

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie, Endodontologie,

Präventive Zahnmedizin und Kinderzahnheilkunde

(Komm. Direktor: Univ. - Prof. Dr. med. dent. Christian Splieth)

(Seniorprofessor Parodontologie: Prof. Dr. med. dent. Thomas Kocher)

im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

(Geschäftsführender Direktor: Univ. - Prof. Dr. med. dent. Karl-Friedrich Krey)

der Universitätsmedizin Greifswald

**„Untersuchungen zum
Färbeverhalten von Zahnoberflächen nach
Anwendung unterschiedlicher Prophylaxepulver.
Eine in-vitro Studie an extrahierten Zähnen.“**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Zahnmedizin

(Dr. med. dent.)

der

Universitätsmedizin

der

Universität Greifswald

2023

vorgelegt von: Marlon Appel

geb. am: 03.12.1990

in: Darmstadt/ Deutschland

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Herr Prof. Dr. Thomas Kocher

2. Gutachter: Herr PD Dr. Hari Petsos

Ort, Raum: Walther-Rathenau-Str. 42a, 17489 Greifswald, Hörsaal des ZZMK

Tag der Disputation: 19.01.2024

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht.....	4
2.1 Parodontale Erkrankungen.....	4
2.1.1 Ätiologie und Pathogenese der Parodontitis	4
2.1.2 Parodontalpathogene	7
2.1.3 Klassifikation parodontaler Erkrankungen	10
2.2 Ablauf einer Parodontalbehandlung	11
2.2.1 Antientzündliche Therapie (AIT) / Chirurgische Therapie (CPT) ..	11
2.2.2 Unterstützende Parodontitis Therapie (UPT)	11
2.3 Air Flow/ Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte.....	17
2.3.1 Funktionsweise und Gerätearten.....	17
2.3.2 Pulverarten	19
2.4 Verfärbungen.....	25
2.4.1 Extrinsische Verfärbungen	25
2.4.2 Intrinsische Verfärbungen.....	26
3. Zielsetzung und Arbeitshypothese.....	27
4. Material und Methode.....	29
4.1 Studiendesign und Versuchsanordnung.....	29
4.2 Untersuchungsgut	30
4.3 Ort der Datenerhebung.....	31
4.4 Versuchsdurchführung	32
4.4.1 Einbetten der Zähne	33
4.4.2 Longitudinales Halbieren der Zähne.....	35
4.4.3 Verteilung der Zähne auf Prüf- und Kontrollgruppen.....	36
4.4.4 Farbmessung vor Oberflächenbearbeitung	36
4.4.5 Bearbeitung der Zahnoberflächen	37
4.4.6 Reinigung/Trocknung	39
4.4.7 Farbmessung nach Oberflächenbearbeitung	39
4.4.8 Einlegen der Proben in Färbelösung:.....	44
4.4.9 Dokumentation der Daten.....	46
4.4.10 Baseline Messung	46
4.5 Statistische Auswertungsmethoden	47

5.	Ergebnisse	51
5.1	Modellentwicklung (Ziel 1)	51
5.2	Anfärbeverhalten (Ziel 2)	55
5.2.1	Vergleich von Pulver Plus versus Pulver Perio (Gruppe 1)	55
5.2.2	Vergleich von Pulver Plus versus Polierpaste (Gruppe 2)	59
5.2.3	Vergleich von Pulver Perio versus Polierpaste (Gruppe 3)	63
6.	Diskussion	67
6.1	Zusammenfassung der Hauptergebnisse	67
6.2	Diskussion der Methoden	67
6.3	Diskussion der Ergebnisse	74
6.3.1	Modellentwicklung (Ziel 1)	74
6.3.2	Färbeverhalten (Ziel 2)	76
7.	Schlussfolgerung	78
8.	Ausblick	81
9.	Zusammenfassung	82
10.	Literaturverzeichnis	III
11.	Anhang	XV
11.1	Anhang 1: Poweranalyse der Vorversuche	XV
11.2	Anhang 2: Ethikantrag	XXIII
12.	Abbildungsverzeichnis	XXVI
13.	Tabellenverzeichnis	XXVII
14.	Abkürzungsverzeichnis	XXIX
15.	Eidesstattliche Erklärung	XXX
16.	Danksagung	XXXI

1. Einleitung

Die Deutsche Mundgesundheitsstudie befindet sich aktuell in ihrer fünften Auflage. Die Daten wurden in insgesamt 90 Untersuchungsgemeinden von Oktober 2013 bis Juli 2014 an etwa 4.600 Menschen aus verschiedenen sozialen Schichten sowie Altersgruppen erhoben. „Die Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V) ist damit die größte repräsentative Erhebung ihrer Art in Deutschland.“ [Jordan et al., 2016]

Im Vergleich zur DMS IV zeigen die aktuellen Auswertungen, dass die Zahl der Menschen mit Parodontalerkrankungen in Deutschland abnimmt. Verbesserungen zeigen sich vor allem bei der Gruppe der jüngeren Erwachsenen (35- bis 44-Jährige), bei welchen sich die schweren Parodontalerkrankungen seit dem Jahr 2005 halbiert haben (DMS IV: 17,4 Prozent; DMS V: 8,2 Prozent). Ebenso sind insgesamt weniger Zähne betroffen als noch bei den Untersuchungen 2005. Trotz alledem weist jeder zweite jüngere Erwachsene (52 Prozent) immer noch eine parodontale Erkrankung auf, wobei 43,4 Prozent einer moderaten und 8,2 Prozent einer schweren Parodontitis zuzuordnen sind.

In der Gruppe der jüngeren Senioren (65 bis 74-Jährige) gibt es ebenso einen rückläufigen Trend der Parodontitis trotz statistisch höherer Zahnanzahl (DMS IV: 44,1 Prozent; DMS V: 19,8 Prozent). Auch hier ist das Ausmaß der moderaten und schweren Parodontitis rückläufig. Insgesamt sind dennoch 65 Prozent der jüngeren Senioren parodontal erkrankt. 44,8 Prozent weisen davon eine moderate und 19,8 Prozent eine schwere Parodontitis auf [Jordan & Micheelis, 2016].

Trotz positivem Trend steigt der Behandlungsbedarf der Parodontitis aufgrund der demographischen Entwicklung prognostisch an, da der Anteil an Menschen im gehobenen Alter in den nächsten Jahren weiter steigen wird [Schwendicke et al., 2018].

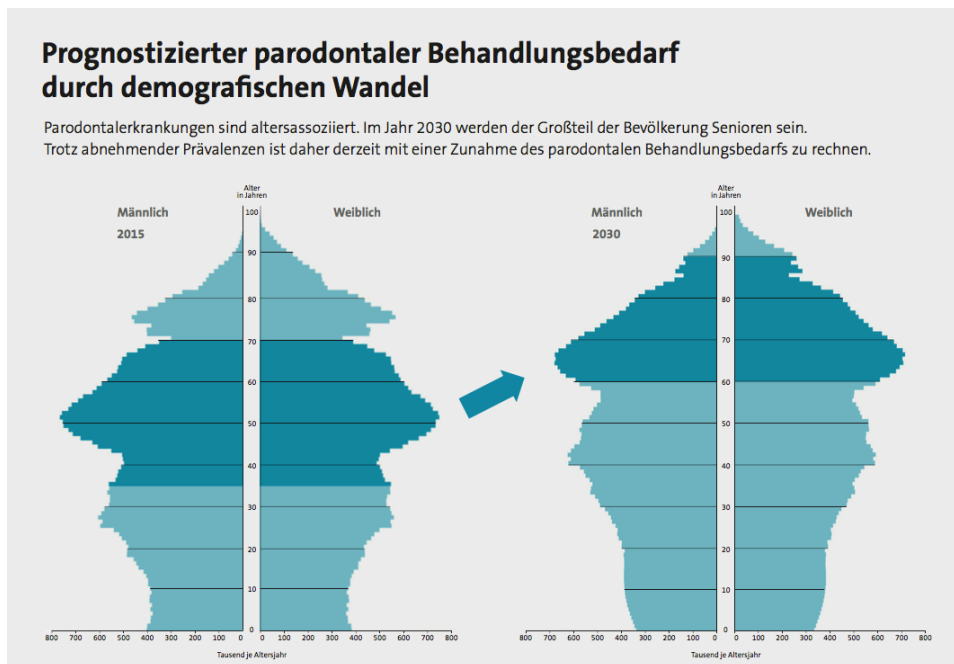


Abbildung 1: Bevölkerungspyramide [Quelle: KZBV-Jahrbuch 2016 basierend auf den Daten des statistischen Bundesamtes]

Die Ergebnisse der DMS V lassen darauf schließen, dass sich präventive Maßnahmen positiv auf die parodontale Gesundheit auswirken. Somit sind Menschen, die regelmäßig am Präventionsprogramm einer Zahnarztpraxis teilnehmen, seltener von Parodontitis betroffen [Axelsson et al., 1981]. Gleichzeitig sind auftretende parodontale Erkrankungen schwächer ausgeprägt [IDZ, 2016].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz des positiven Trends noch immer ein deutlicher Behandlungsbedarf im Bereich der parodontalen Erkrankungen besteht und der Behandlungsbedarf durch den demografischen Wandel weiter steigen wird. Dies führt zu der Frage inwieweit die bestehenden Therapiekonzepte sinnvoll weiterentwickelt bzw. ergänzt werden können, um den steigenden Bedarf bei der Versorgung der Bevölkerung in Zukunft zu decken.

Ein wichtiges Konzept der Vorbeugung von Parodontopathien besteht im Angebot einer Prophylaxe/Professionellen Zahnreinigung (PZR). Ein wichtiges Nachsorgekonzept nach erfolgter Parodontitistherapie ist die unterstützende Parodontitistherapie (UPT). Hierfür stehen herkömmliche Methoden wie Hand-, Schall- und Ultraschallinstrumente mit anschließender Politur einerseits sowie Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte andererseits zur Verfügung. Vor allem eine neue Generation niedrig abrasiver Pulver erfreut sich aufgrund vieler Vorteile zunehmender Beliebtheit beim Entfernen weicher Beläge von Zahnoberflächen. Dazu zählen Faktoren wie Zeitersparnis, Patientenkomfort, Schonung der Wurzeloberfläche sowie ihre hohe Wirksamkeit.

Die vorliegende Arbeit untersucht in diesem Kontext einen spezifischen Aspekt der Luft-Pulver-Wasserstrahltechnik. Es soll betrachtet werden, welche Wirkung verschiedene niedrig abrasive Prophylaxepulver auf die Farbstabilität von Zahnschmelz haben und wie dieser Effekt sich im Vergleich mit einer herkömmlichen Zahnpolitur mit Polierpaste und Gummikelch darstellt.

Die somit gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die jeweiligen Reinigungs- bzw. Therapieoptionen sowohl aus zahnmedizinischer Behandler-sicht als auch aus kosmetischer Patientensicht besser zu begründen und auszuwählen.

Ein weiterer Beitrag der Studie besteht in der eigenständigen Entwicklung eines in-vitro Modells, in dem das Färbeverhalten von Zahnoberflächen nach Anwendung unterschiedlicher Oberflächenbehandlungsmethoden reproduzierbar erfasst werden kann.

2. Literaturübersicht

2.1 Parodontale Erkrankungen

2.1.1 Ätiologie und Pathogenese der Parodontitis

Die Hauptursachen für Zahnverlust in Deutschland stellen die Zahnkaries (29,7%) sowie die Parodontitis (28,5%) dar. Die Statistik führt ab dem 40. Lebensjahr sogar die Parodontitis als Hauptgrund für Zahnextraktionen an. [Glockmann et al., 2011]

Gingivitis und Parodontitis werden als Biofilm-induzierte entzündliche Erkrankungen verstanden. Sie stellen sich als komplexe Erkrankung dar, bei welcher multiple Faktoren den Beginn sowie die Entwicklung der Krankheit individuell beeinflussen [Jepsen, Dommisch, et al., 2018]. Der dentale Biofilm bildet zusammen mit dem menschlichen Körper ein funktionelles Organ. Es besteht also eine Symbiose aus den im Biofilm lebenden Bakterien und dem Wirt, bei welchem das Immunsystem bei Gesundheit mit einer angemessenen inflammatorischen Antwort reagiert. Die Parodontitis entsteht als Folge einer Entgleisung dieses Gleichgewichts (Dysbiose) und geht mit einer Dysregulation der immunitzündlichen Wirtsantwort einher, die einen Abbau von Zahnhalteapparat und Alveolarknochen zur Folge hat [Darveau, 2010; Jepsen et al., 2014; Kilian et al., 2016; Meyle et al., 2015; Terheyden et al., 2014].

Der dentale Biofilm wird als hochgradig organisiertes funktionelles Organ verstanden. Die Mikroorganismen sind dabei an der Zahnoberfläche, den Weichgeweben und untereinander befestigt und in eine Matrix aus extrazellulären polymeren Substanzen eingebettet [Kilian et al., 2016].

Es werden vier Phasen der Biofilmbildung (Plaque) unterschieden [Hojo et al., 2009]:

1. Auf einer gesäuberten Zahnoberfläche kommt es binnen weniger Minuten zur Ausbildung eines bakterienfreien Schmelzoberhäutchens, bestehend aus Muzinen, Glykoproteinen und Proteinen, welche physiologisch im Speichel vorkommen. Dieses sogenannte „acquired pellicle“ besitzt eine Vielzahl verschiedener Rezeptoren, die von den primären mikrobiellen Besiedlern erkannt werden.
2. Nach etwa vier Stunden kommt es zur Besiedlung der Pellikelschicht durch Bakterien, welche sich dank spezieller Oberflächenmoleküle (Adhäsine) an spezifische Pellikelrezeptoren fest verankern. Diese sogenannten Erstbesiedler bestehen zu 60-90 % aus Streptokokken und dienen als Wegbereiter für die Anheftung anderer grampositiver aerober Mikroorganismen.
3. Vom dritten bis zum fünften Tag entstehen Mikrokolonien durch Vermehrung der Bakterien sowie durch Freisetzung von schützenden Polysacchariden (Extrazellulärmatrix). Diese Komplexe bilden metabolische Vorteile für die Mitglieder.
4. Nach fünf bis sieben Tagen entstehen Zirkulationssysteme, durch welche die Mikroorganismen Stoffwechselprodukte, Resistenz- und Virulenzfaktoren austauschen können. Durch die vermehrte Kolonisation gramnegativer und obligat anaerober Erreger nimmt die Pathogenität der Plaque zu.

Die in der so entstandenen reifen Plaque sitzenden Mikroorganismen sind jetzt vor Fresszellen und zugeführten Bakteriziden weitgehend geschützt und aktivieren durch Stoffwechselprodukte sowie abgestoßene Zellwandbestandteile die immuninflammatorische Antwort des Wirtes [Costerton et al., 1999; Darveau et al., 1997; Hannig et al., 2005; Kolenbrander et al., 2002; Rogers et al., 2001].

Leichte entzündliche Veränderungen sind bei klinischer Gesundheit durchaus im Einklang mit der ortsständigen gesundheitsfördernden parodontalen Mikrobiota, da sie zum Aufrechterhalten einer Symbiose dienen. Kommt es allerdings zu einer vermehrten Ansammlung von Biofilm, weil er nicht regelmäßig entfernt wird, beginnt sich eine Dysbiose zu entwickeln. Die Folge ist eine lokale Entzündung, welche ihrerseits durch erhöhte Produktion der nährstoffreichen Sulkusflüssigkeit bei gleichzeitiger Sauerstoffarmut das Wachstum anaerober Bakterien unterstützt und die Dysbiose weiter fördert [Hajishengallis, 2014a, 2014b]. Trotz angemessener immunitzündlicher Wirtsantwort, verhindert die reifende Plaque eine Auflösung der Entzündung. Die so entstandene chronifizierte Entzündung äußert sich in Form einer Gingivitis [Lamont et al., 2015]. In Kombination mit verschiedenen Risikofaktoren, wie genetischer Prädisposition, systemischen Erkrankungen, Mikroflora und Lifestyle (Kap. 2.1.2), kommt es bei anfälligen Individuen zu einer überschießenden immuninflammatorischen Wirtsantwort, welche eine Schädigung der parodontalen Strukturen auslöst. Die in der Folge entstehende pathohistologische Veränderung fördert die entstandene Dysbiose. Über einen längeren Zeitraum kann sich der mikrobielle Biofilm zusätzlich in tiefere Schichten ausbreiten. Es entsteht ein Teufelskreis, der die Auflösung der chronischen destruktiven Entzündung unmöglich macht [Kilian et al., 2016; Meyle & Chapple, 2015].

2.1.2 Parodontalpathogene

Die Entstehung einer Parodontitis ist multifaktoriell bedingt. Eine ganze Reihe von Faktoren kann eine Störung der oben beschriebenen Symbiose bewirken und somit eine Veränderung in Richtung einer Dysbiose verursachen (Abb.2) [Hajishengallis et al., 2016]. Verändern sich durch Einfluss von Umweltfaktoren die Lebensbedingungen der Mikroorganismen, werden sich diejenigen Organismen vermehren, die dieser Umwelt am besten angepasst sind. Diese Vorstellung beruht auf der so genannten „Ökologischen Plaquehypothese“ [Marsh, 2003]. Neben der genetischen Prädisposition (Variationen bzgl. Immunabwehr und Metabolismus), dem Lifestyle (Variationen bzgl. Hygiene, Rauchen, Ernährung, Stress etc.) und der Mikroflora (Variationen bzgl. oraler Mikroorganismen) üben auch systemische Erkrankungen (z.B. Diabetes mellitus) einen Einfluss auf die Entstehung und Progredienz von Parodontopathien aus [Kilian et al., 2016].

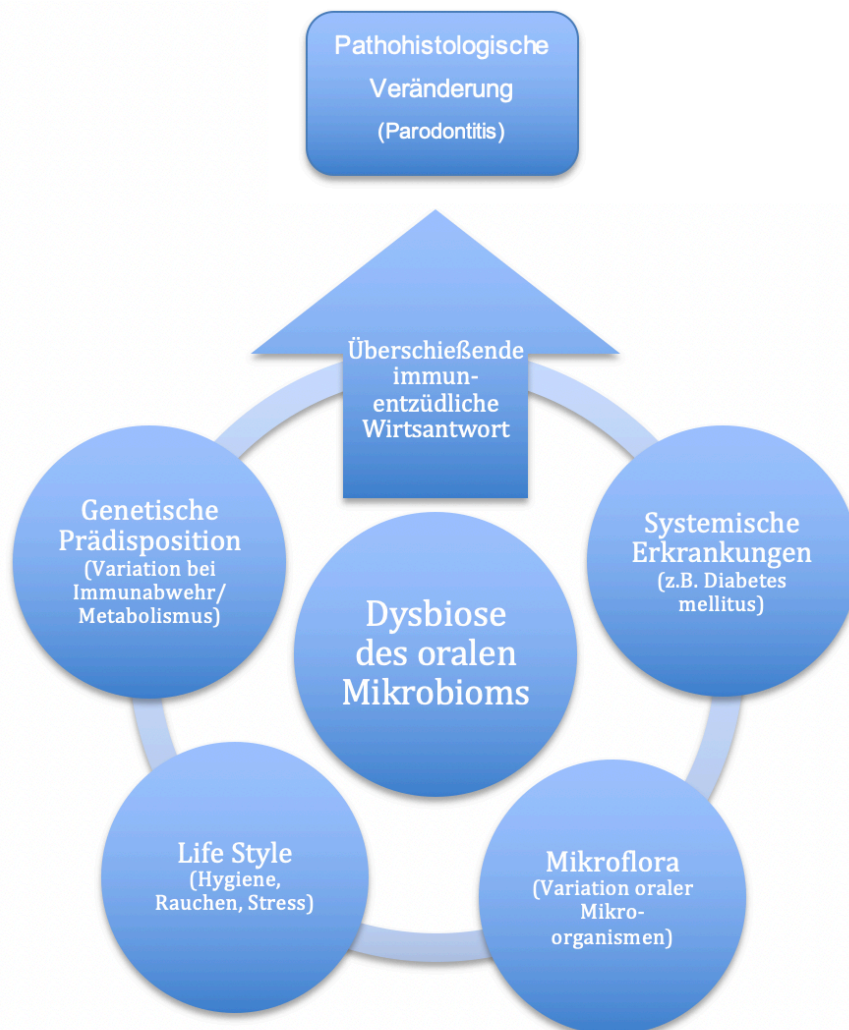


Abbildung 2: Parodontalpathogene , (Quelle: Eigene Abbildung angelehnt an [Jepsen, Dommisch, et al., 2018])

Genetische Prädisposition:

Aufgrund der familiären Häufung von Parodontitis mit rascher Progression und früher Manifestation wird vermutet, dass genetische Faktoren bei der Entstehung von Parodontopathien eine wichtige Rolle spielen. Der Anteil der genetischen Risikofaktoren zum Parodontitisrisiko wird auf bis zu 50 Prozent geschätzt. Vor allem bei jungen Patienten mit fortgeschrittener Parodontitis wird ein starker genetischer Einfluss vermutet [Laine et al., 2014; Loos et al., 2015].

Systemische Erkrankungen:

Die Wechselbeziehungen zwischen Diabetes mellitus und Parodontitis werden zunehmend durch wissenschaftliche Untersuchungen belegt. Ein erhöhter Blutzuckerspiegel fördert entzündliche Vorgänge im Körper, auch im Parodont. Im Gegenzug können entzündungsbezogene Botenstoffe (Zytokine) einen Einfluss auf den Blutzuckerspiegel haben und diesen erhöhen. Somit stellt ein unkontrollierter Diabetes einen großen modifizierbaren Risikofaktor zur Ausbildung einer Parodontitis dar [Dommisch et al., 2017]. Ebenfalls werden Wechselwirkungen zwischen rheumatoiden [Detert et al., 2011; Fuggle et al., 2016] sowie kardiovaskulären Erkrankungen [Dommisch et al., 2017] und Adipositas [Chaffee et al., 2010; Suvan et al., 2011] diskutiert.

Lifestyle:

Rauchen stellt einen weiteren bedeutenden modifizierbaren Risikofaktor dar und erhöht das Risiko, an Parodontitis zu erkranken, um das 2- bis 5-fache. Dabei ist die Dosis-Wirkungsbeziehung klar dokumentiert [Genco et al., 2013; Jepsen, Caton, et al., 2018; Nociti Jr et al., 2015; Palmer et al., 2005]. Auch die Ernährung kann Einfluss auf Parodontitis nehmen. Studien zeigen Zusammenhänge im Bezug auf Aufnahme von Mikronährstoffen (z.B. Vitamin C), Omega-3-Fettsäuren, Kohlenhydraten und Probiotika [Wölber J, 2017].

Mikroflora:

Die orale Mikroflora besteht aus über 700 Bakterienarten, welche sowohl die harten Oberflächen von Zähnen besiedeln als auch die Weichgewebe der Mundschleimhaut. Sie variiert von Mensch zu Mensch [Kilian et al., 2016]. Zusammenschlüsse von Bakterienarten zu sogenannten Komplexen sind nicht zufällig. Socransky et al. untersuchten 1998 über 13.000 subgingivale Plaqueproben von 185 erwachsenen Probanden, um das Vorhandensein spezifischer Gruppen im Zahnbelag nachzuweisen. Dabei wurden verschiedene eng assoziierte Komplexe von Bakterienarten nachgewiesen (Abb. 3) [Socransky et al., 1998]. Die verschiedenen Bakterienkomplexe weisen eine unterschiedliche Pathogenität auf. Beispielsweise enthält der Rote Komplex einen besonders hohen Anteil an Bakterien, die mit Parodontitis assoziiert werden [Darveau et al., 1997].

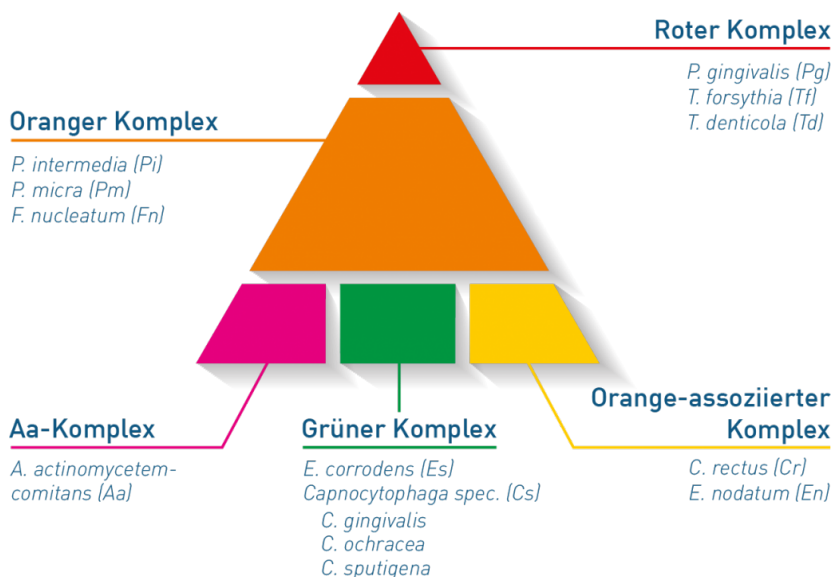


Abbildung 3: Bakterienkomplexe der Mundhöhle nach Socransky et al. 1998. (Quelle: www.micro-ident.de)

Die stellenspezifische Destruktion innerhalb einer Dentition bzw. an einem einzelnen Zahn ist eines der Charakteristika der Parodontitis. Die Besiedlung parodontaler Taschen durch Bakterienkomplexe unterschiedlicher Virulenz kann zu einer unterschiedlich schnellen Destruktion der verschiedenen Areale führen [Heidemann, 2005].

2.1.3 Klassifikation parodontaler Erkrankungen

Vom 9. bis 11. November 2017 fand in Chicago der „World Workshop on the Classification of Periodontal and Periimplant Diseases and Conditions“ statt, organisiert durch die American Academy of Periodontology (AAP) und die European Federation of Periodontology (EFP). Im Zuge der Konferenz wurde die Klassifikation der parodontalen Erkrankungen von 1999 aktualisiert, sowie ein Schema für periimplantäre Erkrankungen und Zustände entwickelt.

Die folgenden Tabellen zeigen eine Übersicht der neuen Klassifikation.

Parodontale Erkrankungen und Zustände	Parodontale Gesundheit/ Gingivale Erkrankungen und Zustände	Parodontale und gingivale Gesundheit
		Plaueinduzierte Gingivitis
		Nicht plaqueinduzierte Gingivitis
	Parodontitis	Nekrotisierende parodontale Erkrankungen
		Parodontitis
		Parodontitis als Manifesta- tion einer systemischen Er- krankung
	Andere das Parodont be- treffende Zustände	Systemische Erkrankung oder Zustände mit Einfluss auf das Parodont
		Parodontale Abszesse und Endo-Paro-Läsionen
		Mukogingivale Deformitäten und Zustände
		Traumatische okklusale Kräfte
		Zahn- und Zahnersatzbezo- gene Faktoren

Tabelle 1: Neue Klassifikation der parodontalen Erkrankungen und Zustände [Papapanou et al., 2018]

Periimplantäre Erkrankungen und Zustände	Periimplantäre Gesundheit
	Periimplantäre Mukositis
	Periimplantitis
	Periimplantäre Weich- und Hard- Gewebsdefekte

Tabelle 2: Neue Klassifikation der periimplantären Erkrankungen und Zustände [Papapanou et al., 2018]

2.2 Ablauf einer Parodontalbehandlung

2.2.1 Antientzündliche Therapie (AIT) / Chirurgische Therapie (CPT)

Eine Parodontalbehandlung besteht im ersten Schritt aus der antientzündlichen/nichtchirurgischen Therapie (AIT) und bei Bedarf im weiteren Verlauf aus der korrektiven/chirurgischen Therapie (CPT) [Eickholz, 2007a, 2007b].

<u>Ziele der parodontalen Therapie:</u>
Beseitigung der Infektion
Aufhalten der parodontalen Destruktion
Wenn möglich Regeneration des zerstörten parodontalen Gewebes

Tabelle 3: Ziele der parodontalen Therapie [Eickholz, 2007a]

3-6 Monate nach Abschluss der AIT bzw. CPT erfolgt die Reevaluation. Werden stabile parodontale Verhältnisse festgestellt, beginnt die UPT.

2.2.2 Unterstützende Parodontitis Therapie (UPT)

Parodontitis stellt eine lebenslange chronische Erkrankung dar. Die UPT ist daher nicht nur Kontrolle des Patienten, sondern stellt immer auch tätige Therapie dar. Sie ist wesentlicher und unverzichtbarer Teil der Parodontitistherapie und notwendig, um die Ergebnisse der AIT und CPT über Jahre zu stabilisieren [Kocher et al., 2000; C. Lee et al., 2015; Tsami et al., 2009].

<u>Bestandteile der UPT:</u>
I. Kontrolle der individuellen Mundhygiene (durch Anwendung verschiedener Indices)
II. Mundhygienemotivation und -instruktion
III. Mindestens einmal jährlich Parodontalstatus
IV. Vollständige supra- und subgingivale Reinigung aller Zähne von anhaftenden Biofilmen und Belägen
V. Subgingivale Instrumentierung an Zähnen mit Sondierungstiefe (ST) = 4 mm und gleichzeitigem „bleeding on probing“ (BOP), sowie an Zähnen mit ST > 4mm

Tabelle 4: Elemente der UPT [Eickholz, 2007a, 2007b]

Die UPT erfolgt regelhaft in Abhängigkeit vom Parodontitisrisiko des Patienten zwischen 2 und 4 Mal im Jahr. Im Folgenden werden die einzelnen Phasen der UPT näher beleuchtet:

I. Kontrolle der Individuellen Mundhygiene

Bei jeder UPT-Sitzung sollte der aktuelle Mundhygienezustand durch die Erhebung von Plaque- und Gingivaindices festgestellt werden. Während der Plaqueindex einen Eindruck über die Qualität der aktuellen Zahnpflege darstellt, liefert der Grad der Zahnfleischentzündung Informationen über die Mundhygiene für einen längeren Zeitraum, da sich Entzündungszeichen erst nach mehreren Tagen schlechter Zahnpflege einstellen. Zur Kontrolle der Mundhygiene während der UPT eignet sich vor allem der Plaque Control Record (PCR), der als differenzierter Index den Vorteil bietet, spezifische Schwachstellen der Mundhygiene aufzudecken. Gegenüber dem approximalen Plaqueindex (API), bei welchem nur die Zahnzwischenräume von oral oder vestibulär bewertet werden, bewertet der PCR jeden Zahn zirkulär an 4 bzw. 6 (modifiziert) Flächen. Den zum PCR komplementäre Gingivitisindex stellt der Gingival Bleeding Index (GBI) dar. Dabei wird der Sulkuseingang der Zähne mit dem Ende einer Parodontalsonde locker durchfahren. Nach etwa zehn Sekunden wird überprüft, ob es zu einer Blutung gekommen ist und diese an vier bzw. sechs Stellen des Zahnes erhoben. Diese Blutung wird als Entzündungsreaktion auf die supragingivale Plaque verstanden, gibt demnach also keine Aussage über eine mögliche subgingivale Infektion und Entzündung [Ainamo et al., 1975; Eickholz, 2005; O'leary, 1972].

II. Motivation und Instruktion

Der zuvor angefärbte Biofilm kann im zweiten Schritt zur Motivation des Patienten genutzt werden. Eine Plaquekontrolle ist für den langfristigen Erfolg der Parodontitistherapie von entscheidender Bedeutung. Durch die Visualisierung kann der Patient die Problemstellen leichter erfassen. Bei der Instruktion sollten geeignete Reinigungsinstrumente (z.B. Zahnzwischenraumbürstchen) und Techniken zum Reinigen dieser Bereiche gezeigt werden. Ziel ist es, die häusliche Mundhygiene des Patienten nachhaltig zu verbessern [Eickholz, 2005].

III. Parodontalstatus

Zur Verlaufskontrolle der chronischen Erkrankung Parodontitis wird mindestens einmal jährlich der Parodontalstatus erhoben. Dieser umfasst Sondierungstiefen (ST), Taschenblutung, Attachmentverlust (PAL-V) bzw. Rezessionen, Furkationsbeteiligung und Zahnlockerung [Eickholz, 2007a].

Sondierungstiefe (ST)

Die Taschentiefe ist definiert als der Bereich an dem das parodontale Gewebe der Zahnoberfläche weder epithelial noch bindegewebig angeheftet ist. Eine subgingivale Entzündung führt zur Auflockerung des subepithelialen Bindegewebes mit Tiefenwachstum des Saumepithels und der Ausbildung eines Taschenepithels, welches in höheren ST-Werte resultiert. Zur Bestimmung der ST wird eine Parodontalsonde mit möglichst definiertem Druck (0,2-0,3 N) parallel zur Zahnachse zwischen Zahn und Gingiva eingebracht, bis sich der Sondierungsdruck und Gewebswiderstand die Waage halten. Das Ergebnis wird mit Hilfe der Messskala an der Parodontalsonde zum Gingivarand an 6 Messpunkten zirkulär um den Zahn abgelesen und notiert. Die so erhaltenen Werte ermöglichen eine Kontrolle des Erkrankungsverlaufs sowie die Evaluation der Resultate therapeutischer Maßnahmen [Eickholz, 2000, 2010a, 2010b].

Taschenblutung/ Bleeding on Probing (BOP)

Bei Existenz einer parodontalen Entzündung manifestiert sich spätestens 30 Sekunden nach Sondierung eine Blutung aus der Tasche am Gingivarand (BOP). Beim vorsichtigen Einbringen einer Sonde wird dabei der durch die Entzündung dilatierte subepitheliale Plexus verletzt. Die Existenz subgingivaler Entzündung und mittelbar subgingivaler Plaque führt also zu BOP und kann somit als diagnostischer Test gewertet werden [Eickholz, 2005, 2010b].

Attachmentlevel (PAL-V) und Rezession

Die Elimination der subgingivalen und gingivalen Entzündung durch die AIT hat verschiedene Auswirkungen. Zum einen kommt es zum Ersatz der Entzündungszellen durch Fibroblasten und Kollagenfasern, was zu einer Erhöhung des Gewebewiderstandes am Taschenboden gegen den Sondierungsdruck und somit zu einer Reduktion der Sondierungstiefe führt (klinischer Attachmentgewinn). Zum anderen vermindert auch das Anschwellen der Gingiva die am Gingivarand gemessenen Sondierungstiefen (Rezession). Die Verwendung eines festen Referenzpunktes am Zahn (z.B. die Schmelz-Zement-Grenze), ermöglicht die Kontrolle der Messwerte, die nur durch Veränderungen des Taschenbodens beeinflusst werden (klinische Attachmentlevelmessung). Um das Attachmentlevel zu bestimmen wird also der Abstand von Taschenboden zur Schmelz-Zement-Grenze (SZG) gemessen oder die ST zur Rezession (Abstand Gingivarand zur SZG) addiert. Die Bestimmung des PAL-V ist vor allem bei Verlaufskontrollen, also der UPT, sinnvoll, da bei gleichzeitigem Auftreten von Attachmentverlust und Rezession die ST zu einem falsch negativem Ergebnis führen würde [Eickholz, 2010b].

Furkationsbeteiligung

Kommt es im Zuge einer Parodontitis an mehrwurzligen Zähnen zum PAL-V bis zur Wurzelteilungsstelle, führt dies zu einem horizontalen Attachmentverlust (PAL-H) und Knochenabbau im Furkationsbereich. Die so entstandene Nische ist für den Patienten praktisch nicht zu reinigen und stellt ebenso eine Herausforderung für die professionelle Instrumentierung durch den Zahnarzt und sein Team dar. Zähne mit Furkationsbeteiligung stellen also Prädilektionsstellen für persistierende Infektionen dar. Der Diagnostik von Position und Ausmaß solcher Bereiche kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu [Eickholz et al., 2018; Fleischer et al., 1989; Hamp et al., 1975; Lang et al., 1973].

Lockerungsgrad

Ebenso wie die Furkationsbeteiligung wird auch der Lockerungsgrad im Parodontalstatus vermerkt. Eine Möglichkeit ist die Einteilung nach Lindhe und Nyman:

Grad 0	Physiologische Beweglichkeit
Grad 1	horizontale Beweglichkeit von 0,2 bis 1,0 mm
Grad 2	horizontale Beweglichkeit von 1,0 bis 2,0 mm
Grad 3	horizontale Beweglichkeit > 2,0 mm und/oder in axialer Richtung

Tabelle 5: Einteilung der Lockerungsgrade nach Lindhe & Nyman [Lindhe et al., 1977]

IV. Supra- und subgingivale Reinigung/ Professionelle Zahnreinigung (PZR)

Das Ziel der professionellen Zahnreinigung ist die Entfernung aller harten und weichen Beläge von den Zahnoberflächen. Hierfür stehen Hand-, Schall- (z.B. Sonicflex, KaVo, Biberach, Deutschland), und Ultraschallinstrumente (z.B. Cavitron, Hager&Werken, Duisburg, Deutschland) sowie Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte zur Verfügung. Im Anschluss findet die Politur der Zahnoberflächen mittels Gummikelch bzw. Polierbürstchen und Polierpaste statt [Eickholz, 2007a]. Eine Alternative stellt die Verwendung niedrigabrasiver Prophylaxepulver dar. Im Anschluss an die Reinigung kann auf eine zusätzliche Politur der Zahnoberflächen verzichtet werden [Camboni et al., 2016].

Handinstrumente

Bei den Handinstrumenten stehen Scaler, Universal- und Spezialküretten zur Verfügung. Je nach Aufbau kann man mit ihnen spezifische supra- sowie subgingivale Zahnoberflächen bearbeiten und von fremden Auflagerungen befreien [Eickholz, 2011].

Schall- und Ultraschallinstrumente

Bei der maschinellen Instrumentierung unterscheiden sich die Geräte in Aufbau, Frequenz, Amplitude und Schwingungsmuster. Der über Druckluft betriebene Airscaler schwingt im Schallbereich mit etwa 5 bis 6 kHz und ist auf Grund seiner vergleichsweise großen Schwingungsamplitude eher für die supragingivale Anwendung indiziert. Die Ultraschallscaler werden magnetostruktiv oder reziprok piezoelektrisch zum Schwingen angeregt und arbeiten mit einer Frequenz von 25 bis 30 kHz. Die kleine Amplitude des Arbeitsendes ermöglicht auch die Anwendung im subgingivalen Bereich. Alle Geräte arbeiten mit Flüssigkeitskühlung (Wasser, sterile NaCl-Lösung), um eine Schädigung der umliegenden Gewebe durch entstehende thermische Reize zu vermeiden. Der Vorteil der Zeitersparnis durch die maschinelle Instrumentierung geht vor allem auf Kosten einer geringeren Taktilität gegenüber den Handinstrumenten [GJ Petersilka et al., 2005; Tunkel et al., 2002].

Luft-Pulver- Wasserstrahlgeräte

Die Notwendigkeit, bei der UPT Wurzeloberflächen, die bereits zuverlässig von Zahnstein und Konkrementen befreit wurden, gegebenenfalls über Jahre und Jahrzehnte wiederholt zu instrumentieren, kann zu einer Schädigung und Schwächung der Wurzeln führen. Während supragingival schon nach wenigen Tagen bis Wochen eine Mineralisation der Plaque eintreten kann, vergehen im subgingivalen Bereich vermutlich mehrere Monate bis eine Kronkrementbildung stattfindet [Conroy et al., 1968; Volpe et al., 1969]. Deshalb geht es beim subgingivalen Scaling in der UPT im Wesentlichen nur noch um die Entfernung weicher bakterieller Beläge. Hier setzt die Idee der subgingivalen Politur an, bei der gezielt unter Schonung der Hartgewebe nur weiche Beläge entfernt werden sollen, zum Beispiel mittels Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräten in Kombination mit niedrigabrasiven Pulvern [Eickholz, 2007a, 2011; G. J. Petersilka, Steinmann, et al., 2003]. Eine genaue Darstellung zu Aufbau, Funktion und Anwendung von Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräten sowie der verschiedenen Pulver ist unter Kapitel 1.6. zu finden.

Politur

Abschluss der Reinigung bildet die Politur sowie die abschließende Flouridierung. Zur Verfügung stehen Bürstchen sowie Gummikelche in Kombination mit Polierpaste. Polierkelche haben dabei den Vorteil, sich unter Andruck auf den Zahn aufzudehnen und aufzubördeln und dadurch eine Politur auch apikal des Gingivarandes zu ermöglichen, ohne dabei Erosionen des Gingivarandes zu verursachen [Eickholz, 2007a]. Alternativ kann bei der Verwendung niedrigabrasiver Prophylaxepulver im Anschluss an die Reinigung auf eine Politur der Zahnoberflächen verzichtet werden [Camboni & Donnet, 2016].

V. Therapie reinfizierter Taschen

Ändert sich im Verlauf einer oder mehrere der in Kapitel 2.1.2 beschriebenen Faktoren, kann es zum Rezidiv kommen. Initial zeigt sich dies meist durch pathologisch vertiefte Taschen ($ST \geq 4\text{mm}$ mit BOP; $ST \geq 4\text{mm}$), und stellt eine Indikation zur Reinstrumentierung dieser Zähne dar. Die Entfernung des subgingivalen Biofilms von diesen Stellen vermag die Destruktion zumeist aufzuhalten, bevor größere Defekte entstehen können. [Eickholz, 2007a].

2.3 Air Flow/ Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte

2.3.1 Funktionsweise und Gerätearten

Die größte Nebenwirkung der mechanischen Reinigung durch Hand-, Schall- oder Ultraschallinstrumente besteht in der irreversiblen Schädigung der Zahnoberfläche. Da eine supra- sowie subgingivale Reinigung im Zuge der UPT über Jahre und Jahrzehnte regelmäßig und damit häufig durchgeführt werden muss und die Zahnoberflächen zunehmend schädigen kann, ist es sinnvoll nach geeigneten Alternativen zu suchen. Eine ernstzunehmende Alternative stellt die Luft-Pulver-Wasserstrahltechnik dar [Moëne et al., 2010]. Dabei trifft ein mit Hilfe von Druckluft (3-5 Bar) beschleunigter Pulver-Wasserstrahl auf die Zahnoberfläche auf, wodurch die Freisetzung kinetischer Energie die Oberfläche von Auflagerungen befreit wird [Bastendorf, 2015].

Lange Zeit standen lediglich abrasive Pulver zur Verfügung, welche den Einsatz der Technik auf die supragingivalen Bereiche der Zahnoberflächen beschränkte. In der Literatur hat sich die Einteilung der Polierpulver nach supra- und subgingivaler Anwendung durchgesetzt. Fachlich richtig wäre es, von einer Anwendung ober- oder unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze zu sprechen, da sich hier die Härte von Schmelz zu Zement und Dentin ändert und die Pulver mit ihrer unterschiedlichen Abrasivität unterschiedlich wirken [Bastendorf, 2015]. Erst die Entwicklung niedrig-abrasiver Pulver ermöglichte die Anwendung auch im subgingivalen Bereich auf Wurzeloberflächen und exponiertem Zement bzw. Dentin [Bastendorf, 2015]. Neben der Pulverart wird die Abrasivität vor allem durch die Pulver-Emissionsrate beeinflusst, die zum einen durch die Füllmenge des Pulvertanks zum anderen durch den Gerätetyp variiert [Barnes, 2010; G. J. Petersilka et al., 2002]. Grundsätzlich kann zwischen mobilen Geräten (sog. „Handys“), welche über die Turbinenluftkopplung betrieben werden und stationären Geräten unterscheiden werden. Der Vorteil des geringeren Lagerungsaufwandes der „Handys“ geht mit fehlender Kontrolle des Antriebsdrucks und kleinerem Pulvertank einher. Die Vorteile der stationären Geräte sind vor allem die einfache Wartung der Schläuche sowie die Möglichkeit, zusätzlich Schall- oder Ultraschallgeräte zu integrieren [Graetz et al., 2016].

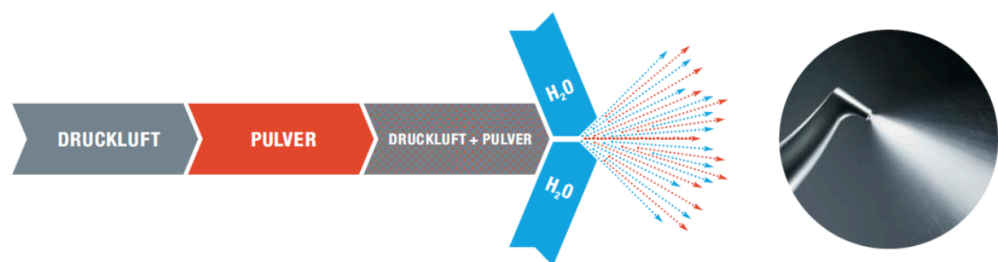


Abbildung 4: Das Wirkprinzip der Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte [Bastendorf, 2015], (Quelle:www.zwp-online.info)

2.3.2 Pulverarten

Die zu Verfügung stehenden Pulver lassen sich gemäß ihrem Anwendungsbereich ober- bzw. unterhalb der Schmelz-Zementgrenze in abrasive und niedrigabrasive Pulver unterteilen.

Abrasive Pulver:

Die am häufigsten verwendeten Mittel sind auf Basis von Natriumbicarbonat hergestellt und somit wasserlöslich. Es werden aber auch nicht wasserlösliche Pulver auf Basis von Calciumcarbonat und Aluminiumhydroxyd angeboten. Neben der Entfernung von weichen Belägen und jungem Zahnstein eignen sie sich zusätzlich zur Entfernung starker Verfärbungen vor allem an schwer erreichbaren Stellen (Zahnengstände, Fissuren, Grübchen, Brackets, Zahnzwischenräume). Sie dürfen auf Grund ihrer Abrasivität nur auf dem Zahnschmelz und nicht auf freiliegendem Dentin, Zement oder der Gingiva angewendet werden und sind deshalb für die Verwendung in der UPT ungeeignet [Bühler et al., 2016; Sahrman et al., 2014].

Herstellerangaben	Natriumbicarbonat
Produkte	-AirFlow Classic (EMS) -Airflow Classic Comfort (EMS) -Prophy Flex (Kavo) -ProClean (American Dental Systems) -Prophylaxe-Pulver (Speiko) -Prophylaxe-Pulver Soft (Speiko) -Air Polishing Powder (Geru-Dent) -Prophylaxis Powder (Mectron)
Chemische Struktur	NaHCO_3
Partikelgröße	≈40-120 μm
PH-Wert	≈8,1
Wasserlöslichkeit	96 g/l
Dichte	2,22 g/ml
Bakterienreduktion	-
Reinigung	+++
Abrasivität	+++

Tabelle 6: Herstellerangaben der Natriumbicarbonat basierten Pulver

Herstellerangaben	Calciumcarbonat
Produkte	-Prophy Pearls (Kavo) -Air-N-Go Pearl (Aceton) -Flash Pearl (NSK) -Prophylaxis Powder Smooth (Mectron)
Chemische Struktur	CaCO_3
Partikelgröße	≈54-70 μm
PH-Wert	x
Wasserlöslichkeit	unlöslich
Dichte	2,73 g/ml
Bakterienreduktion	-
Reinigung	+++
Abrasivität	+++

Tabelle 7: Herstellerangaben der Calciumcarbonat basierten Pulver

Niedrig-abrasive Pulver:

Seit 2003 werden niedrig-abrasive Pulver zur Entfernung supra- sowie subgingivaler Auflagerungen verwendet und ermöglichen damit eine Erweiterung des Anwendungsspektrums der Luft-Pulver-Wasserstrahltechnik auf die subgingivalen Bereiche. Petersilka et al. konnten 2003 in einer Studie zeigen, dass die Anwendung eines niedrig-abrasiven Pulvers in flachen Taschen (3-5mm) Biofilm wirksamer entfernt als Küretten und dabei beim Patienten weniger Missempfindung verursacht. Gleichzeitig wird ein Zeitersparnis gegenüber den konventionellen Verfahren beschrieben [Moëne et al., 2010; G. J. Petersilka, Steinmann, et al., 2003]. In Kombination mit speziellen subgingival anzuwendenden Düsen zeigen diese Pulver in aktuellen Untersuchungen bei subgingivaler Anwendung auch in moderat tiefen Taschen von 4-9 mm eine effektivere Reduzierung des Biofilms als dies mittels konventionellem scaling and root planing (SRP) erreicht wird [Flemmig et al., 2012]. Die Kombination aus Zeitersparnis, Patientenkomfort, Schonung der Wurzeloberflächen sowie ausreichender Wirksamkeit erklärt den Ansatz, diese Technologie zum Reinigen der subgingivalen Zahnoberflächen von weichen Belägen im Zuge der UPT zu verwenden. Es werden niedrigabrasive Pulver auf Basis von Glycin oder Erythritol angeboten.

Niedrig-abrasive Pulver auf Glycinbasis:

Glycin ist die einfachste stabile Aminosäure und kommt natürlicherweise im menschlichen Körper vor. Die Abrasivität ist gegenüber Natriumbicarbonat wesentlich geringer, sodass es auch auf Dentin angewendet werden kann [G Petersilka et al., 2001; G. J. Petersilka, Bell, et al., 2003; G. J. Petersilka, Tunkel, et al., 2003]. Das Entfernen von subgingivaler Plaque mittels Glycin führt zu einer signifikant höheren Reduktion der Bakterienzahl in parodontalen Taschen bis 5 mm im Vergleich zur herkömmlichen Instrumentierung [G. J. Petersilka, Steinmann, et al., 2003]. Die gute Wasserlöslichkeit verhindert Ablagerungen im Mund oder in der parodontalen Tasche [Bastendorf, 2015]. Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über die physikalischen Eigenschaften:

Herstellerangaben	Glycin
Produkte	-AirFlow Perio (EMS) -AirFlow Soft (EMS) -Clinpro Prophy Powder (3M ESPE) -Perio Mate Powder (NSK) -Prophy flex Perio (Kavo) -Air-N-Go Perio (Aceton) -Glycin Powder (Mectron)
Chemische Struktur	C ₂ H ₅ NO ₂
Partikelgröße	≈25 µm
PH-Wert	≈6
Biokompatibilität	Essenziell, E640
Wasserlöslichkeit	225 g/l
Dichte	1,6g /ml
Härtegrad (Mohs)	<2
Bakterienreduktion	+
Reinigung	+
Abrasivität	-

Tabelle 8: Herstellerangaben der Glycin basierten Pulver

Niedrig-abrasive Pulver auf Erythritolbasis

Erythritol gehört chemisch zu den Zuckeralkoholen (Polyolen) und wird als Zuckeraustauschstoff verwendet. Es wird im Dünndarm fast vollkommen aufgenommen, nicht metabolisiert und unverändert über den Urin wieder ausgeschieden und ist somit auch für Diabetiker geeignet. Auch orale Bakterien können Erythritol nicht metabolisieren, wodurch es nicht kariogen wirkt [Bastendorf, 2015]. Das Abrasionsverhalten von Erythritolpulvern ist dem von Glycinpulvern ähnlich. Dennoch scheinen Erythritolpulver eine bessere Reinigungsleistung zu erzielen. Damit wäre eine supra- und subgingivale Reinigung mit nur einem einzigen Pulver denkbar, ohne Pulverwechsel und dem damit verbundenen Zeitaufwand [Graetz et al., 2016]. Zusätzlich scheint Erythritol einen größeren antibakteriellen und antimikrobiellen Effekt zu zeigen als Glycin. Vor allem in Kombination mit Chlorhexidingluconat scheinen deutlich stärkere antimikrobielle Effekte möglich [Drago et al., 2014; Hashino et al., 2013]. Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die physikalischen Eigenschaften von Pulvern auf Erythritolbasis:

Herstellerangaben	Erythritol
Produkte	AirFlow Plus (EMS, Nyon, Schweiz)
Chemische Struktur	$C_2H_{10}O_4$
Partikelgröße	≈14 µm
PH-Wert	≈7
Biokompatibilität	Inert, E968
Wasserlöslichkeit	100 g/l
Dichte	1,4 g/ml
Härtegrad (Mohs)	<2
Bakterienreduktion	+++
Reinigung	+++
Abrasivität	--

Tabelle 9: Herstellerangaben der Erythritol basierten Pulver

Die folgende Tabelle enthält einen vergleichenden Überblick über die empfohlenen Anwendungsgebiete für abrasive und niedrig abrasive Pulver:

	Natriumbicarbonat/ andere abrasive Pulver	Glycin	Erythritol
Zahnschmelz	+	+	+
Dentin	-	+	+
Wurzelzement	-	+	+
Initialläsionen	-	+	+
Zahnfleisch	-	+	+
Hybridkomposit	-	+	+
Glasionomierzement	-	+	+
Implantatoberflächen	-	+	+
Brackets und Apparaturen	-	+	+

Tabelle 10: Anwendungsbereiche der Prophylaxepulver auf verschiedenen Oberflächen (Quelle: Herstellerangaben: ems-dental.de)

Wirksamkeit:

	Natriumbicarbonat/ andere abrasive Pulver	Glycin	Erythritol
Biofilm	+	+	+
Starke Verfärbungen	+	-	+
Junger Zahnstein	+	-	+

Tabelle 11: Wirksamkeit der Prophylaxepulver gegenüber verschiedenen Auflagerungen (Quelle: Herstellerangaben: ems-dental.de)

2.4 Verfärbungen

Die Zahnfarbe natürlicher Zähne wird durch Licht erzeugt, das durch den Zahnschmelz und das darunter liegenden Dentin reflektiert und gestreut wird [Seghi et al., 1986]. Die Wahrnehmung der Zahnfarbe kann durch Lichtbrechung und Streuung durch den Zahnschmelz beeinflusst werden [William Joseph O'Brien et al., 1989]. So können Zähne als weniger weiß angesehen werden, wenn der Zahnschmelz dünner und transparenter und die Farbe des darunter liegenden Dentins dominanter wird [Eriksen et al., 1978; Vogel, 1975]. Auch variiert die Zahnfarbe innerhalb eines Zahnes. Untersuchungen an extrahierten Zähnen haben gezeigt, dass der Zahnfleischbereich etwas dunkler als der Mittelteil und die Schneidekante ist [William J O'Brien et al., 1997]. Die Zahnfarbe variiert aber auch zwischen den Zahntypen desselben Gebisses. So sind Eckzähne häufig dunkler als Schneidezähne [Hasegawa et al., 2000]. Die Farbe eines Zahnes hängt von seinen extrinsischen und intrinsischen Eigenschaften ab. Folglich können auch Verfärbungen von Zähnen extrinsischer oder intrinsischer Natur sein, oder sich als Kombination von beiden darstellen [Brook et al., 2007; Hattab et al., 1999].

2.4.1 Extrinsische Verfärbungen

Viele Zahnverfärbungen an permanenten Zähnen sind extrinsischen Ursprungs [Gebreselassie et al., 2002] und werden vorwiegend durch Ablagerungen auf die Zahnoberfläche verursacht. Bei diesen extrinsischen Verfärbungen handelt es sich häufig um Pigmente aus Nahrungsmitteln, Getränken und Tabakrauch, die in Zahnstein oder Plaque eingebettet wurden. So verursacht Tabakrauch dunkelbraune bis schwarze Flecken, die das zervikale Drittel der Zähne bedecken. Am häufigsten sind gelbbraune Flecken, hervorgerufen durch die Ansammlung von dentaler Plaque und Nahrungsresten bei schlechter Mundhygiene. Chromogene Bakterien, die sich auf der Zahnoberfläche befinden, können Flecken auf den Labialflächen von Milchzähnen verursachen, typischerweise am Zahnfleischrand. Grüne Flecken werden durch fluoreszierende Bakterien und Pilze wie *Penicillium* verursacht und orangene durch Bakterien wie *Flavobacterium lutescens*. Auch Metallverbindungen können Verfärbungen verursachen, wenn metallhaltige Stäube durch Einatmen in die Mundhöhle eingebracht werden und dort mit dem Zahnbelag in Wechselwirkung treten [Brook et al., 2007; Hattab et al., 1999].

2.4.2 Intrinsische Verfärbungen

Intrinsische Verfärbungen sind auf chromogene Materialien zurückzuführen, die entweder in den Zahnschmelz oder das Dentin eingebaut wurden. Sie können sowohl während der Zahnentwicklung als auch nach Zahndurchbruch entstehen. Diese Verfärbungen können zu erheblichen kosmetischen Problemen führen und lassen sich nicht durch Zähneputzen oder professionelle Zahnreinigung entfernen. Beispiele für entwicklungsgestörte intrinsische Verfärbungen sind Amelogenesis Imperfecta, Dentogenesis Imperfecta, Tetrazyklin-Verfärbungen und Dental-Fluorosen. Posteruptive intrinsische Verfärbungen sind häufig auf Traumata oder Infektionen zurückzuführen. So kann das Trauma eines Milchzahnes zu Schmelzdefekten auf der Oberfläche des darunter liegenden permanenten Zahnes führen [Brook et al., 2007]. Ein Trauma der bleibenden Zähne kann zu Blutungen innerhalb des Zahnes führen, wobei Blut in die Dentintubuli gedrückt wird und initial eine rosa Färbung des Zahnes entsteht. Im weiteren Verlauf wird das Hämoglobin abgebaut und in Eisensulfid umgewandelt, was in einer Schwarzfärbung resultiert [Andreasen, 1986]. Eine Infektion kann eine Nekrose der Zahnpulpa verursachen, wodurch eine graubraune Färbung entstehen kann. Wenn sich die Infektion von einem Milchzahn auf den Follikel eines sich entwickelnden bleibenden Zahns ausbreitet, kann eine weiße, gelbe oder braune Trübung auftreten [Brook et al., 2007].

3. Zielsetzung und Arbeitshypothese

Aus den bisher gemachten Aussagen ergeben sich zusammenfassend folgende Ausgangspunkte für die vorliegende Untersuchung:

Parodontale Therapien werden in den nächsten Jahren national weiter an Bedeutung gewinnen. Aufgrund der bekannten Ätiologie parodontaler Erkrankungen kommt der UPT eine zentrale Rolle innerhalb des Therapiekonzepts der Parodontitisbehandlung zu.

Im Bereich der UPT hat sich in den letzten Jahrzehnten die Luft-Pulver-Wasserstrahltechnik als Ergänzung der herkömmlichen Reinigung mittels Hand-, Schall- und Ultraschallinstrumenten etabliert.

Vorteil der Luft-Pulver-Wasserstrahltechnik unter Verwendung abrasiver Prophylaxepulver ist ihre gute Eignung beim Entfernen starker Verfärbungen v.a. an schwer erreichbaren Stellen im supragingivalen Bereich. Ein Nachteil ist ihre eingeschränkte subgingivale Einsatzmöglichkeit.

Mit den seit 2003 zur Verfügung stehenden niedrig-abrasiven Pulvern ist eine Anwendung der Luft-Pulver-Wasserstrahltechnik jetzt auch im subgingivalen Bereich möglich und in Studien als vorteilhaft dokumentiert (ausreichende Wirksamkeit, besserer Patientenkomfort, Schonung der Wurzeloberflächen). Zudem kann beim Einsatz niedrig-abrasiver Pulver auf den Schritt der Politur verzichtet werden (Zeitersparnis).

Unter den niedrig-abrasiven Pulvern stehen Pulver auf Glycin- und auf Erythritolbasis zur Verfügung.

Vor diesem Hintergrund vergleicht die vorliegende Untersuchung, ob der Einsatz dieser niedrig-abrasiven Pulver das Färbeverhalten von Zahnoberflächen nach erfolgter Reinigung beeinflusst.

Ziele der vorliegenden Untersuchung sind:

1. Die Entwicklung eines in vitro Modells, in dem das Anfärbeverhalten von Zahnoberflächen nach Anwendung von unterschiedlichen Prophylaxepulvern sowie von Polierpaste reproduzierbar erfasst werden kann.
2. Die Gewinnung von Erkenntnissen in Bezug auf die Wirkung zweier Prophylaxepulver auf die Farbstabilität von Zahnschmelz nach einer professionellen Zahnreinigung im Vergleich zur herkömmlichen Zahnpolitur mit Gummikelch und Polierpaste.

In den Vergleich einbezogen werden die Prophylaxepulver AirFlow Plus und AirFlow Perio (EMS, Nyon, Schweiz) sowie die Polierpaste Cleanic Prophy Paste flouride (Kerr Hawe, Bioggio, Schweiz)

Die Arbeitshypothese lautet: Es besteht ein Unterschied im Anfärbeverhalten von Zahnoberflächen nach Anwendung von EMS Airflow Plus¹ (Erythritolbasiert), EMS Airflow Perio² (Glycinbasiert) und Kerr Hawe Cleanic Prophy Paste³.

¹ Im Folgenden abgekürzt als *Pulver Plus*.

² Im Folgenden abgekürzt als *Pulver Perio*.

³ Im Folgenden abgekürzt als *Polierpaste*.

4. Material und Methode

4.1 Studiendesign und Versuchsanordnung

Es handelt sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine prospektive, randomisierte, kontrollierte in-vitro Studie. Eine Zustimmung der zuständigen Ethikkommission (Aktenzeichen BB 093/19) lag vor.

Ein Probenumfang von insgesamt 153 extrahierten Zähnen wurde in 3 Versuchsdurchläufen innerhalb von 3 Vergleichsgruppen hinsichtlich ihres Färbeverhaltens experimentell vermessen:

Gruppe 1: Verfahren Pulver Perio vs. Pulver Plus

Gruppe 2: Verfahren Pulver Plus vs. Polierpaste

Gruppe 3: Verfahren Polierpaste vs. Pulver Perio

Pro Gruppe erfolgten drei Versuchsdurchläufe. Die ersten beiden Versuchsdurchläufe dienten dem Ziel, zu prüfen, ob die Ergebnisse reproduzierbar sind. Im dritten Durchlauf wurde die Vorgehensweise modifiziert, um zusätzliche Erkenntnisse hinsichtlich der Farbstabilität zu erhalten. In jedem Durchlauf wurden in jeder Gruppe jeweils ein Drittel der Zähne verwendet (Tabelle 12). Die Datenstruktur bietet eine hohe Verwechslungsgefahr der Begriffe Gruppe und Durchlauf. Deshalb ist es wichtig, in der Auswertung darauf zu achten, welcher der beiden Begriffe beschrieben wird. Zur besseren Übersicht zeigt Tabelle 12 die Gesamtverteilung aller Proben auf die einzelnen Gruppen und Durchläufe.

4. Material und Methode

	Gruppe 1		Gruppe 2		Gruppe 3		
	Zahnhälfte 1	Zahnhälfte 2	Zahnhälfte 1	Zahnhälfte 2	Zahnhälfte 1	Zahnhälfte 2	
	Prüfgruppe	Kontrollgruppe	Prüfgruppe	Kontrollgruppe	Prüfgruppe	Kontrollgruppe	
	Pulver Perio	Pulver Plus	Pulver Plus	Polierpaste	Polierpaste	Pulver Perio	
Durchlauf 1 09.09.2019 - 16.09.2019	Zahnprobe Nr. 1-17		Zahnprobe Nr. 52-68		Zahnprobe Nr. 103-119		51 Zähne
Durchlauf 2 16.09.2019 - 23.09.2019	Zahnprobe Nr. 18-34		Zahnprobe Nr. 69-85		Zahnprobe Nr. 120-136		51 Zähne
Durchlauf 3 (modifiziert) 23.09.2019 - 30.09.2019	Zahnprobe Nr. 35-51		Zahnprobe Nr. 86-102		Zahnprobe Nr. 137-153		51 Zähne
	51 Zähne		51 Zähne		51 Zähne		Gesamt 153 Zähne

Tabelle 12: Übersicht über die Verteilung der Zahnproben auf die verschiedenen Gruppen und Durchläufe

4.2 Untersuchungsgut

Die Untersuchung wurde an insgesamt 153 extrahierten Zähnen von Patienten des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde in Greifswald sowie von ausgewählten externen Zahnarztpraxen durchgeführt. Die Anzahl der Probenzähne wurde durch statistische Auswertung (Poweranalyse) der Vorversuche bestimmt. In der genannten Einrichtung und den niedergelassenen Praxen wurden Zähne gesammelt, die nicht oder kaum kariös geschädigt waren und die aus Therapiegründen extrahiert werden mussten. Die Entscheidung zur Extraktion fällt der behandelnde Zahnarzt in der jeweiligen Abteilung bzw. Praxis. Die Probanden blieben anonym. Die Zähne wurden nach Extraktion in isotonischer Kochsalzlösung (0,9%, Braun, Melsungen, Deutschland) gelagert und anschließend im Labor weiterbehandelt.

Die Zahnproben wurden selektiert und anschließend direkt bearbeitet bzw. bis zum nächsten Versuchsabschnitt für wenige Tage aufbewahrt.

Die Probenspender wurden mündlich und schriftlich über die Art und Bedeutung der Untersuchungen aufgeklärt.

Folgende Kriterien wurden der Probenauswahl zugrunde gelegt:

<u>Allgemeines Einschlusskriterium:</u> <ul style="list-style-type: none">• Zähne, die aus zahnärztlicher Sicht nicht mehr erhaltungswürdig oder erhaltungsfähig waren und extrahiert werden mussten
<u>Ausschlusskriterien in Bezug auf die Gesamtmenge der zunächst einbezogenen Proben:</u> <ul style="list-style-type: none">• Schädigung der Zahnoberfläche durch Karies• Schädigung der Zahnoberfläche durch Füllungen• Schädigung der Zahnoberfläche durch Extraktionsvorgang• Milchzähne• Zähne mit einer vestibulären Schmelzfläche < 3mm

Tabelle 13: Einschluss-/ Ausschlusskriterien der Proben

Die selektierten Proben hatten folgenden Ursprung:

Zentrum für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde Greifswald	79 Probenzähne
Praxis Dr. Hermann Staus Darmstadt	50 Probenzähne
Gemeinschaftspraxis Appel Darmstadt	24 Probenzähne

Tabelle 14: Ort der Probenentnahme

Von den 153 angefertigten Zahnproben konnten im Zuge des Versuches 152 Proben ausgewertet werden. Lediglich während des zweiten Versuchsdurchlaufs löste sich in Gruppe 1 eine Zahnhälfte aus der Halterung und wurde unbrauchbar.

4.3 Ort der Datenerhebung

Die Daten wurden im Labor für Zahnerhaltungskunde des Zentrums für Zahn- Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Greifswald erhoben.

4.4 Versuchsdurchführung

Zunächst wird hier ein schematischer Ablauf der Versuchsdurchführung (jeweils bezogen auf einen Durchlauf, s.o. 4.1) in Form eines Flussdiagramms vorangestellt. Der technische Ablauf wird im Anschluss an dieses Flussdiagramm ausführlich erläutert.

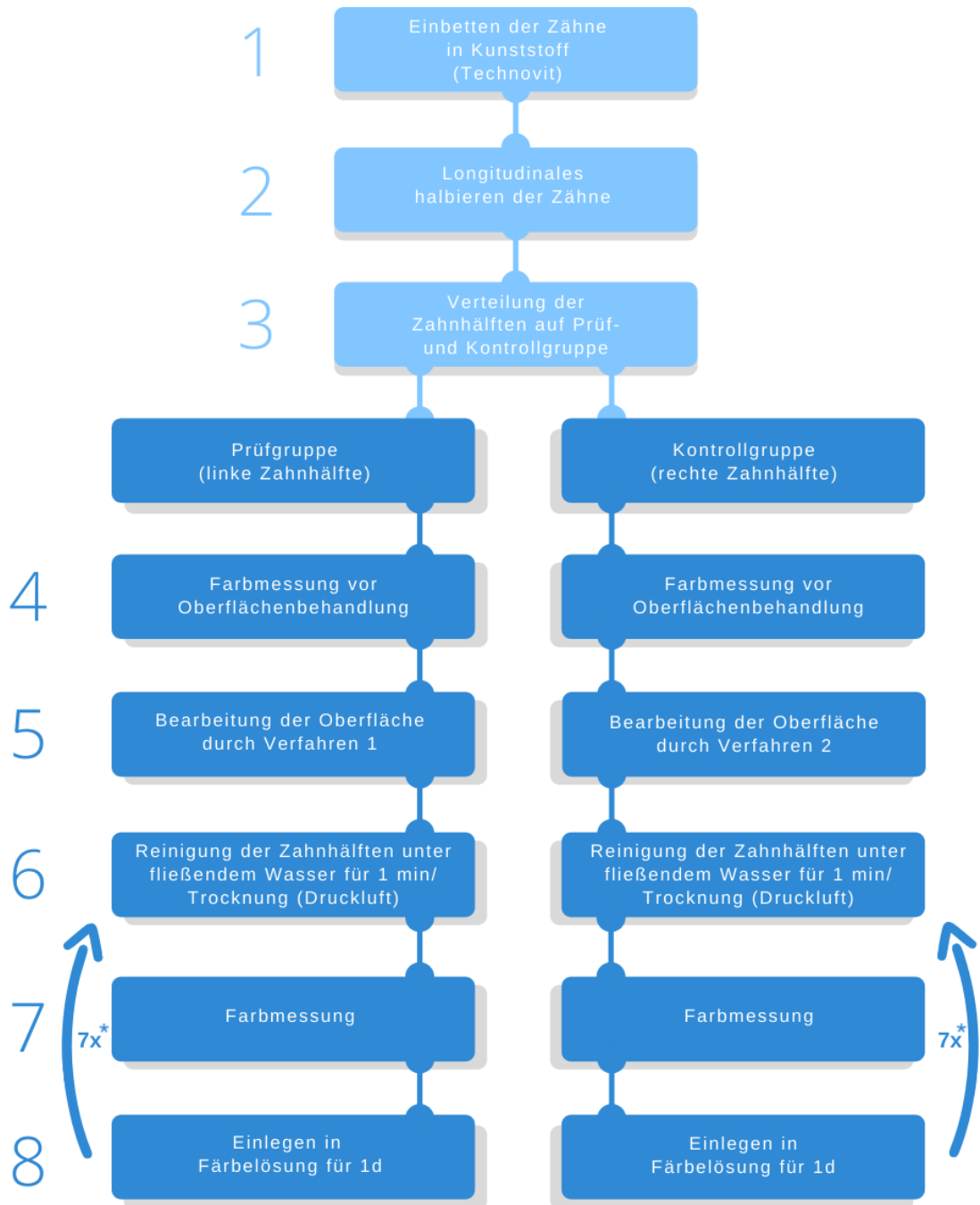


Abbildung 5: Studienablauf (pro Durchlauf) im Flussdiagramm (Quelle: Eigene Grafik)

*Die Schritte 6-8 wurden für jede Zahnprobe jeweils 7 mal im Abstand von 24h wiederholt

4.4.1 Einbetten der Zähne

Nach Entnahme, Lagerung und Selektion der den Versuchskriterien entsprechenden Zähne folgte eine partielle Einbettung der Versuchszähne in Methylmethacrylat Kunststoff (Technovit 4071, Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland). Das Einbetten diente zum einen der späteren Fixierung der Zähne im Sägemikrotom beim longitudinalen Halbieren (Abb. 7D), zum anderen der exakten Positionierung und Repositionierung der Proben unter dem Fotomikroskop in den einzelnen Färbephasen des Versuches.

Um ein einheitliches Einbetten der Zähne zu ermöglichen, wurde eine Silikonform aus Duosil S (SHERA Werkstoff-Technologie, Lemförde, Deutschland) hergestellt, welche am Boden eine Lego-Platte als Fassung für 2 Legosteine (Lego®, Billund, Dänemark) enthielt (Abb. 6B). In diese wurden vor Beginn der Einbettung 2 Legosteine (Lego® 4x2) eingesetzt und im Anschluss in den Boden der Proben einpolymerisiert (Abb. 7 und 8C). Der Einsatz von Legosteinen erfolgte aufgrund ihrer hervorragenden Fertigungsgenauigkeit und wurde bereits in diversen vorangegangenen wissenschaftlichen Arbeiten erprobt. Vgl. [Caramanos et al., 2010; Xiao et al., 2016]

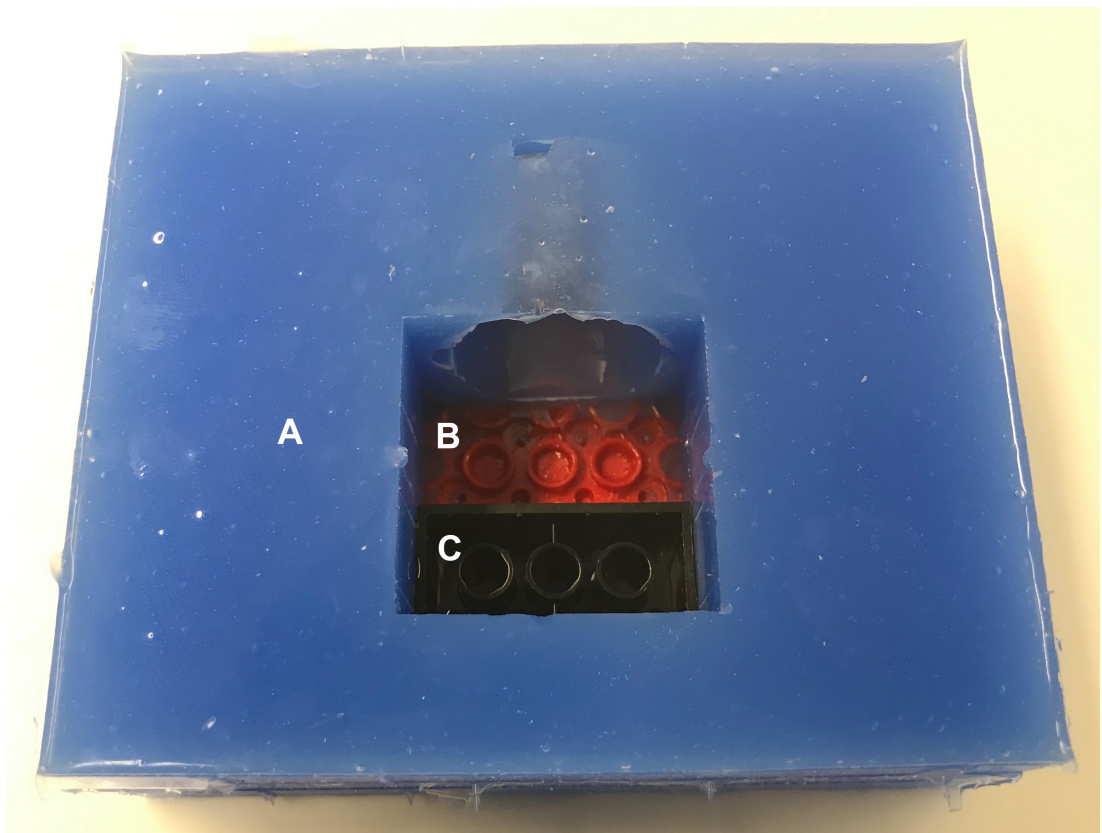


Abbildung 6: A: Silikonform aus Duosil S, B: Lego-Platte als Fassung für die Lego Steine, C: Legosteine 4x2 in richtiger Position

Die Zähne wurden beim Einbetten mit der oralen Fläche der Krone und Wurzel im Kunststoff versenkt, sodass die Vestibulärflächen nicht mit Kunststoff in Berührung kamen. Um ein Austrocknen des Zahnes während des Polymerisationsvorgangs zu vermeiden, wurde die Silikonform in isotonische Kochsalzlösung (0,9 %, Braun, Melsungen, Deutschland) getaucht.

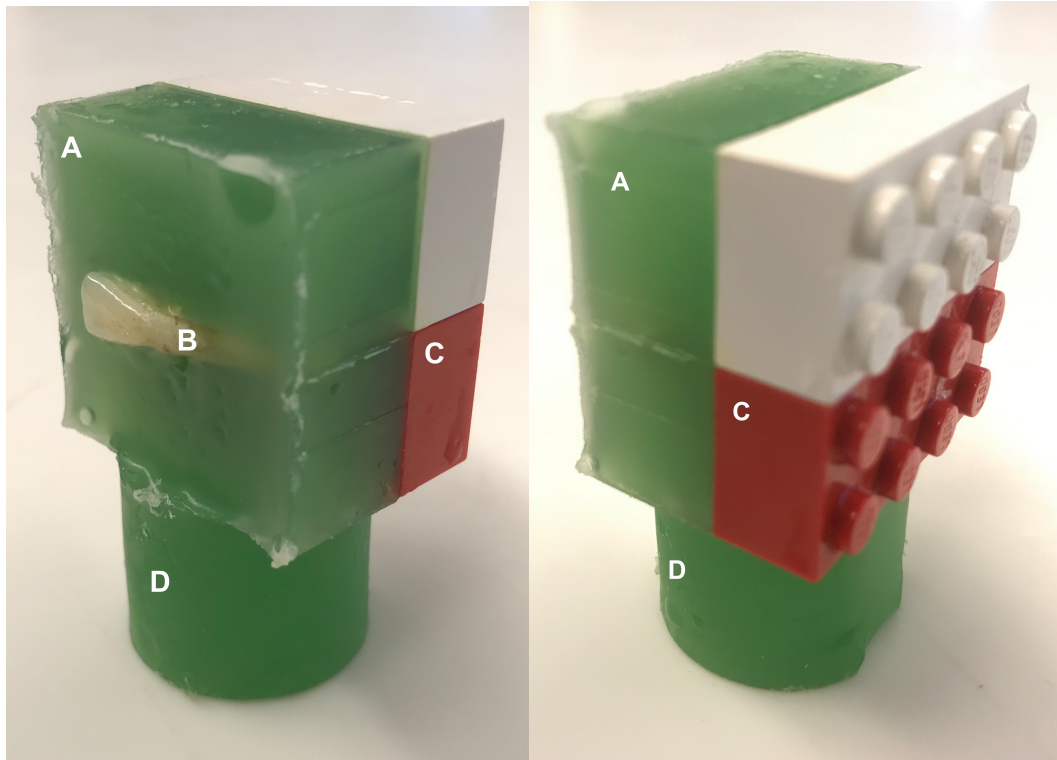


Abbildung 7 und 8: Vorder- und Rückseite eines eingebetteten Zahns: **A:** Technovit 4071 Kunststoff, **B:** Zahn, **C:** einpolymerisierte Legosteine, **D:** Sockel zur Fixierung im Sägemikrotom

4.4.2 Longitudinales Halbieren der Zähne

Mit Hilfe eines Sägemikrotoms Leica SP1600 (Leica, Wetzlar, Deutschland) wurden die Zähne longitudinal halbiert, sodass jede Zahnhälfte mitsamt der Technovit Fassung an einem der beiden Legosteine befestigt war (Abb. 9 und 10). Beim Halbieren wurde darauf geachtet, dass die Vestibulärfläche der Zahnkrone in zwei gleich große Hälften geteilt wurde (Abb. 11 und 12).

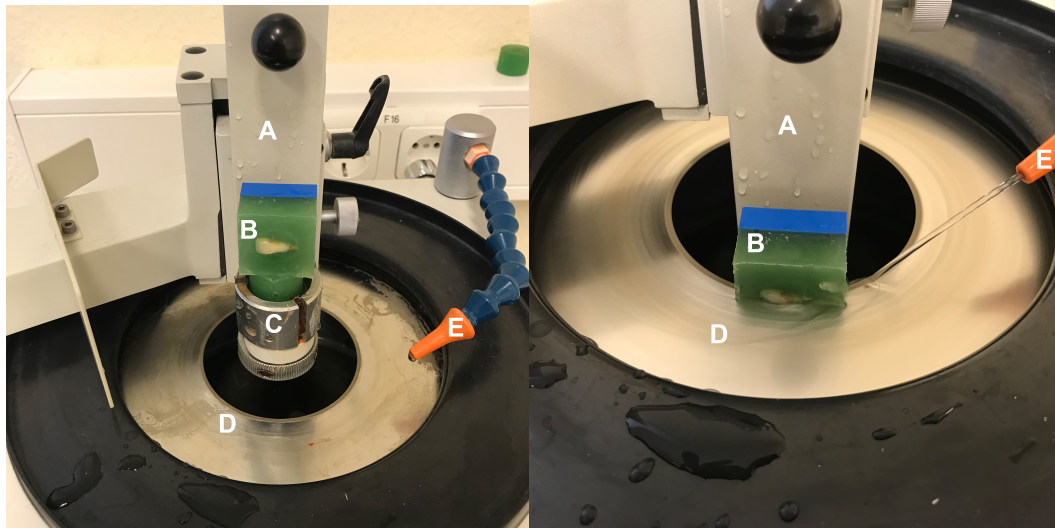


Abbildung 9 und 10: Sägemikrotom: A: Führungsarm, B: Eingebetteter Zahn, C: Probenhalter mit eingespannter Probe, D: Diamantbeschichtetes Sägeblatt mit Innenloch, E: Wasserkühlung



Abbildung 11 und 12: Vorder- und Rückseite eines eingebetteten Zahns nach dem longitudinalen Halbieren

4.4.3 Verteilung der Zähne auf Prüf- und Kontrollgruppen

Innerhalb der drei Verfahrens-Vergleichs-Gruppen erfolgte eine Aufteilung der Zahnhälften in Prüfproben und Kontrollproben:

	Prüfproben	Kontrollproben
	Zahnhälfte 1	Zahnhälfte 2
	Verfahren 1	Verfahren 2
Gruppe 1	Pulver Perio	Pulver Plus
Gruppe 2	Pulver Plus	Polierpaste
Gruppe 3	Polierpaste	Pulver Perio

Tabelle 15: Verteilung der Zähne auf Prüf- und Kontrollgruppen

4.4.4 Farbmessung vor Oberflächenbearbeitung

Nach Einbetten, Halbieren und Verteilen des Untersuchungsgutes, erfolgte die Farbestimmung der unbehandelten Kronenoberfläche. Das genaue Prozedere ist weiter unten unter dem Punkt „Farbmessung nach Oberflächenbearbeitung“ erläutert.

4.4.5 Bearbeitung der Zahnoberflächen

Gummikelch und Polierpaste: Die ausgewählten Zahnhälften wurden mithilfe von Gummikelch (Prophy Cups, Directa, Upplands Väsby, Sweden), Polierpaste (Cleanic Prophy Paste flouride, Kerr Hawe, Bioggio, Schweiz) und einem grünen Winkelstück (Intramatic LUX3 7LH, Kavo, Biberach, Deutschland) nach Herstellerangaben für 10s bei einer Umdrehungszahl von 2400 U/min poliert.

Prophylaxepulver: Eine Standard Pulver-Wasser-Strahleinheit Airflow Prophylaxis Master (EMS, Nyon, Schweiz) (Abb. 13) wurde für diese Studie benutzt und nach Herstellerangaben installiert. Die Pulverkammer der Einheit wurde bis zum Maximum mit den Pulvern Perio (EMS, Nyon, Schweiz) bzw. PLUS (EMS, Nyon, Schweiz) gefüllt und vor sowie nach Bearbeitung der Zähne gewogen, um einerseits die gleiche Füllmenge der Pulverkammer vor Benutzung zu gewährleisten (200g), sowie andererseits einen Vergleich der verbrauchten Pulvermenge durch die Bearbeitung zu bekommen. Petersilka et. al. zeigten in einer Studie 2002, dass der Pulverausstoß von Pulver-Wasser-Strahleinheiten je nach Füllstand der Pulverkammer stark variieren kann und gab die Empfehlung dies bei künftigen Untersuchungen zu berücksichtigen [G. J. Petersilka et al., 2002]. Die Zahnhälften wurden für 10s in einer Schwenk-Bewegung bei einer Druckeinstellung von 4 LEDs und einer Wasserzufuhr von 100% dem Pulver-Wasserstrahl ausgesetzt. Der Abstand zwischen Düse und Zahnoberfläche betrug 4mm, der Winkel zwischen Düse und Zahnoberfläche betrug 45°. Um den Abstrahlwinkel sowie Abstand genau einhalten zu können, wurde das AirFlow Handstück fest in einem Winkel von 45° zur Tischebene eingespannt (Abb. 14A und B). Die Verwendung einer höhenverstellbaren Halterung für die Proben (Abb. 14C) ermöglichte das genaue Adjustieren der Proben mithilfe eines 4mm Plexiglas Prüfkörpers.

4. Material und Methode



Abbildung 13: AIRFLOW® Prophylaxis Master Einheit (EMS, Nyon, Schweiz), mit Piezon Ultraschall Handstück links, sowie Airflow Handstück rechts (Quelle: www.ems-dental.com)

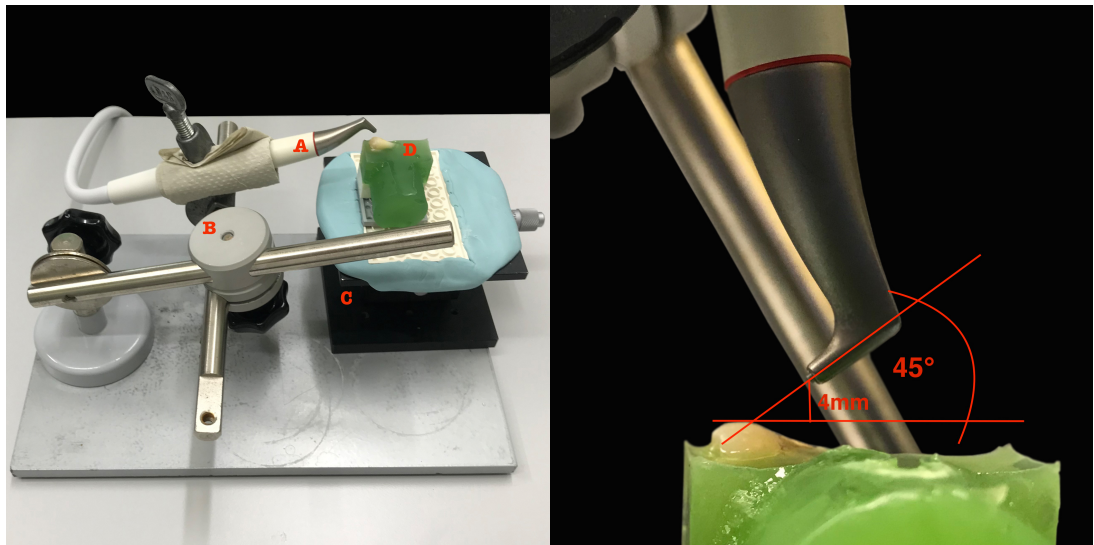


Abbildung 14 und 15: Versuchsaufbau zur Oberflächenbearbeitung der Zahnoberflächen, **A:** AirFlow Handstück fest eingestellt im Winkel von 45° zur Tischoberfläche, **B:** Halterung für AirFlow Handstück, **C:** Höhenverstellbare Halterung für Proben eingestellt auf 4mm Abstand, **D:** Probe, bereit zur Oberflächenbearbeitung

4.4.6 Reinigung/Trocknung

Anschließend wurden die Zahnhälften für jeweils 1 Minute unter fließendem Leitungswasser geschwenkt, um die Zahnoberfläche von flüssigen Kaffeeres-ten zu befreien und vorsichtig für 2 Sekunden mit Druckluft getrocknet. Das Trocknen diente dem Entfernen des Wasserfilms auf der Zahnoberfläche, um Spiegelungen bei der Bildgebung zu minimieren. Ein Austrocknen des Zahnes und eine damit verbundene Farbänderung galt es zu vermeiden.

4.4.7 Farbmessung nach Oberflächenbearbeitung

Fotografie durch Mikroskop: Um vergleichbare Aufnahmen der Zahnhälften zu erzeugen, war es nötig, eine Halterung zu entwickeln, welche die immer gleiche Positionierung der Proben unter dem Fotomikroskop ermöglicht. Hierfür wurde eine Halterung aus Knetsilikon (Lab-Silikon, Henry Schein, Melville, USA) und einer Legoplatte hergestellt (Abb. 16B). Die hohe Fertigungsgenauigkeit von Legosteinen (Ungenauigkeit ca. 20µm) [Quercioli et al., 1998] ermöglichte eine reproduzierbare Positionierung unter dem Fotomikroskop. Eine Messung im Zuge der Vorversuche, bei der eine Probe zu 12 verschiedenen Zeitpunkten unter dem Mikroskop positioniert wurde, ergab ein maximales „Wandern“ eines definierten Bildpunktes (Pixel) von 74,3 µm, was für diesen Versuch als tolerierbar eingestuft wurde (Tab. 16). Die Proben wurden zu jedem Messzeitpunkt (Tab. 18) nach Reinigung unter fließendem Wasser und Trocknung in die definierte Position der Halterung gedrückt.

Die Bildgebung erfolgte durch ein Olympus SZH10 Stereomikroskops (Olympus SZH10, Tokio, Japan) in Kombination mit einer Sony 3CCD Color Video Kamera (Sony, Tokio, Japan). Die Kamera wurde mithilfe eines Sony CMA-D2 Camera Adaptors (Sony, Tokio, Japan), sowie einer Sony RM-C950 Remote Control Unit (Sony, Tokio, Japan) gesteuert. Für die Beleuchtung sorgte eine Olympus Highlight 3001 Kaltlichtquelle (Olympus, Tokio, Japan) mit Kaltlicht-Schwanenhals-Ringleuchte (Olympus, Tokio, Japan) (Abb. 16D).

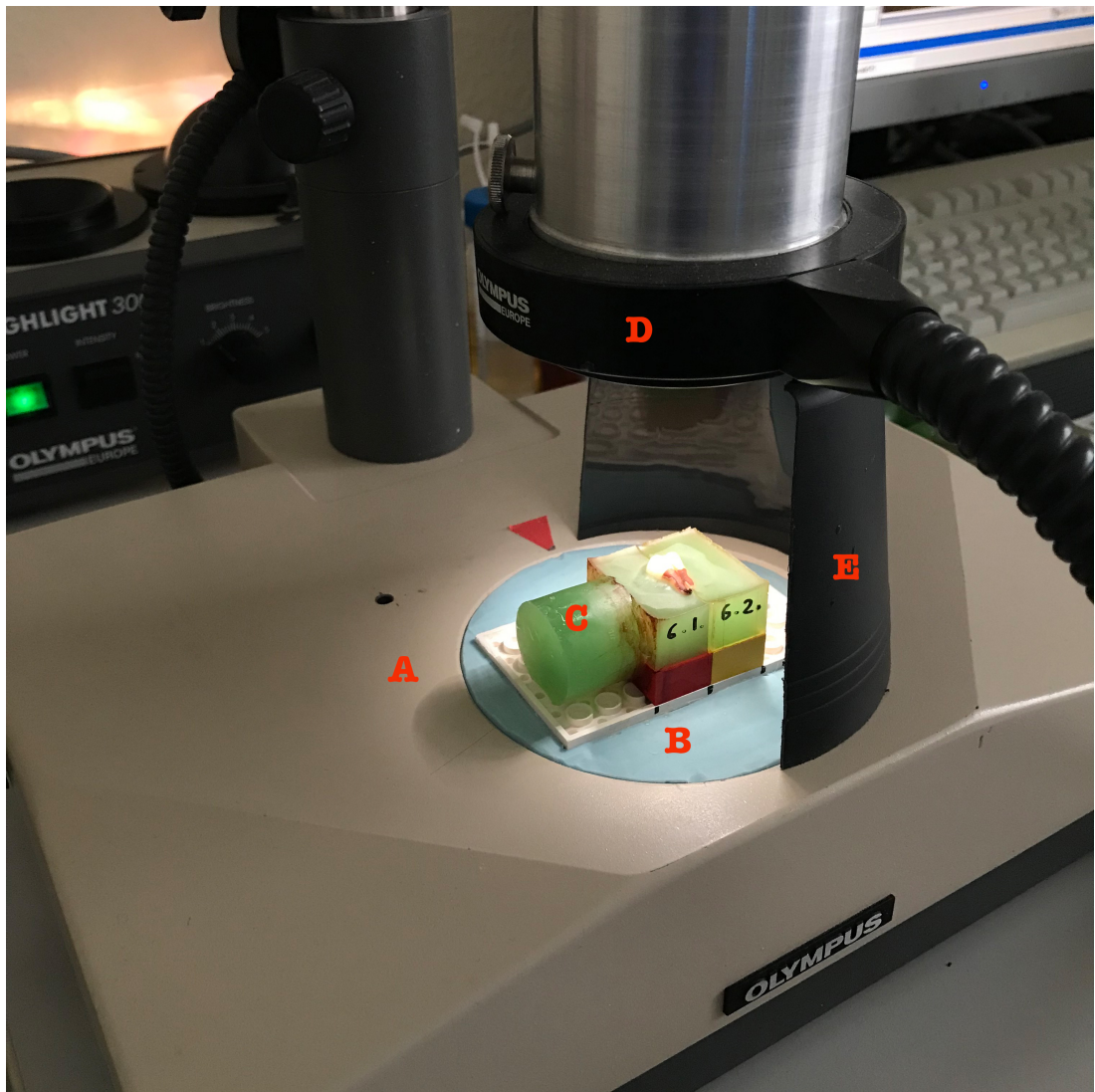


Abbildung 16: Fotografie der Proben unter dem Mikroskop, **A:** Mikroskop, **B:** Silikonhalterung mit Fassung für Legosteine, **C:** Korrekt positionierte Probe unter dem Mikroskop, **D:** Kaltlicht-Schwannenhals-Ringleuchte, **E:** Rechte Hälfte der Lichtbox zum Ausschluss des Umgebungslichtes

Das Mikroskop wurde auf fünffache Vergrößerung eingestellt und so adjustiert, dass eine Testzahnhälfte mittig und im Fokus scharf zu sehen war; die Beleuchtung war auf Helligkeitsstufe drei eingestellt. Das Mikroskop sowie die Steuereinheiten der Kamera und des Lichts wurden für den weiteren Verlauf des Versuchs nicht verstellt oder adjustiert. Um einen Einfluss des Umgebungslichtes auszuschließen, wurde im Anschluss an die Positionierung der Probe eine Lichtdichte Box (Abb. 16E) um die Probe positioniert, sowie die Rollläden des Versuchsraums geschlossen und das Licht ausgeschaltet. Um tagesabhängige Variationen des Mikroskops, der Kamera sowie der Beleuchtung auszuschließen, wurde zu Beginn einer jeden Fotoserie dieselbe neutrale und ungefärbte Zahnhälfte positioniert, fotografiert und ausgewertet.

Mithilfe dieser zusätzlich gewonnenen Daten wurde später eine Baseline-Messung durchgeführt, um die Messgenauigkeit des Versuchsaufbaus zu bewerten. Zwischen den Messungen wurde die Probe in 0,9%tiger Kochsalzlösung (B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) gelagert und in gleicher Weise wie die Versuchsproben vor der Fotodokumentation mit Wasser abgespült und Druckluft getrocknet.

Die Ergebnisse der Vorversuche zeigten, dass reproduzierbare Werte nur dann zu erzielen waren, wenn Lichtquelle und Kamera mindestens 75 min vor den Aufnahmen eingeschaltet worden waren. Im weiteren Verlauf waren die Messwerte dann über mehr als 4 Stunden konstant (Tab. 17). Lichtquelle und Mikroskop wurden deshalb bei allen Versuchen mindestens 90 min vor Versuchsbeginn eingeschaltet. Es wird vermutet, dass ein Erwärmen der Lampe und Kameratechnik in den ersten 75 min zu den Messfehlern führte.

Messung	X-Wert (in Pixeln)	Y-Wert (in Pixeln)
1	277	232
2	278	231
3	277	232
4	276	230
5	275	231
6	278	232
7	277	231
8	279	232
9	278	230
10	279	232
11	279	231
12	280	231
Durchschnitt	277,75	231,25

Tabelle 16: Vorversuch zur Reproduzierbarkeit der exakten Positionierung. Die Position eines markanten Bildpunktes (Pixel) wurde in X- und Y- Achse bestimmt. Die 12 verwendeten Bilder wurden zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen und zwischen jedem der Bilder wurde die Probe abgenommen, gelagert und dann neu positioniert. Die Größe eines Pixels betrug $27\mu\text{m} \times 27\mu\text{m}$. Die Rot markierte Messung Nr. 5 hatte damit die größte Ungenauigkeit. Der markante Bildpunkt wanderte um $74,3\mu\text{m}$ im Vergleich zum Durchschnitt der restlichen Messungen.

Zeitpunkt	R1	G1	B1	R2	G2	B2
1 min	154	142	99	173	160	111
5 min	151	135	96	170	155	109
15 min	147	130	93	168	150	107
30 min	154	135	99	165	147	104
45 min	148	129	93	164	145	103
60 min	149	129	94	167	148	105
75 min	145	125	89	166	144	101
90 min	144	125	88	166	145	102
105 min	144	125	89	165	146	102
120 min	144	124	89	165	145	102
150 min	143	123	88	165	145	102
240 min	143	123	88	165	144	101

Tabelle 17: Vorversuch zur Reproduzierbarkeit der Zahnfarbe der immer selben Probe. Ein in Kochsalzlösung gelagerter Testzahn wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten unter dem Mikroskop positioniert, fotografiert sowie die RGB Werte an 2 verschiedenen Stellen bestimmt. Die Auswertung ergab, dass in den ersten 60 min keine reproduzierbaren Werte messbar waren. Ab Minute 75 blieben die Werte konstant. Lichtquelle und Mikroskop wurden deshalb bei allen Versuchen mind. 90 min vor Versuchsbeginn eingeschaltet.

Auswertung durch Adobe Photoshop CS6: Nach Anfertigung der Bilder wurden diese mithilfe der Computersoftware Adobe Photoshop CS6 (Adobe, San José, USA) ausgewertet. Hierfür wurde zunächst ein benutzerdefiniertes Raster über die einzelnen Fotos gelegt, um das Bild in 1938 gleich große Felder zu teilen. Anschließend wurden drei repräsentative Felder (Vgl. Abb. 17) spontan ausgewählt, in welchen im Laufe des Versuchs bei allen Fotos derselben Zahnhälfte die Farbestimmung erfolgte. Von den drei Feldern befand sich je eines im oberen, eines im mittleren und eines im unteren Drittel der Zahnkrone. Neben der Lokalisierung waren folgende Kriterien für die Auswahl der Felder wichtig:

- 1) Ausschluss von Spiegelungen durch die Zahnoberfläche
- 2) Ausschluss von Schattenwurf
- 3) Ausschluss von punktuellen Verfärbungen oder Oberflächenschäden (Abb. 17)

4. Material und Methode

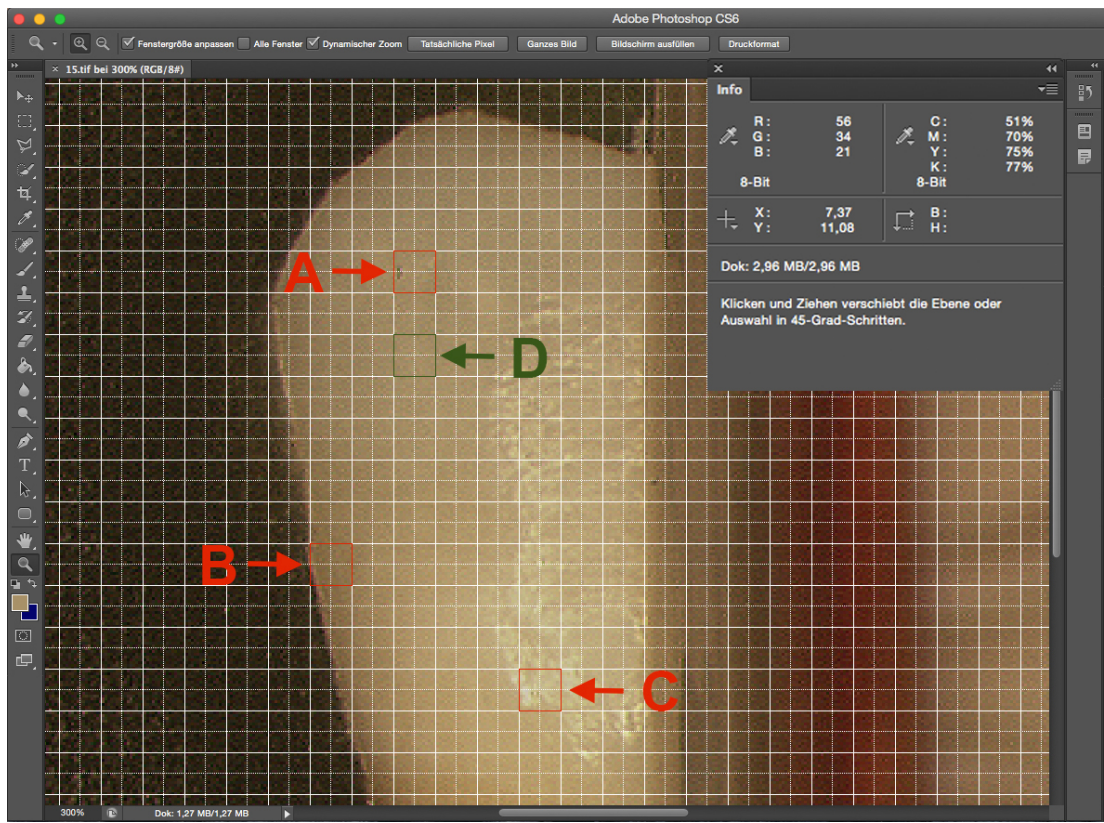


Abbildung 17: Bestimmung eines Repräsentativen Feldes zur Farbmessung; **A:** Ausschluss durch punktuelle Verfärbung, **B:** Ausschluss durch Schattenwurf, **C:** Ausschluss durch Spiegelung, **D:** Geeignetes Feld

Die den ausgewählten Feldern zugeordneten X-, und Y-Koordinaten (Abb. 18C) wurden für jede Zahnhälfte notiert. Dies ermöglichte im weiteren Verlauf des Versuchs die ausgewählten Felder auf allen Bildern eindeutig zu identifizieren und auszuwerten. Die Farbbestimmung erfolgte mithilfe des Pipette-Werkzeugs (Abb. 18D). Dabei wurde unter maximaler Vergrößerung des Bildes das zentrale Pixel im ausgewählten Feld anvisiert und ein zirkulärer Bereich von 11x11 Pixeln vermessen (Abb. 18A). Der Durchschnittswert dieser 121 Bildpunkte wurde in der sogenannten RGB-Farbskala abgelesen (Abb. 18B). Dabei ist jede Farbe durch ihren Anteil Rot (R), Grün (G), und Blau (B) exakt definiert. Die Farbe Weiß nimmt dabei die Werte R:255, G:255, B:255 ein. Schwarz ist definiert als R:0, G:0, B:0.

4. Material und Methode

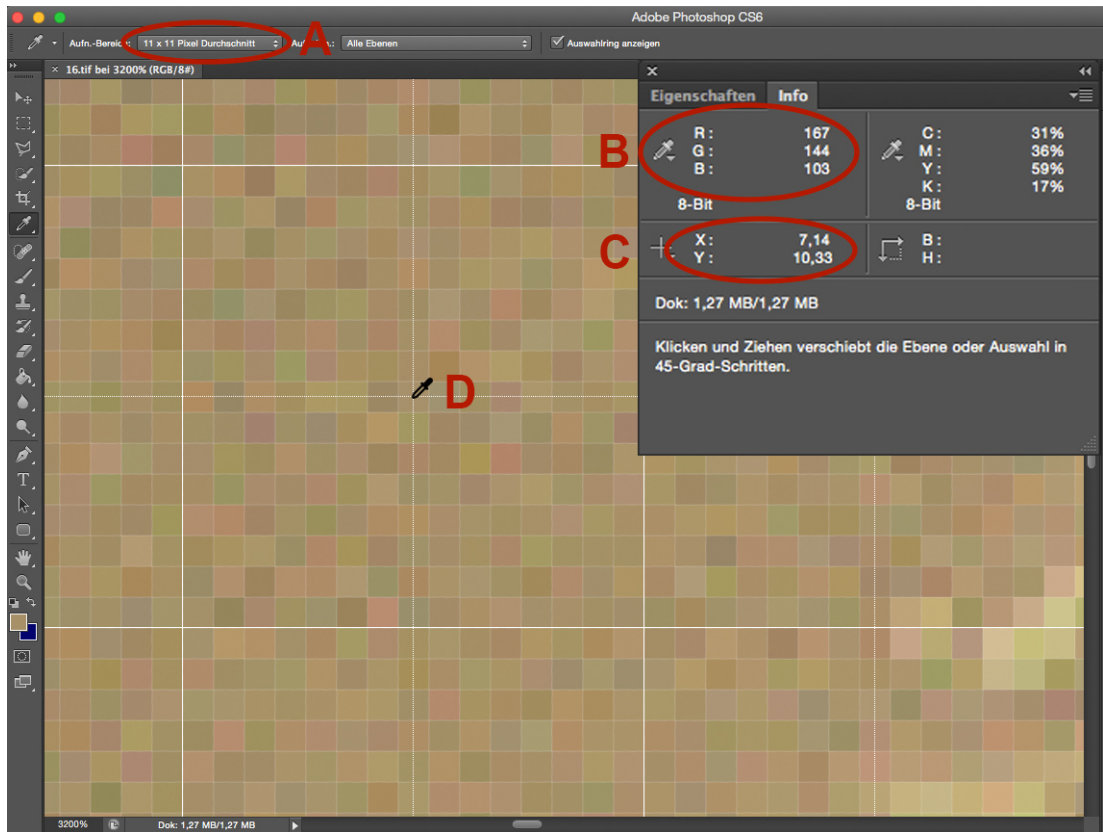


Abbildung 18: Vermessung des zuvor bestimmten Bildbereichs mithilfe des Pipette-Werkzeugs; **A:** Menge der Bildpunkte, die zu einem Durchschnittsfarbwert gebildet wird (11x11 Pixel), **B:** Durchschnittliche RGB-Werte des ausgewählten Bereichs, **C:** X- und Y-Koordinaten des Zentralen Bildpunktes, **D:** Pipette-Werkzeug

4.4.8 Einlegen der Proben in Färbelösung:

Die Färbelösung wurde in allen drei Versuchsdurchläufen identisch hergestellt. In einer MELITTA EASY II 1023-02 Filterkaffeemaschine (Melitta, Minden, Deutschland) wurden insgesamt 8 l Kaffee pro Versuchsdurchlauf als Färbelösung zubereitet. Dafür wurden in 8 Brühdurchläufen jeweils 60 g Kaffeepulver der Marke Jakobs Krönung Kräftig (Jacobs Douwe Egberts DE GmbH, Bremen, Deutschland) mit 1000 ml Leitungswasser eingefüllt und auf höchster Stufe gekocht. Die Färbelösung wurde im Anschluss auf Raumtemperatur abgekühlt und bis zum nächsten Versuchsabschnitt für wenige Stunden in Glasflaschen aufbewahrt.

Nach Bestimmung der Grundzahnfarben vor und nach der Oberflächenbearbeitung, wurden die Proben nach Tabelle 18 in die Färbelösungen eingelegt und zu den angegebenen Zeitpunkten abgespült, getrocknet, fotografiert und vermessen.

Messzeitpunkte	t-0*	t+0*	1d	2d	3d	4d	5d	6d	7d
----------------	------	------	----	----	----	----	----	----	----

Tabelle 18: Messzeitpunkte zur Farbbestimmung; * t-0 steht für die Farbmessung vor der Oberflächenbearbeitung, * t+0 steht für die Farbmessung nach Oberflächenbearbeitung

Modifikation im 3. Durchlauf:

Um zusätzliche Informationen auf den Einfluss der Inhaltstoffe der Prophylaxemittel auf das Färbeverhalten der Zahnoberflächen zu gewinnen, wurde der Versuchsablauf im 3. Durchlauf modifiziert. Zusätzlich zu dem oben beschriebenen Ablauf wurden die Proben vor jedem Einlegen in die Färbelösung für jeweils 1 min in eine Lösung aus Aqua Dest (B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) und dem jeweiligen Prophylaxemittel getaucht und anschließend unter fließendem Wasser abgespült.

Herstellung der Lösungen:

Zur Herstellung der einzelnen Lösungen wurde 1 l Aqua Dest (B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) in einen Glaszylinder gefüllt und mit jeweils 100g Pulver Plus, Pulver Perio oder Polierpaste für 5 min verrührt. Anschließend wurde die Lösung mithilfe eines Glastrichters mit eingelegtem Filterpapier abfiltriert.

4. Material und Methode

4.4.9 Dokumentation der Daten

Bei der Auswertung wurden die zu jedem Zeitpunkt gemessenen R-, G- und B-Werte in eine Excel Tabelle eingetragen (Beispiel Tabelle 19).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Versuchsdurchlauf 1			Färbemittel: Kaffee			Zahnhälfte 1: Pulver Perio						
2	Gruppe 1						Zahnhälfte 2: Pulver Plus						
3													
4													
5	Zahnhälfte 1.1 (links)												
6	Zahnart:		Inziales Drittel				Mittleres Drittel				Gingivales Drittel		
7			Messpunkt: X: 13,4	Y: 14,5			Messpunkt: X: 12,6	Y: 11,4			Messpunkt: X: 12,2	Y: 6,7	
8			R	G	B		R	G	B		R	G	B
9	t0 - Pulver		145	114	82		164	129	92		162	122	82
10	t0 + Pulver		143	112	80		164	128	92		163	122	82
11	1d		143	112	80		160	122	87		152	109	73
12	2d		143	112	81		158	122	87		150	109	73
13	3d		141	110	80		154	117	84		143	101	68
14	4d		139	107	79		151	113	83		139	96	66
15	5d		138	106	78		149	110	81		136	94	64
16	6d		137	105	77		147	108	80		133	91	63
17	7d		133	100	74		141	102	74		126	84	58
18													
19	Zahnhälfte 1.2 (rechts)												
20	Zahnart:		Inziales Drittel				Mittleres Drittel				Gingivales Drittel		
21			Messpunkt: X: 8,3	Y: 14,1			Messpunkt: X: 9,5	Y: 11,4			Messpunkt: X: 9,1	Y: 6,7	
22			R	G	B		R	G	B		R	G	B
23	t0 - Pulver		141	108	77		160	123	89		157	116	77
24	t0 + Pulver		139	107	75		159	123	88		157	116	77
25	1d		139	105	76		153	116	82		146	103	68
26	2d		139	106	75		152	115	83		143	101	67
27	3d		137	104	74		149	110	80		137	95	63
28	4d		135	101	73		146	107	79		134	92	62
29	5d		134	99	73		143	104	77		130	88	60
30	6d		133	98	72		141	103	76		127	85	58
31	7d		129	94	69		135	96	70		121	79	54

Tabelle 19: Beispiel für die Datenstruktur von Zahnprobe 1 nach Abschluss aller Messungen

4.4.10 Baseline Messung

Um Vergleiche der einzelnen Messungen im Sinne einer Messfehleranalyse zwischen den Versuchstagen anstellen zu können, wurden zusätzlich Baselinemessungen durchgeführt. Hierfür wurde immer dieselbe unbehandelte Zahnprobe zu Beginn eines jeden Versuchstages an 2 Stellen nach dem oben beschriebenen Protokoll vermessen. Zwischen den Versuchstagen erfolgte im Gegensatz zu den restlichen Proben kein Einlegen in eine Färbelösung. Die Probe wurde für die komplette Versuchszeit in isotonischer Kochsalzlösung (0,9%, Braun, Melsungen, Deutschland) gelagert und an den Versuchstagen vermessen. So konnte sichergestellt werden, dass Messunterschiede zwischen den einzelnen Versuchstagen auf Verfärbungen der Zahnoberflächen und nicht auf Messfehler zurückzuführen sind.

4.5 Statistische Auswertungsmethoden

Messfehleranalysen

Es wurden Bland-Altman-Plots erstellt und Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICCs) berechnet.

Der Bland-Altman-Plot ist ein graphisches Verfahren zur Darstellung der Übereinstimmung wiederholter Messungen mit quantitativen Messwerten. Bei dieser grafischen Methode werden in der Regel die Differenzen (oder alternativ die Quotienten) der Messwerte aus zwei verschiedenen Messungen den arithmetischen Mittelwerten derselben Messwerte in einem Koordinatensystem gegenübergestellt. Auf der Y-Achse wird jeweils die Differenz der beiden Werte aufgetragen, auf der X-Achse der Mittelwert dieser beiden Werte. Parallel zur Abszisse wird eine Referenzlinie für den Mittelwert aller einbezogenen Differenzen eingezeichnet, sowie zwei weitere Referenzlinien, die den Mittelwert aller Differenzen plus bzw. minus 1,96-mal der Standardabweichung kennzeichnen und damit den Bereich festlegen, in dem unter Normalverteilungsannahme etwa 95% der beobachteten Differenzen zu erwarten sind. Liegen die Differenzen der Messwerte innerhalb des Bereichs, werden die Messfehler der Methode als klinisch nicht relevant bewertet [Bland et al., 1986; Bland et al., 1999; Hilgers RD. et al., 2019].

ICCs schätzen die Korrelation zwischen individuellen Messungen desselben Targets (R-, G-, oder B-Komponente). Sie sind definiert als Quotient der Varianz zwischen den Proben und der Summe der Varianzen zwischen und innerhalb der Proben [Hilgers RD. et al., 2019].

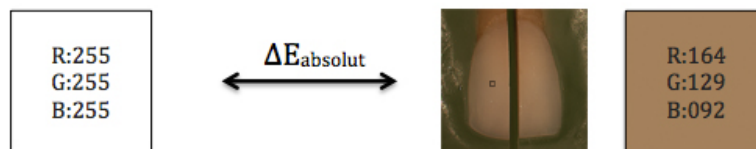
Der ICC bewegt sich zwischen 0 und ± 1 . Man kann ihn einteilen in:

- < 0.90 : schlecht (poor)
- 0.90 bis 0.95 : gut (moderate)
- 0.95 bis 0.99 : sehr gut (substantial)
- > 0.99 fast perfekt (almost perfect)

Da der ICC als ein Maß für die Reliabilität einer Messreihe angesehen werden kann, gibt er den Anteil der Varianz an, der durch tatsächliche Unterschiede im zu messenden Merkmal und nicht durch Messfehler erklärt werden kann.

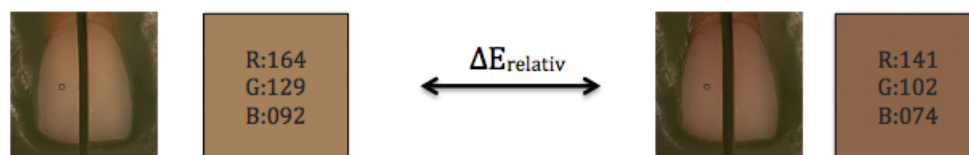
Deskriptive Analysen

Für die statistische Auswertung wurden die R, G, und B -Einzelwerte zu einem Gesamtwert (E_{Gesamt}) addiert, um im Anschluss die Größen $\Delta E_{\text{Absolut}}$ sowie $\Delta E_{\text{Relativ}}$ (ΔE_{Rel}) für jede Probe entsprechend zu bestimmen. Der Wert $\Delta E_{\text{Absolut}}$ ist dabei definiert als die Differenz aus dem E_{Gesamt} der Farbe Weiß und dem E_{Gesamt} des jeweiligen Zahnes.



$$\begin{aligned} \text{Bsp.:} \quad & \text{RGB}_{(\text{weiß})} - \text{RGB}_{(\text{Zahn})} = \Delta E_{\text{absolut}} \\ & (255 + 255 + 255) - (164 + 129 + 92) = \underline{380} \end{aligned}$$

ΔE_{Rel} stellt die Differenz der RGB-Werte der ersten Messung nach Bearbeitung der Oberfläche und den Messungen nach Färben dar.



$$\begin{aligned} \text{Bsp.:} \quad & \text{RGB}_{(\text{ungefärbt})} - \text{RGB}_{(\text{gefärbt})} = \Delta E_{\text{Rel}} \\ & (164+129+92) - (141+102+74) = \underline{68} \end{aligned}$$

Die Analysen wurden für jede Gruppe (Gruppe 1: Pulver Perio versus Pulver Plus; Gruppe 2: Pulver Plus versus Polierpaste; Gruppe 3: Polierpaste versus Pulver Perio) getrennt durchgeführt. Für jeden Zahn wurde auf der einen Zahnhälfte dann jeweils die eine, auf der anderen Zahnhälfte die andere Behandlung durchgeführt. Die Darstellung der ΔE_{Rel} Werte erfolgte als Mittelwert mit Standardabweichung, sowie als Median zusammen mit 25% und 75% Quantilen, getrennt für jeweils jeden Durchlauf. Grafisch erfolgte die Darstellung der ΔE_{Rel} -Werte über die Mittelwerte mit den 95% Konfidenzintervallen.

Vergleich der jeweiligen Behandlungsarten im Hinblick auf ΔE_{Rel}

Für die Betrachtung der Behandlungseffekte auf die ΔE_{Rel} Werte wurden die Daten auf diejenigen von Tag 7 beschränkt. Zur Bewertung der Effekte wurden gemischte Modelle verwendet, in denen die abhängige Variable in allen Modellierungen jeweils ΔE_{Rel} (kontinuierlich) war.

Gemischte Modelle enthalten feste und zufällige Effekte. Feste Effekte entsprechen denen in einer gewöhnlichen linearen Regression und werden direkt geschätzt (Angabe der Regressionskoeffizienten B mit 95% Konfidenzintervall (KI) und p-Wert) [Lorenz, 2021].

Als feste Effekte wurden untersucht:

- die Behandlungsart (d.h. die applizierte jeweilige Substanz pro Gruppe)
- der Durchlauf und das behandelte Probendrittel an Zähnen
- Interaktionen zwischen Behandlungsart und Durchlauf (unterschiedliche Behandlungseffekte je nach Durchlauf) sowie zwischen Behandlungsart und Probendrittel (unterschiedliche Behandlungseffekte je nach Drittel) und ggf. im Modell berücksichtigt (wenn $p < 0.10$ für Interaktionsterm)

Zufällige Effekte werden nicht direkt geschätzt, werden aber anhand ihrer Varianzen angegeben. Als zufälliger Effekt wurde hier die Variable Zahn modelliert und ihre Beziehung zur Variablen Behandlungssubstanz überprüft, da im Studienaufbau für jeden Zahn auf der einen Zahnhälfte jeweils die eine, auf der anderen Zahnhälfte die andere Behandlung durchgeführt wurde. Eine solche Beziehung konnte in keinem der angewandten Modelle bestätigt werden.

Zur Modellwahl wurde das Bayesian Information Criterion (BIC) und Loglikelihood-Schätzer herangezogen.

Zufällige Effekte wurden als zufällige Intercepts (individueller Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse für die Messungen innerhalb der jeweiligen Ebene) oder als Kombination zufälliger Intercepts und zufälliger Slopes (individueller Anstieg der Geraden für die Messungen innerhalb der entsprechenden Ebene) berücksichtigt [Lorenz, 2021]. Alle Varianzen für die zufälligen Effekte wurden eindeutig geschätzt. Für die zufälligen Effekte (inkl. Residualvarianz) wurden die Varianzschätzer und die zugehörigen Standardfehler (SE) angegeben. Ein $p < 0.05$ wurde als statistisch signifikant eingestuft. Die Analysen wurden mit Stata/SE Version 14.2 (Stata Corporation, College Station, TX, USA) und R 3.6.3 (www.r-project.org) durchgeführt. Die statistische Auswertung der Daten wurde professionell begleitet.

5. Ergebnisse

5.1 Modellentwicklung (Ziel 1)

Die Entwicklung eines in vitro Modells, mit dem das Anfärbeverhalten von Zahnoberflächen nach Anwendung unterschiedlicher Prophylaxepulver sowie Polierpaste reproduzierbar erfasst werden kann, konnte realisiert werden.

Um die Messgenauigkeit des Versuchsaufbaus sowie die Reproduzierbarkeit der generierten RGB-Werte zu vergleichen, wurden zu Beginn jedes einzelnen Versuchstages die RGB-Werte eines neutralen ungefärbten Zahnes an 2 Stellen bestimmt. Mithilfe dieser zusätzlichen Messdaten wurden Bland-Altman-Plots erstellt um eine Messfehleranalyse (Baseline Messung) durchzuführen.

In den folgenden Bland-Altman-Plots (Abb. 19/20) wurden die Messwerte vom Tag der ersten Messung (Tag-1) jeweils mit den Messwerten der Tage 0 bis 7 verglichen, getrennt nach ihren R-, G- und B-Werten. Der Messzeitpunkt Tag -1 kommt zustande, da jede Zahnprobe einen Tag vor Beginn des Versuchs in ihrer Ausgangsfarbe vermessen wurde, bevor eine Oberflächenbearbeitung oder Reinigung stattfand.

5. Ergebnisse

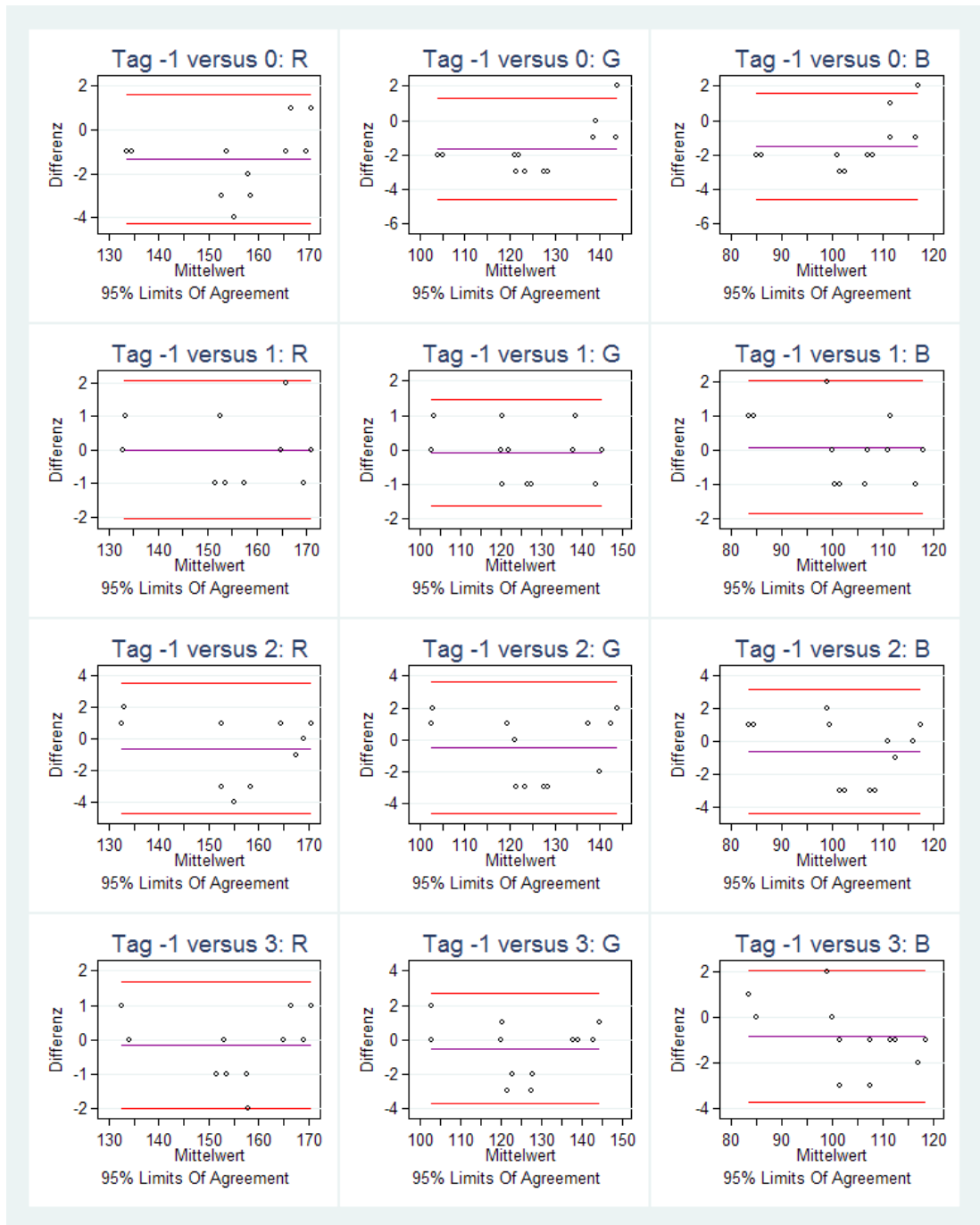


Abbildung 19: Bland-Altman Plots für die Messwerte R, G, und B des neutralen Vergleichszahnes zum Zeitpunkt (-1) und zu den Zeitpunkten 0 bis 3.

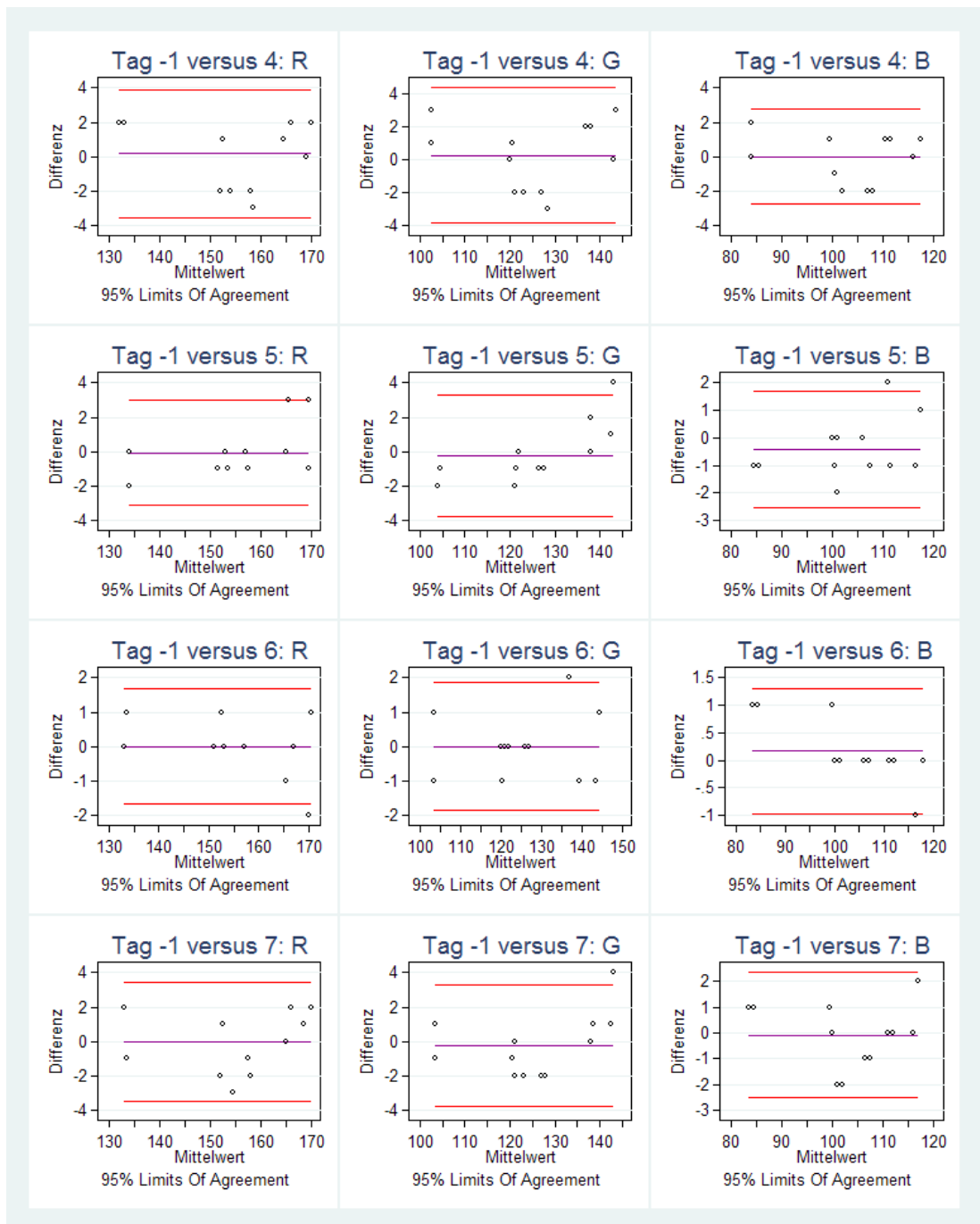


Abbildung 20: Bland-Altman Plots für die Messwerte R, G, und B des neutralen Vergleichszahnes zum Zeitpunkt (-1) und zu den Zeitpunkten 4 bis 7.

Für einzelne Grafiken sind leichte Abweichungen (Differenzen) bis ± 4 zu „Tag -1“ zu erkennen (Abb. 19/20). Der Großteil der Messwerte liegt jedoch innerhalb des jeweiligen Konfidenzintervalls. Eine Systematik ist nicht zu erkennen. Der Messfehler der Methode kann also als klinisch nicht relevant eingestuft werden.

Im weiteren Verlauf wurden die Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICCs) aller Zahnproben im Versuch berechnet. Der ICC wird in der Regel als ein Maß für die Reliabilität einer Messreihe angegeben. Zu dessen Berechnung benötigt man zu verschiedenen Zeitpunkten an verschiedenen Proben erhobene Daten einer Messmethode.

In dieser Arbeit wurde der ICC verwendet, um die Korrelation der Messungen für die R-, G- und B-Komponente zwischen „t0-Pulver“ (Tag-1) und einem späteren Zeitpunkt zu bewerten.

	ICC (95% KI)	Mittlere Abweichung (95% KI)
R		
t0+Pulver	0.987 (0.957; 0.996)	-1.333 (-4.268; 1.602)
1d	0.997 (0.989; 0.999)	0.000 (-2.047; 2.047)
2d	0.986 (0.954; 0.996)	-0.583 (-4.716; 3.550)
3d	0.997 (0.991; 0.999)	-0.167 (-2.004; 1.671)
4d	0.989 (0.965; 0.997)	0.167 (-3.555; 3.889)
5d	0.992 (0.974; 0.998)	-0.083 (-3.149; 2.983)
6d	0.998 (0.993; 0.999)	0.000 (-1.671; 1.671)
7d	0.990 (0.968; 0.997)	0.000 (-3.446; 3.446)
G		
t0+Pulver	0.986 (0.956; 0.996)	-1.667 (-4.602; 1.268)
1d	0.998 (0.995; 0.999)	-0.083 (-1.638; 1.471)
2d	0.989 (0.963; 0.997)	-0.500 (-4.637; 3.637)
3d	0.993 (0.977; 0.998)	-0.500 (-3.682; 2.682)
4d	0.989 (0.965; 0.997)	0.250 (-3.855; 4.355)
5d	0.991 (0.971; 0.997)	-0.250 (-3.808; 3.308)
6d	0.998 (0.993; 0.999)	0.000 (-1.869; 1.869)
7d	0.991 (0.972; 0.997)	-0.250 (-3.808; 3.308)
B		
t0+Pulver	0.979 (0.932; 0.994)	-1.500 (-4.571; 1.571)
1d	0.996 (0.987; 0.999)	0.083 (-1.869; 2.036)
2d	0.985 (0.950; 0.995)	-0.583 (-4.363; 3.197)
3d	0.989 (0.965; 0.997)	-0.833 (-3.708; 2.042)
4d	0.992 (0.975; 0.998)	0.000 (-2.772; 2.772)
5d	0.994 (0.982; 0.998)	-0.417 (-2.541; 1.707)
6d	0.999 (0.995; 0.999)	0.167 (-0.965; 1.298)
7d	0.994 (0.980; 0.998)	-0.083 (-2.514; 2.347)

Tabelle 20: Intrarater ICCs und mittlere Abweichungen der Messwerte zu „t0-Pulver“ (N=12 jeweils).

Laut Tabelle 20 sind die ICCs > 0.98 und somit „sehr gut“. Es gibt nur minimale Messabweichungen an den einzelnen Tagen im Vergleich zu Tag „t0-Pulver“ (Tag-1). Es lässt sich also ein hohes Maß an Korrelation der Messungen für die R-, G- und B-Komponente zwischen „t0-Pulver“ (Tag-1) und den späteren Zeitpunkten feststellen.

5.2 Anfärbeverhalten (Ziel 2)

5.2.1 Vergleich von Pulver Plus versus Pulver Perio (Gruppe 1)

In Tabelle 21 werden die ΔE_{Rel} Werte der einzelnen Tage dargestellt. Die Werte werden dabei als Mittelwert \pm Standardabweichung und Median (25%; 75% Quantil) angegeben.

Tabelle 21 zeigt die Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 1, aufgeteilt nach Durchlauf, Behandlung und Tag. Die gemessenen ΔE_{Rel} Werte in Durchlauf 1 und 2 stiegen in gleicher Weise an, unabhängig von der Oberflächenbehandlung der Zahnproben durch Pulver Perio bzw. Plus. Die mit dem Pulver Perio behandelten Zahnhälften verfärbten sich im 1. Durchlauf im Mittel um 52,4 ΔE_{Rel} nach 7 Tagen, wobei sich die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften um 53,1 ΔE_{Rel} verdunkelten. Im 2. Durchlauf stand eine mittlere Verfärbung von 74,7 ΔE_{Rel} beim Pulver Perio einer Verfärbung von 73,1 ΔE_{Rel} beim Pulver Plus gegenüber.

In Durchlauf 3 (modifiziert) ließ sich eine deutliche Abweichung der ΔE_{Rel} Werte beobachten. So verfärbten sich die mit dem Pulver Perio behandelten Zahnhälften im Mittel um 94,9 ΔE_{Rel} nach 7 Tagen, wohingegen sich die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften um 138,2 ΔE_{Rel} verdunkelten.

In den Durchläufen 1 und 2 ließ sich also kein eindeutiger Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen nach Oberflächenbehandlung mit den Prophylaxepulvern Perio und Plus feststellen. Erst die Modifikation des Versuchsaufbaus im 3. Durchlauf führte zu einem signifikanten Unterschied im Färbeverhalten der einzelnen Zahnhälften. Die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften zeigten ein höheres Anfärbeverhalten als die mit dem Pulver Perio behandelten Zahnhälften.

5. Ergebnisse

Durchlauf	Behandlung	N pro Tag	Tag 1	Tag2	Tag3	Tag4	Tag5	Tag6	Tag7
1	Pulver Perio	51	11.5 ± 9.4 11 (5; 16)	16.8 ± 11.1 16 (9; 22)	25.5 ± 13.8 24 (13; 37)	30.2 ± 14.9 27 (19; 41)	35.5 ± 15.1 34 (23; 46)	38.6 ± 16.2 36 (23; 49)	52.4 ± 17.1 52 (38; 66)
	Pulver Plus	51	17.0 ± 10.7 18 (8; 25)	21.4 ± 13.0 20 (12; 31)	27.7 ± 13.3 24 (16; 37)	31.5 ± 13.6 30 (22; 41)	36.0 ± 14.7 34 (25; 46)	42.7 ± 15.7 41 (31; 53)	53.1 ± 16.6 50 (39; 65)
2	Pulver Perio	48	19.4 ± 15.8 15.5 (7.5; 28)	30.8 ± 16.6 26.5 (18; 42)	41.9 ± 20.0 35 (27.5; 51.5)	49.1 ± 20.4 42.5 (34.5; 62)	55.9 ± 20.8 48 (41.5; 69)	58.3 ± 21.7 51.5 (42.5; 71)	74.4 ± 23.5 68.5 (59.5; 89)
	Pulver Plus	48	23.1 ± 13.0 20 (15; 30)	31.9 ± 16.5 29 (21; 41.5)	42.1 ± 18.8 39.5 (28.5; 52.5)	49.9 ± 19.2 47 (33; 64)	55.9 ± 20.0 52 (39; 71.5)	58.79 ± 20.4 54.5 (42.5 74)	73.1 ± 22.3 68 (55.5; 92.5)
3 (modifiziert)	Pulver Perio	51	47.3 ± 13.5 47 (37; 58)	59.8 ± 14.3 59 (47; 70)	71.7 ± 16.2 71 (58; 84)	77.3 ± 17.6 74 (63; 92)	90.2 ± 19.5 87 (76; 106)	94.76 ± 20.5 92 (78; 111)	94.9 ± 21.6 93 (78; 112)
	Pulver Plus	51	54.4 ± 13.8 53 (43; 64)	81.5 ± 18.5 83 (70; 97)	106.2 ± 20.1 107 (94; 119)	117.2 ± 21.6 119 (101 133)	129.6 ± 23.9 132 (115; 152)	135.57 ± 26.2 137 (116; 159)	138.2 ± 27.8 141 (121; 159)

Tabelle 21: Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 1 nach Durchlauf, Behandlung und Tag; Daten werden angegeben als Mittelwert ± Standardabweichung und Median (25%; 75% Quantil)

In Durchlauf 2 und 3 zeigten sich in Tabelle 21 insgesamt höhere Messwerte, als in Durchlauf 1. Der mögliche Grund für die generell erhöhten Messwerte wird unter „6.3 Diskussion der Ergebnisse“ näher beleuchtet.

Die graphische Darstellung der ΔE_{Rel} Werte zeigt Abbildung 21. Es ist zu sehen, dass die ΔE_{Rel} Werte für Pulver Perio und Pulver Plus in den Durchläufen 1 und 2 annähernd gleich sind. Lediglich die Steigung der ΔE_{Rel} Werte Pulver Plus in Durchlauf 3 (modifiziert) verläuft steiler. Ein Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen ließ sich folglich nur in Durchlauf 3 (modifiziert) bei der Oberflächenbehandlung durch Pulver Plus beobachten.

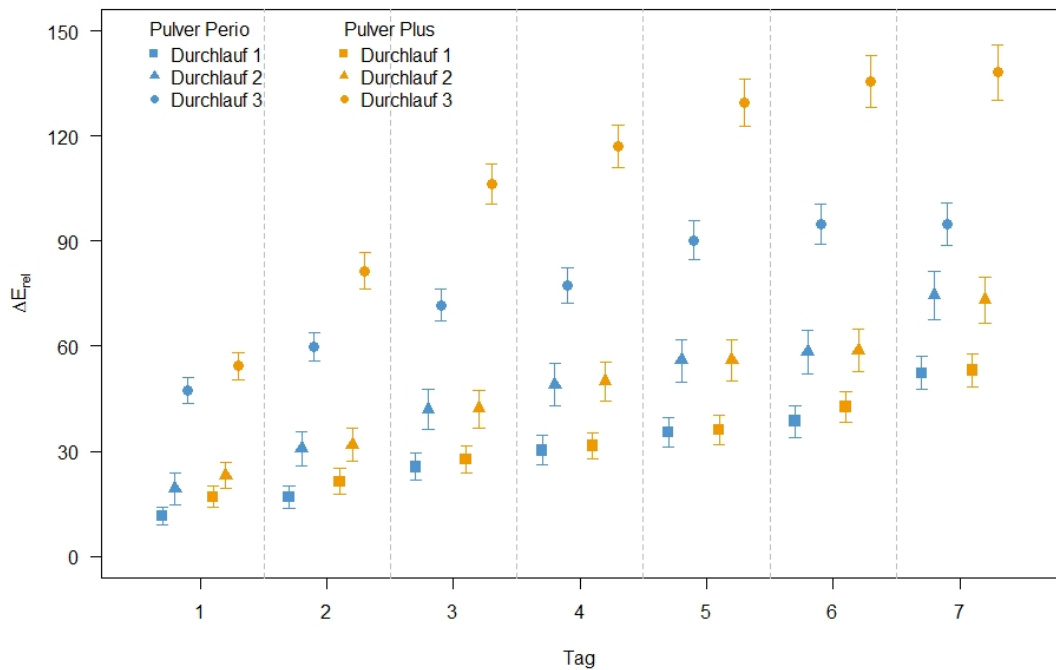


Abbildung 21: Verlauf von ΔE_{Rel} für Pulver Perio (blau) und Pulver Plus (orange) in Abhängigkeit von Durchlauf und Tag.

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse für das gemischte Modell für ΔE_{Rel} in Abhängigkeit von Behandlung, Durchlauf und dem Drittel (N=300). Der feste Effekt für die Behandlung war nicht signifikant ($p=0.74$). Sowohl Durchlauf als auch Drittel beeinflussten ebenfalls signifikant die ΔE_{Rel} Werte. Die Interaktionsterme für die Interaktion zwischen Behandlung und Durchlauf wurden ins Modell aufgenommen, da sie signifikant waren ($p<0.10$). Einzig für Durchlauf 3 traten signifikante Unterschiede auf: der Unterschied der ΔE_{Rel} Werte zwischen Pulver Perio und Pulver Plus belief sich im Mittel auf $[42.53+0.73]$.

	B (95% KI)	P Wert
Feste Effekte		
Behandlung (Ref. Pulver Perio)		
Pulver Plus	0.73 (-3.51; 4.96)	0.74
Durchlauf (Ref. 1)		
2	22.04 (12.42; 31.67)	<0.001
3	42.55 (33.07; 52.03)	<0.001
Interaktion Behandlung x Durchlauf		
Pulver Plus x 2	-2.02 (-8.10; 4.07)	0.52
Pulver Plus x 3	42.53 (36.54; 48.52)	<0.001
Drittel (Ref. 1. Drittel)		
2. Drittel	13.41 (10.38; 16.44)	<0.001
3. Drittel	33.28 (30.25; 36.31)	<0.001
Konstante		
Zufällige Effekte (zufällige Intercepts)		
Zahn	159.11 (SE 35.84)	
Residual	119.18 (SE 10.66)	

Tabelle 22: Gemischtes Modell mit Berücksichtigung der hierarchischen Struktur der Daten. B, Regressionskoeffizient; 95% KI, 95% Konfidenzintervall; SE, Standardfehler.

5.2.2 Vergleich von Pulver Plus versus Polierpaste (Gruppe 2)

In Tabelle 23 werden erneut die ΔE_{Rel} Werte der einzelnen Tage dargestellt. Die Werte werden dabei als Mittelwert \pm Standardabweichung und Median (25%; 75% Quantil) angegeben.

Analog zu der unter Gruppe 1 beschriebenen Datenstruktur, zeigt Tabelle 23 die Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 2, aufgeteilt nach Durchlauf, Behandlung und Tag. Auch hier steigen die gemessenen ΔE_{Rel} Werte in Durchlauf 1 und 2 in gleicher Weise an, unabhängig von der Oberflächenbehandlung der Zahnproben durch Pulver Plus bzw. Polierpaste. Die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften verfärbten sich im 1. Durchlauf im Mittel um 52,5 ΔE_{Rel} nach 7 Tagen, wobei sich die mit der Polierpaste behandelten Zahnhälften um 52,2 ΔE_{Rel} verdunkelten. Im 2. Durchlauf stand eine mittlere Verfärbung von 78,8 ΔE_{Rel} beim Pulver Plus einer Verfärbung von 75,6 ΔE_{Rel} bei der Polierpaste gegenüber.

In Durchlauf 3 (modifiziert) ließ sich eine deutliche Abweichung der ΔE_{Rel} Werte beobachten. So verfärbten sich die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften im Mittel um 145,7 ΔE_{Rel} nach 7 Tagen, wohingegen sich die mit der Polierpaste behandelten Zahnhälften um 103,7 ΔE_{Rel} verdunkelten.

In den Durchläufen 1 und 2 ließ sich also erneut kein eindeutiger Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen durch die Oberflächenbehandlung mit dem Prophylaxepulver Plus und Polierpaste feststellen. Erst die Modifikation des Versuchsaufbaus im 3. Durchlauf führte erneut zu einem messbaren Unterschied im Färbeverhalten der einzelnen Zahnhälften. Die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften zeigten ein höheres Anfärbeverhalten als die mit dem Pulver Perio behandelten Zahnhälften.

5. Ergebnisse

Durchlauf	Behandlung	N pro Tag	Tag 1	Tag2	Tag3	Tag4	Tag5	Tag6	Tag7
1	Pulver Plus	51/48	16.9 ± 9.3 17 (13;21)	20.2 ± 9.8 18 (14; 26)	26.2 ± 12.0 23 (17; 34)	37.9 ± 13.6 36 (28; 45)	36.9 ± 13.3 34 (27; 44)	45.8 ± 15.4 41 (34.5; 53)	52.5 ± 16.2 49 (43; 59)
	Polierpaste	51/48	20.4 ± 8.7 19 (14; 26)	23.0 ± 9.5 22 (15; 28)	27.2 ± 10.4 26 (18; 35)	36.6 ± 10.7 36 (30; 44)	35.9 ± 10.2 36 (28; 41)	47.7 ± 11.6 46.5 (41.5; 53)	52.2 ± 11.6 51 (44; 58)
2	Pulver Plus	51	22.2 ± 16.4 17 (10; 36)	39.4 ± 19.8 39 (23; 52)	49.5 ± 20.5 50 (31; 68)	52.9 ± 22.0 56 (34; 69)	60.3 ± 22.6 60 (40; 74)	63.9 ± 23.6 65 (44; 81)	78.8 ± 25.6 78 (56; 96)
	Polierpaste	51	25.5 ± 13.8 21 (17; 35)	41.0 ± 17.6 37 (28; 52)	49.2 ± 18.7 45 (36; 59)	52.7 ± 19.5 48 (39; 65)	59.0 ± 20.3 54 (47; 73)	62.6 ± 20.8 57 (49; 75)	75.6 ± 21.9 70 (62; 88)
3 (modifi- ziert)	Pulver Plus	51	58.9 ± 16.9 55 (50; 66)	84.2 ± 21.5 83 (73; 98)	107.6 ± 22.6 107 (94; 122)	122.1 ± 22.7 122 (107; 136)	136.6 ± 24.2 138 (118; 151)	143.2 ± 26.4 146 (125; 161)	145.7 ± 27.1 147 (128; 163)
	Polierpaste	51	51.7 ± 17.8 52 (39; 57)	63.2 ± 20.0 61 (51; 70)	77.3 ± 21.5 75 (62; 87)	86.3 ± 22.2 84 (70; 99)	97.9 ± 23.0 96 (81; 112)	101.8 ± 24.1 100 (84; 117)	103.7 ± 24.9 102 (84; 119)

Tabelle 23: Darstellung der ΔE_{rel} Werte von Gruppe 2 nach Durchlauf, Behandlung und Tag; Daten werden angegeben als Mittelwert ± Standardabweichung und Median (25%; 75% Quantil)

5. Ergebnisse

Die graphische Darstellung der ΔE_{Rel} Werte zeigt Abbildung 22. Es ist zu sehen, dass die ΔE_{Rel} Werte für Pulver Plus und Polierpaste in den Durchläufen 1 und 2 erneut annähernd gleich sind. Abermals verläuft die Steigung der ΔE_{Rel} Werte von Pulver Plus in Durchlauf 3 (modifiziert) steiler. Ein Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen ließ sich folglich erneut nur im Durchlauf 3 (modifiziert) bei Oberflächenbehandlung durch Pulver Plus beobachten.

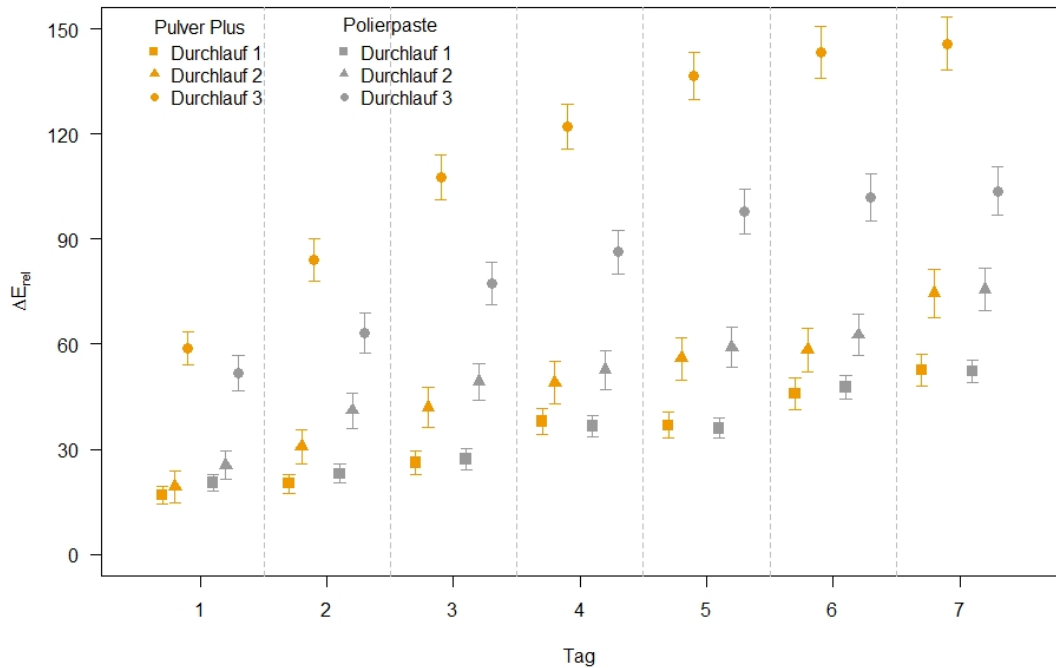


Abbildung 22: Verlauf von ΔE_{Rel} für Pulver Plus (orange) und Polierpaste (grau) in Abhängigkeit von Durchlauf und Tag.

5. Ergebnisse

Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse für das gemischte Modell für ΔE_{Rel} in Abhängigkeit von Behandlungsart, Durchlauf und Probendrittel (N=306). Der feste Effekt für die Behandlung war nicht signifikant ($p=0.89$). Sowohl Durchlauf als auch Drittel beeinflussten ebenfalls signifikant die ΔE_{Rel} Werte. Die Interaktionsterme für die Interaktion zwischen Behandlung und Durchlauf wurden ins Modell aufgenommen, da sie signifikant waren ($p<0.10$). Einzig für Durchlauf 3 traten signifikante Unterschiede auf: der Unterschied der ΔE_{Rel} Werte zwischen Pulver Plus und Polierpaste belief sich im Mittel auf [-41.67-0.33].

	B (95% KI)	P Wert
Feste Effekte		
Behandlung (Ref. Pulver Plus)		
Polierpaste	-0.33 (-4.86; 4.20)	0.89
Durchlauf (Ref. 1)		
2	26.31 (16.35; 36.28)	<0.001
3	93.22 (83.25; 103.18)	<0.001
Interaktion Behandlung x Durchlauf		
Polierpaste x 2	-2.90 (-9.31; 3.51)	0.38
Polierpaste x 3	-41.67 (-48.07; -35.26)	<0.001
Drittel (Ref. 1. Drittel)		
2. Drittel	13.63 (10.42; 16.83)	<0.001
3. Drittel	30.88 (27.68; 34.09)	<0.001
Konstante	37.65 (30.37; 44.94)	<0.001
Zufällige Effekte		
Zahn	174.27 (SE 39.06)	
Residual	136.30 (SE 12.07)	

Tabelle 24: Gemischtes Modell mit Berücksichtigung der hierarchischen Struktur der Daten. B, Regressionskoeffizient; 95% KI, 95% Konfidenzintervall; SE, Standardfehler.

5.2.3 Vergleich von Pulver Perio versus Polierpaste (Gruppe 3)

In Tabelle 25 werden erneut die ΔE_{Rel} Werte der einzelnen Tage dargestellt. Die Werte werden dabei als Mittelwert \pm Standardabweichung und Median (25%; 75% Quantil) angegeben.

Analog zu der unter Gruppe 1 und 2 beschriebenen Datenstruktur, zeigt Tabelle 25 die Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 3, aufgeteilt nach Durchlauf, Behandlung und Tag. Hier stiegen die ΔE_{Rel} Werte aller drei Durchläufe kontinuierlich mit der Färbedauer der Zahnhälften an, unabhängig der Oberflächenbearbeitung durch Pulver Perio bzw. Polierpaste. Die mit dem Pulver Perio behandelten Zahnhälften verfärbten sich im 1. Durchlauf im Mittel um $50,8 \Delta E_{\text{Rel}}$ nach 7 Tagen, wobei sich die mit der Polierpaste behandelten Zahnhälften um $53,6 \Delta E_{\text{Rel}}$ verdunkelten. Im 2. Durchlauf stand eine mittlere Verfärbung von $77,9 \Delta E_{\text{Rel}}$ beim Pulver Plus einer Verfärbung von $85,5 \Delta E_{\text{Rel}}$ bei der Polierpaste gegenüber. Im Unterschied zu Gruppe 1 und Gruppe 2 ließ sich bei Gruppe 3 keine deutliche Abweichung der ΔE_{Rel} Werte im 3. Durchlauf beobachten. So verfärbten sich die mit dem Pulver Perio behandelten Zahnhälften im Mittel um $83,3 \Delta E_{\text{Rel}}$ nach 7 Tagen, wohingegen sich die mit der Polierpaste behandelten Zahnhälften um $87,0 \Delta E_{\text{Rel}}$ verdunkelten.

In Gruppe 3 ließ sich also kein eindeutiger Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen durch Oberflächenbehandlung mit Pulver Perio oder Polierpaste feststellen. Die Modifikation des Versuchsaufbaus im 3. Durchlauf führte zu keinem messbaren Unterschied im Anfärbeverhalten der einzelnen Zahnhälften.

5. Ergebnisse

Durchlauf	Behandlung	N pro Tag	Tag 1	Tag2	Tag3	Tag4	Tag5	Tag6	Tag7
1	Pulver Perio	51/48	18.2 ± 10.9 15 (9; 24)	26.3 ± 12.1 25 (16; 35)	27.8 ± 12.4 26 (16; 39)	33.7 ± 11.8 31 (23; 45)	35.9 ± 12.3 33 (26; 49)	47.5 ± 12.7 45 (38; 59)	50.8 ± 12.8 48 (41; 62)
	Polierpaste	51/48	15.0 ± 9.2 14 (8; 19)	25.9 ± 12.2 24 (16; 35.5)	27.0 ± 13.0 25 (16; 40)	36.6 ± 13.9 32 (25; 49)	37.9 ± 13.8 35 (27; 51)	48.0 ± 14.6 46 (37; 61)	53.6 ± 16.2 51 (38; 67)
2	Pulver Perio	51	27.5 ± 13.0 26 (16; 35)	46.0 ± 15.5 43 (35; 54)	51.0 ± 16.3 48 (42; 63)	54.1 ± 17.0 51 (43; 65)	61.7 ± 17.8 59 (49; 74)	64.6 ± 18.0 63 (51; 78)	77.9 ± 19.1 74 (65; 89)
	Polierpaste	51	28.4 ± 13.8 27 (20; 36)	48.5 ± 14.7 48 (39; 56)	55.4 ± 16.1 55 (46; 64)	58.8 ± 16.7 58 (48; 67)	67.8 ± 19.1 68 (57; 76)	71.6 ± 19.7 69 (60; 82)	85.5 ± 20.8 82 (75; 99)
3 (modifi- ziert)	Pulver Perio	51	41.2 ± 16.2 39 (28; 52)	49.6 ± 17.8 45 (36; 62)	59.8 ± 19.3 56 (46; 75)	69.0 ± 19.6 64 (55; 84)	80.0 ± 20.8 76 (66; 97)	83.8 ± 21.6 81 (68; 101)	83.3 ± 22.3 81 (65; 104)
	Polierpaste	51	41.7 ± 16.1 38 (28; 57)	50.2 ± 18.3 46 (36; 70)	61.4 ± 19.9 57 (46; 79)	71.7 ± 21.8 68 (55; 94)	84.0 ± 22.3 81 (68; 106)	87.7 ± 23.3 83 (70; 111)	87.0 ± 23.7 82 (69; 110)

Tabelle 25: Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 3 nach Durchlauf, Behandlung und Tag; Daten werden angegeben als Mittelwert ± Standardabweichung und Median (25%; 75% Quantil)

Die

Unterschiede sind in den Durchläufen geringer als in Gruppe 1 und 2. Durchlauf 3 (modifiziert) fällt nicht mehr so aus der Reihe

5. Ergebnisse

Die graphische Darstellung der ΔE_{Rel} Werte zeigt Abbildung 23. Es ist zu sehen, dass die Steigung der Graphen von Polierpaste sowie Pulver Perio im Durchlauf 1,2 und 3 annähernd gleich sind. Im Unterschied zu Gruppe 1 und 2 sticht auch im 3. Durchlauf (modifiziert) keine der Steigungen heraus. Ein Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen ließ sich folglich nicht beobachten.

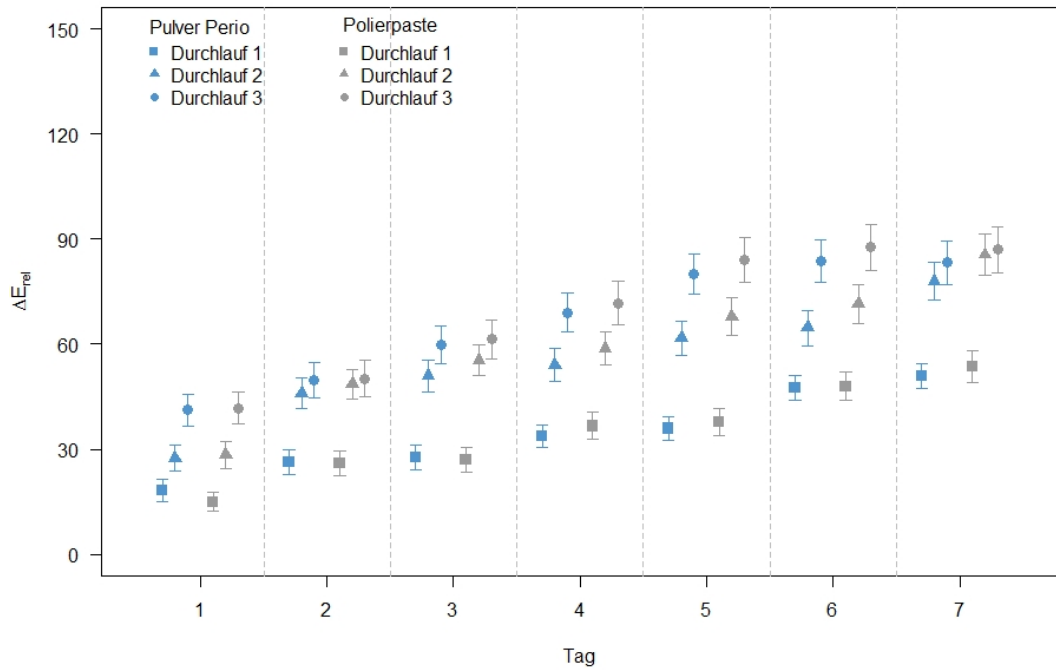


Abbildung 23: Verlauf der ΔE_{Rel} Werte für Pulver Perio (blau) und Polierpaste (grau) in Abhängigkeit von Durchlauf und Tag.

5. Ergebnisse

Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse für das gemischte Modell für ΔE_{Rel} in Abhängigkeit von Behandlungsart, Durchlauf und dem Probendrittel (N=306). Der feste Effekt für die Behandlungsart war signifikant ($p < 0.001$). Für Polierpaste lag ΔE_{Rel} im Mittel um 4.70 (95% KI: 2.47-6.93) höher als für Pulver Perio. Durchlauf und Probendrittel beeinflussen auch die ΔE_{Rel} Werte, wie bereits in der Grafik in Abbildung 23 zu sehen ist. Interaktionseffekte zwischen Behandlung und Drittel oder Durchlauf traten nicht auf.

	B (95% KI)	P Wert
Feste Effekte		
Behandlung (Ref. Pulver Perio)		
Polierpaste	4.70 (2.47; 6.93)	<0.001
Durchlauf (Ref. 1)		
2	29.44 (23.00; 35.88)	<0.001
3	32.89 (26.45; 39.33)	<0.001
Drittel (1. Drittel)		
2. Drittel	13.25 (10.52; 15.97)	<0.001
3. Drittel	34.32 (31.60; 37.05)	<0.001
Konstante	34.02 (29.07; 38.97)	<0.001
Zufällige Effekte		
Zahn	75.36 (18.24)	
Residual	98.66 (8.74)	

Tabelle 26: Gemischtes Modell mit Berücksichtigung der hierarchischen Struktur der Daten. B, Regressionskoeffizient; 95% KI, 95% Konfidenzintervall; SE, Standardfehler.

6. Diskussion

6.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Mit dieser in-vitro Studie wurde der Einfluss von niedrig abrasiven Prophylaxepulvern und Polierpaste auf das Färbeverhalten von Zahnoberflächen getestet. Insgesamt liegen aus dieser Untersuchung Daten von 152 extrahierten Zähnen vor, welche durch verschiedene Verfahren oberflächlich behandelt und anschließend in eine Färbelösung aus Kaffee gegeben wurden. Die Zahnfarben wurden zu verschiedenen Zeitpunkten mittels digitaler Bildanalyse bestimmt. Im gewählten Versuchsaufbau ließ sich zunächst kein signifikanter Unterschied im Färbeverhalten nach Behandlung mit den Prophylaxepulvern Airflow Plus, Airflow Perio (EMS, Nyon, Schweiz) oder der Polierpaste Cleanic Prophy Paste flouride (Kerr Hawe, Bioggio, Schweiz) feststellen. Erst eine Modifikation des Versuchsablaufs im 3. Durchgang, bei welchem die Zahnproben über einen unphysiologisch langen Zeitraum mit einer Lösung aus Prophylaxemittel und Aqua Dest zusätzlich behandelt wurden, konnte einen Einfluss auf das Anfärbeverhalten zeigen. So führte die Behandlung der mit dem Prophylaxepulver Airflow Plus behandelten Zahnproben im 3. Durchgang zu signifikant höheren Verfärbungen gegenüber den anderen Verfahren.

6.2 Diskussion der Methoden

Studiendesign/ Einbetten der Zähne

Als Studiendesign wurde für diese Studie ein in-vitro Design gewählt. Gegenüber einer in-vivo Studie bot dieses Studiendesign die Möglichkeit die Zahnfarben der einzelnen Zahnproben deutlich genauer zu bestimmen. Ein wiederholtes Positionieren der Proben durch den Einsatz von Legosteinen als Probenhalter war maßgeblich dafür ausschlaggebend und machte den Versuchsaufbau reproduzierbar. So konnten die Zahnfarben im Verlauf des Versuchs sehr exakt an der gleichen Stelle jeder Probe gemessen werden. Industriell gefertigte Legofragmente zeichnen sich durch gleichermaßen günstige Anschaffungskosten sowie hohe Produktionsgenauigkeit aus, was sich bereits verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen zunutze gemacht haben [Caramanos et al., 2010; Xiao et al., 2016]. Als Nachteil ist die fehlende Interaktion der Proben mit der menschlichen Mundhöhle zu nennen.

Die im Mund enthaltenen Bakterien und Speichelbestandteile sowie individuelle Angewohnheiten wie bspw. Rauchen oder der Konsum von färbenden Lebensmitteln könnten einen Einfluss auf das Anfärbeverhalten der Zahnoberfläche haben, welcher in diesem Versuch keine Berücksichtigung fand. Omata et al. konnten 2006 in Untersuchungen zeigen, dass allein der Einsatz von künstlichem Speichel ohne Anwesenheit färbender Stoffe bereits zu einer Gelbfärbung von Füllungsoberflächen nach einer Woche führte [Omata et al., 2006]. Zusätzlich führt die Denaturierung von Proteinen in der Pellikelschicht auf der Zahnoberfläche zu einer erhöhten Färbbarkeit dieser [Hjeljord et al., 1973]. CHX und Tanninsäure haben eine stark denaturierende Wirkung auf Proteine. Tanninsäure kommt als natürlicher Bestandteil in verschiedenen Früchten, Weinen, Tee und Kaffee vor [Eriksen & Nordbø, 1978]. Bei der Denaturierung werden interne S-H-Gruppen gespalten, freigelegt und stehen für chemische Reaktionen zur Verfügung [Solheim et al., 1980]. Dieser Mechanismus wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. In Nachfolgeuntersuchungen sollte demzufolge der Einsatz von z.B. künstlichem Speichel im Zuge des Versuchs in Erwägung gezogen werden.

Probenanzahl

Für die durchgeführte Untersuchung wurde eine Gesamtzahl von 153 Probenzähnen verwendet, die zufällig in drei Untersuchungsgruppen aufgeteilt wurden. Die Anzahl der Probenzähne wurde durch statistische Auswertung (Poweranalyse) der Vorversuche bestimmt (Vgl. 11.1 Anhang 1 Poweranalyse)

Verteilung der Probenzähne/Longitudinales Halbieren der Zähne

Ein longitudinales Halbieren der Proben ermöglichte den direkten Vergleich zweier Prophylaxemittel an ein und demselben Zahn. Einen Färbeeinfluss durch Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit oder durch vorherige Therapie bzw. Bearbeitung der Zahnoberflächen konnte hierdurch ausgeschlossen werden. Gleichzeitig führte das Halbieren der Zahnproben zu einer Exposition von Dentin, sowie Dentintubuli im Bereich der Schnittkante, welche so einen zusätzlichen Angriffspunkt für intrinsische Verfärbungen bot. So nutzten Sulieman et al. 2003 ein ähnliches Verfahren um intrinsische Zahnfärbungen zu simulieren [Sulieman et al., 2003].

Da die vorliegende Arbeit das Färbeverhalten von Zahnoberflächen, also extrinsischen Verfärbungen untersucht, würden solche intrinsischen Verfärbungen die Ergebnisse verfälschen. Dem gegenüber steht, dass alle Zahnproben dem intrinsischen Färbeeinfluss in gleicher Weise ausgesetzt waren, der Vergleich zwischen den verschiedenen Prophylaxepulvern also unbeeinflusst blieb. Dennoch könnte ein intrinsischer Färbeeinfluss durch das „Versiegeln“ der freiliegenden Dentinoberflächen in zukünftigen Untersuchungen ausgeschlossen werden.

Bearbeitung der Zahnoberflächen

Für die Bearbeitung der Zahnoberflächen wurde eine Standard Pulver-Wasser-Strahleinheit Airflow Prophylaxis Master (EMS, Nyon, Schweiz) installiert und nach Herstellerangaben verwendet. Fest steht, dass ein genaues Einhalten dieser vom Hersteller empfohlenen Parameter im klinischen Alltag unmöglich erscheint. Ebenso befand sich die gewählte Druckeinstellung mit vier von möglichen zehn LEDs lediglich im unteren Bereich der Einstellungsmöglichkeiten. Petersilka und Bell et al. zeigten 2003, dass die mittlere Defekttiefe nach Anwendung von Pulver-Wasser-Strahltechnik auf Dentin bei geringerem Abstand sowie höherer Druckeinstellung zunahm, wenngleich die mittlere Defekttiefe nach Gebrauch niedrigabrasiver Prophylaxepulver signifikant geringer war als nach Gebrauch eines abrasiven Pulvers auf Natriumbicarbonat Basis [G. J. Petersilka, Bell, et al., 2003]. Da bei der vorliegenden Untersuchung primär die mit Zahnschmelz bedeckten Bereiche bearbeitet wurden, stellt sich die Frage der Oberflächenveränderung des deutlich härteren Zahnschmelzes. Jost-Brinkmann zeigte 1998 in einer Studie an polierten Rinderzähnen, dass der Substanzabtrag von Zahnschmelz in Abhängigkeit der Pulver/Luft- und Wasser-Einstellungen variiert [Jost-Brinkmann, 1998]. Ungeklärt bleibt also die Frage, welchen Einfluss eine intensivere Bearbeitung der Zahnoberflächen durch höhere Druckeinstellungen bzw. Falschanwendung dieser Technik auf das Färbeverhalten der Zahnoberflächen haben könnte.

Anfärben der Proben

Um das Färbeverhalten der bearbeiteten Zahnoberflächen zu testen, wurden diese in Kontakt mit einer Färbelösung gebracht. Ziel war es eine Färbelösung auszuwählen, welche auch im klinischen Alltag häufig zu extrinsischen Verfärbungen der Zähne führt. In der Literatur finden typischerweise Zigarettenrauchen, Tee-, Kaffee-, Wein- und Obstkonsum Erwähnung [Eriksen & Nordbø, 1978; Hattab et al., 1999; Vogel, 1975]. Aufgrund des Studiendesigns in Form einer In-Vitro-Studie, stellte sich der Konsum von färbendem Obst, sowie das Rauchen von Tabak als schwer umsetzbar heraus. Ein eigener Vorversuch zum Färbeverhalten von Kaffee, Wein und grünem Tee, bei welchem je 10 Zahnproben für insgesamt 7 Tage mit der jeweiligen Färbelösung exponiert und täglich vermessen wurden, konnte zeigen, dass Kaffee gegenüber den beiden anderen Lösungen die stärksten und gleichzeitigen gleichmäßigsten Verfärbungen erzeugte. Auf Basis dieser Erfahrungen wurde Kaffee als Färbelösung für den Hauptversuch ausgewählt.

Farbbestimmung/Digitale Bildanalyse

Die Farbe von Zähnen kann subjektiv durch visuelle Beurteilung mit Farbschlüsseln oder durch objektive Messverfahren mit Kolorimetern, Spektrophotometern sowie digitaler Bildanalysetechniken bestimmt werden. Die subjektive Farbbeurteilung mit Hilfe von Farbskalen ist die am häufigsten verwendete Methode in der klinischen Zahnmedizin [Van der Burgt et al., 1990], da das menschliche Auge die Fähigkeit besitzt, subtile Unterschiede in der Farbe von Objekten zu unterscheiden [Paul et al., 2002]. Einige Variablen, wie z.B. Lichtquelle, Metamerie, Erfahrung, Alter, Ermüdung und Farbenblindheit des menschlichen Auges müssen beachtet werden, um konstante Ergebnisse zu erhalten [Watts et al., 2001]. Dennoch werden zahlreiche Nachteile dieser Methode beschrieben. So ist z.B. die Farbwahrnehmung subjektiv und führt oft zu individuellen Abweichungen. Selbst bei gleichem Behandler können verschiedene Farbbewertungen zu unterschiedlichen Zeiten auftreten. Zudem sind die gängigen Farbfächer nicht systematisch [W. O'brien et al., 1990] und umfassen nicht den gesamten Farbraum der Zahnfarben [Schwabacher et al., 1990]. Zusätzlich sind die Systeme der kommerziellen Farbschlüssel unterschiedlich.

Das Kolorimeter ist ein objektives Messverfahren, welches zur Messung von Farbunterschieden an Zähnen verwendet wird [Tung et al., 2002]. Obwohl es eine gute Reproduzierbarkeit von Zahnfarbmessungen in vitro sowie in vivo aufweist [Douglas, 1997], sind einige Nachteile beschrieben worden. Erstens ist das Kolorimeter für die Messung flacher Objektflächen konzipiert. Da Zahnoberflächen immer gewölbt sind, kommt es häufig zu Messfehlern beim Bestimmen der Farbe [Joiner, 2004]. Zweitens sind die mit dem Farbmessgerät und den Farbskalen gemessenen Farben inkonsistent [Okubo et al., 1998; Tung et al., 2002]. Und schließlich führt eine zu hohe Empfindlichkeit des Kolorimeters zu Messunterschieden, selbst wenn der Messabstand zu einem einzelnen Zahn nur 1 mm Unterschied betrug [Goldstein et al., 1993]. Im Zuge der Vorversuche wurde auch ein durch Martin et al. 2017 vorgestelltes Verfahren getestet, welches die Verwendung des Kolorimeters Colorcatch Nano (Colorix, Neuenburg, Schweiz) beschreibt [Martin et al., 2017]. Die Messergebnisse dieses Vorversuches bestätigten die oben beschriebenen Nachteile, weshalb für diese Arbeit die Zahnfarben mithilfe der digitaler Bildanalyse bestimmt wurden.

Ein weiteres Gerät zur objektiven Messung der menschlichen Zahnfarbe ist das Spektrophotometer. Es weist eine ähnlich hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit wie das Kolorimeter auf [Goldstein & Schmitt, 1993] und ist sogar besser als die Farbskala [Paul et al., 2002]. Der größte Nachteil sind die, im Vergleich, relativ hohen Investitionskosten.

Mit der fortschreitenden Entwicklung der Computertechnologie bietet die digitale Bildanalyse durch Computerprogramme einen weiteren Ansatz für eine objektive und reproduzierbare Zahnfarbenquantifizierung [Gerlach et al., 2002; B.-S. Lee et al., 2008]. Diese Methode zur Messung der Zahnfarbe stellt sich als zuverlässig und zugleich preiswert dar. Im Zuge der Vorversuche konnte mithilfe der digitalen Bildanalyse die höchste Genauigkeit sowie Reproduzierbarkeit bei der wiederholten Bestimmung der Zahnfarben erreicht werden. Deshalb wurden die Zahnproben in dieser Studie unter fünffacher Vergrößerung bei immer gleichen Bedingungen mithilfe einer Digitalkamera fotografiert, und die Bilder anschließend mit der Software Adobe Photoshop CS6 ausgewertet.

Auswertung der Farbänderung (Farbraum)

Nach Anfertigung digitaler Bilder der Zahnproben wurden diese mithilfe der Computersoftware Adobe Photoshop CS6 (Adobe, San José, USA) ausgewertet, sodass man einen Satz numerischer Werte erhielt. Die einzelnen Farben lassen sich durch unterschiedliche Farbsysteme (Farbräume) unterschiedlich definieren. Standardmäßig werden bei der digitalen Bildanalyse vor allem der so genannte RGB-, sowie der Lab-Farbraum verwendet. Verglichen mit den im klinischen Alltag verwendeten Farbringen zur subjektiven Bestimmung von Zahnfarben, bietet der RGB- und Lab-Farbraum mehr Details zur Unterscheidung kleinerer Farbunterschiede. Das Lab-System ermöglicht die Farbspezifikation innerhalb eines dreidimensionalen Raumes. Die Lp-Achse stellt den Grad der Helligkeit innerhalb einer Probe dar und reicht von 0 (Schwarz) bis 100 (Weiß). Die ap-Ebene repräsentiert den Grad der grün/roten Farbe, während die bp-Ebene den Grad der blau/gelben Farbe in der Probe repräsentiert [Suliman et al., 2003]. Der RGB-Farbraum definiert jede Farbe durch ihren Anteil Rot (R), Grün (G), und Blau (B) und folgt dem Prinzip der Dreifarbentheorie, da das Farbsehen beim Menschen von drei Zapfentypen geprägt ist. Die Farbe Weiß nimmt im RGB-Farbraum die Werte R:255, G:255, B:255 ein. Schwarz ist definiert als R:0, G:0, B:0.

Ogleich das Lab-System in wissenschaftlichen Untersuchungen bei der Bestimmung von Zahnfarben häufiger Anwendung findet [B.-S. Lee et al., 2008; Okubo et al., 1998; Paul et al., 2002], wurde in dieser Arbeit mit dem RGB-Farbraum gearbeitet, da die Datenstruktur eine einfachere statistische Auswertung ermöglichte. Von einem Einfluss des gewählten Farbsystems auf die Ergebnisse der Untersuchung ist nicht auszugehen.

Modifikation im 3. Durchlauf

Nachdem in den Durchläufen 1 und 2 subjektiv kein Unterschied im Anfärbeverhalten der Zahnproben sichtbar war, wurde der Versuchsaufbau im 3. Durchlauf modifiziert, um zusätzliche Informationen zu erhalten. Neben der oben beschriebenen Oberflächenbearbeitung, wurden die Proben mit einer Lösung aus dem jeweiligen Prophylaxemittel und Aqua Dest behandelt.

Dieses Vorgehen stellte ein im klinischen Alltag nicht vorkommendes Szenario dar, welches eine Extremform der Exposition mit dem Prophylaxemittel simulierte. Ziel war es herauszufinden, ob neben dem im Durchlauf 1 und 2 untersuchten mechanischen Einfluss durch Bearbeiten der Zahnoberfläche ein zusätzlicher chemischer Einfluss durch bestimmte Inhaltsstoffe in den Prophylaxemitteln vorliegen könnte. Als nachteilig lässt sich die mangelnde Vergleichbarkeit der Durchläufe 1 und 2 mit 3 nennen, da die Zahnproben nicht identisch behandelt wurden. Die Durchläufe 1 und 2 müssen also als getrennte Untersuchung zu Durchlauf 3 gesehen werden, wodurch sich die Probenzahl auf 102 Proben in Durchlauf 1 und 2 sowie 51 Proben in Durchlauf 3 verringerte. Dennoch lieferte die Modifikation im 3. Durchlauf wichtige zusätzliche Erkenntnisse und ließ sich abschließend als sinnvolle Ergänzung des Versuchs festhalten. Trotz der geringeren Probenzahl konnten sowohl in Durchlauf 1 und 2 als auch in Durchlauf 3 statistisch signifikante Ergebnisse erzielt werden.

Verstellen der Lichtquelle/ der Mikroskop Einstellungen

Zuletzt sollten die generell höheren Messwerte in Durchlauf 2 und 3 im Vergleich zu Durchlauf 1 in allen drei Gruppen diskutiert werden. Die insgesamt höheren Messwerte in Durchlauf 2 bzw. 3 sind auf ein Verstellen der Lichtquelle sowie des Fotomikroskops zwischen den Durchläufen zurückzuführen und in gleichem Ausmaß in allen 3 Gruppen zu beobachten (Vgl. Abb. 21, 22 und 23). Aus logistischen Gründen mussten die Geräte zwischen den einzelnen Durchläufen für andere wissenschaftliche Untersuchungen freigegeben werden. Dabei wurden die Geräteeinstellungen verändert. Ein exaktes Rekalibrieren der ursprünglichen Einstellungen war nicht möglich. Die einzelnen Messwerte sind also nur innerhalb der Durchläufe vergleichbar. Dass ein Rekalibrieren der Geräteeinstellungen nicht gelang, zeigt einmal mehr wie komplex und anfällig die Bestimmung von Zahnfarben ist und bereits kleinste Einflüsse und Veränderungen zu völlig unterschiedlichen Messergebnissen führen können.

6.3 Diskussion der Ergebnisse

6.3.1 Modellentwicklung (Ziel 1)

Das erste Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und der Aufbau eines geeigneten Modells, um Zahnoberflächen zunächst unter vergleichbaren Bedingungen mittels verschiedener Prophylaxemittel zu reinigen und anschließend deren Färbeverhalten reproduzierbar zu vermessen. Zunächst ermöglichte der Aufbau eine sichere und an klinische Bedingungen weitest möglich angepasste Bearbeitung der Zahnoberflächen. Die größere Herausforderung bestand darin, die sich über den Versuch stetig ändernde Farbe der Zahnoberflächen genau zu bestimmen. Auch wenn Zahnoberflächen klinisch oft homogen erscheinen, zeigt sich in der Vermessung, dass bereits kleinste Lageveränderungen der Probe unter der Messvorrichtung zu sehr unterschiedlichen Messergebnissen führen können. So ändert sich die Farbe einer Zahnoberfläche von zervikal nach inzisal sowie von peripher nach zentral deutlich (vgl. Abb. 24).

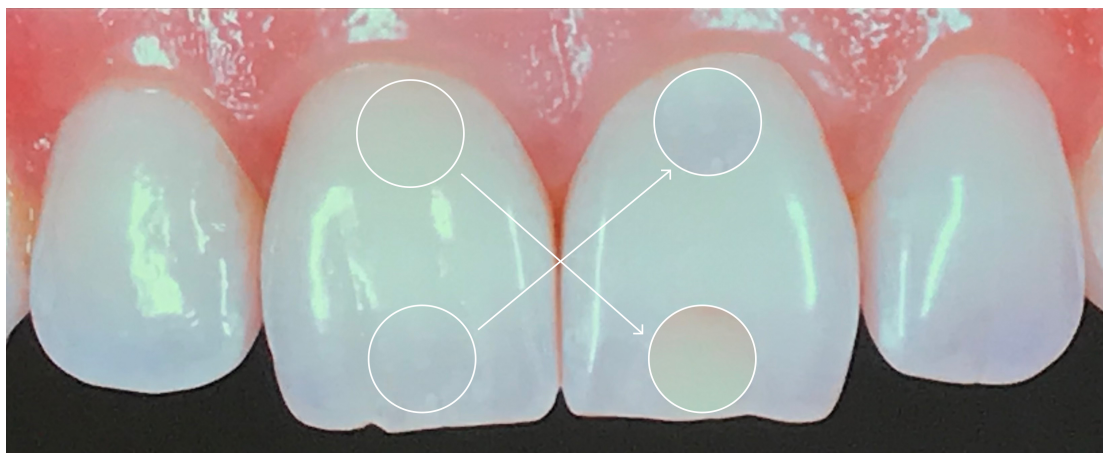


Abbildung 24: Veranschaulichung der Farbänderung eines Frontzahnes von zervikal nach inzisal.

Der Schlüssel zu einer reproduzierbaren Farbmessung lag also in der exakten Positionierung der Zahnproben unter dem Fotomikroskop. Diese konnte mithilfe von industriell gefertigten Legoformteilen verwirklicht werden. Das so entwickelte Modell ermöglichte eine einfache, schnelle, kostengünstige und reproduzierbare Bestimmung der Zahnfarben.

Die statistische Auswertung der Baseline Messung mittels Bland-Altman-Plots ergab, dass der Messfehler im gewählten Versuchsaufbau als klinisch nicht relevant einzustufen ist. Zusätzlich ließ sich mithilfe von Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICCs) ein hohes Maß an Korrelation der verschiedenen Messungen feststellen.

Die Entwicklung eines funktionierenden Modells zur Untersuchung des Färbeverhaltens von Zahnoberflächen nach Anwendung unterschiedlicher Prophylaxepulver konnte also realisiert werden. Einzelne Vor- sowie Nachteile des entwickelten Modells wurden unter 6.2 „Diskussion der Methoden“ beschrieben.

6.3.2 Färbeverhalten (Ziel 2)

Gruppe 1: (Pulver Plus versus Pulver Perio)

Die statistische Auswertung der Messwerte aus Gruppe 1 (Vgl. Abb. 21) ergab, dass in den Durchläufen 1 und 2 kein signifikanter Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen durch die Oberflächenbehandlung mit den Prophylaxepulvern Perio und Plus festzustellen war. Erst die Modifikation des Versuchsaufbaus im 3. Durchlauf führte zu einem messbaren Unterschied im Anfärbeverhalten der einzelnen Zahnhälften. Die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften zeigten in Durchlauf 3 ein signifikant höheres Färbeverhalten als die mit dem Pulver Perio behandelten Zahnhälften.

Bei Anwendung der Pulver Plus und Perio nach Herstellerangaben, ließ sich folglich kein Einfluss auf das Färbeverhalten der Zahnoberflächen nachweisen. Im gewählten Versuchsaufbau wurden die Zahnproben jedoch einzeln für 10s mit den Prophylaxemitteln bearbeitet. Die „Einwirkzeit“ der Pulver war also deutlich kürzer als bei einer durchschnittlichen PZR bzw. UPT von Bspw. 1h. Bei längerer Behandlungsdauer können Bestandteile der Prophylaxemittel im Speichel in Lösung gehen und sich ggf. sogar ins Gewebe einlagern. So weisen zahlreiche Arbeiten darauf hin, dass die Plaque-hemmende Wirkung von CHX auf ein CHX-Depot in der Mundhöhle zurückzuführen ist, aus dem der Wirkstoff zu gegebener Zeit langsam in den Speichel abgegeben wird [Rölla et al., 1970]. Die Modifikation im 3. Durchlauf, bei welcher die Zähne mehrfach für eine Minute zusätzlich mit einer Lösung aus Pulver und Wasser exponiert wurden, konnte signifikante Unterschiede im Färbeverhalten auslösen. So könnte nicht die Oberflächenveränderung durch Abstrahlen, sondern die Einwirkzeit einer Lösung aus Speichel und Pulverbestandteilen der Auslöser für ein erhöhtes Anfärbeverhalten durch das Pulver Plus sein. So zeigte eine Untersuchung von Jost-Brinkmann 1998, dass bei der Verwendung verschiedener Pulver-Wasserstrahlgeräte Schmelzrauhigkeiten erzeugt wurden, die entweder geringer waren als nach Prophylaxepaste-Anwendung oder sich von deren Ergebnis nicht unterschieden.

Gruppe 2: (Pulver Plus versus Polierpaste)

Die statistische Auswertung der Messwerte aus Gruppe 2 (Vgl. Abb. 22) ergab, dass auch hier in den Durchläufen 1 und 2 kein signifikanter Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen durch die Oberflächenbehandlung durch die Polierpaste sowie das Prophylaxepulver Plus festzustellen war. Erst die Modifikation des Versuchsaufbaus im 3. Durchlauf führte zu einem messbaren Unterschied im Färbeverhalten der einzelnen Zahnhälften. Die mit dem Pulver Plus behandelten Zahnhälften zeigten analog zu Gruppe 1 in Durchlauf 3 ein signifikant höheres Anfärbeverhalten als die mit der Polierpaste behandelten Zahnhälften.

Bei der Anwendung der Polierpaste sowie des Pulvers Plus nach Herstellerangaben ließ sich also erneut kein Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen nachweisen. Jedoch konnten durch die längeren „Einwirkzeiten“ im Versuchsaufbaus des dritten Durchgangs erneut signifikante Unterschiede im Färbeverhalten durch das Pulver Plus nachgewiesen werden.

Gruppe 3: (Pulver Perio versus Polierpaste)

Die statistische Auswertung der Messwerte aus Gruppe 3 (Vgl. Abb. 23) ergab, dass weder in den Durchläufen 1 und 2 noch in Durchlauf 3 ein signifikanter Unterschied im Färbeverhalten der Zahnoberflächen nach Oberflächenbehandlung durch das Prophylaxepulver Perio einerseits und die Polierpaste andererseits festzustellen war. Auch ein zusätzliches Exponieren einer Lösung aus Pulver/Paste und Wasser im 3. Durchlauf, hatte keinen Einfluss auf das Anfärbeverhalten der Zahnoberflächen.

Für die Anwendung des Pulvers Perio sowie der Polierpaste ließ sich also in keinem Abschnitt des Versuches ein Unterschied im Färbeverhalten nachweisen.

7. Schlussfolgerung

Einen Einfluss auf das Anfärbeverhalten der Zahnoberflächen ließ sich nur im 3. modifizierten Durchlauf der Gruppen nachweisen, in denen das Airflow Plus Pulver Teil der Untersuchung war.

Da im 3. Durchlauf keine zusätzliche mechanische Bearbeitung der Zahnoberflächen erfolgte, ist davon auszugehen, dass der Unterschied im Färbeverhalten nicht auf eine strukturelle Veränderung der Zahnoberfläche zurückzuführen ist. Untermauern lässt sich diese These durch elektronenmikroskopische Untersuchungen von Camboni und Donnet aus dem Jahre 2016. Diese konnten zeigen, dass die Verwendung von AIR-FLOW Plus Pulver keine mikroskopisch sichtbaren Defekte auf der Schmelzoberfläche erzeugt [Camboni & Donnet, 2016]. Da das Abrasionsverhalten von Prophylaxepulvern auf Erythritol- und Glycinbasis annähernd gleich ist [Graetz et al., 2016], ist davon auszugehen, dass auch eine Behandlung mit dem AIR-FLOW Plus Pulver keine mikroskopisch sichtbaren Defekte auf der Schmelzoberfläche erzeugt. Deshalb sollte ein chemischer Einfluss der verschiedenen Inhaltsstoffe in den Pulvern AIR-Flow Plus, sowie AIR-FLOW Perio diskutiert werden.

Den Hauptbestandteil beider Pulver bilden die Abrasivkörper, welche beim Pulver Plus aus Erythritol- sowie beim Pulver Perio aus Glycinpartikeln bestehen. Beide Stoffe sind wasserlöslich und könnten demnach einen Einfluss auf das Bindevverhalten von Farbpartikeln auf der Zahnoberfläche haben.

Die Wasserlöslichkeit von Glycin beträgt 225 g/l. Jedoch zeigte selbst die übermäßig intensive Behandlung mit dem Pulver Perio im 3. Durchlauf der Gruppe 3 keinen zusätzlichen Effekt auf das Färbeverhalten. Ein Glycineinfluss ist in diesem Zusammenhang noch kaum wissenschaftlich untersucht und könnte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein, aufgrund unserer begrenzten Datenlage kann er nicht bestätigt werden.

Neben den beschriebenen Glycinpartikeln enthält das Pulver Perio zusätzlich zu <2,5% amorphes synthetisches Silicagel ["EMS Sicherheitsdatenblatt AIR-FLOW PERIO,"]. Dieses trägt zur besseren Rieselfähigkeit des Pulvers während der klinischen Anwendung bei ["Amorphe Kieselsäuren [MAK Value Documentation in German language, 1989,"].

Da es nicht wasserlöslich ist, erscheint eine chemische Interaktion zwischen Zahnoberfläche und Farbpartikeln unwahrscheinlich und konnte auch anhand unserer Ergebnisse nicht belegt werden.

Wenngleich unsere Studie eine chemische Interaktion durch Glycin bzw. amorphes synthetisches Silicagel bezogen auf das Färbeverhalten von Zahnoberflächen nicht belegt, ist dieser Zusammenhang wissenschaftlich nicht abschließend geklärt und sollte weiter im Blickpunkt von Untersuchungen stehen.

Differenziert zeigt sich die Situation bezüglich des Pulvers Plus. Die intensive Behandlung in Durchlauf 3 führte hier zur statistisch signifikant stärkeren Verfärbung der Zahnoberflächen. Erythritol als Hauptbestandteil des Pulvers besitzt eine Wasserlöslichkeit von 100g/l. Ein Einfluss auf das Färbeverhalten von Zahnoberflächen kann anhand unserer Daten zumindest nicht ausgeschlossen werden. Er ist wissenschaftlich jedoch ebenfalls noch nicht ausreichend untersucht.

Ein weiterer Ansatzpunkt ist Chlorhexidindiacetat, welches dem Pulver Plus in einer Konzentration von $\leq 0,3\%$ beigemischt ist. Es dient einerseits dazu, die Lagerfähigkeit des Pulvers zu verbessern und besitzt darüber hinaus einen antiseptischen Effekt in der Mundhöhle. Chlorhexidin ist seit über vier Jahrzehnten als erste Wahl für die chemische Plaquekontrolle in der Mundhöhle anerkannt und seine klinische Wirksamkeit und Nebenwirkungen sind bekannt. Die Literatur über den Einsatz von Chlorhexidin zur Plaquekontrolle ist immens. Die Wirksamkeit des Wirkstoffs in einer solchen Rolle ist unbestritten, und die verschiedenen Chlorhexidin-Formulierungen (Mundspülung, Gel, Spray) werden routinemässig sowohl in der allgemeinen zahnärztlichen Praxis als auch in den Parodontalabteilungen von Lehranstalten eingesetzt [Jones, 1997]. Seine Wirksamkeit lässt sich auf seine bakterizide und bakteriostatische Wirkung und seine Substantivität in der Mundhöhle zurückführen. Während andere Wirkstoffe eine oder mehrere dieser Eigenschaften besitzen, gibt es nur wenige, die alle drei besitzen und so gut wirken. Die antimikrobiellen Eigenschaften von Chlorhexidin werden seiner di-kationischen Struktur zugeschrieben, und es ist dieselbe Eigenschaft, die die Grundlage für seine häufigste Nebenwirkung, die extrinsische Zahnverfärbung, bildet [Moshrefi, 2002].

Addy et. al. zeigten bereits 1991, dass schon eine 0,1%ige Chlorhexidin Mundspüllösung zu deutlichen Verfärbungen von Zahn- und Kunststoffproben führte. Des Weiteren konnten sie zeigen, dass mit steigender Chlorhexidinkonzentration von 0,1% über 0,12% bis hin zu 0,2% die färbende Wirkung der Chlorhexidin-Mundspüllösungen auf die Zahn- und Kunststoffproben zunahm [Addy et al., 1991]. Chlorhexidindigluconat wird als Mundspüllösung heutzutage in der Regel in den Konzentrationen 0,1% und 0,2% eingesetzt. Die mit $\leq 0,3\%$ angegebene Konzentration von Chlorhexidin im Pulver Plus ist also nicht nur in klinisch wirksamer Mengen enthalten, sondern dürfte angesichts der Forschungslage mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in der vorliegenden Studie an der Bildung von extrinsischen Verfärbungen auf der Zahnoberfläche beteiligt sein.

8. Ausblick

Die vorliegende Untersuchung konnte einen Einfluss des Airflow Plus Pulvers (EMS, Nyon, Schweiz) auf das Färbeverhalten von Zahnschmelzoberflächen unter bestimmten Laborbedingungen nachweisen, jedoch nicht, welcher Bestandteil des Pulvers explizit die Verfärbungen verursacht. Wenngleich es sehr wahrscheinlich scheint, dass der Bestandteil Chlorhexidindiacetat ursächlich für das erhöhte Anfärbeverhalten ist, sollte in zukünftigen Arbeiten der Einfluss des Hauptbestandteils Erythritol untersucht werden. Auch könnte der Versuch mit anderen Druck- sowie Wassereinstellungen der verwendeten Pulver-Wasser-Strahleinheit Airflow Prophylaxis Master (EMS, Nyon, Schweiz) wiederholt werden. Da sich das Untersuchungsgut dieser Arbeit auf restaurationsfreie Zahnkronen im Zahnschmelzbereich beschränkt, könnte der Einfluss des Airflow Plus Prophylaxepulvers auf Dentin- sowie Kompositeoberflächen Grundlage weiterer Untersuchungen sein.

9. Zusammenfassung

Ein wichtiges Nachsorgekonzept nach erfolgter Parodontitistherapie besteht im Angebot einer Unterstützenden Parodontitis Therapie (UPT). Hierfür stehen herkömmliche Methoden wie Hand-, Schall- und Ultraschallinstrumente einerseits sowie Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte andererseits zur Verfügung.

Die vorliegende Arbeit untersucht in diesem Kontext einen spezifischen Aspekt der Luft-Pulver-Wasserstrahltechnik. Es soll betrachtet werden, welche Wirkung niedrig-abrasive Prophylaxepulver auf die Farbstabilität von Zahnschmelz haben und wie dieser Effekt sich im Vergleich zu herkömmlicher Zahnpolitur mit Polierpaste darstellt. Ein weiterer Beitrag der Studie besteht in der eigenständigen Entwicklung eines in-vitro Modells, in dem das Färbeverhalten von Zahnoberflächen reproduzierbar erfasst werden kann.

Insgesamt liegen aus dieser Untersuchung Daten von 152 extrahierten Zähnen vor, welche durch verschiedene Verfahren oberflächlich behandelt und anschließend in eine Färbelösung aus Kaffee gegeben wurden. Die Zahnfarben wurden zu verschiedenen Zeitpunkten mittels digitaler Bildanalyse bestimmt.

Im gewählten Versuchsaufbau (Durchlauf 1 und 2) ließ sich zunächst kein signifikanter Unterschied im Färbeverhalten nach Behandlung mit den Prophylaxepulvern Airflow Plus, Airflow Perio (EMS, Nyon, Schweiz) oder der Polierpaste Cleanic Prophy Paste flouride (Kerr Hawe, Bioggio, Schweiz) feststellen. Die Anwendung der verglichenen drei Produkte nach Herstellerangaben in der Studiensimulation erbrachte demnach keine signifikanten Verfärbungsunterschiede. Erst eine Modifikation des Versuchsablaufs im 3. Durchlauf, bei welchem die Zahnproben zusätzlich mit einer gesättigten Lösung aus Prophylaxemittel und Aqua Dest exponiert wurden, konnte einen signifikanten Einfluss des Prophylaxepulvers Airflow Plus auf das Färbeverhalten zeigen. Es ist von einem chemischen Einfluss des Inhaltsstoffes Chlorhexidin im Pulver Airflow Plus auszugehen, welcher in einer Konzentration von $\leq 0,3\%$ im Pulver enthalten ist.

Diese Nebenwirkung ist aus der Praxis und aus der Literatur bekannt und wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen bestätigt.

Gegenstand zukünftiger Arbeiten könnte die Untersuchung des Einflusses des Hauptbestandteils Erythritol auf das Färbeverhalten von Zahnoberflächen sein, oder der Einfluss höherer Druck- und Wassereinstellungen des Prophylaxegerätes. Des weiteren könnte ein Einfluss speziell auf das Färbeverhalten von Dentin oder Kompositrestaurationen durch das Prophylaxepulver EMS Airflow Plus und seine einzelnen Bestandteile untersucht werden.

Summary

An important aftercare concept following periodontal therapy is the offer of supportive periodontal therapy (SPT). Conventional methods such as hand, sonic and ultrasonic instruments on the one hand and air polishing devices (APD's) on the other hand are available for this purpose.

In this context, the present study examines a specific aspect of the air polishing technique. The effect of low-abrasive air polishing powders on the color stability of enamel and how this effect compares with conventional tooth polishing with polishing paste will be examined. A further contribution of the study is the independent development of an in vitro model in which the recoloring behavior of tooth surfaces after the application of different air polishing powders and polishing paste can be reproducibly determined.

In total, data from 152 extracted teeth are available from this study, which were treated superficially by various methods and then placed in a coffee staining solution. The tooth colors were determined at different times using digital image analysis.

In the selected experimental set-up (Runs 1 and 2), no significant difference in staining behavior was initially observed after treatment with the air polishing powders Airflow Plus, Airflow Perio (EMS, Nyon, Switzerland) or the polishing paste Cleanic Prophy Paste flouride (Kerr Hawe, Bioggio, Switzerland). The application of the three compared products according to the manufacturer's instructions in the study simulation did not show any significant differences in discoloration. Only a modification of the test procedure in the 3rd run, in which the tooth samples were additionally exposed to a saturated solution of prophylactic agent and Aqua Dest, was able to show a significant influence of the Airflow Plus prophylactic powder on the re-staining behavior. A chemical

influence of the ingredient chlorhexidine in the Airflow Plus powder can be assumed, which is contained in the powder in a concentration of $\leq 0.3\%$. This side effect is known from practice and from the literature and has already been confirmed in numerous studies.

Future work could investigate the influence of the main ingredient erythritol on the staining behavior of tooth surfaces or the influence of higher pressure and water settings of the prophylaxis unit. Furthermore, the influence of the EMS Airflow Plus prophylaxis powder and its individual components on the staining behavior of dentin or composite restorations could be investigated.

10. Literaturverzeichnis

Addy, M., Wade, W., & Goodfield, S. (1991). Staining and antimicrobial properties in vitro of some chlorhexidine formulations. *Clinical preventive dentistry*, 13(1), 13-17.

Ainamo, J., & Bay, I. (1975). Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *International dental journal*, 25(4), 229-235.

Amorphe Kieselsäuren [MAK Value Documentation in German language, 1989]. In *The MAK-Collection for Occupational Health and Safety* (pp. 1-26).

Andreasen, F. M. (1986). Transient apical breakdown and its relation to color and sensibility changes after luxation injuries to teeth. *Dental Traumatology*, 2(1), 9-19.

Axelsson, P., & Lindhe, J. (1981). Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults: results after 6 years. *Journal of clinical periodontology*, 8(3), 239-248.

Barnes, C. M. (2010). An in-depth look at air polishing.

Bastendorf, K. (2015). Erhaltungstherapie: Niedrigabrasives Pulver auf Erythritol-Basis. *ZWP*, 21, 58-63.

Bland, J. M., & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*, 327(8476), 307-310.

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical methods in medical research*, 8(2), 135-160.

Brook, A., Smith, R., & Lath, D. (2007). The clinical measurement of tooth colour and stain. *International dental journal*, 57(5), 324-330.

Bühler, J., Amato, M., Weiger, R., & Walter, C. (2016). A systematic review on the effects of air polishing devices on oral tissues. *International journal of dental hygiene*, 14(1), 15-28.

Camboni, S., & Donnet, M. (2016). Tooth surface comparison after air polishing and rubber cup: a scanning electron microscopy study. *J Clin Dent*, 27(1), 13-18.

Caramanos, Z., Fonov, V. S., Francis, S. J., Narayanan, S., Pike, G. B., Collins, D. L., & Arnold, D. L. (2010). Gradient distortions in MRI: characterizing and correcting for their effects on SIENA-generated measures of brain volume change. *NeuroImage*, 49(2), 1601-1611.

Chaffee, B. W., & Weston, S. J. (2010). Association between chronic periodontal disease and obesity: a systematic review and meta-analysis. *Journal of periodontology*, 81(12), 1708-1724.

Conroy, C., & Sturzenberger, O. (1968). The rate of calculus formation in adults. *The Journal of Periodontology*, 39(3), 142-144.

Costerton, J. W., Stewart, P. S., & Greenberg, E. P. (1999). Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*, 284(5418), 1318-1322.

Darveau, R. P. (2010). Periodontitis: a polymicrobial disruption of host homeostasis. *Nature Reviews Microbiology*, 8(7), 481.

Darveau, R. P., Tanner, A., & Page, R. C. (1997). The microbial challenge in periodontitis. *Periodontology 2000*, 14(1), 12-32.

Detert, J., Pischon, N., Burmester, G.-R., & Buttgereit, F. (2011). Pathogenese der Parodontitis bei rheumatischen Erkrankungen. *wissen kompakt*, 5(4), 33-45.

Domisch, H., Keschull, M., & Jepsen, S. (2017). Allgemeine Gesundheit und Parodontitis. *zm*, 107, 46-54.

Douglas, R. D. (1997). Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*, 77(5), 464-470.

Drago, L., Del Fabbro, M., Bortolin, M., Vassena, C., De Vecchi, E., & Taschieri, S. (2014). Biofilm removal and antimicrobial activity of two different air-polishing powders: an in vitro study. *Journal of periodontology*, 85(11), e363-e369.

Eickholz, P. (2000). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis. Diagnostik der marginalen Parodontitis." *Parodontologie*, 11(2), 173-178.

Eickholz, P. (2005). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis: Parodontologische Diagnostik. Teil 1: Klinische Plaque-und Entzündungsparameter. *Parodontologie*, 16(1), 69-75.

Eickholz, P. (2007a). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis: Unterstützende Parodontitistherapie (UPT). Teil 1: Ziele und Inhalte. *Parodontologie*, 18(2), 165-170.

Eickholz, P. (2007b). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis: Unterstützende Parodontitistherapie (UPT). Teil 2: Individuelles Parodontitisrisiko und Bestimmung der UPT-Intervalle. *Parodontologie*, 18(3), 239-245.

Eickholz, P. (2010a). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis: Parodontologische Diagnostik. Teil 4: Diagnostische Tests und ihre Eigenschaften. *Parodontologie*, 21(69-74).

Eickholz, P. (2010b). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis. Parodontologische Diagnostik, Teil 5: PSI und Sondenparameter. *Parodontologie*, 2, 177-187.

Eickholz, P. (2011). Glossar der Grundbegriffe für die Praxis: Instrumentierung der Zahnoberfläche. *Parodontologie*, 22(4), 407-412.

Eickholz, P., & Walter, C. (2018). Clinical and Radiographic Diagnosis and Epidemiology of Furcation Involvement. *Diagnosis and Treatment of Furcation-Involved Teeth*, 15-31.

EMS Sicherheitsdatenblatt AIR-FLOW PERIO.

Eriksen, H. M., & Nordbø, H. (1978). Extrinsic discoloration of teeth. *Journal of clinical periodontology*, 5(4), 229-236.

Fleischer, H. C., Mellonig, J. T., Brayer, W. K., Gray, J. L., & Barnett, J. D. (1989). Scaling and root planing efficacy in multirouted teeth. *Journal of periodontology*, 60(7), 402-409.

Flemmig, T. F., Arushanov, D., Daubert, D., Rothen, M., Mueller, G., & Leroux, B. G. (2012). Randomized controlled trial assessing efficacy and safety of glycine powder air polishing in moderate-to-deep periodontal pockets. *Journal of periodontology*, 83(4), 444-452.

Fuggle, N. R., Smith, T. O., Kaul, A., & Sofat, N. (2016). Hand to mouth: a systematic review and meta-analysis of the association between rheumatoid arthritis and periodontitis. *Frontiers in Immunology*, 7, 80.

Gebreselassie, P., Hoic, D., Masters, J. G., & Prencipe, M. (2002). Oral composition providing enhanced tooth stain removal. In: Google Patents.

Genco, R. J., & Borgnakke, W. S. (2013). Risk factors for periodontal disease. *Periodontology 2000*, 62(1), 59-94.

Gerlach, R. W., Barker, M. L., & Sagel, P. A. (2002). Objective and subjective whitening response of two self-directed bleaching systems. *American Journal of Dentistry*, 15, 7A.

Glockmann, E., Panzner, K., Huhn, P., Sigusch, B., & Glockmann, K. (2011). Ursachen des Zahnverlustes in Deutschland–Dokumentation einer bundesweiten Erhebung (2007). *IDZ-Information*, 2.

Goldstein, G. R., & Schmitt, G. W. (1993). Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *The Journal of prosthetic dentistry*, 69(6), 616-619.

Graetz, C., Bräuning, A., Plaumann, A., Springer, C., Kahl, M., & Dörfer, C. E. (2016). Antiinfektiöse Therapie-Instrumente zur Wurzeloberflächenbearbeitung im Fokus. *Parodontologie*, 27(2), 165-183.

Hajishengallis, G. (2014a). Immunomicrobial pathogenesis of periodontitis: keystones, pathobionts, and host response. *Trends in immunology*, 35(1), 3-11.

Hajishengallis, G. (2014b). The inflammophilic character of the periodontitis-associated microbiota. *Molecular oral microbiology*, 29(6), 248-257.

Hajishengallis, G., & Lamont, R. J. (2016). Dancing with the stars: how choreographed bacterial interactions dictate nososymbiocity and give rise to keystone pathogens, accessory pathogens, and pathobionts. *Trends in microbiology*, 24(6), 477-489.

Hamp, S. E., Nyman, S., & Lindhe, J. (1975). Periodontal treatment of multi rooted teeth. Results after 5 years. *Journal of clinical periodontology*, 2(3), 126-135.

Hannig, C., Hannig, M., & Attin, T. (2005). Enzymes in the acquired enamel pellicle. *European journal of oral sciences*, 113(1), 2-13.

Hasegawa, A., Ikeda, I., & Kawaguchi, S. (2000). Color and translucency of in vivo natural central incisors. *The Journal of prosthetic dentistry*, 83(4), 418-423.

Hashino, E., Kuboniwa, M., Alghamdi, S. A., Yamaguchi, M., Yamamoto, R., Cho, H., & Amano, A. (2013). Erythritol alters microstructure and metabolomic profiles of biofilm composed of *S treptococcus gordonii* and *P orphyromonas gingivalis*. *Molecular oral microbiology*, 28(6), 435-451.

Hattab, F. N., Qudeimat, M. A., & Al-Rimawi, H. S. (1999). Dental discoloration: an overview. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 11(6), 291-310.

Heidemann, D. (2005). Parodontologie (Praxis der Zahnheilkunde, Bd 4). In: Urban & Fischer, München.

Hilgers RD., Heussen N., & S., S. (2019). *Bland-Altman-Plot*. In: Gressner A.M., Arndt T. (eds) *Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik*. Springer Reference Medizin. Springer, Berlin, Heidelberg.

Hjelljord, L., Rølla, G., & Bonesvoll, P. (1973). Chlorhexidine–protein interactions. *Journal of Periodontal Research*, 8, 11-16.

Hojo, K., Nagaoka, S., Ohshima, T., & Maeda, N. (2009). Bacterial interactions in dental biofilm development. *Journal of dental research*, 88(11), 982-990.

IDZ, I. d. D. Z. (2016). Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V) - Kurzfassung.

Jepsen, S., Caton, J. G., Albandar, J. M., Bissada, N. F., Bouchard, P., Cortellini, P., . . . Fan, J. (2018). Periodontal manifestations of systemic diseases and developmental and acquired conditions: Consensus report of workgroup 3 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of clinical periodontology*, 45, S219-S229.

Jepsen, S., & Dommisch, H. (2014). Die parodontale Entzündung. *zm*, 104, 32-40.

Jepsen, S., Dommisch, H., & Kepschull, M. (2018). Ätiologie der Parodontitis– gibt es neue Erkenntnisse. *Zahnärztl Mitt*, 108, 66-71.

Joiner, A. (2004). Tooth colour: a review of the literature. *Journal of dentistry*, 32, 3-12.

Jones, C. G. (1997). Chlorhexidine: is it still the gold standard? *Periodontology* 2000, 15, 55-62.

Jordan, A. R., & Micheelis, W. (2016). *Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie-(DMS V)*: Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV.

Jost-Brinkmann, P.-G. (1998). The influence of air polishers on tooth enamel. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 59(1), 1-16.

Kilian, M., Chapple, I., Hannig, M., Marsh, P., Meuric, V., Pedersen, A., . . . Zaura, E. (2016). The oral microbiome—an update for oral healthcare professionals. *British Dental Journal*, 221(10), 657.

Kocher, T., König, J., Dzierzon, U., Sawaf, H., & Plagmann, H. C. (2000). Disease progression in periodontally treated and untreated patients—a retrospective study. *Journal of clinical periodontology*, 27(11), 866-872.

Kolenbrander, P. E., Andersen, R. N., Blehert, D. S., Egland, P. G., Foster, J. S., & Palmer, R. J. (2002). Communication among oral bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 66(3), 486-505.

Laine, M. L., Jepsen, S., & Loos, B. G. (2014). Progress in the identification of genetic factors in periodontitis. *Current Oral Health Reports*, 1(4), 272-278.

Lamont, R. J., & Hajishengallis, G. (2015). Polymicrobial synergy and dysbiosis in inflammatory disease. *Trends in molecular medicine*, 21(3), 172-183.

Lang, N. P., Cumming, B. R., & Löe, H. (1973). Toothbrushing frequency as it relates to plaque development and gingival health. *Journal of periodontology*, 44(7), 396-405.

Lee, B.-S., Huang, S.-H., Chiang, Y.-C., Chien, Y.-S., Mou, C.-Y., & Lin, C.-P. (2008). Development of in vitro tooth staining model and usage of catalysts to elevate the effectiveness of tooth bleaching. *Dental Materials*, 24(1), 57-66.

Lee, C., Huang, H., Sun, T., & Karimbux, N. (2015). Impact of patient compliance on tooth loss during supportive periodontal therapy: a systematic review and meta-analysis. *Journal of dental research*, 94(6), 777-786.

Lindhe, J., & Nyman, S. (1977). The role of occlusion in periodontal disease and the biological rationale for splinting in treatment of periodontitis. *Oral Sci. Rev.*, 10, 11-42.

Loos, B. G., Papantonopoulos, G., Jepsen, S., & Laine, M. L. (2015). What is the contribution of genetics to periodontal risk? *Dental Clinics*, 59(4), 761-780.

Lorenz, A. (2021). *Bewertung des Dentinabtrages durch die Wurzelkanalpräparation mit drei verschiedenen Nickel-Titan-Aufbereitungssystemen. Eine Mikro-Computertomographie-Studie.*

Marsh, P. D. (2003). Are dental diseases examples of ecological catastrophes? *Microbiology*, 149(2), 279-294.

Martin, A., & Donnet, M. (2017). Tooth Staining: Comparison between polishing paste and Air-Flow.

Meyle, J., & Chapple, I. (2015). Molecular aspects of the pathogenesis of periodontitis. *Periodontology 2000*, 69(1), 7-17.

Moëne, R., Décaillet, F., Andersen, E., & Mombelli, A. (2010). Subgingival plaque removal using a new air-polishing device. *Journal of periodontology*, 81(1), 79-88.

Moshrefi, A. (2002). *Chlorhexidine*. Paper presented at the The Journal of the Western Society of Periodontology/periodontal Abstracts.

Nociti Jr, F. H., Casati, M. Z., & Duarte, P. M. (2015). Current perspective of the impact of smoking on the progression and treatment of periodontitis. *Periodontology 2000*, 67(1), 187-210.

O'brien, W., Groh, C., & Boenke, K. (1990). A new, small-color-difference equation for dental shades. *Journal of dental research*, 69(11), 1762-1764.

O'Brien, W. J., Groh, C., & Boenke, K. M. (1989). A one-dimensional color order system for dental shade guides. *Dental Materials*, 5(6), 371-374.

O'Brien, W. J., Hemmendinger, H., Boenke, K. M., Linger, J. B., & Groh, C. L. (1997). Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dental Materials*, 13(3), 179-185.

O'leary, T. (1972). Drake RB, Naylor JE. The plaque control record. *J Periodontol*, 43(1), 38-42.

Okubo, S. R., Kanawati, A., Richards, M. W., & Childress, S. (1998). Evaluation of visual and instrument shade matching. *The Journal of prosthetic dentistry*, 80(6), 642-648.

Omata, Y., Uno, S., Nakaoki, Y., Tanaka, T., Sano, H., Yoshida, S., & Sidhu, S. K. (2006). Staining of hybrid composites with coffee, oolong tea, or red wine. *Dental materials journal*, 25(1), 125-131.

Palmer, R. M., Wilson, R. F., Hasan, A. S., & Scott, D. A. (2005). Mechanisms of action of environmental factors—tobacco smoking. *Journal of clinical periodontology*, 32, 180-195.

Papapanou, P. N., Sanz, M., Buduneli, N., Dietrich, T., Feres, M., Fine, D. H., . . . Graziani, F. (2018). Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of periodontology*, 89, S173-S182.

Paul, S., Peter, A., Pietrobon, N., & Hämmerle, C. (2002). Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. *Journal of dental research*, 81(8), 578-582.

Petersilka, G., & Flemmig, T. (2005). Schall-und Ultraschallscaler in der Parodontitistherapie. *Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGP. Dtsch Zahnärztl*(2005), 60.

Petersilka, G., Steinmann, D., & Flemmig, T. (2001). Subgingival plaque removal by a novel low abrasive airpolishing powder. *J Dent Res*, 80, 550.

Petersilka, G. J., Bell, M., Häberlein, I., Mehl, A., Hickel, R., & Flemmig, T. F. (2003). In vitro evaluation of novel low abrasive air polishing powders. *Journal of clinical periodontology*, 30(1), 9-13.

Petersilka, G. J., Schenck, U., & Flemmig, T. F. (2002). Powder emission rates of four air polishing devices. *Journal of clinical periodontology*, 29(8), 694-698.

Petersilka, G. J., Steinmann, D., Häberlein, I., Heinecke, A., & Flemmig, T. F. (2003). Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive air-polishing powder. *Journal of clinical periodontology*, 30(4), 328-333.

Petersilka, G. J., Tunkel, J., Barakos, K., Heinecke, A., Häberlein, I., & Flemmig, T. F. (2003). Subgingival plaque removal at interdental sites using a low-abrasive air polishing powder. *Journal of periodontology*, 74(3), 307-311.

Quercioli, F., Tiribilli, B., Mannoni, A., & Acciai, S. (1998). Optomechanics with LEGO. *Applied optics*, 37(16), 3408-3416.

Rogers, J. D., Palmer, R. J., Kolenbrander, P. E., & Scannapieco, F. A. (2001). Role of *Streptococcus gordonii* amylase-binding protein A in adhesion to hydroxyapatite, starch metabolism, and biofilm formation. *Infection and immunity*, 69(11), 7046-7056.

Rölla, G., Loe, H., & Rindom Schiött, C. (1970). The affinity of chlorhexidine for hydroxyapatite and salivary mucins. *Journal of Periodontal Research*, 5(2), 90-95.

Sahrman, P., Ronay, V., Schmidlin, P. R., Attin, T., & Paqué, F. (2014). Three-Dimensional Defect Evaluation of Air Polishing on Extracted Human Roots. *Journal of periodontology*, 85(8), 1107-1114.

Schwabacher, W. B., & Goodkind, R. J. (1990). Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *The Journal of prosthetic dentistry*, 64(4), 425-431.

Schwendicke, F., Krois, J., Kocher, T., Hoffmann, T., Micheelis, W., & Jordan, R. A. (2018). More teeth in more elderly: Periodontal treatment needs in Germany 1997–2030. *Journal of clinical periodontology*, 45(12), 1400-1407.

Seghi, R. R., Johnston, W. M., & O'Brien, W. (1986). Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 56(1), 35-40.

Socransky, S., Haffajee, A., Cugini, M., Smith, C., & Kent Jr, R. (1998). Microbial complexes in subgingival plaque. *Journal of clinical periodontology*, 25(2), 134-144.

Solheim, H., Eriksen, H. M., & Nordbø, H. (1980). Chemical plaque control and extrinsic discoloration of teeth. *Acta odontologica scandinavica*, 38(5), 303-309.

Sulieman, M., Addy, M., & Rees, J. (2003). Development and evaluation of a method in vitro to study the effectiveness of tooth bleaching. *Journal of dentistry*, 31(6), 415-422.

Suvan, J., D'Aiuto, F., Moles, D. R., Petrie, A., & Donos, N. (2011). Association between overweight/obesity and periodontitis in adults. A systematic review. *Obesity reviews*, 12(5), e381-e404.

Terheyden, H., Stadlinger, B., Sanz, M., Garbe, A. I., & Meyle, J. (2014). Inflammatory reaction—communication of cells. *Clinical oral implants research*, 25(4), 399-407.

Tsami, A., Pepelassi, E., Kodovazenitis, G., & Komboli, M. (2009). Parameters affecting tooth loss during periodontal maintenance in a Greek population. *The Journal of the American Dental Association*, 140(9), 1100-1107.

Tung, F. F., Goldstein, G. R., Jang, S., & Hittelman, E. (2002). The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *The Journal of prosthetic dentistry*, 88(6), 585-590.

Tunkel, J., Heinecke, A., & Flemmig, T. F. (2002). A systematic review of efficacy of machine-driven and manual subgingival debridement in the treatment of chronic periodontitis. *Journal of clinical periodontology*, 29, 72-81.

Van der Burgt, T., Ten Bosch, J., Borsboom, P., & Kortsmid, W. (1990). A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *The Journal of prosthetic dentistry*, 63(2), 155-162.

Vogel, R. (1975). Intrinsic and extrinsic discoloration of the dentition.(A literature review). *Journal of oral medicine*, 30(4), 99-104.

Volpe, A., Kupczak, L., King, W., Goldman, H., & Schulman, S. (1969). In vivo calculus assessment: Part IV. Parameters of human clinical studies. *Journal of Periodontology-Periodontics*, 40(2), 76-86.

Watts, A., & Addy, M. (2001). Tooth discolouration and staining: a review of the literature. In: Nature Publishing Group.

Wölber J, T. C. (2017). Parodontitis und Ernährung. *ZM 2017: 107: 32-39.*

Xiao, Y., Yan, C. X. B., Drouin, S., De Nigris, D., Kochanowska, A., & Collins, D. L. (2016). User-friendly freehand ultrasound calibration using Lego bricks

and automatic registration. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 11(9), 1703-1711.

11. Anhang

11.1 Anhang 1: Poweranalyse der Vorversuche

Poweranalyse für M. Appel, Stand vom 25. April 2019

1. Färbefeffekte aus den Vormessungen, Referenz ist Tag 2

a) Alle Messungen

-> Färbemittel = Kaffee

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
RGB_ohne_d~f	30	15.43333	11.28833	0	33
RGB_mit_diff	30	34	31.31596	0	112

-> Färbemittel = Tee

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
RGB_ohne_d~f	30	15.33333	12.62819	-3	41
RGB_mit_diff	30	25.13333	24.85785	-1	88

1.

b) Messungen von Tag 4

-> Färbemittel = Kaffee

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
RGB_ohne_d~f	5	15.4	7.300685	7	27
RGB_mit_diff	5	30.6	17.22788	14	55

-> Färbemittel = Tee

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
RGB_ohne_d~f	5	13.4	5.128353	7	19
RGB_mit_diff	5	19.6	11.0363	7	35

c) Messungen von Tag 7

-> Färbemittel = Kaffee

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
RGB_ohne_d~f	5	25.6	6.841053	19	33
RGB_mit_diff	5	56	35.70014	26	111

-> Färbemittel = Tee

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
RGB_ohne_d~f	5	30	8.944272	17	41
RGB_mit_diff	5	53.6	25.65736	23	88

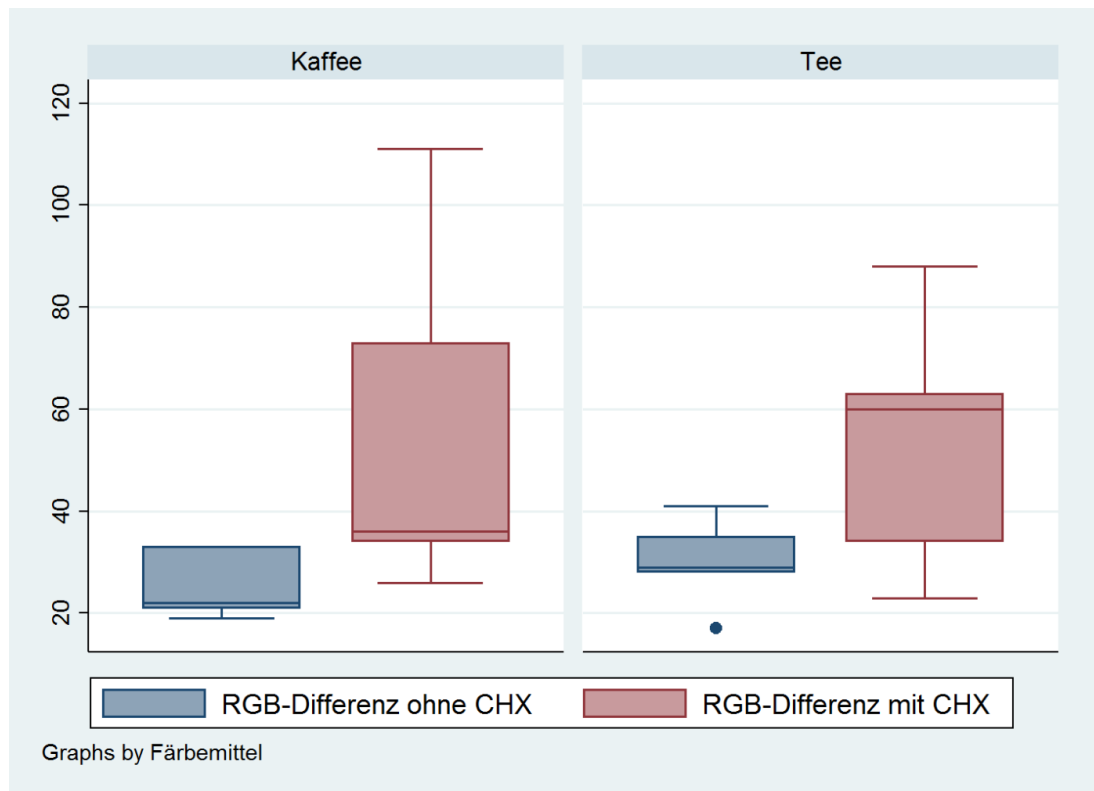
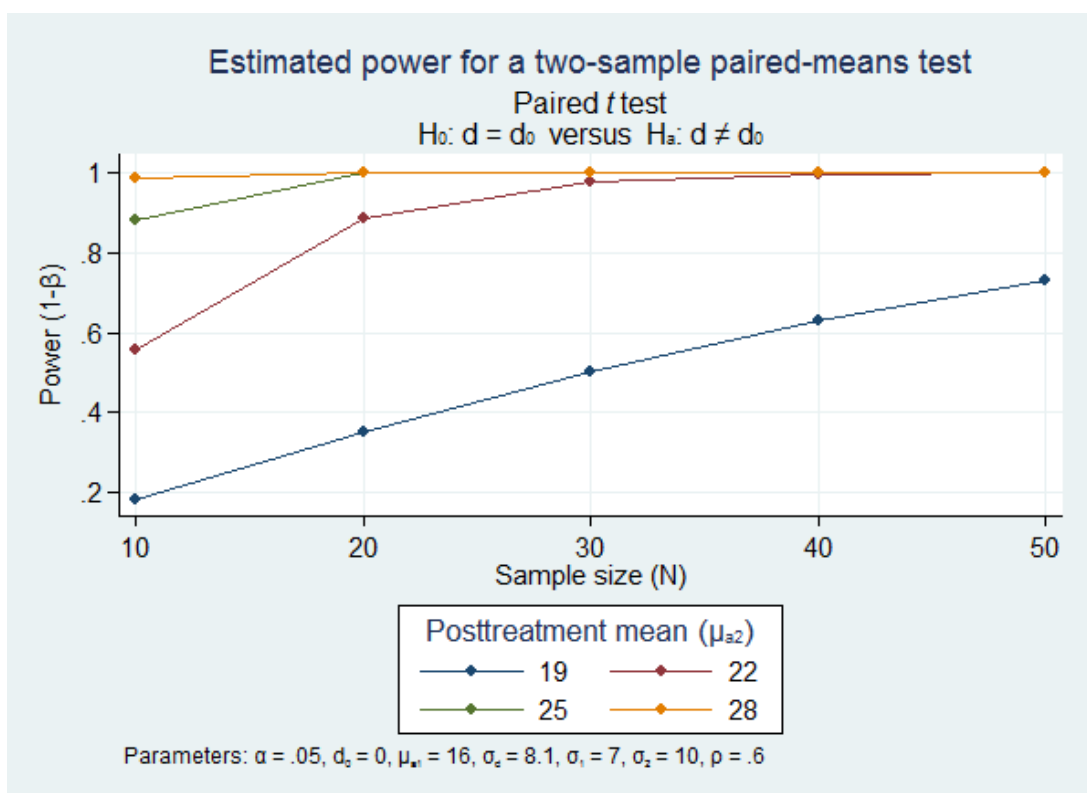
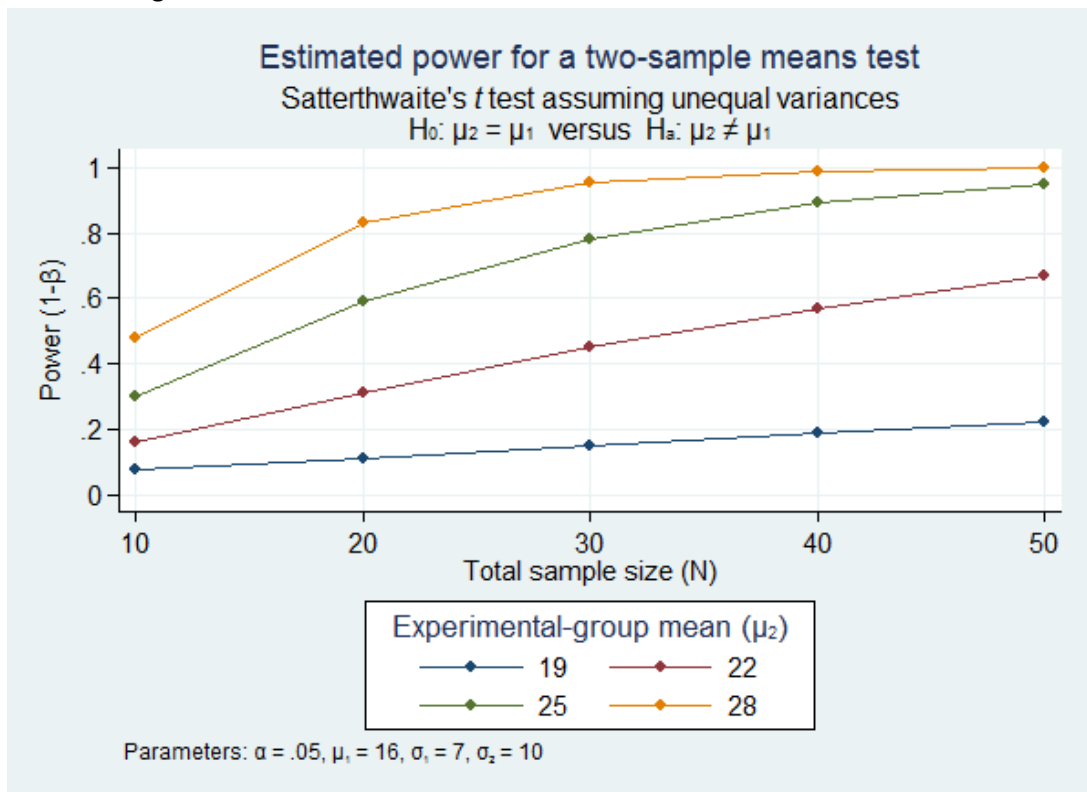


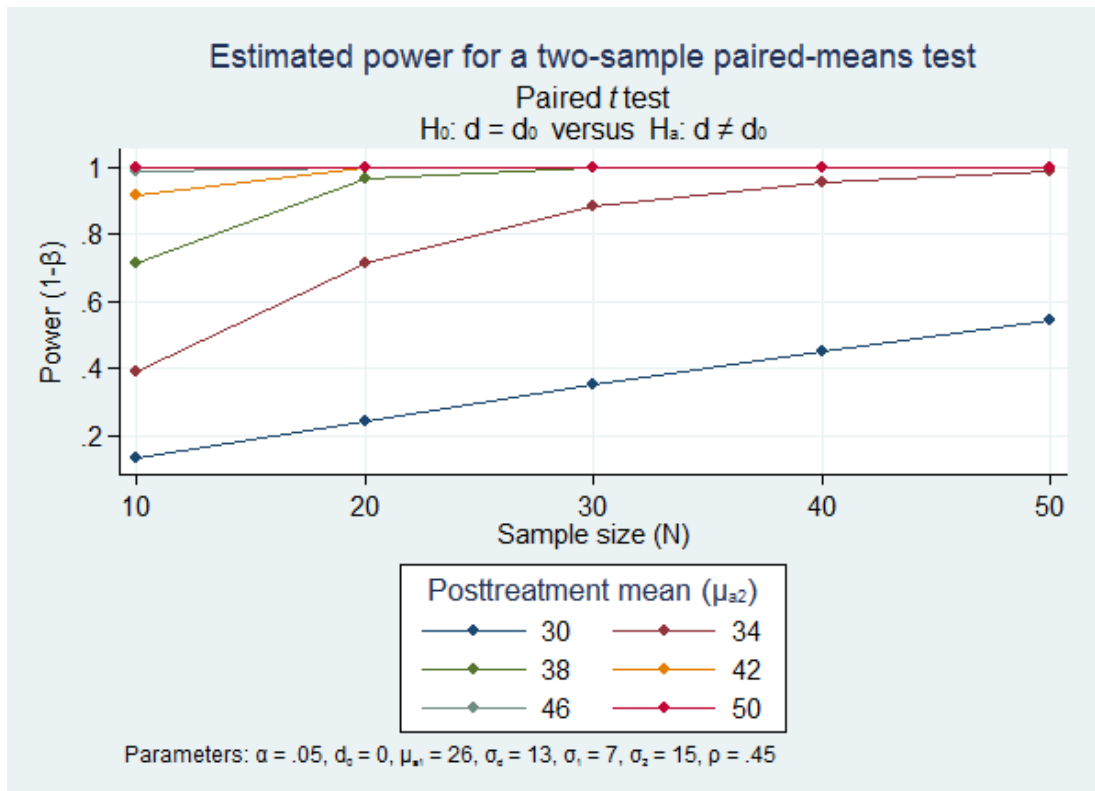
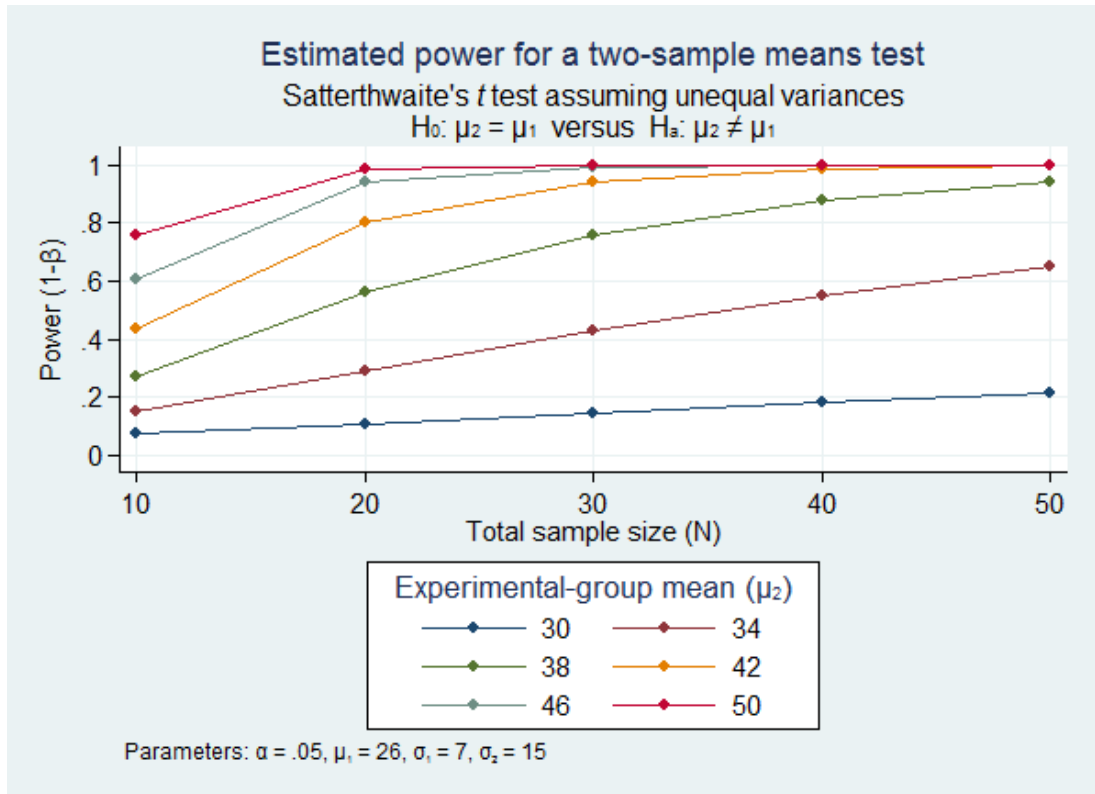
Abb1. RGB-Differenz zwischen Tag 7 und Tag 2, aufgeteilt nach Nutzung von CHX und Färbemittel

2. Welche Power kann bei verschiedenen Stichprobengrößen erreicht werden?
 - a) Annahme: RGB-Differenz durch Färbung von durchschnittlich 16 ± 7 nach 2 Tagen



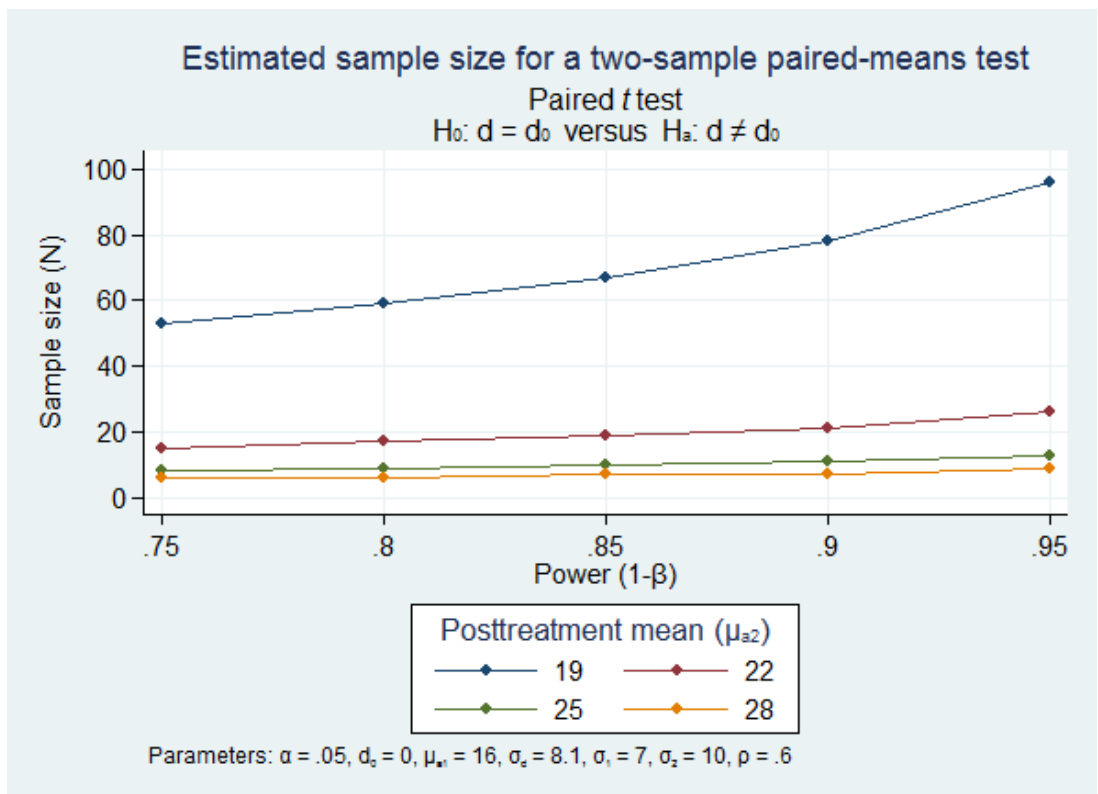
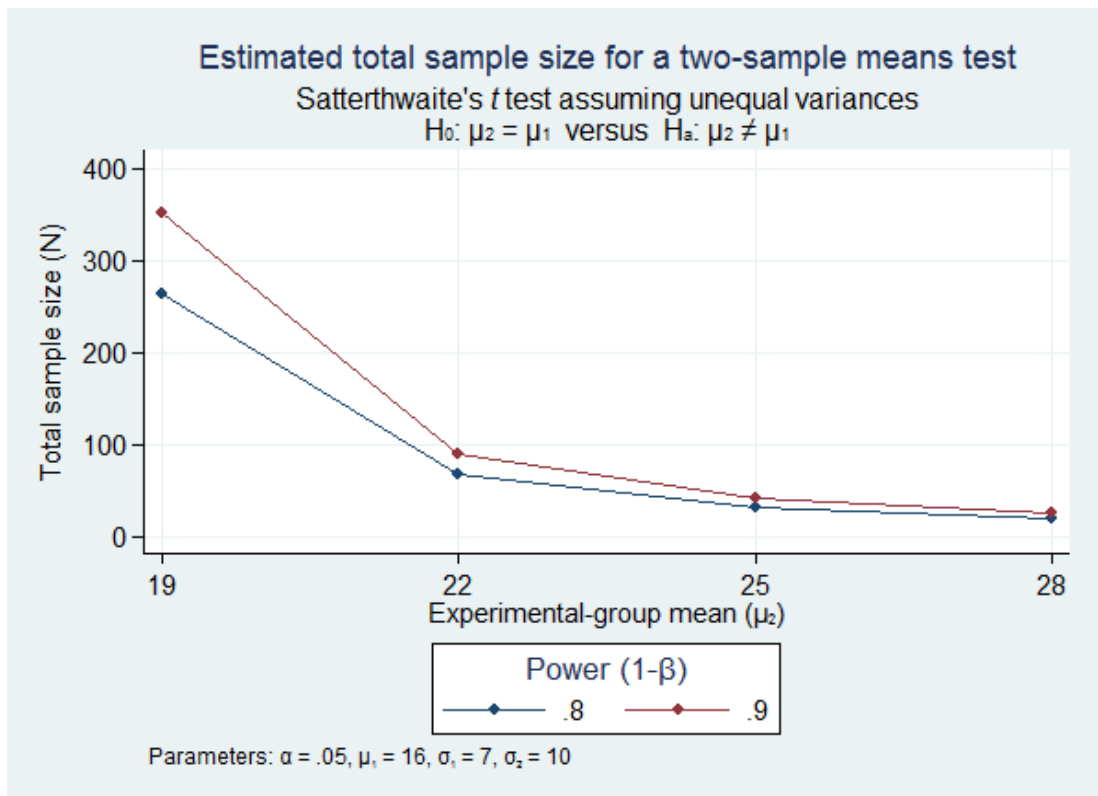
Geparter Test -> Annahme: Korrelation von 0.6 nach den Daten aus dem Vorversuch

b) Annahme: RGB-Differenz durch Färbung von durchschnittlich 26 ± 7 nach 5 Tagen



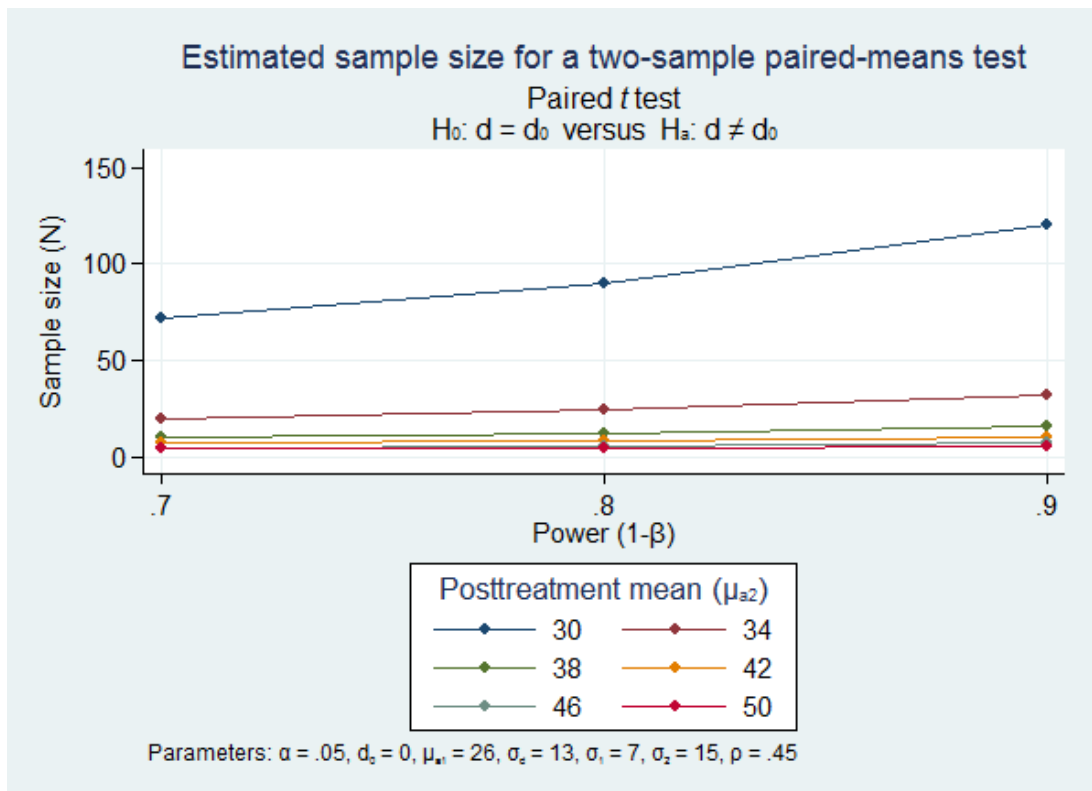
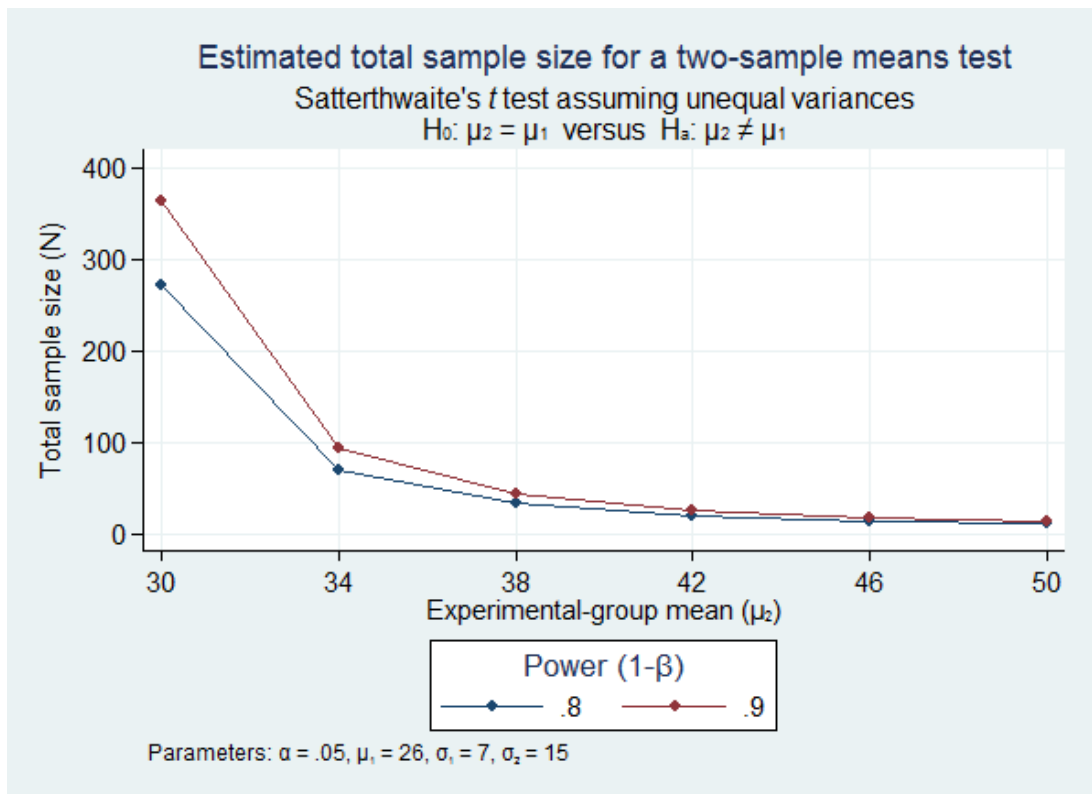
Gepaarter Test -> Annahme: Korrelation von 0.45 nach den Daten aus dem Vorversuch

3. Welche Stichprobengröße ist nötig, um eine gewisse Power zu erzielen?
 - a) Annahme: RGB-Differenz durch Färbung von durchschnittlich 16 ± 7 nach 2 Tagen



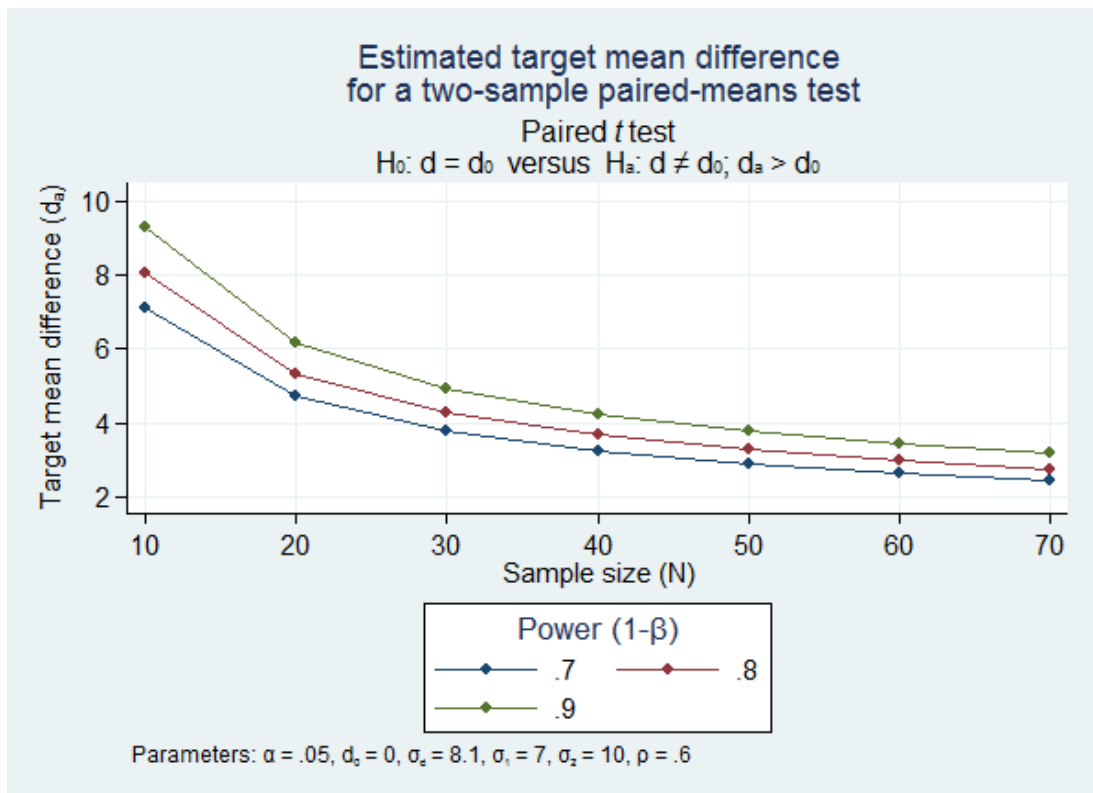
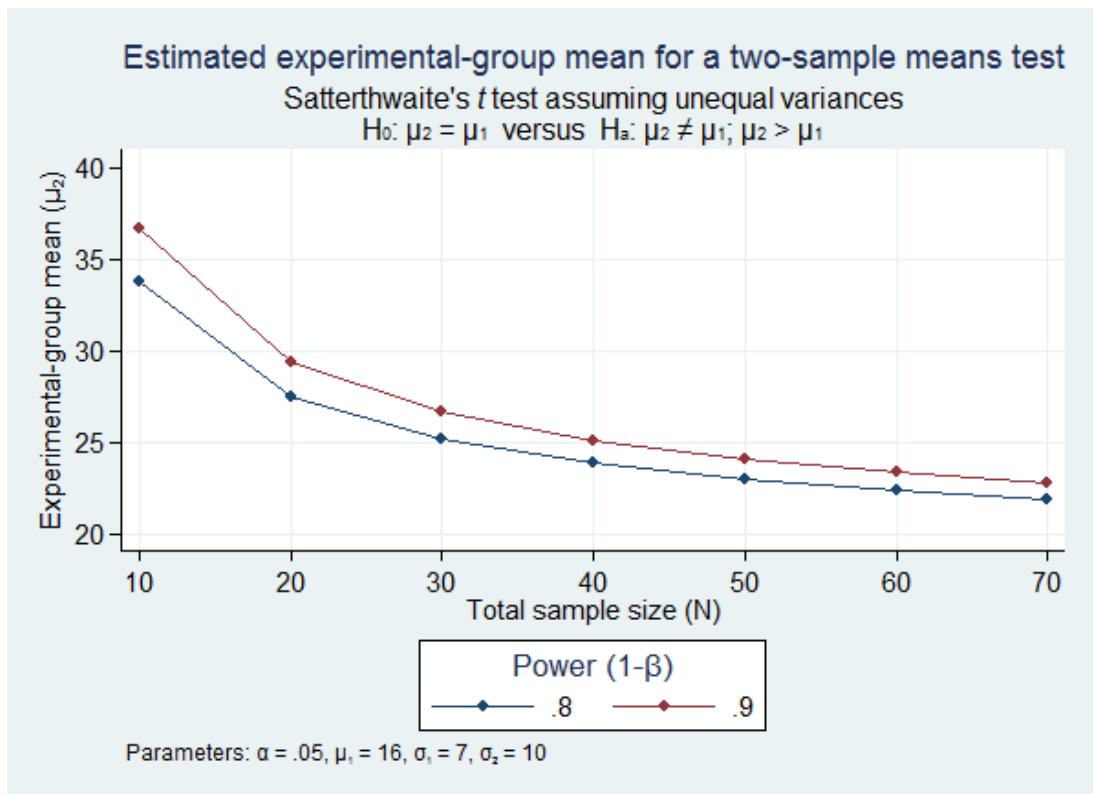
Gepaarter Test -> Annahme: Korrelation von 0.6 nach den Daten aus dem Vorversuch

- b) Annahme: RGB-Differenz durch Färbung von durchschnittlich 26 ± 7 nach 5 Tagen



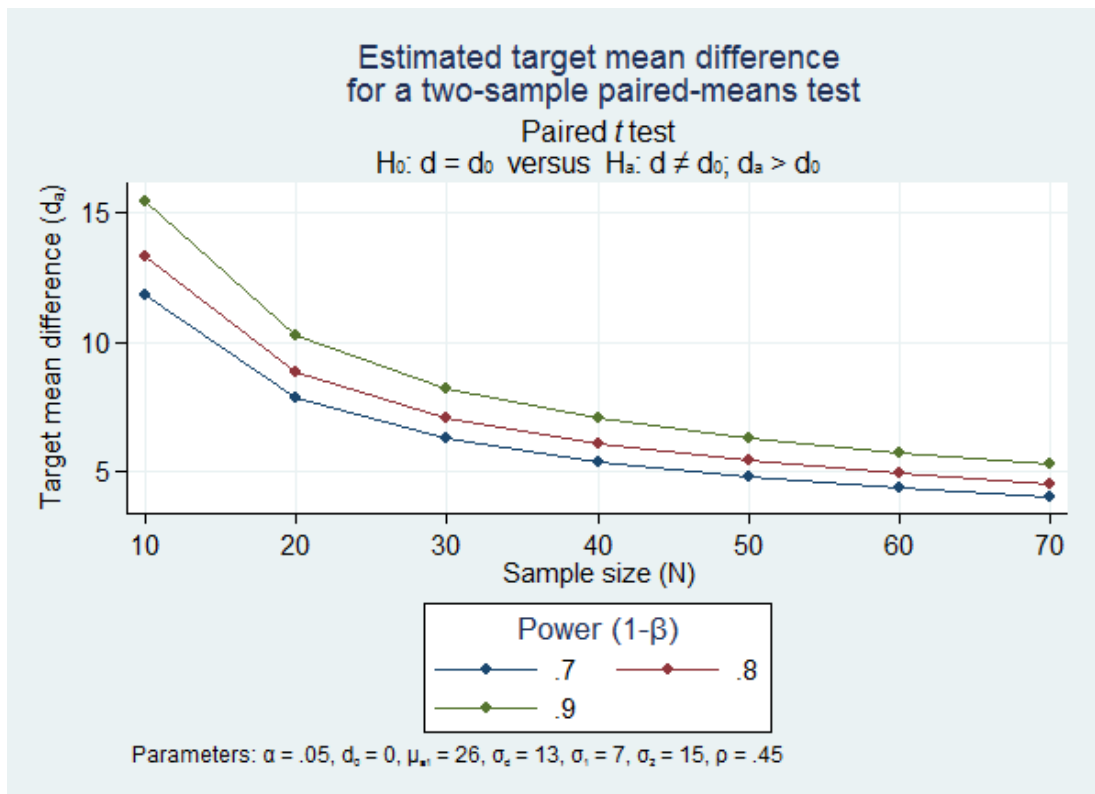
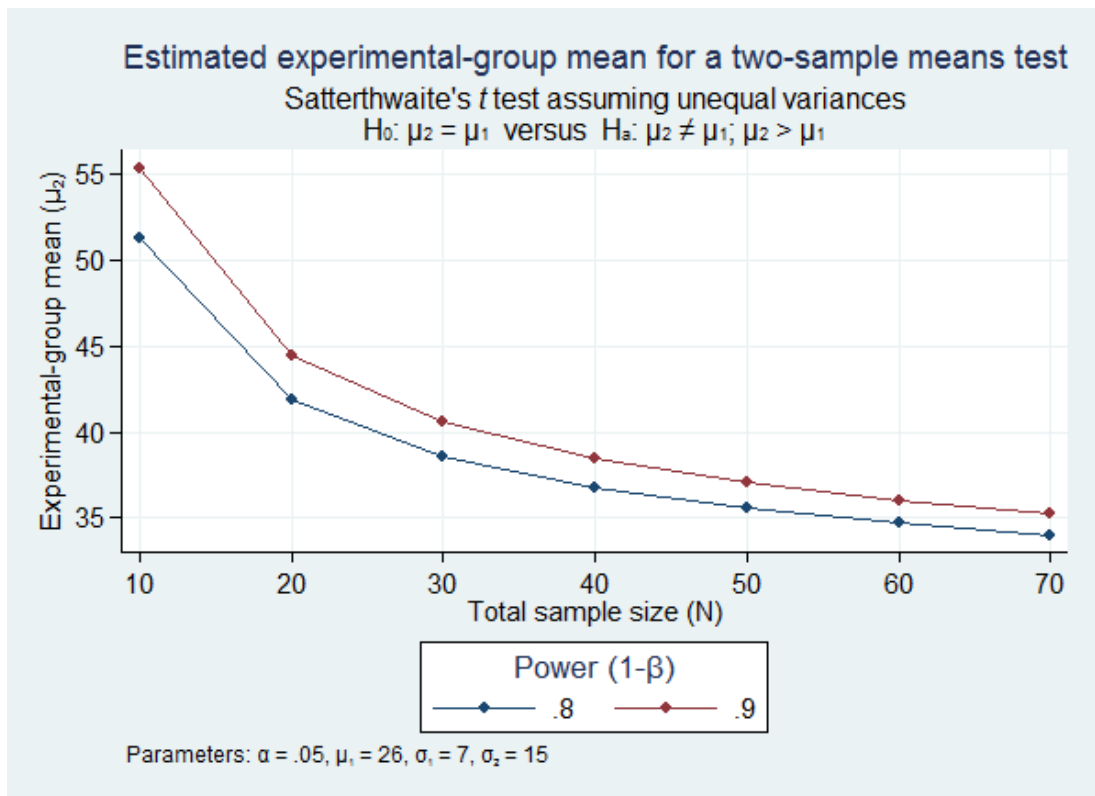
Gepaarter Test -> Annahme: Korrelation von 0.45 nach den Daten aus dem Vorversuch

4. Welcher Effekt ist bei gegebener Power und Stichprobengröße erkennbar?
 - a) Annahme: RGB-Differenz durch Färbung von durchschnittlich 16 ± 7 nach 2 Tagen




Gepaarter Test -> Annahme: Korrelation von 0.6 nach den Daten aus dem Vorversuch

- b) Annahme: RGB-Differenz durch Färbung von durchschnittlich 26 ± 7 nach 5 Tagen



Gepaarter Test -> Annahme: Korrelation von 0.45 nach den Daten aus dem Vorversuch

11.2 Anhang 2: Ethikantrag



Universitätsmedizin
GREIFSWALD

Universitätsmedizin Greifswald • Fleischmannstraße 8 • D-17475 Greifswald

Universitätsmedizin Greifswald
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Herr Prof. Dr. Thomas Kocher
Rotgerberstr. 8
D-17487 Greifswald

Ethikkommission
GESCHÄFTSSTELLE
Universitätsmedizin Greifswald
Ethikkommission
Institut für Pharmakologie
Felix-Hausdorff-Str.3
D-17487 Greifswald

BEARBEITER
Frau Dr. K. Salje

DATUM
01.08.2019

Studientitel: Untersuchung zur Oberflächenveränderung und Färbverhalten von Zahnoberflächen, nach Anwendung unterschiedlicher Reinigungsmethoden. Eine in-vitro-Studie an extrahierten Zähnen

Antrag vom: 26.06.2019

Eingegangen am: 12.07.2019

Interne Reg.Nr.: BB 093/19

*bitte ein scannen
=> Job + mir schicken*

=> wbdg

Stellungnahme der Ethikkommission

Sehr geehrter Herr Prof. Kocher,

die Ethikkommission der Universitätsmedizin Greifswald hat die zum o.g. Versuchsplan eingereichten Unterlagen in ihrer Sitzung am 30.07.2019 geprüft.

Die Kommission stellte mehrheitlich fest, dass gegen die Durchführung der Studie keine ethischen und rechtlichen Bedenken bestehen, und befürwortet deshalb das Vorhaben.

Die Ethikkommission erlaubt sich aber folgende Hinweise.

In der Patienteninformation sollten

- nicht studienrelevante Abschnitte („3. Risiken und Nebenwirkungen“, „5. Versicherungsschutz“) gestrichen werden.
- unter dem Punkt „6. Freiwilligkeit der Teilnahme“ klar gestellt werden, dass bei anonymisierter Probensammlung ein Widerruf der Studienteilnahme nicht möglich ist.

In der Einwilligungserklärung sollte

- die Aussage, dass „... Blut- und Gewebeproben... verwendet werden.“ gestrichen werden.
- klar gestellt werden, dass bei anonymisierter Probensammlung ein Widerruf der Studienteilnahme nicht möglich ist.
- die Aussage, dass der Hauszahnarzt über die Studienteilnahme informiert wird, bei anonymisierter Probensammlung gestrichen werden.

Telefon:
+49 (0)3834 86-5644

Telefax:
+49 (0)3834 86-5631

E-mail:
ethik@uni-greifswald.de

Internet:
www.medizin.uni-greifswald.de

Bankverbindung:
Deutsche Bundesbank Rostock
Konto-Nr. 130 015 30
BLZ 130 000 00

USt ID:
DE137584813

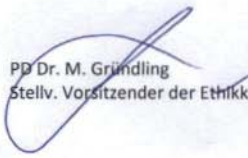
SEITE 1/3

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GREIFSWALD · KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS
VORSTAND: Prof. Dr. Claus-Dieter Heidecke (Vorstandsvorsitzender und ÄV) · Prof. Dr. Karlhans Endlich (stllv. WV) · Marie le Claire (KV)
AUFSICHTSRATSVORSITZENDER: Sebastian Schröder
Fleischmannstraße 8 · 17475 Greifswald · Tel.: +49(0)3834 86-0 · www.medizin.uni-greifswald.de

Die Ethik-Kommission macht darauf aufmerksam, dass die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung des Forschungsvorhabens beim Studienleiter und allen beteiligten Ärzten/Mitarbeitern liegt.

Die Mitglieder der Kommission wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Durchführung des Vorhabens.

Mit freundlichen Grüßen


PD Dr. M. Gründling
Stellv. Vorsitzender der Ethikkommission

SEITE 2/3

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GREIFSWALD - KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS
VORSTAND: Prof. Dr. Claus-Dieter Heidecke (Vorstandsvorsitzender und AV) · Prof. Dr. Karlhans Endlich (stlrv. WV) · Marie le Claire (KV)
AUF SICHTSRATSVORSITZENDER: Sebastian Schröder
Fleischmannstraße 8 · 17475 Greifswald · Tel.: +49(0)3834 86-0 · www.medizin.uni-greifswald.de

Allgemeine Hinweise:

- Die Zusammensetzung und Arbeitsweise der Ethikkommission an der Universitätsmedizin Greifswald entsprechen den nationalen gesetzlichen Bestimmungen und der ICH-GCP-Leitlinie. Den Beratungen der Ethikkommission liegt die Deklaration von Helsinki in der aktuellen Fassung zugrunde.
- Datenschutzrechtliche Aspekte von Forschungsvorhaben werden durch die Ethikkommission grundsätzlich nur kursorisch geprüft. Dieses Votum ersetzt mithin nicht die Konsultation des zuständigen Datenschutzbeauftragten.
- Bei Änderungen oder Erweiterungen des Forschungsvorhabens vor oder während der Durchführung bedarf es einer Anzeige der Änderungen/Erweiterungen und ggf. einer erneuten Beratung. Die Ethikkommission bittet die Änderungen und/oder Erweiterungen der Studienunterlagen deutlich zu kennzeichnen.
- Die Ethikkommission bittet um Mitteilung des Studienendes und die Zusendung einer Synopse des Abschlussberichtes.
- Die Ethikkommission empfiehlt die Eintragung des Forschungsvorhabens in ein öffentliches Studienregister.

Zur Bewertung haben der Kommission vorgelegen:

- Studienprotokoll, Version vom 26.06.2019
- Patienteninformation, undatiert
- Einwilligungserklärung, undatiert

Der Ethikkommission gehören an:

reguläre Mitglieder

Prof. Dr. M. M. Lerch
Klinik für Innere Medizin A

Prof. Dr. B. Kordaß
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Prof. Dr. B. Rauch
Institut für Pharmakologie

PD Dr. M. Gründling*
Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin

Prof. Dr. M. Dörr*
Klinik für Innere Medizin B

Prof. Dr. Th. Kohlmann
Institut für Community Medicine

Prof. Dr. B. Bockholdt*
Institut für Rechtsmedizin

Prof. Dr. H. Lang*
Fakultät für Rechts- und Staatswissenschaft

Prof. Dr. H. Assel
Theologische Fakultät

PD Dr. S. Schmidt
Klinik und Poliklinik für Kindermedizin

OÄ Dr. A. Belau
Klinik und Poliklinik für Frauenheilkunde und Geburtshilfe

Prof. Dr. H.-C. Schober
Klinik für Innere Medizin, Klinikum Südstadt Rostock

Katrin Packhäuser, Medizinstudentin

ständige Stellvertreter

Prof. Dr. S. Stracke*
Klinik für Innere Medizin A

Prof. Dr. R. Biffar
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

PD Dr. F. von Podewils*
Klinik und Poliklinik für Neurologie

OÄ Dr. S. Frießecke
Klinik für Innere Medizin B

Dr. R. Bülow*
Institut für Diagnostische Radiologie und Neuroradiologie

Prof. Dr. W. Hoffmann
Institut für Community Medicine

JProf. Dr. S. Salloch
Institut für Ethik und Geschichte der Medizin

Prof. Dr. C. D. Classen und Prof. Dr. H. Lege
Fakultät für Rechts- und Staatswissenschaft

Prof. Dr. M. Werner
Institut für Philosophie

Prof. Dr. A. Meyer-Bahlburg*
Klinik und Poliklinik für Kindermedizin

CA Dr. F. Ruhland*
Fachabteilung für Gynäkologie und Geburtshilfe,
HELIOS Hanselinikum Stralsund

Dr. Dr. M. Gillner*
Fachabteilung für Forensische Psychiatrie,
HELIOS Hanselinikum Stralsund

Annika Eikenbusch, Medizinstudentin*

*bei der Sitzung am 30.07.2019 anwesend

SEITE 3/3

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GREIFSWALD · KÖRPERSCHAFT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

VORSTAND: Prof. Dr. Claus-Dieter Heidecke (Vorstandsvorsitzender und ÄV) · Prof. Dr. Karlhans Endlich (stlrv. WV) · Marie le Claire (KV)

AUFSICHTSRATSVORSITZENDER: Sebastian Schröder

Fleischmannstraße 8 · 17475 Greifswald · Tel.: +49(0)3834 86-0 · www.medizin.uni-greifswald.de

12. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bevölkerungspyramide	2
Abbildung 2: Parodontalpathogene	7
Abbildung 3: Bakterienkomplexe der Mundhöhle nach Socransky et al. 1998	9
Abbildung 4: Das Wirkprinzip der Luft-Pulver-Wasserstrahlgeräte.....	18
Abbildung 5: Studienablauf (pro Durchlauf) im Flussdiagramm	32
Abbildung 6: Silokonform aus Duosil S.....	33
Abbildung 7 und 8: Vorder- und Rückseite eines eingebetteten Zahns..	34
Abbildung 9 und 10: Sägemikrotom.....	35
Abbildung 11 und 12: Vorder- und Rückseite eines eingebetteten Zahns nach dem longitudinalen Halbieren.....	35
Abbildung 13: AIRFLOW® Prophylaxis Master Einheit	38
Abbildung 14 und 15: Versuchsaufbau zur Oberflächenbearbeitung der Zahnoberflächen	38
Abbildung 16: Fotografie der Proben unter dem Mikroskop	40
Abbildung 17: Bestimmung eines Repräsentativen Feldes zur Farbmessung	43
Abbildung 18: Vermessung des zuvor bestimmten Bildbereichs mithilfe des Pipette-Werkzeugs	44
Abbildung 19: Bland-Altman Plots für die Messwerte R, G, und B des neutralen Vergleichszahnes zum Zeitpunkt (-1) und zu den Zeitpunkten 0 bis 3.....	52
Abbildung 20: Bland-Altman Plots für die Messwerte R, G, und B des neutralen Vergleichszahnes zum Zeitpunkt (-1) und zu den Zeitpunkten 4 bis 7.....	53
Abbildung 21: Verlauf von ΔE_{Rel} für Pulver Perio (blau) und Pulver Plus (orange) in Abhängigkeit von Durchlauf und Tag.....	57
Abbildung 22: Verlauf von ΔE_{Rel} für Pulver Plus (orange) und Polierpaste (grau) in Abhängigkeit von Durchlauf und Tag.....	61
Abbildung 23: Verlauf der ΔE_{Rel} Werte für Pulver Perio (blau) und Polierpaste (grau) in Abhängigkeit von Durchlauf und Tag.....	65
Abbildung 24: Veranschaulichung der Farbänderung eines Frontzahnes von zervikal nach inzisal.	74

13. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Neue Klassifikation der parodontalen Erkrankungen und Zustände	10
Tabelle 2: Neue Klassifikation der periimplantären Erkrankungen und Zustände	10
Tabelle 3: Ziele der parodontalen Therapie	11
Tabelle 4: Elemente der UPT	11
Tabelle 6: Einteilung der Lockerungsgrade nach Lindhe & Nyman	15
Tabelle 7: Herstellerangaben der Natriumbicarbonat basierten Pulver ..	20
Tabelle 8: Herstellerangaben der Calciumcarbonat basierten Pulver	20
Tabelle 9: Herstellerangaben der Glycin basierten Pulver	22
Tabelle 10: Herstellerangaben der Erythritol basierten Pulver	23
Tabelle 11: Anwendungsbereiche der Prophylaxepulver auf verschiedenen Oberflächen	24
Tabelle 12: Wirksamkeit der Prophylaxepulver gegenüber verschiedenen Auflagerungen	24
Tabelle 13: Übersicht über die Verteilung der Zahnproben auf die verschiedenen Gruppen und Durchläufe	30
Tabelle 14: Einschluss-/ Ausschlusskriterien der Proben	31
Tabelle 15: Ort der Probenentnahme	31
Tabelle 16: Verteilung der Zähne auf Prüf- und Kontrollgruppen	36
Tabelle 17: Vorversuch zur Reproduzierbarkeit der exakten Positionierung	41
Tabelle 18: Vorversuch zur Reproduzierbarkeit der Zahnfarbe der immer selben Probe	42
Tabelle 19: Messzeitpunkte zur Farbbestimmung	45
Tabelle 20: Beispiel für die Datenstruktur von Zahnprobe 1 nach Abschluss aller Messungen	46
Tabelle 17: Intrarate ICCs und mittlere Abweichungen der Messwerte zu „t0-Pulver“	54
Tabelle 18: Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 1 nach Durchlauf, Behandlung und Tag	56
Tabelle 19: Gemischtes Modell mit Berücksichtigung der hierarchischen Struktur der Daten	58
Tabelle 20: Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 2 nach Durchlauf, Behandlung und Tag	60
Tabelle 21: Gemischtes Modell mit Berücksichtigung der hierarchischen Struktur der Daten	62
Tabelle 22: Darstellung der ΔE_{Rel} Werte von Gruppe 3 nach Durchlauf, Behandlung und Tag	64

Tabelle 23: Gemischtes Modell mit Berücksichtigung der hierarchischen Struktur der Daten.....	66
--	----

14. Abkürzungsverzeichnis

ΔE_{Rel}	Delta E Relativ
AIT	Antientzündliche Therapie
API	Approximaler Plaqueindex
BOP	Bleeding on Probing
CHX	Chlorhexidin
CPT	Chirurgische Parodontitistherapie
DMS V	Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie
GBI	Gingival Bleeding Index
ICC	Intraklassen-Korrelationskoeffizienten
IDZ	Institut der Deutschen Zahnärzte
PAL-H	Horizontaler Attachmentverlust
PAL-V	Vertikaler Attachmentverlust
PCR	Plaque Control Record
PZR	Professionelle Zahnreinigung
SRP	Scale and Root Planing
ST	Sondierungstiefe
SZG	Schmelz-Zement-Grenze
UPT	Unterstützende Parodontitistherapie

15. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

16. Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. dent. Thomas Kocher sowie OA Dr. med. dent. Lukasz Jablonowski herzlichst für die Überlassung dieses Themas sowie für die fachliche Betreuung und Unterstützung.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern des Versuchslabors der Zahnklinik Greifswald für die Zurverfügungstellung der Räumlichkeiten und wertvollen Hilfe im Rahmen der praktischen Versuche.

Ich danke an dieser Stelle ebenfalls Frau PD Dr. Birte Holtfreter, sowie Frau Christiane Pink aus der Abteilung für Parodontologie des ZZMK Greifswald für die wertvolle Beratung und Unterstützung im Bereich der Statistik.

Zuletzt möchte ich meine tiefe Dankbarkeit meiner Familie und meinen Freunden ausdrücken, die in verschiedenster Form zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben. Besondere Anerkennung gebührt in diesem Zusammenhang meiner Familie Gitte, Thomas und Malou Appel, meiner Partnerin Irene Döll sowie meiner Schwiegermutter Cornelia Döll.