es immer geschafft, die Brisanz aus den Problemen zu nehmen und warst mein Hafen, zu dem ich jederzeit fahren durfte und Schutz bekam, sowie eine neue Tankfüllung in Form von duftenden Keksen aus der hiesigen Keksfabrik. Lieber Papa, danke für deine Liebe, dein immer wachsendes Verständnis und dein Engagement, unsere Neugier für die Welt zu wecken. Ich bin stolz um das Wissen, das Studium und die Dissertation vielleicht nicht in erster Linie für mich zu beginnen, aber beides in vollem Umfang für mich beendet zu haben. Ich kann mir keine großartigere Familie wünschen. Danke, dass ihr mir das alles ermöglicht habt!

Ein weiterer ganz besonderer Dank gilt Dr. rer. nat. Michael Sswat. Lieber Michi, tausend dank, dass ich dich auch noch zu nachtschlafender Stunde über Excelberechnungen, Plots, Literaturverzeichnisse und Formulierungen (um nur einige Dinge zu nennen) ausfragen durfte und du immer kritisch, aber geduldig mit mir warst und ich mich immer ernst genommen fühlen durfte. Du hast es geschafft, mich unabhängig deiner wissenschaftlichen Erfahrungen und Erwartungen beim Schreiben zu begleiten und dabei meine eigene persönliche Entwicklung zuzulassen, auch wenn es dich sicherlich manchmal sehr gezwickt haben muss. Es ist ein großes Glück, dich als Partner und ganz nebenbei als Naturwissenschaftler an meiner Seite zu haben. Für deine Kraft mich auch über die Doktorarbeit hinaus zu unterstützen und an mich zu glauben war und ist ein großes Geschenk, für das ich nie das Gefühl habe, passende Worte des Dankes zu finden.

Meiner Zweitfamilie in und teilweise um Kiel gilt ein besonderer Dank und zwar für das, was sie ist: einfach wunderbar. Meine lieben Freunde und Familienersatz Britta, Carsten, Hauke, Jan, Judith, Kris, Marie K., Marie W., Peer, Sabine und Tim. Ob es die Mädelsabende, die Schaumweinverköstigungen, die opulenten Kochgelage (vor allem im Maison Küter, Spisla), die Lachanfälle, bei denen man nicht mehr unterscheiden kann, ob man lacht oder heult, die Besuche aus und in Hamburg und Göttingen, die Bulliburgen am Strand oder die Wanderungen im Moor waren und sind mein Lebenselixier, mit euch ist das Leben einfach schön. Danke, dass ihr immer für mich da ward und mich nehmt, wie ich bin!

Last but not least ein großes Danke an meine (Boulder)freunde in Kiel, Alba, Hannes, Jan, Marie W., Marvin, Matze, Micha, Mitch, Moritz, Nico, Peter, Sarah, Sonja, Stefan, Ulla und alle, die mit mir immer hoch hinaus wollten und doch auf dem Boden geblieben sind.