

**Untersuchungen zur Reliabilität einer neuen
Quantitative Light-Induced Fluorescence basierten
Methode zur klinischen Erfassung von Plaque
bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparaturen**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Glanz, Tabea, geb. Koch
aus Lüdenscheid

Gießen 2019

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
unter der Leitung von Prof. Dr. Sabine Ruf
des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Sabine Ruf
Gutachter: Prof. Dr. José R. Gonzales Cordova

Tag der Disputation: 02.07.2020

Für meine Familie.

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau der Arbeitsgruppe	1
1.1	Struktur und Verantwortlichkeiten	1
1.2	Fragestellung	1
1.3	Flussdiagramm.....	3
2	Literaturübersicht	5
2.1	Ätiologie plaquebedingter Erkrankungen	5
2.1.1	Biofilm (Plaque).....	5
2.1.2	Karies	6
2.1.3	Gingivitis und Parodontitis.....	9
2.2	Plaquemessmethoden und –indizes	10
2.2.1	Einteilung und Anforderungen.....	10
2.2.2	Planimetrische Plaquemessung.....	11
2.2.3	Klinische Plaqueindizes	12
2.2.4	Klinische Plaqueindizes bei Behandlung mit Multi-Bracket-Apparaturen..	14
2.3	Plaquerevelatoren	16
2.4	Funktionsprinzip QLF-D	17
2.5	Plaque bei Multi-Bracket-Apparaturen	19
3	Ziel der Arbeit.....	21
4	Material und Methode	22
4.1	Ethik und Datenschutz	22
4.2	Untersuchte Probandengruppen	22
4.3	Fragestellung	24
4.4	Dokumentation der Datenerhebung.....	25
4.4.1	Studienablauf	25
4.4.2	Untersuchertraining.....	26
4.4.3	Fotostatus	26
4.4.4	Plaquemessung mittels QLF-D	29
4.4.5	Plaquemessung mittels Anfärben	30
4.5	Auswertung	30
4.6	Statistische Verfahren	31
4.7	Inter- und Intrarater Reliabilität.....	32
4.7.1	Reproduzierbarkeit.....	32
4.7.2	Mehrfachauswertung.....	33

4.7.3	Nullwertbestimmung.....	35
5	Ergebnisse.....	36
5.1	Plaque QLF-D vs. Mira.....	36
5.1.1	Vergleich auf Probandenebene, Zahnflächen zusammengefasst und gemittelt	36
5.1.2	Vergleich nach Zahnflächen.....	39
5.1.3	Bland-Altman-Analyse.....	42
5.2	Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche.....	43
5.2.1	QLF-D-Werte.....	43
5.2.2	Mira-Werte	45
5.2.3	Vergleich der QLF-D- und der Mira-Werte (Setting)	47
5.3	Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche.....	47
5.3.1	QLF-D-Werte.....	47
5.3.2	Mira-Werte	49
5.3.3	Vergleich der QLF-D- und Mira-Werte (Zahn).....	51
5.4	Einfluss des Kiefers je Zahn/Setting/Fläche.....	51
5.4.1	QLF-D-Werte.....	51
5.4.2	Mira-Werte	53
5.4.3	Vergleich der QLF-D- und Mira-Werte (Kiefer)	54
5.5	Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn/Setting.....	55
5.5.1	QLF-D-Werte.....	55
5.5.2	Mira-Werte	58
5.5.3	Vergleich der QLF-D- und Mira-Werte (Zahnfläche).....	60
5.6	Vergleich mit der Gruppe nonMB.....	60
6	Diskussion.....	61
6.1	Material und Methode	61
6.1.1	Probandengut.....	61
6.1.2	Studienablauf	62
6.1.3	Auswahl des Verfahrens zur Plaquemessung	63
6.1.4	QLF-D Biluminator	63
6.1.5	Software	64
6.2	Methodenkritik.....	68
6.3	Ergebnisse	68
6.3.1	Plaque QLF-D vs. Mira.....	68
6.3.2	Einfluss der Umgebungsbeleuchtung je Kiefer/Zahn/Fläche (QLF-D).....	72
6.3.3	Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche.....	72

6.3.4	Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche.....	74
6.3.5	Einfluss des Kiefers je Zahn/Setting/Fläche.....	74
6.3.6	Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn/Setting.....	75
6.4	Schlussfolgerung.....	76
7	Zusammenfassung	77
8	Summary	79
9	Literatur	81
10	Anhang	89
10.1	Planimetrische Auswertung.....	89
10.2	Checkliste.....	90
10.3	Abbildungsverzeichnis	91
10.4	Tabellenverzeichnis	93
11	Ehrenwörtliche Erklärung	94
12	Danksagung	95

Inklusionsverweis

In der folgenden Arbeit wird (außer in Kapitel 1) aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen beiderlei Geschlechts.

1 Aufbau der Arbeitsgruppe

Die Ausführungen unter Kapitel 1 befinden sich in identischer Ausführung in den Dissertationen von Frau Tabea Glanz und Herrn Alexander Georg Glanz und wurden von diesen gemeinsam verfasst.

1.1 Struktur und Verantwortlichkeiten

Die Studie wurde in den Räumlichkeiten der Poliklinik für Kieferorthopädie des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt.

An der Studie waren zwei Studienleiterinnen (Frau Prof. Dr. Carolina Ganß, Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde und Frau Prof. Dr. Sabine Ruf, Poliklinik für Kieferorthopädie; Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen) und zwei Doktorand(inn)en (Frau Tabea Glanz, im Folgenden TG und Herr Alexander Georg Glanz, im Folgenden AG) beteiligt. Die Studienleiterinnen waren für die Planung der Studie, die Überwachung deren ordnungsgemäßer Durchführung, die statistische Auswertung und die Archivierung der Daten verantwortlich. Die Doktorand(inn)en waren ebenfalls für die Planung sowie ferner für die Rekrutierung, die Aufklärung und den Einschluss der Proband(inn)en, die ordnungsgemäße Dokumentation, die Durchführung der Untersuchungen und die planimetrische Auswertung der erhobenen Daten verantwortlich.

1.2 Fragestellung

Ziel der Studie war die Evaluierung der Möglichkeiten klinischer Plaquemessung mittels Fluoreszenzmessung mit dem QLF-D Biluminator (Inspektor Research, Amsterdam, Niederlande). Dabei sollten im Gesamtprojekt folgende Fragen beantwortet werden:

- (1) Korreliert die auf dem Fluoreszenzfoto quantifizierte Plaquemenge mit der auf dem konventionellen Foto nach Anfärben quantifizierten Plaquemenge, wenn die Aufnahmen **standardisiert mit Stativ und Kinn-/Stirnstütze** angefertigt werden?

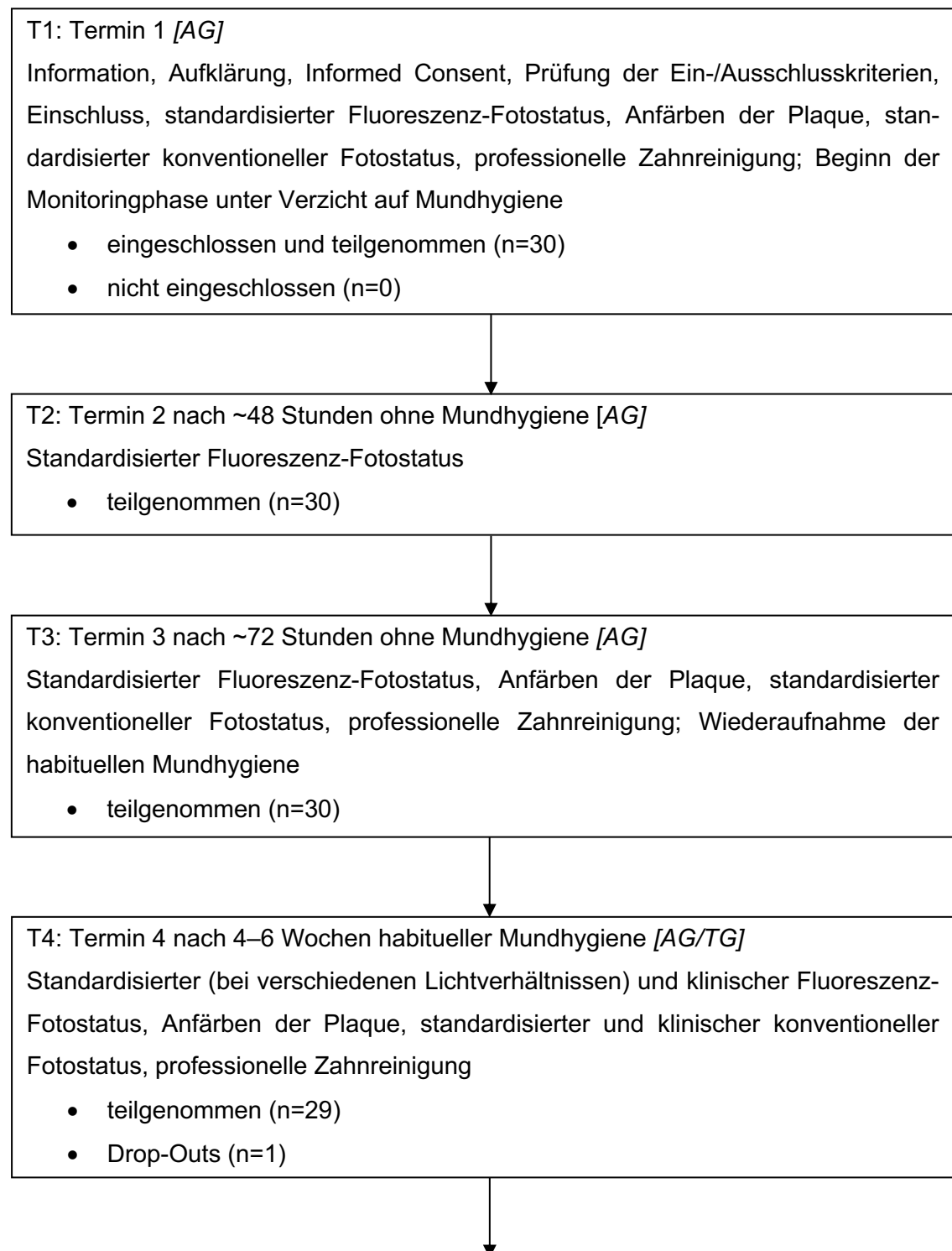
-
- (2) Ist das **Monitoring** von Plaquewachstum möglich, wenn die Aufnahmen **standardisiert mit Stativ und Kinn-/Stirnstütze** angefertigt werden?
- (3) Korreliert die auf dem Fluoreszenzfoto quantifizierte Plaquemenge mit der auf dem konventionellen Foto nach Anfärben quantifizierten Plaquemenge, wenn die Aufnahmen **in einem klinischen Setting** ohne Stativ und Kinn-/Stirnstütze angefertigt werden?
- (4) Korreliert die auf dem Fluoreszenzfoto quantifizierte Plaquemenge mit der auf dem konventionellen Foto nach Anfärben quantifizierten Plaquemenge, wenn die Aufnahmen standardisiert mit Stativ und Kinn-/Stirnstütze bzw. in einem klinischen Setting ohne Stativ und Kinn-/Stirnstütze **bei Proband(inn)en mit Multi-Bracket-Apparaturen** angefertigt werden?

Die Dissertation von Herrn Alexander Georg Glanz behandelt die erste und die zweite Fragestellung unter Schwerpunktsetzung auf Methodenentwicklung und Basisevaluation des Verfahrens. Die dritte und die vierte Fragestellung finden in der Dissertation von Frau Tabea Glanz Betrachtung. Die beim vierten Termin der Gruppe ohne Multi-Bracket-Apparatur im standardisierten Setting bei abgedunkelten Lichtverhältnissen erstellten Fluoreszenzfotos und die beim gleichen Termin im standardisierten Setting erstellten konventionellen Fotos wurden dabei von beiden Doktorand(inn)en genutzt.

1.3 Flussdiagramm

Das Flussdiagramm gibt Aufschluss über den Ablauf des Gesamtprojekts und die Verantwortlichkeiten zu den jeweiligen Terminen. Der/die verantwortliche Doktorand/-in ist durch Kürzel dargestellt, die/der jeweils andere übte am jeweiligen Termin assistierende Tätigkeiten aus.

Proband(inn)en ohne Multi-Bracket-Apparatur



**Auswertung [AG/TG]**

Rohdatenimport, Export, ROI-Markierung, spezifische Graustufenkonvertierung, Export in Graustufen, Auswertung nach Grenzwert, Umwandlung der Ergebnisse in Tabellenform

- erhobene Daten von T1, T2, T3, T4

Proband(inn)en mit Multi-Bracket-Apparatur**Termin 1 [TG]**

Information, Aufklärung, Informed Consent, Prüfung der Ein-/Ausschlusskriterien, Einschluss, standardisierter (bei verschiedenen Lichtverhältnissen) und klinischer Fluoreszenz-Fotostatus, Anfärben der Plaque, standardisierter und klinischer konventioneller Fotostatus, professionelle Zahnreinigung

- eingeschlossen und teilgenommen (n=20)
- nicht eingeschlossen (n=0)

**Auswertung [TG]**

Rohdatenimport, Export, ROI-Markierung, spezifische Graustufenkonvertierung, Export in Graustufen, Auswertung nach Grenzwert, Umwandlung der Ergebnisse in Tabellenform

- erhobene Daten von T1

2 Literaturübersicht

2.1 Ätiologie plaquebedingter Erkrankungen

2.1.1 Biofilm (Plaque)

Der dentale Biofilm bzw. die dentale Plaque ist ein strukturierter, zäher Belag aus Bakterien, Nahrungsresten und Speichelbestandteilen, der an der Zahnoberfläche haftet [Flemming und Wingender, 2010; Marsh und Martin, 2003].

Die Entstehung eines dentalen Biofilms kann nach Nyvad in 5 Abschnitte eingeteilt werden [Nyvad, 1993]:

1. Bildung eines Pellikel
2. Anlagerung einzelner Mikroorganismen (0-24h)
3. Bildung von Mikrokolonien (4-24h)
4. Wachstum der Mikrokolonien durch Proliferation und Co-Adhäsion weiterer Mikroorganismen (1-7d)
5. Voll ausgebildeter dentaler Biofilm

Zunächst bildet sich auf der gereinigten Zahnoberfläche durch Adsorption freischwimmender Moleküle aus Speichel und Sulkusflüssigkeit das sogenannte Pellikel, welches durch elektrostatische und Van-der-Waals-Kräfte am Zahn haftet [Al-Hashimi und Levine, 1989].

Innerhalb weniger Stunden kommt es zur Bindung von Adhäsinen grampositiver Mikroorganismen, vor allem von Streptokokken (60-90%), an Rezeptoren des Pellikel [Kolenbrander et al., 2006]. Diese früh kolonisierenden Mikroorganismen, welche Bestandteil der physiologischen oralen Mikroflora sind, beginnen sich auf der Zahnoberfläche zu organisieren und zu vermehren [Aas et al., 2005]. In den ersten zwei Tagen sind dies vor allem *S. sanguinis*, *S. oralis* und *S. mitis Biovar 1* [Nyvad und Kilian, 1990].

Der Biofilm nimmt durch Proliferation der vorhandenen Mikroorganismen und Co-Adhäsion weiterer Bakterien an Masse zu. Die Synthese einer Matrix aus Polymeren wird angeregt [Tinanoff et al., 1976]. Diese Matrix formt den Biofilm und schützt die Mikroorganismen innerhalb des Biofilms vor Umwelteinflüssen (pH-Wert-Änderung, Sauerstoffzufuhr, Metabolitenzufuhr) [Flemming und Wingender, 2010]. Die Organisation im Biofilm befähigt die Mikroorganismen außerdem zur Kommunikation miteinander (quorum sensing) und zum Austausch von Metaboliten [Jakubovics, 2010; Kolenbrander et al., 2006; Wright et al., 2013]. Dadurch werden sowohl die Bedin-

gungen für bestimmte Spezies optimiert, als auch andere Spezies durch suboptimale Lebensbedingungen aus dem Biofilm ausgeschlossen.

Mit zunehmender Dicke des Biofilms entsteht ein Sauerstoffgradient, der zu anaeroben Bedingungen innerhalb des Biofilms führt. Dadurch wird der zunächst von grampositiven Kokken dominierte Biofilm zunehmend attraktiver für sekundär kolonisierende Mikroorganismen wie gramnegative Kokken, die sich über Adhäsion-Rezeptoren vermehrt anheften [Kolenbrander et al., 2006]. Im sieben Tage gereiften Biofilm sind Stäbchen und Filamente vorherrschend [Tinanoff et al., 1976]. Im neun Tage alten Biofilm konnten zudem Spirillen und nach fünfzehn Tagen auch Spirochäten nachgewiesen werden [Theilade et al., 1966]. Insgesamt lassen sich in der Mundhöhle mehr als 700 verschiedene Mikroorganismen nachweisen [Aas et al., 2005].

Vom Biofilm abzugrenzen sind *Materia Alba* und Zahnstein. Während es sich bei Zahnstein um mineralisierten Biofilm handelt, ist *Materia Alba* eine gelbliche bis gräulich-weiße, weiche Substanz, welche aus Mikroorganismen, abgeschilferten Epithelzellen, Leukozyten, Speichelproteinen und Lipiden besteht und der Zahnoberfläche im Gegensatz zum Biofilm nur locker anhaftet [Hinrichs, 2012].

2.1.2 Karies

Karies ist eine multifaktoriell bedingte Erkrankung mit hohem Verbreitungsgrad. Nach der Fünften Deutschen Mundgesundheitsstudie litten in Deutschland 2014 bereits 18,7% der 12-jährigen an kariösen Läsionen, wobei sozial benachteiligte Kinder eine höhere Karieserfahrung aufwiesen als Kinder mit hohem Sozialstatus. Die Karieserfahrung der jüngeren Erwachsenen (35- bis 44-jährige) und jüngeren Senioren (65- bis 74-jährige) war mit bis zu 90,6% weitaus größer. Sie ist allerdings in allen Altersgruppen rückläufig, was auf die engmaschige Gruppen- und Individualprophylaxe in Deutschland zurückzuführen ist [Rainer und Micheelis, 2016].

Der DMFT-Index ist als statistischer Parameter für die Beurteilung des individuellen Kariesrisikos etabliert und wird durch Addition der Anzahl kariöser (D, decayed), fehlender (M, missing) und gefüllter (F, filled) Zähne (T, teeth) einer Person berechnet [Klein et al., 1938]. Im internationalen Vergleich liegt bei 12-jährigen nach Angaben der WHO der durchschnittliche DMFT in Deutschland mit 0,5 (2014) hinter Dänemark (2014: DMFT 0,4) und vor den Nachbarländern Österreich (2007: DMFT 1,4), Belgien (2009-2010: DMFT 0,9), Tschechien (2006: DMFT 2,6), Frankreich (2006: DMFT 1,2), Niederlande (2002: DMFT 0,8) und Polen (2010: DMFT 3,2). In den Vereinigten Staaten von Amerika liegt der DMFT bei 1,19 (1999-2004) [Wahlström, 2014].

Im physiologischen Zustand befinden sich säurebildende Bakterien mit anderen ein alkalisches Milieu schaffenden Bakterien im Biofilm im Gleichgewicht, sodass auch De- und Remineralisationsvorgänge an Zahnoberflächen im Gleichgewicht stehen. Durch sich verändernde Umweltbedingungen wie eine Abnahme des Speichelflusses oder eine Zunahme des Angebots an niedermolekularen Kohlenhydraten können Demineralisationsvorgänge begünstigt werden [Fejerskov und Kidd, 2008].

Durch den sinkenden pH-Wert im Biofilm verbessern sich weiterhin die Bedingungen für azidophile und säurebildende Bakterien wie *S. mutans* und Laktobazillen, sodass es zur Proliferation dieser kommt [Van Houte, 1994]. Diese kariogenen Mikroorganismen verstoffwechseln niedermolekulare Kohlenhydrate zu organischen Säuren, was zu einem weiteren pH-Wert-Abfall im Biofilm führt. Sinkt der pH-Wert unter den kritischen Wert von 5,7, kommt es zu Demineralisationsprozessen an den Zahnoberflächen. Dabei führt das Herauslösen von Calcium und Phosphat zur sukzessiven Zerstörung von Schmelz und Dentin und damit zur Entstehung einer kariösen Läsion [Fejerskov und Kidd, 2008; Van Houte, 1994]. Dies wird im Folgenden beschrieben.

Schmelzkaries/White-Spot-Läsionen

Persistiert der kariogene Biofilm, verändert sich nach ca. vier Wochen durch die vorschreitende Demineralisation die Lichtbrechung des Zahnschmelzes und es wird eine weißlich opake, kreibige Veränderung der Schmelzoberfläche sichtbar [Fejerskov und Kidd, 2008; Ogaard et al., 1988]. Bei dieser aktiven initialen Kariesläsion, die auch White-Spot-Läsion genannt wird, ist die Kontinuität der Schmelzoberfläche nicht unterbrochen. Das Porenvolumen des Schmelzes ist jedoch vergrößert. Wird der Biofilm in diesem Läsionsstadium entfernt, kann durch den Speichel in Abhängigkeit von Pufferkapazität, Fließrate und -dauer eine partielle Remineralisation erfolgen. Dadurch, sowie durch Abrasion, kann wieder eine glatte, glänzende Schmelzoberfläche entstehen, eine sichtbare Opazität verbleibt jedoch [Fejerskov und Kidd, 2008].

Histologisch lässt sich die Schmelzkaries in vier Schichten unterteilen, die unterschiedliche Porosität aufweisen. Nach außen hin befindet sich eine scheinbar intakte Oberflächenschicht mit einem Porenvolumen von unter 5%. In Richtung Schmelz-Dentin-Grenze schließt sich eine Schicht an, die als Läsionszentrum bezeichnet wird und deren Porenvolumen zwischen 5 und 25% liegt. Darauf folgt die sogenannte dunkle Zone mit einem Porenvolumen von 2-4%. Anschließend befindet sich die als transluzente Zone bezeichnete innerste Schicht mit einem Porenvolumen von ca. 1%. Dies ist die Schicht der fortschreitenden Mineralisation [Hellwig et al., 2009].

Die „intakte“ Oberflächenschicht an der Plaque-Schmelz-Grenze ist stärker mineralisiert als die Schichten im inneren Teil des Schmelzes. Die Gründe für dieses Phänomen konnten bisher nicht abschließend geklärt werden.

Zur Prävalenz von White-Spot-Läsionen während der Behandlung mit Multi-Bracket-Apparaturen variieren die Angaben in der Literatur [Sundararaj et al., 2015]. Sie reichen von 2% [Stratemann und Shannon, 1974] über 33% bzw. 44% [Artun und Brobakken, 1986], 49,6% [Gorelick et al., 1982] und 60,9% [Enaia et al., 2011] bis zu 97% [Boersma et al., 2005]. Die verhältnismäßig hohe Prävalenz lässt sich insbesondere durch die erschwerte Mundhygiene erklären. Hauptsächlich in den Bereichen rund um das Bracket, besonders Richtung Gingiva und hinter dem Bogen kommt es zu vermehrter Plaqueakkumulation und somit zu Demineralisationsvorgängen und zur Entstehung von White-Spot-Läsionen [Artun und Brobakken, 1986; Gorelick et al., 1982] (siehe Kapitel 2.5. Plaque bei Multi-Bracket-Apparaturen). Auch hier kann es durch die Entfernung des Biofilms, zum Beispiel durch die vereinfachte Plaqueentfernung nach der Entbänderung, innerhalb von drei Monaten zur Remineralisation kommen. Allerdings stellen die verbleibenden Opazitäten des Schmelzes aufgrund der üblicherweise vermehrten Lokalisation an den Vestibulärflächen eine ästhetische Beeinträchtigung dar [Artun und Thylstrup, 1986, 1989].

Dentinkaries

Wird die Plaque nicht rechtzeitig entfernt ermöglichen die vergrößerten Poren des Schmelzes es den im Biofilm gebildeten organischen Säuren, Toxinen und Enzymen bis ins Dentin zu diffundieren und dort, noch bevor die Bakterien selbst das Dentin infiltrieren, eine Reaktion der Pulpa-Dentin-Einheit auszulösen [Bjørndal, 1992]. So entsteht an der Schmelz-Dentin-Grenze auf der Dentinseite die Zone der Demineralisation. Dieser schließt sich bei schneller Kariesprogression in Richtung Pulpa eine als „dead tract“ bezeichnete Zone an. Sie entsteht, wenn Odontoblastenfortsätze zerstört wurden, bevor eine Sklerosierung stattfinden konnte und ist aufgrund der leeren Dentintubuli für pathogene Stoffe leicht passierbar. Die Sklerosierung stellt einen Schutzmechanismus des Dentins dar, bei der die Dentintubuli durch Kalzifikation obliterieren und die Odontoblastenfortsätze mineralisieren [Frank und Voegel, 1980]. Die Schicht des sklerotischen Dentins befindet sich dem „dead tract“ angrenzend in Richtung Pulpa. Ihr schließt sich eine Zone physiologischen Dentins an, der wiederum eine bereits innerhalb des ehemaligen Pulpencavums liegende Tertiärdentinschicht folgt, welche zum Schutz der Pulpa an der Pulpa-Dentin-Grenze angelagert wird.

Kommt es durch voranschreitende Demineralisation zur Kavitation des Zahnschmelzes, wird das Dentin von den Bakterien des Biofilms infiltriert. An der Schmelz-Dentin-Grenze entsteht zusätzlich eine Zone der Penetration. Weiterhin entsteht bei einer fortgeschrittenen Läsion peripher der Zone der Penetration auf Grund der Zersetzung des Dentins durch Säuren und proteolytische Enzyme eine Nekrosezone [Fejerskov und Kidd, 2008; Hellwig et al., 2009].

2.1.3 Gingivitis und Parodontitis

Das Krankheitsbild der Gingivitis bzw. der Parodontitis beschreibt die entzündliche Reaktion der Gingiva und des Zahnhalteapparates auf den Biofilm. Zu einer klinischen und histologischen Entzündungsreaktion kommt es, wenn der Biofilm für vier bis 21 Tage nicht entfernt wird [Loe et al., 1965]. Das vom Biofilm ausgehende Entzündungsrisiko ist von dessen bakterieller Zusammensetzung und von der Immunantwort des Wirtes abhängig.

Der Verlauf der Gingivitis kann nach Gängler und Arnold in folgende Läsionsstadien eingeteilt werden [Gängler et al., 2010]:

1. *Initiale Läsion*: Es kommt in der Gingiva zu einer erhöhten Durchblutung und Permeabilität der Gefäße und dadurch zu einer entzündlich-ödematösen Schwellung und einer erhöhten Sulkusfließrate. In den in Folge dessen entstehenden subgingivalen Raum kann Plaque eindringen. Neutrophile Granulozyten und Serumproteine treten vermehrt auf. Die Entzündung ist klinisch noch nicht erkennbar. Dieses Stadium ist vollständig reversibel.
2. *Frühe Läsion*: Die Merkmale der initialen Läsion verstärken sich. Es kommt zu einem 60-70%igen Kollagenverlust, Lymphozyteninfiltrat, Veränderungen der Fibroblasten und einer beginnenden Proliferation des Saumepithels. Dieses Stadium ist ebenfalls vollständig reversibel.
3. *Etablierte Läsion*: Es ist subgingivale Plaque vorhanden und die Merkmale der vorangegangenen Läsionen verstärken sich. Zudem kommt es zur Auflösung des gingivalen Stützgewebes. Es treten vermehrt B-Lymphozyten und extravaskuläre Immunglobuline auf. Auch die etablierte Läsion ist noch vollständig reversibel.
4. *Fortgeschrittene Läsion*: Die fortgeschrittene Läsion ist nicht mehr reversibel und stellt den Übergang zur Parodontitis dar. Die Ausdehnung der Entzündung führt zum Abbau des Alveolarknochens, weiterem Kollagenverlust und

zur Entstehung einer parodontalen Tasche. Es kommt zu einer ausgedehnten entzündlichen und immunologischen Gewebereaktion.

Durch den schubweisen Verlauf der Parodontitis lassen sich akut verlaufende von chronischen Perioden unterscheiden. Der Krankheitsverlauf kann dabei durch verschiedene Risikofaktoren beeinflusst werden. Dazu gehören unter anderem genetische Prädisposition [Tonetti und Mombelli, 1999], Nikotinkonsum, Diabetes mellitus [Grossi et al., 1994], psychosozialer Stress, das Vorliegen einer HIV-Infektion [Salvi et al., 1997] und lokale Risikofaktoren, die z.B. die Plaqueakkumulation begünstigen. Da Gingivitis und Parodontitis plaquebedingte Erkrankungen sind, sollte die Plaquekontrolle im Mittelpunkt der Prävention und der Behandlung dieser Erkrankungen stehen [Greenstein, 1992].

Während der Behandlung mit Multi-Bracket-Apparaturen entwickeln die meisten Patienten eine generalisierte Gingivitis [Zachrisson und Zachrisson, 1972], die sich nach der Entbänderung wieder zurückbildet [Boyd und Baumrind, 1992; Zachrisson, 1976]. Gründe für die entzündlichen Veränderungen sind die erhöhte Plaqueakkumulation und die erschwerte Plaquekontrolle, die veränderte orale Mikroflora (siehe Kapitel 2.5 Plaque bei Multi-Bracket-Apparaturen) sowie mechanische (z.B. durch das Band) und chemische Irritationen (z.B. durch Zement) [Kloehn und Pfeifer, 1974].

2.2 Plaquemessmethoden und -indizes

2.2.1 Einteilung und Anforderungen

Unter Zuhilfenahme von Plaqueindizes kann die Mundhygienequalität respektive das Plaquewachstum von Patienten bewertet und verglichen werden. Indem Putzerfolge bzw. -misserfolge für den Patienten sicht- und quantifizierbar gemacht werden, können sie zur Mundhygienemotivation beitragen [Hellwege, 2003].

Grundsätzlich können planimetrische, gravimetrische und klinische Verfahren zur Plaquemessung unterschieden werden. Die Auswahl einer Methode zur Plaquemessung für Studien sollte von der Fragestellung der Untersuchung, der Größe der Population, dem zeitlichen Aufwand zur Durchführung der Studie und vom Typ und der Größenordnung der zu erwartenden Veränderung abhängig gemacht werden [Fischman, 1986].

- 1) Bei planimetrischen Verfahren zur Plaquemessung wird die Plaque meist mit Plaquerevelatoren angefärbt und dann auf Fotos nach Flächenanteilen ausgewertet.
- 2) Bei gravimetrischen Verfahren zur Plaquemessung wird das Nass- oder Trockengewicht der Plaque bestimmt [Hellwig et al., 2009]. Aufgrund des hohen Aufwandes sind gravimetrische Verfahren zur Plaquemessung für den klinischen Alltag jedoch nicht relevant.
- 3) Bei klinischen Verfahren zur Plaquemessung wird die Plaque am Patienten mit verschiedenen Indizes beurteilt. Ein klinischer Index sollte folgende Anforderungen erfüllen [Hellwig et al., 2009]:
 - Quantitative und evtl. qualitative Aussagen
 - Hohe Sensitivität und Spezifität
 - Hoher positiver/negativer Vorhersagewert
 - Einfachheit und Reproduzierbarkeit
 - Praxistaugliche Anwendung und Berechnung
 - Einfache Handhabung

2.2.2 Planimetrische Plaquemessung

Die planimetrische Plaquemessung ist eine Plaquemessmethode bei der die prozentualen Flächenanteile der Plaquebedeckung an der jeweiligen Zahnfläche berechnet werden.

Die Plaque wird durch Plaquerevelatoren oder durch Anregen von Autofluoreszenz dargestellt und die zu beurteilende Fläche fotografiert.

In der Vergangenheit wurden die Fotos zunächst vergrößert, wobei mögliche Verzerrungen durch Aufnahmewinkel und –abstand korrigiert werden konnten. Anschließend wurden die Ausmaße des Zahnes und der Plaque auf Tracingpapier übertragen, mit einem Planimeter ausgemessen und die prozentuale Plaquebedeckung berechnet. Dieses Vorgehen war sehr aufwändig und zeitintensiv [Albino et al., 1978; Arnim, 1963; Quiryne et al., 1991].

Heute kann mit Hilfe geeigneter Software die Plaquebedeckung der Zahnflächen auf digitalen Fotos nach Pixeln wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} & \text{(Plaquebedeckung des Zahnes \%)} \\ & = \\ & \frac{\text{(Anzahl der Plaquepixel)}}{\text{(Anzahl der Plaquepixel)+(Anzahl der plaquefreien Zahnpixel)}} \end{aligned}$$

Als teilweise problematisch zeigt sich jedoch die automatisierte Erkennung der Plaque durch die Software. So konnte bei einer von Sagel et al. durchgeführten Studie die Plaque nach Anfärben mit einem roten Plaquerevelator (Erythrosin) durch die Software nicht von der Gingiva unterschieden werden. Gute Erfahrungen konnten währenddessen nach Anfärben der Plaque mit Fluorescein gemacht werden. Eine Software konnte hier vier verschiedene Areale unterscheiden (Zahn, Plaque auf Zahn, Gingiva und Plaque auf Gingiva) und die Plaque so gut von anderen Strukturen abgrenzen [Sagel et al., 2000].

2.2.3 Klinische Plaqueindizes

Im Folgenden werden einige etablierte Plaqueindizes beschrieben.

Modifizierter Plaqueindex nach Quigley und Hein (T-QHI)

Der von Quigley und Hein 1962 beschriebene und 1970 von Turesky et al. modifizierte Plaqueindex bewertet die Plaquebedeckung der oralen und vestibulären natürlichen Zahnoberflächen. Restaurierte Flächen und dritte Molaren bleiben unberücksichtigt [Turesky et al., 1970]. Die Plaque wird mittels Anfärben dargestellt. Die Flächen werden danach wie folgt beurteilt:

- Grad 0: keine Plaque
- Grad 1: vereinzelte Plaqueinseln im zervikalen Randbereich des Zahnes
- Grad 2: dünnes, zusammenhängendes Plaqueband (bis 1mm Breite) am zervikalen Rand
- Grad 3: zervikales Plaqueband, das mehr als 1mm breit ist, aber weniger als 1/3 der Zahnkrone bedeckt
- Grad 4: Plaque bedeckt mehr als 1/3, aber weniger als 2/3 der Zahnkrone
- Grad 5: Plaque bedeckt 2/3 der Zahnkrone oder mehr

Um einen individuellen T-QHI für die gesamte Mundhöhle zu berechnen, werden die Grade der einzelnen Flächen addiert und durch die Gesamtzahl der beurteilten Flächen dividiert [Turesky et al., 1970].

Der T-QHI ist für vergleichende Studien zur mechanischen und medikamentösen Plaqueentfernung geeignet [Fischman, 1986] und reicht in seiner Differenzierungsstärke an planimetrische Verfahren heran [Quirynen et al., 1991]. Schwächen zeigt er in der Beurteilung approximaler und sulkulärer Plaque [Hellwig et al., 2009].

Plaqueindex nach Silness und Loe

Beim Plaqueindex nach Silness und Loe wird die Plaqueakkumulation am Gingivalrand bewertet. Es ist kein Anfärben notwendig. Der Sulkus wird mit einer Sonde ausgestrichen und die beobachteten Beläge wie folgt bewertet:

- Grad 0: keine Plaque
- Grad 1: dünner, klinisch nicht sichtbarer Plaquefilm, der beim Abschaben mit der Sonde an der Spitze haften bleibt
- Grad 2: bandförmige Beläge im Sulkus und im gingivanahen Abschnitt des Zahnes, die jedoch den Interdentalraum nicht ausfüllen
- Grad 3: dickere Beläge, die mit bloßem Auge erkennbar sind und den Interdentalraum ausfüllen

Der Plaqueindex wird berechnet, indem die Bewertungsgrade addiert und durch die Zahl der bewerteten Flächen dividiert werden.

Da die Beläge nicht angefärbt werden, ist dieser Index zur Patientenmotivation weniger geeignet [Heidemann und Borchard, 2005; Silness und Loe, 1964].

Plaqueindex nach O'Leary

Dieser Plaqueindex wurde 1972 zur genaueren Dokumentation von plaquebedeckten Flächen und zur besseren Mundhygienemotivation von Patienten eingeführt. Jeder Zahn wird dabei in vier Flächen (mesial, distal, vestibulär, oral) unterteilt.

Zunächst werden die Zähne mit einem Plaquerevelator angefärbt. Der Gingivalrand jeder Fläche wird darauf auf weiche Beläge kontrolliert. Die Beurteilung erfolgt dabei mit einer Sonde. Um den Plaqueindex zu berechnen werden alle positiv getesteten Flächen addiert und durch die Gesamtzahl der Flächen dividiert. Liegt der Wert unter 10% wird die Mundhygiene als gut beurteilt [O'Leary et al., 1972].

Die einfachen Kriterien dieses Indexes zeigen sich in einer hohen Reproduzierbarkeit. Allerdings zeigt er in der Differenzierung zwischen dünner, neu gebildeter und dicker, gereifter Plaque Schwächen [Lim et al., 1986].

Weitere Plaqueindizes sind z.B.:

- der modifizierten Approximal-Plaqueindex nach Lange (API)
- der modifizierten Plaque-Index nach Mombello (PI)
- der Plaque-Formations-Rate-Index nach Axelsson (PFRI)

2.2.4 Klinische Plaqueindizes bei Behandlung mit Multi-Bracket-Apparaturen

Die Behandlung mit Multi-Bracket-Apparaturen stellt besondere Ansprüche an einen Plaqueindex. Im Gegensatz zum unbeeindeten Gebiss entstehen bei der kieferorthopädischen Behandlung mit festsitzenden Apparaturen iatrogen geschaffene schwer zu reinigende Plaqueretentionsstellen (siehe Kapitel 2.5 Plaque bei Multi-Bracket-Apparaturen), die vom Plaqueindex berücksichtigt werden sollten. Im Folgenden werden zwei Indizes vorgestellt:

Bonded-Bracket-Index nach Ciancio (BBI)

Der Bonded-Bracket-Index wurde 1985 von Ciancio eingeführt, da die gängigen Plaqueindizes nicht das veränderte Muster der Plaqueansammlung, das bei der Behandlung mit einer Multi-Bracket-Apparatur auftritt, berücksichtigten [Ciancio et al., 1985].

Die angefärbte Plaque wird dabei wie folgt beurteilt:

- Grad 0: Keine Plaque auf dem Bracket oder der Zahnoberfläche
- Grad 1: Plaque nur auf dem Bracket
- Grad 2: Plaque auf dem Bracket und der Zahnoberfläche, keine Ausdehnung zur Gingiva
- Grad 3: Plaque auf dem Bracket und der Zahnoberfläche mit Ausdehnung bis zur Papille
- Grad 4: Plaque auf dem Bracket und der Zahnoberfläche, teilweise Bedeckung der Gingiva
- Grad 5: Plaque auf dem Bracket und der Zahnoberfläche, komplette Bedeckung der Gingiva

Plaqueindex nach Attin

Der Plaqueindex nach Attin wurde 2005 zur Beurteilung von Plaque auf Zahnflächen mit Multi-Bracket-Apparatur entwickelt [Attin, 2005]. Zahnflächen ohne Apparaturen bleiben unberücksichtigt und können bei Bedarf mit einem weiteren Plaqueindex bewertet werden. Je nach Positionierung der Apparatur können die vestibulären oder oralen Zahnflächen beurteilt werden. Zur Darstellung der Plaque muss diese zunächst mit einem Plaquerevelator angefärbt werden. Die Flächen werden wie folgt beurteilt (Abbildung 1):

- Grad 0: Keine sichtbare Plaque
- Grad 1: Plaqueinseln an den Approximalflächen
- Grad 2: Zusätzlich zu den Approximalflächen Plaqueinseln zervikal des Brackets
- Grad 3: Plaque bedeckt über 1/3 der Fläche zervikal des Brackets

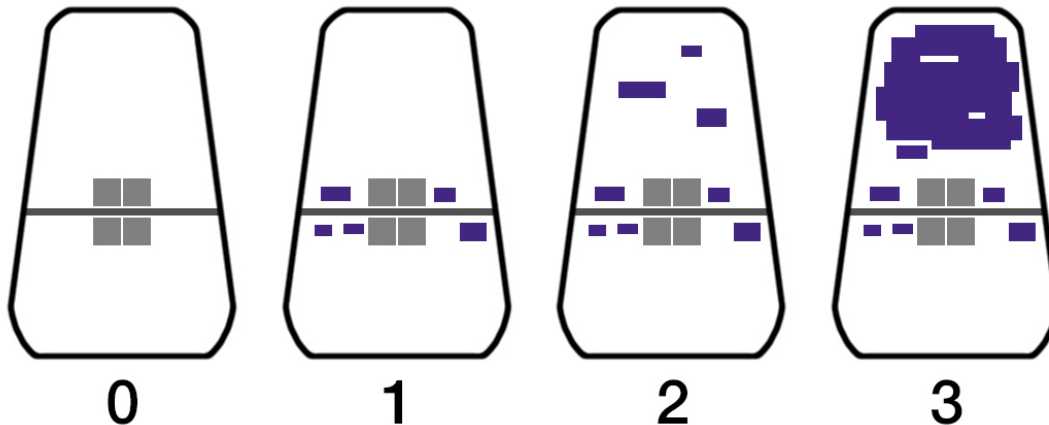


Abbildung 1: Darstellung der Grade des Plaqueindex nach Attin bei vestibulären Brackets

Nach Beurteilung der Flächen wird der Index, der die Summe der Plaquebewertungen des Patienten mit der maximal erreichbaren Summe der Plaquebewertungen ins Verhältnis setzt, wie folgt berechnet:

$$\text{Plaqueindex (Attin)} = \frac{\text{Summe der Plaquebewertungen} \times 100}{\text{Anzahl der bewerteten Zähne} \times 3}$$

Der Plaqueindex nach Attin ist folgendermaßen zu interpretieren:

- I: <20% optimale Mundhygiene
- II: 20-39% gute Mundhygiene
- III: 40-69% mäßige Mundhygiene
- IV: 70-100% unzureichende Mundhygiene

Die zwei vorgestellten speziellen Indizes werden in Studien nur selten benutzt. Nach Al-Anezi et al. wurden in verschiedenen Studien zur Plaqueakkumulation bei Multi-Bracket-Apparaturen in den Jahren 1982 bis 2011 vor allem allgemeine Plaqueindizes verwendet. Demnach wurde der ursprüngliche und modifizierte Plaqueindex nach Silness und Loe 26 mal, der Plaqueindex nach O'Leary drei mal und der Plaqueindex nach Quigley und Hein vier mal angewendet. In vier Studien wurde der Bonded-

Bracket-Index benutzt und in zwei Studien wurde die Plaquebedeckung planimetrisch bestimmt [Al-Anezi und Harradine, 2012]. Es ist zu berücksichtigen, dass der Plaqueindex nach Attin erst 2005 entwickelt wurde.

2.3 Plaquerevelatoren

Plaquerevelatoren sind Lebensmittel- oder Fluoreszenzfarbstoffe, die sich in die Plaque einlagern und diese sichtbar machen. Sie sind in Form von Kautabletten und Lösungen erhältlich. Nach der Applikation werden die Überschüsse vom Patienten gründlich ausgespült und die angefärbte Plaque anschließend begutachtet [Hellwig et al., 2009].

In der Vergangenheit haben sich verschiedene Plaquerevelatoren etabliert, unter anderem Fuchsin, Erythrosin, Echtgrün FCF, Fluorescein und Two-Tone-Plaquerevelatoren [Lim et al., 1986].

Einige dieser Farbstoffe sind jedoch mit Nachteilen behaftet und werden daher nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr verwendet. So wurde aufgrund der potenziellen Kanzerogenität von der Verwendung von Fuchsin Abstand genommen [Arnim, 1963; Poole-Wilson, 1960]. Weiterhin wird bei der Verwendung von Erythrosin nicht nur die Plaque, sondern in geringem Maße das Pellikel angefärbt, was eine eindeutige Beurteilung der Plaquebedeckung nicht zulässt. Auch umliegende Weichgewebe wie Lippen, Gingiva und Zunge werden rot gefärbt, wobei diese Verfärbungen trotz Mundhygienemaßnahmen für mehrere Stunden anhalten und daher eine ästhetische Beeinträchtigung darstellen [Bjoern und Carlsson, 1964; Lang et al., 1972]. Außerdem hemmen Erythrosin und auch Fluorescein das Plaquewachstum und sind deswegen für longitudinale Studien ungeeignet [Baab et al., 1983; Begue et al., 1966; Caldwell und Hunt, 1969]. Hinzu kommt, dass die Fluoreszenz von Fluorescein und damit die Darstellbarkeit der Plaque mit der Zeit abnimmt und nach 20 Minuten nicht mehr wahrnehmbar ist [Lang et al., 1972].

Beim Vergleich verschiedener Plaquerevelatoren (Erythrosin, Echtgrün FCF, Natriumfluorescein und Kochsalzlösung als Referenz) konnten keine Unterschiede zwischen dem Gewicht der jeweils angefärbten Plaque festgestellt werden [Varma et al., 1974].

Two-Tone-Plaquerevelatoren sind Mischungen aus zwei verschiedenen Farbstoffen.

Block et al. kamen nach der Untersuchung eines Two-Tone-Plaquerevelators aus Erythrosin und Echtgrün zu dem Ergebnis, dass frischer Biofilm rot und reifer Biofilm blau angefärbt wird [Block et al., 1972]. Gallagher et al. stellten fest, dass nur Erythrosin sich chemisch mit dem Biofilm verbindet, Echtgrün sich aber auf Grund der Di-

cke des Biofilms an diesen anlagert und sich im Versuch durch Papierchromatographie mit Wasser wieder herauslösen ließ [Gallagher et al., 1977].

Die vorhandenen Untersuchungen beziehen sich größtenteils auf Plaquerevelatoren, die in der Praxis nicht mehr verwendet werden und im Handel teilweise nicht mehr erhältlich sind. Die genauen Mechanismen von aktuell verwendeten Plaquerevelatoren wie Mira-2-Ton® Lösung (siehe Kapitel 4.4.5 Plaquemessung mittels Anfärben) sind bisher weitgehend ungeklärt. Die Beurteilung der Plaquebedeckung nach Anfärben mit Plaquerevelatoren gilt trotzdem als „Goldstandard“.

2.4 Funktionsprinzip QLF-D

Die Quantitative Light-induced Fluorescence (QLF)-Methode ist eine Weiterentwicklung der Laser Autofluorescence (LAF)-Methode zur Messung der Demineralisation von Zahnoberflächen, bei welcher die Flächen durch einen Argon-Ionen-Laser mit Licht einer Wellenlänge von 488nm bestrahlt werden und reflektiertes und gestreutes Licht mit einer Wellenlänge von über 520nm durch einen Gelbfilter ausgefiltert wird.

Für QLF wurde der Argon-Ionen-Laser durch eine Bogenlampe und einen Bandpassfilter ersetzt. Bei der Beleuchtung eines gesunden Zahnes dringen die Photonen in den Schmelz ein, werden dort oder im Dentin von einem Fluorophor absorbiert und ein Fluoreszenzphoton wird emittiert. Wird ein Zahn mit einer Schmelzläsion (White-Spot-Läsion) beleuchtet, werden die Photonen in der Läsion stark gestreut und nur wenige Photonen lösen Fluoreszenz aus. Dadurch erscheint die Läsion dem Betrachter dunkler als der umgebende gesunde Schmelz [Angmar-Mansson und ten Bosch, 2001; Spitzer und ten Bosch, 1977; van der Veen und de Josselin de Jong, 2000].

Boersma et al. untersuchten 2005 White-Spot-Läsionen bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparaturen am Tag der Entbänderung und 6 Wochen später. Mit QLF wurden mehr White-Spot-Läsionen als mit bloßem Auge erkannt, da bereits Läsionen mit geringer Demineralisation (<15%) dargestellt werden konnten [Boersma et al., 2005]. Kronenberg et al. konnten dies nicht bestätigen. Sie untersuchten die Bildung von White-Spot-Läsionen bei Probanden, die eine Behandlung mit Multi-Bracket-Apparatur erhielten, über 26 Monate. Dabei konnten mit QLF nur 42% der mit bloßem Auge diagnostizierbaren White-Spot-Läsionen erkannt werden [Kronenberg et al., 2009].

Untersuchungen dentaler Plaque auf Prothesen mit QLF zeigten, dass die Plaque nur unzureichend dargestellt werden konnte [Coulthwaite et al., 2009]. Um Plaque deutlicher darstellen zu können wurde Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital

(QLF-D) entwickelt. QLF-D basiert auf einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon Eos 550D), Lumineszenzdioden und einem Bandpassfilter (D007; Inspector Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) (Abbildung 2) [Hope et al., 2011]. Dabei ist die Wellenlänge des von den Lumineszenzdioden ausgestrahlten Lichts mit 400-405nm dem Absorptionsmaximum der Plaque angepasst.



Abbildung 2: QLF-D Biluminator

Die Fluoreszenz der Plaque beruht auf der Autofluoreszenz bakterieller Metaboliten wie Protoporphyrin IX (Emissionsmaxima 633 und 700nm), Coproporphyrin (Emissionsmaxima 623 und 690nm) und Zn-Protoporphyrin (Emissionsmaxima 593 und 646nm) [Koenig et al., 1998; Volgenant et al., 2013].

Coulthwaite et al. gewannen 2006 Plaque von (Polymethylmethacrylat-) Totalprothesen. Nach Anzuchten einiger Mikroorganismen konnten sie diese den von ihren Porphyrinen unter QLF-Beleuchtung fluoreszierenden Farben zuordnen. Die initial und sekundär kolonisierenden Bakterien fluoreszierten grün, während die Bakterien des ausgereiften Biofilms orange und rot fluoreszierten [Coulthwaite et al., 2006] (siehe auch Kapitel 2.1 Ätiologie plaquebedingter Erkrankungen). Besonders die rot fluoreszierende Plaque wurde daraufhin in weiteren in-vitro Studien auf ihre Pathogenität hin untersucht. Dabei kam man zu dem Ergebnis, dass die Intensität der roten Fluoreszenz mit der Kariogenität, dem Alter und der Dicke der Plaque korreliert [Kim et al., 2014; Lee et al., 2013; Volgenant et al., 2016b]. Die Intensität der roten Fluores-

zenz korrelierte dabei nicht ausschließlich mit der Menge und Art der Bakterien, sondern schien auch mit der Organisation dieser im Biofilm, ihren Wechselwirkungen untereinander und den Umgebungsbedingungen zusammenzuhängen [van der Veen et al., 2006; Volgenant et al., 2013]. Es scheinen also Rückschlüsse von der Fluoreszenzfarbe der Plaque auf ihr Alter möglich zu sein.

In vivo konnte Plaque mittels QLF-D im Gegensatz zu mit einem Plaquerevelator angefärbter Plaque bisher auf Vestibulärflächen von Frontzähnen nur unzureichend dargestellt werden. Die mit QLF-D erkannte Plaquemenge korrelierte weder mit der von Mira-2-Ton® insgesamt angefärbten Plaque noch mit der nur blau angefärbten „reifen“ Plaque [Ganss et al.; Pretty et al., 2005; Volgenant et al., 2016a].

Ob QLF-D zur Plaquedetektion bei Patienten mit Multi-Bracket-Apparatur geeignet ist bzw. ob und wie sich die durch die Multi-Bracket-Apparatur bedingte Veränderung der Mikroflora (siehe Kapitel 2.5 Plaque bei Multi-Bracket-Apparaturen) auf die Fluoreszenz auswirkt, wurde bisher nicht klinisch untersucht.

2.5 Plaque bei Multi-Bracket-Apparaturen

Bei 41,4% der Kinder, die sich in der zweiten Phase des Wechselgebisses befinden, besteht gemäß den Richtlinien der gesetzlichen Krankenkassen kieferorthopädische Behandlungsnotwendigkeit [Glasl et al., 2006]. Die Zahl der tatsächlich durchgeführten kieferorthopädischen Behandlungen liegt aufgrund des steigenden ästhetischen Bewusstseins und Gesundheitsbewusstseins vermutlich höher.

Um ein gutes Behandlungsergebnis zu erzielen, müssen auch die Risiken einer kieferorthopädischen Behandlung bedacht werden. So werden während der Behandlung mit einer Multi-Bracket-Apparatur neue Plaqueakkumulationsstellen um das Bracket herum und hinter dem Bogen geschaffen, deren Reinigung erschwert ist [Al-Anezi und Harradine, 2012; Arici et al., 2007; Artun und Brobakken, 1986; Faltermeier et al., 2008; Zachrisson und Zachrisson, 1972]. Dadurch verändert sich die orale Mikroflora und die Kolonisierung von Streptokokken und Laktobazillen in der supragingivalen Plaque steigt, während der pH-Wert sinkt [Balenseifen, 1970; Forsberg et al., 1991]. Außerdem nimmt die Besiedlung mit *Candida albicans* [Arslan et al., 2008] und Enterobakterien zu [Hagg et al., 2004]. Dabei scheint ein erhöhtes Vorkommen von *Candida* und Laktobazillen mit schlechter Mundhygiene und dem Auftreten von White-Spot-Läsionen einher zu gehen [Klaus et al., 2016]. In der subgingivalen Plaque steigt der Anteil an parodontalpathogenen Mikroorganismen wie Filamenten, Spirochäten, beweglichen Stäbchen und fusiformen Bakterien [Diamanti-Kipiotti et al.,

1987; Huser et al., 1990]. Folglich steigt das Risiko einer Gingivitis/Parodontitis und der Entstehung von Karies/White-Spot-Läsionen [Arslan et al., 2008; Gorelick et al., 1982; Mizrahi, 1982; Zachrisson und Zachrisson, 1972]. Daher ist eine optimale Mundhygiene der Patienten während der Behandlung mit Multi-Bracket-Apparatur besonders wichtig. Die Patienten sollten zu Beginn der Behandlung über die neuen Anforderungen an die Mundhygiene aufgeklärt und im Umgang mit Hilfsmitteln wie z.B. Interdentälbürsten, die zu einer adäquaten Plaqueentfernung notwendig sind, geschult werden [Arici et al., 2007]. Es ist wichtig die Patienten auch im Verlauf der prophylaxeorientierten Behandlung immer wieder zu einer guten Mundhygiene zu motivieren. Zum besseren Verständnis kann dafür die Plaque mit einem Plaquerevelator angefärbt und so dem Patienten „Problemstellen“ aufgezeigt werden. Ein Nachteil beim Anfärben der Plaque ist, dass der Plaquerevelator aus ästhetischen Gründen nach der Beurteilung der Plaque wieder entfernt werden muss. Dazu ist in der Regel die Reinigung der Zähne mit einem Gummikelch oder Bürstchen und geeigneter Polierpaste nötig. Bei Patienten mit Multi-Bracket-Apparaturen ist die Reinigung besonders schwierig und zeitintensiv, da der Plaquerevelator auch in die Mikrospalten zwischen Kunststoff und Zahn rund um das Bracket eindringt. Weiterer Zeitaufwand entsteht, da durch den Plaquerevelator die Ligaturen irreversibel angefärbt werden und diese ausgetauscht werden müssen. Die Beurteilung der Plaque mit QLF-D ohne Anfärben wäre also allein durch die Zeitersparnis eine Erleichterung für Behandler und Patient im Praxisalltag.

3 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Untersuchung bestand darin die Plaquemessmethode mittels QLF-D im Vergleich zur Plaquemessmethode mittels Mira-2-Ton® bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparatur unter verschiedenen Bedingungen zu validieren und festzustellen, ob QLF-D eine geeignete Methode zur Bestimmung der Plaquebedeckung der Zähne und zur Mundhygienemotivation von Patienten mit Multi-Bracket-Apparaturen ist.

4 Material und Methode

4.1 Ethik und Datenschutz

Die Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen erteilte im Vorfeld die Genehmigung zur Durchführung der Studie (Ethikantrag AZ 58/13).

Die Auswertung der Daten erfolgte pseudonymisiert. Um die Daten der Probanden zu pseudonymisieren wurde vor Beginn der Studie eine Liste mit Probandennummern von 01 bis 30 für die Gruppe nonMB und eine Liste mit Probandennummern von 01 bis 20 für die Gruppe MB erstellt. Die Zuordnung der Nummern erfolgte durch die Doktoranden.

Die persönlichen Daten der Probanden wurden zusammen mit den Probandennummern in einer verschlüsselten Tabelle notiert, die nach der Auswertung gelöscht wurde.

Die Einverständniserklärungen werden von der Studienleitung in der Poliklinik für Zahnerhaltung in Gießen gesondert verwahrt.

4.2 Untersuchte Probandengruppen

Für die Studie wurden zwei Probandengruppen untersucht.

Gruppe nonMB bestand aus 29 Probanden ohne Multi-Bracket-Apparatur. Sie wurden über Aushänge an der Justus-Liebig-Universität Gießen und Mundpropaganda rekrutiert. Bei Interesse meldeten sie sich telefonisch oder per E-Mail bei den Untersuchern, wurden in einem ersten Telefongespräch über den Studienablauf informiert und es wurde ein Termin vereinbart. Eine Bedenkzeit von mindestens 48 Stunden war in allen Fällen gewährleistet.

Gruppe MB bestand aus 20 Probanden mit Multi-Bracket-Apparatur, die über Aushänge in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen rekrutiert wurden. Bei Interesse meldeten sich die Probanden beim jeweiligen kieferorthopädischen Behandler. Die Behandler der Poliklinik für Kieferorthopädie waren im Vorfeld über die Studie informiert worden und konnten anhand einer Checkliste (siehe Kapitel 10.2 Checkliste) bereits die Ein- und Ausschlusskriterien überprüfen. Bei Erfüllung der Einschlusskriterien stellte der Behandler den Kontakt zwischen Proband und Untersucher her. Außerdem wurde dem Probanden ein Aufklärungsbogen mitgegeben. In einem Telefongespräch zwischen Untersucher und Proband wurde der

Proband noch einmal über den Studienablauf informiert und es wurde ein Termin vereinbart.

Alle Probanden wurden im Vorfeld mündlich und schriftlich über die Untersuchungen im Rahmen der Studie und die damit verbundenen Vor- und Nachteile aufgeklärt. Volljährige Probanden stimmten der freiwilligen Teilnahme mit ihrer Unterschrift zu. Bei minderjährigen Probanden wurde die schriftliche Zustimmung der Erziehungsberechtigten eingeholt. Auch in der Gruppe MB war eine Bedenkzeit von 48 Stunden in allen Fällen gewährleistet.

16 Probanden der Gruppe nonMB waren männlichen und 13 Probanden weiblichen Geschlechts. In Gruppe MB waren 6 Probanden männlichen und 14 weiblichen Geschlechts (Abbildung 3).

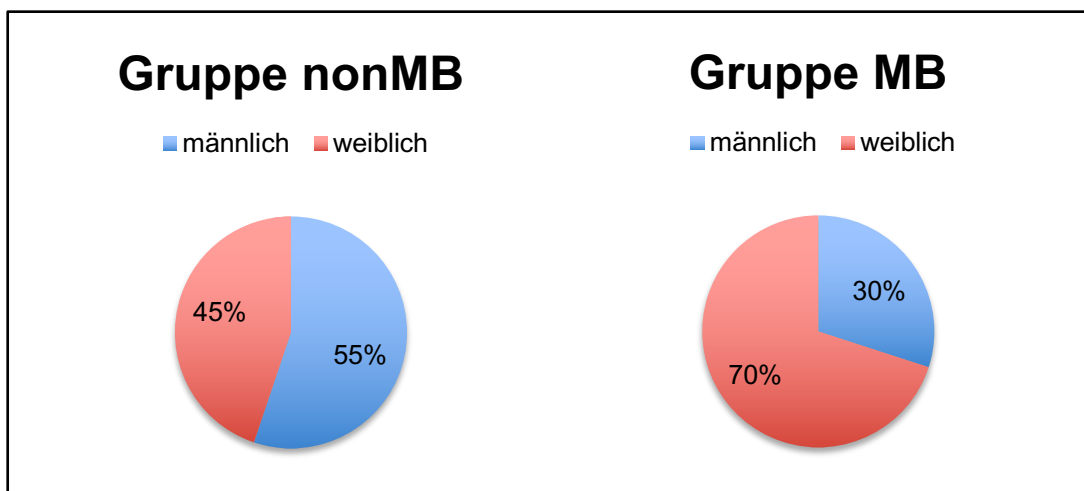


Abbildung 3: Verteilung der Geschlechter in den Gruppen nonMB und MB

Es wurden folgende Einschlusskriterien definiert:

- Bereitschaft zur Teilnahme
- Einwilligung in die Untersuchung nach erfolgter Aufklärung
- Mindestalter von 16 Jahren
- Laufende Behandlung mit Multi-Bracket-Apparatur (nur Gruppe MB)
- Vollständige Bezahnung bei Gruppe MB im Frontzahnggebiet (13-23 und 33-43) und bei Gruppe nonMB im ersten und vierten Quadranten sowie im Frontzahnggebiet

Es wurden folgende Ausschlusskriterien definiert:

- Schwere Allgemeinerkrankungen
- Ausgeprägte Gingivitis mit Schwellung und Blutung
- Parodontitis

- Rezessionen mit einer Ausdehnung von mehr als einem Drittel der Wurzellänge
- Laufende Behandlung mit einer Multi-Bracket-Apparatur (nur Gruppe nonMB)
- Medikation, die die Plaquebildung beeinflusst (z.B. Antibiotika)
- Offensichtlich defekte Füllungen
- Offene kariöse Läsionen
- Zahnfehlbildungen bei Gruppe MB im Frontzahnggebiet (13-23 und 33-43) und bei Gruppe nonMB im ersten und vierten Quadranten sowie im Frontzahnggebiet
- Ausgedehnten Füllungen an den Glattflächen im Frontzahnggebiet
- Vollkronen bei Gruppe MB im Frontzahnggebiet (13-23 und 33-43) und bei Gruppe nonMB im ersten und vierten Quadranten sowie im Frontzahnggebiet

4.3 Fragestellung

Folgende Fragen sollten durch die Studie beantwortet werden:

1. Korreliert die auf dem Fluoreszenzbild quantifizierte Plaquebedeckung mit der auf dem nach Anfärben aufgenommenen konventionellen Foto quantifizierten Plaquebedeckung bei den Gruppen MB bzw. nonMB, wenn
 - a) die Aufnahmen in einem standardisierten Setting angefertigt werden?
 - b) die Aufnahmen in einem klinischen Setting angefertigt werden?
2. Unterscheiden sich die möglichen Zusammenhänge zwischen den Gruppen MB und nonMB?
3. Beeinflusst die Beleuchtungssituation die auf dem Fluoreszenzbild quantifizierte Plaquemenge, wenn die Aufnahmen in einem standardisierten Setting bei Probanden mit und ohne Multi-Bracket-Apparatur angefertigt werden?

Die Abgrenzung zur Studie von Alexander Georg Glanz ist Kapitel 1 zu entnehmen.

4.4 Dokumentation der Datenerhebung

4.4.1 Studienablauf

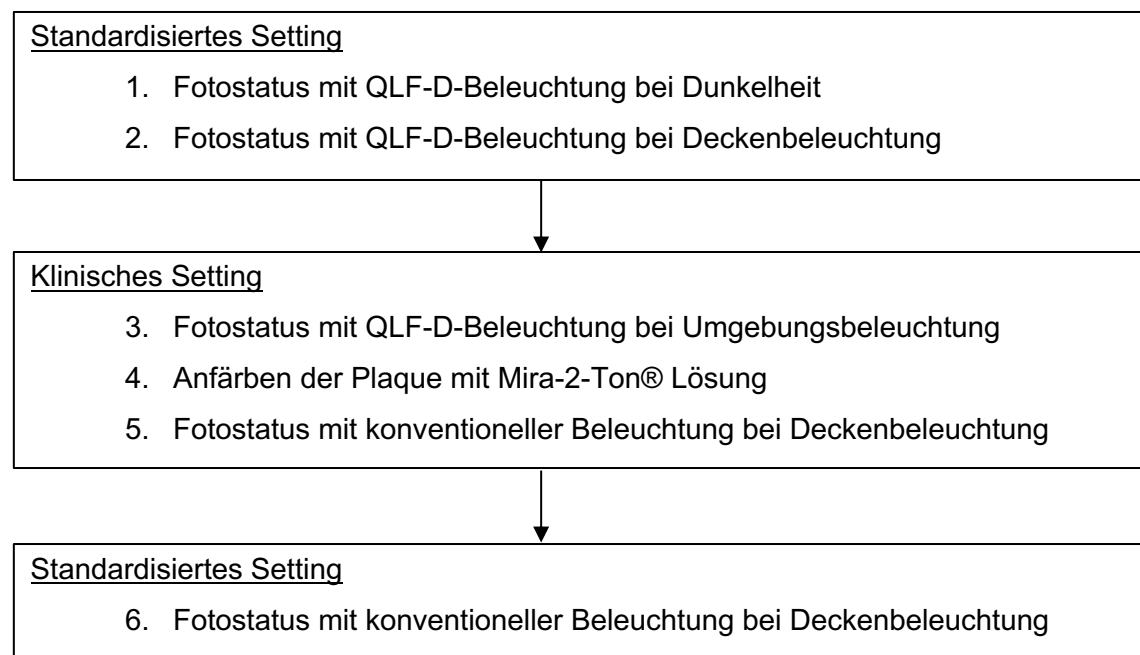
Die Untersuchungen der Gruppe nonMB fanden zwischen dem 13.09.2013 und dem 31.11.2013 und die Untersuchungen der Gruppe MB zwischen dem 11.10.2013 und dem 29.08.2014 statt.

Die Probanden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 16 und 31 Jahren alt und wurden im Vorfeld gebeten am Tag der Untersuchung auf sämtliche Mundhygienemaßnahmen zu verzichten, um sicherzustellen, dass auch Plaque vorhanden war.

Alle Probanden der Gruppe MB wurden am Tag der Untersuchung nochmals mündlich über die Untersuchungen im Rahmen der Studie aufgeklärt und hatten die Möglichkeit Fragen zu stellen. Nach erfolgter Zustimmung seitens des Probanden wurden zunächst noch einmal die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft. Wenn die Einschlusskriterien erfüllt waren, wurden die Probanden in den Fotoraum gebeten.

Die Aufklärung und der Einschluss der Probanden der Gruppe nonMB wurde bereits im Vorfeld an einem vorherigen Termin (Studienzeitpunkt T1 der Studie von Alexander Glanz) vorgenommen.

Reihenfolge der Fotostaten



4.4.2 Untersuchertraining

Die Untersucher kalibrierten sich im Umgang mit der Fotoeinrichtung, der Auswertungssoftware, der Positionierung der Probanden in den verschiedenen Settings und mit dem Studienablauf. Mitarbeiter aus der Poliklinik für Kieferorthopädie und der Poliklinik für Zahnerhaltung sowie Personen aus dem Bekanntenkreis stellten sich dabei als Versuchspersonen zur Verfügung.

4.4.3 Fotostatus

Fotostatus in standardisiertem Setting mit Stativ und Kinn-/Stirnstütze im Fotoraum

Der standardisierte Fotostatus wurde in einem fensterlosen Raum in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen aufgenommen (siehe Abbildung 4). Die Lichtverhältnisse waren somit unabhängig von Tageszeit und Witterung. Es konnten Bilder in völliger Dunkelheit und bei eingeschalteter Deckenbeleuchtung aufgenommen werden.

Die Kamera war auf einem Stativ befestigt, welches am selben Tisch wie die Kinn-/Stirnstütze fixiert war. Der Abstand zwischen Kinn-/Stirnstütze und Tubus war auf 5 cm festgelegt.

Die Probanden saßen während der Aufnahmen auf einem höhenverstellbaren Stuhl, legten das Kinn auf der Kinnstütze ab und lehnten die Stirn an der Stirnstütze an. Um die zu fotografierenden Zähne nicht zu verdecken, wurden die Weichteile mit einem Lippen- und Wangenretraktor abgehalten und die Okklusion mittels Watterollen (Watterollen PluLine Gr.1, Pluradent Offenbach) entschlüsselt, die im nicht zu bewertenden Seitenzahnbereich positioniert wurden.

Der Tubus wurde im augenscheinlich rechten Winkel zur fotografierten Zahnreihe ausgerichtet.



Abbildung 4: Fotoraum

Es wurden zunächst Fotos der Vestibulärflächen aufgenommen (siehe Abbildung 5):

- Zähne 12-22 / 32-42
- Zähne 13 und 43
- Zähne 23 und 33

Danach wurden die Watterollen entfernt. Bei weit geöffnetem Mund erfolgte mit Hilfe von intraoralen Spiegeln (Dent-o-care Dentalvertriebs GmbH, Höhenkirchen, Deutschland), die vom Assistenten positioniert und gehalten wurden, die Aufnahme der Oralflächen (siehe Abbildung 6):

- Zähne 13-23
- Zähne 33-43

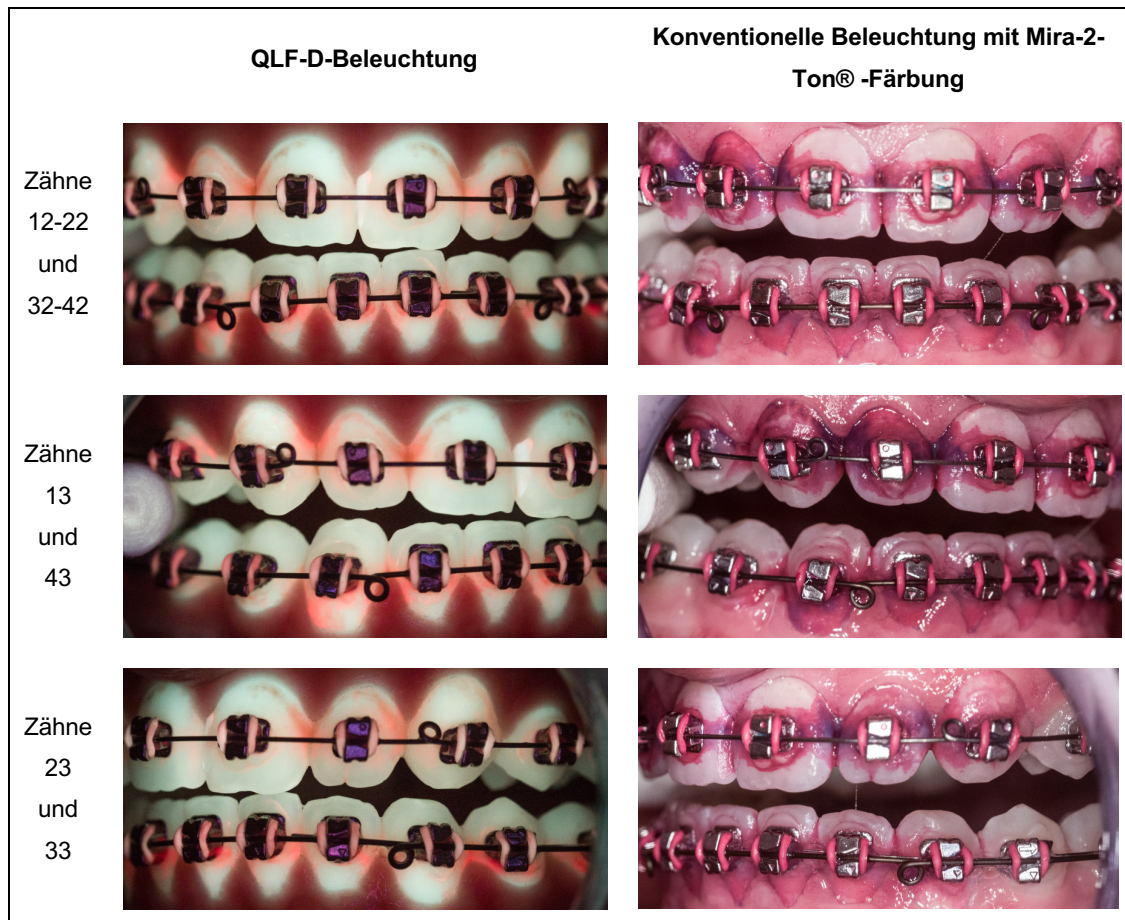


Abbildung 5: Fotos der Vestibulärflächen

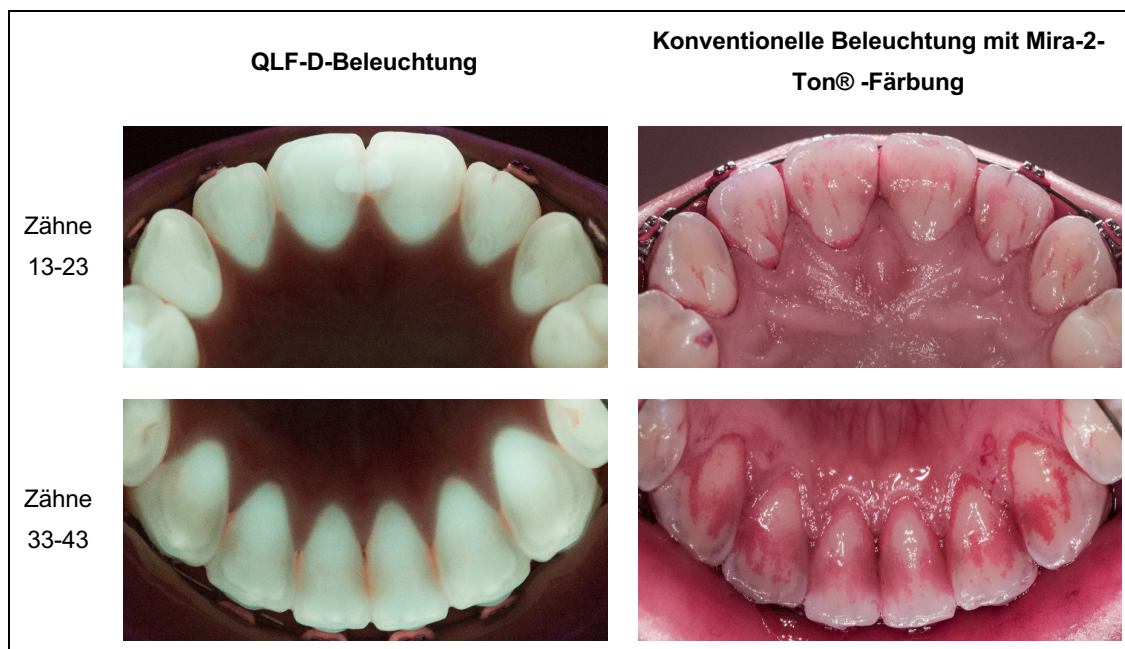


Abbildung 6: Fotos der Oralflächen

Fotostatus in klinischem Setting an der Behandlungseinheit

Der klinische Fotostatus wurde in einem Behandlungsraum der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen aufgenommen (Abbildung 7). Die Lichtverhältnisse variierten je nach Tageszeit und Witterung. Die Fotos mit QLF-D-Beleuchtung wurden deshalb nach Abdunkelung des Raumes durch Herablassen des Rollladens unter Umgebungsbeleuchtung aufgenommen.

Der Proband nahm auf der zahnärztlichen Behandlungseinheit Platz und lehnte den Kopf an. Wie im Fotoraum wurden die Weichteile mit einem Lippen- und Wangenretaktor abgehalten und die Okklusion mit Watterollen entschlüsselt. Die Kamera wurde vom Untersucher frei Hand gehalten, wobei der Abstand des Tubus zum Probanden in etwa dem Abstand im Fotoraum (5cm) entsprach. Die Bilderserie wurde analog zum standardisierten Fotostatus im Fotoraum aufgenommen.



Abbildung 7: Behandlungseinheit

4.4.4 Plaquemessung mittels QLF-D

Die Plaquemessung mittels QLF-D bedarf keiner Anfärbung der Plaque. Zur Darstellung der Plaque wurde die Kamera mit einem Beleuchtungstubus ausgestattet. Im Tubus befindliche LEDs bestrahlen die Zähne während der Aufnahme mit Licht einer

Wellenlänge von 400-405nm. Dadurch wird die Plaque über Fluoreszenzphänomene sichtbar (siehe Kapitel 2.3 Funktionsprinzip QLF-D).

Die Plaquebedeckung der Zahnoberflächen wurde anhand der erstellten Fotos planimetrisch bestimmt und ausgewertet (siehe Kapitel 4.5 Auswertung).

4.4.5 Plaquemessung mittels Anfärben

Die Zähne der Probanden wurden gemäß Herstellerangaben tupfend mit einem mit Mira-2-Ton® Lösung tropfend gesättigt getränktem Schaumstoffpellet (Schaumstoff-Pellets PluLine Gr.4, Pluradent, Offenbach) angefärbt. Die Lösung enthält Wasser, Natriumbenzoat, Kaliumsorbat und die Farbstoffe Phloxin B (C.I. 45410) und Brillantblau (C.I. 42090) [Hager & Werken GmbH & Co. KG]. Nach dem Auftragen spülten die Probanden 10 Sekunden lang mit Wasser aus.

Die Plaquebedeckung der Zahnoberfläche wurde anhand der erstellten Fotos planimetrisch ausgewertet (siehe Kapitel 4.5 Auswertung).

4.5 Auswertung

Die Software des QLF-D Biluminators „C3“ (Inspector Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) erwies sich im Rahmen der Voruntersuchung/Untersucherkalibrierung in der Handhabung als nicht praktikabel für die Durchführung der Studie, weil das Auslösen der Kamera über die Software vermehrt zu unscharfen und verwackelten Bildern führte (siehe Kapitel 6.1.4 QLF-D Biluminator und 6.1.5 Software). Aus diesem Grund entschied man sich für die manuelle Einstellung der Kamera. Dabei wurden die manuellen Einstellungen für die Bilder mit QLF-D-Beleuchtung aus den in der mitgelieferten Software vorgegebenen Einstellungen übernommen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einstellungen der Kamera

	Mira	QLF-D
Belichtungszeit	1/30 s	1/30 s
Blendenöffnung	f 8.0	f 5.6
Empfindlichkeit	ISO 1600	ISO 1600
Weißabgleich	manuell (Temp.: 2000, Tönung: -8)	Tageslicht (Temp.: 5200, Tönung: +3)
LEDs	normal	blau-violett

Die im Rohdatenformat gespeicherten Daten wurden nach der Aufnahme zunächst nach Gruppe (MB/nonMB), Methode (QLF/Mira), Ort (Raum/Einheit), Situation (Eckzahn OK li/re, Eckzahn UK li/re, Front OK vest./oral, Front UK vest./oral), Termin (T1-T4) und Probandennummer (01-30/01-20) sortiert. Daraus ergab sich für jedes Bild eine eindeutige Zuordnung.

Anschließend wurden die Bilddaten in einen in Lightroom 5.7.1 (Adobe Systems, San José, Kalifornien, USA) angelegten Katalog importiert und zunächst zur Flächenmarkierung im JPG-Format exportiert. Ein weiterer Export erfolgte nach standardisierter Kontrastoptimierung unter Verwendung von an die jeweilige Aufnahmesituation angepassten Voreinstellungen zur Schwarzweißkonvertierung (siehe Kapitel 9 Anhang). Die planimetrische Plaquebedeckungsmessung erfolgte mit einem in der Bildanalysesoftware ImageJ 1.47q (Wayne Rasband, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA) entwickelten Makro (siehe Kapitel 9 Anhang). Dabei wurde im ersten Schritt die Flächenauswahl anhand der Originalfotos vor Schwarzweißkonvertierung vorgenommen. Im zweiten Schritt erfolgte die prozentuale Plaquebedeckungsmessung anhand der nach Schwarzweißkonvertierung exportierten Fotos unter Anwendung von Graustufengrenzwerten. Die Graustufenwerte erstrecken sich über eine Spanne von 0 (reines Schwarz) bis 255 (reines Weiß). Wird ein Graustufengrenzwert bestimmt, erstreckt sich die Spanne von 0 bis zum bestimmten Grenzwert. Die Graustufengrenzwerte wurden zuvor nach Sichtprüfung in mehreren Konsensustreffen der beteiligten Studienleiterinnen und beider Doktoranden auf den Wert 90 für die Bilder bei konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung und den Wert 180 für die Bilder mit QLF-D-Beleuchtung festgelegt. Die Weiterverarbeitung der Plaquebedeckungswerte erfolgte mit Excel für Mac 2011 (Microsoft Corporation, Redmond, USA).

4.6 Statistische Verfahren

Die erhobenen Daten wurden durch Medistat (Frau Ulrike von Hehn) statistisch mit IBM SPSS 23 ausgewertet und anschließend mit Excel für Mac 2011 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) dargestellt.

Um die Daten auf eine gaußsche Normalverteilung zu testen, wurden sie zunächst mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test und dem Shapiro-Wilk-Test analysiert. Da die Daten die Voraussetzungen einer Normalverteilung nicht erfüllten, erfolgte die weitere statistische Analyse mit nicht parametrischen Methoden, wie dem Wilcoxon-Test

für Paardifferenzen [Wilcoxon, 1946] und bei drei oder mehr gepaarten Stichproben mit dem Friedman-Test.

Da die Daten zwar nicht normalverteilt sind, aber auch keine schiefe Verteilung aufweisen, kann im Folgenden mit den Mittelwerten gearbeitet werden.

4.7 Inter- und Intrarater Reliabilität

4.7.1 Reproduzierbarkeit

Um den Gesamtfehler bei der Anfertigung und der Auswertung der Fotos zu ermitteln, wurden von zwei Untersuchern nacheinander jeweils Fotos eines Frontzahns und eines Molaren eines Probanden ohne Multi-Bracket-Apparatur in standardisiertem Setting bei QLF-D-Beleuchtung und bei konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung angefertigt und anschließend jeweils zwei mal ausgewertet. Dabei wurde der Proband, nachdem er den Raum verlassen hatte, vom jeweiligen Untersucher für den nächsten Fotostatus neu positioniert.

Aus den jeweils vier Ergebnissen für die prozentuale Plaquebedeckung der auszuwertenden Zahnfläche wurde zunächst der Median gebildet und dann die mediane absolute Abweichung von diesem berechnet (Tabelle 2). Diese betrug im Median aller ausgewerteten Zahnflächen sowohl bei den Fotos mit QLF-D-Beleuchtung als auch bei den Fotos mit konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung 1,4 Prozentpunkte.

Tabelle 2: Plaquebedeckung [%] bei konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton® -Färbung und bei QLF-D-Beleuchtung nach doppelter Auswertung durch zwei Untersucher; U1/2=Untersucher 1/2, A1/2=Auswertung 1/2

Konventionelle Beleuchtung mit Mira-2-Ton® -Färbung							
Kiefer	Zahn	Fläche	U1		U2		Median (min, max)
			A1	A2	A1	A2	
Oberkiefer	Frontzahn	vestibulär	12,8	10,4	8,7	13,0	11,6 (8,7; 13,0)
		oral	66,2	71,3	64,0	66,2	66,2 (64; 71,3)
	Molar	vestibulär	26,4	35,8	33,6	24,1	30,0 (24,1; 35,8)
		oral	19,6	14,0	21,3	19,0	19,3 (14; 21,3)
Unterkiefer	Frontzahn	vestibulär	78,5	73,8	72,8	83,4	76,2 (72,8; 83,4)
		oral	67,0	69,2	66,3	72,7	68,1 (66,3; 72,7)
	Molar	vestibulär	35,3	39,7	37,5	43,0	38,6 (35,3; 43,0)
		oral	31,6	30,7	32,6	36,0	32,1 (30,7; 36,0)
QLF-D-Beleuchtung							
Kiefer	Zahn	Fläche	U1		U2		Median (min, max)
			A1	A2	A1	A2	
Oberkiefer	Frontzahn	vestibulär	2,1	2,5	2,0	1,6	2,0 (1,6; 2,5)
		oral	57,0	57,6	67,6	60,9	59,2 (57; 67,6)
	Molar	vestibulär	11,4	14,4	15,7	12,9	13,6 (11,4; 15,7)
		oral	6,4	13,3	10,5	11,2	10,9 (6,4; 13,3)
Unterkiefer	Frontzahn	vestibulär	29,1	30,0	27,7	29,8	29,4 (27,7; 30,0)
		oral	62,4	63,8	60,7	67,6	63,1 (60,7; 67,6)
	Molar	vestibulär	9,9	10,8	10,4	10,5	10,4 (9,9; 10,8)
		oral	17,3	28,4	22,0	29,1	25,2 (17,3; 29,1)

4.7.2 Mehrfachauswertung

Um den Messfehler bei der Flächenauswahl zu bestimmen, wurden Fotos eines Frontzahnes und eines Molaren eines Probanden ohne Multi-Bracket-Apparatur mit eher niedriger Plaquebedeckung ($\leq 10\%$) und eines Probanden mit eher hoher Plaquebedeckung in standardisiertem Setting bei QLF-D-Beleuchtung und bei konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung jeweils zehn mal markiert und ausgewertet.

Aus den Ergebnissen für die prozentuale Plaquebedeckung der auszuwertenden Zahnflächen wurde zunächst der Median gebildet und dann die mediane absolute Abweichung von diesem berechnet (Tabelle 3). Bei eher niedriger Plaquebedeckung

betrug diese im Median aller ausgewerteten Zahnflächen bei den Fotos mit QLF-D-Beleuchtung 0,35 Prozentpunkte und bei den Fotos mit konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung 0,12 Prozentpunkte. Bei eher hoher Plaquebedeckung lag die mediane absolute Abweichung vom Median der Plaquebedeckungswerte bei den Fotos mit QLF-D-Beleuchtung bei 0,22 Prozentpunkten und bei den Fotos mit konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung bei 0,10 Prozentpunkten.

Tabelle 3: Mediane prozentuale Plaquebedeckung nach zehnfacher Auswertung eines Molaren und eines Frontzahnes eines Probanden mit eher niedriger und eines Probanden mit eher hoher Plaquebedeckung bei QLF-D-Beleuchtung (QLF-D) und konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung (Mira)

Eher niedrige Plaquebedeckung				
Kiefer	Zahn	Fläche	QLF-D [%]	Mira [%]
Oberkiefer	Frontzahn	vestibulär	6,7 (6,1; 7,1)	5,6 (5,4; 6,1)
		oral	11,6 (11,0; 12,4)	5,5 (5,4; 5,6)
	Molar	vestibulär	33,5 (30,6; 37,6)	5,9 (5,7; 6,1)
		oral	7,6 (7,4; 7,8)	5,8 (5,5; 5,9)
Unterkiefer	Frontzahn	vestibulär	16,8 (16,3; 17,9)	3,9 (3,8; 3,9)
		oral	20,9 (18,8; 24,8)	9,6 (9,3; 9,9)
	Molar	vestibulär	29,7 (28,6; 30,5)	16,0 (15,2; 16,5)
		oral	9,8 (9,3; 11,2)	8,6 (8,2; 9,4)
Eher hohe Plaquebedeckung				
Kiefer	Zahn	Fläche	QLF-D	Mira
Oberkiefer	Frontzahn	vestibulär	8,9 (8,4; 9,9)	10,8 (10,7; 11,0)
		oral	48,6 (47,4; 49,2)	30,3 (30,0; 30,4)
	Molar	vestibulär	60,2 (60,0; 60,6)	71,8 (71,5; 72,1)
		oral	31,3 (30,8; 31,5)	17,8 (17,3; 18,5)
Unterkiefer	Frontzahn	vestibulär	31,6 (31,0; 31,9)	14,3 (14,0; 14,7)
		oral	48,4 (47,2; 48,6)	45,2 (44,6; 45,3)
	Molar	vestibulär	31,7 (29,8; 33,8)	5,8 (5,6; 5,9)
		oral	21,6 (20,5; 22,4)	21,4 (20,4; 23,2)

Zusätzlich wurden die zum Zeitpunkt T4 erstellten Fotos von zehn zufällig ausgewählten Probanden dreifach ausgewertet und die absolute mediane Abweichung vom Median der Plaquebedeckungswerte bestimmt. Diese betrug bei den Fotos mit QLF-D-Beleuchtung 0,11 Prozentpunkte und bei den Fotos mit konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton®-Färbung 0,15 Prozentpunkte.

4.7.3 Nullwertbestimmung

Um den Nullwert, also die gemessene Plaquebedeckung bei gereinigten Zahnoberflächen, der Plaquemessmethode mittels QLF-D zu bestimmen, wurden nach professioneller Zahnreinigung sowohl bei einem Probanden ohne Multi-Bracket-Apparatur als auch bei einem Probanden mit Multi-Bracket-Apparatur Fotos eines Oberkieferfrontzahnes und eines Unterkieferfrontzahnes in standardisiertem Setting mit QLF-D-Beleuchtung erstellt und anschließend ausgewertet.

Bei dem Probanden ohne Multi-Bracket-Apparatur lag die mittlere gemessene Plaquebedeckung bei 0,01%, während sie bei dem Probanden mit Multi-Bracket-Apparatur bei 0,32% lag (Tabelle 4). Insgesamt lag die mediane Plaquebedeckung bei 0,07% und die mediane absolute Abweichung von dieser betrug 0,06%.

Tabelle 4: Mittels QLF-D gemessene Plaquebedeckung nach professioneller Zahnreinigung

Proband	Zahn	Plaquebedeckung [%]
Proband ohne MB	Oberkieferfrontzahn	0,02
	Unterkieferfrontzahn	0,0
Proband mit MB	Oberkieferfrontzahn	0,11
	Unterkieferfrontzahn	0,53

5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die auf Fotos mit QLF-D-Beleuchtung (Fluoreszenzfotos) ermittelten Werte der Plaquebedeckung als QLF-D-Werte bezeichnet. Die Werte, die anhand der unter konventioneller Beleuchtung nach Mira-2-Ton®-Färbung aufgenommenen Fotos für die Plaquebedeckung ermittelt wurden, werden als Mira-Werte bezeichnet.

Das klinische Setting an der Behandlungseinheit wird nachfolgend „Einheit“ und das standardisierte Setting mit Stativ und Kinn-/Stirnstütze im Fotoraum „Raum“ genannt. Dabei werden im standardisierten Setting die Aufnahmen bei Deckenbeleuchtung als „Licht an“ und die Aufnahmen bei völliger Dunkelheit als „Licht aus“ bezeichnet.

In den Tabellen 5 bis 13 sind signifikant abweichende Werte rot hervorgehoben.

Die in den Kapiteln 5.1 bis 5.4.3 beschriebenen Ergebnisse beziehen sich auf die Gruppe MB.

5.1 Plaque QLF-D vs. Mira

5.1.1 Vergleich auf Probandenebene, Zahnflächen zusammengefasst und gemittelt

Beim Vergleich der QLF-D-Werte mit den Mira-Werten auf Probandenebene wurden die Werte für die Plaquebedeckung aller Zahnflächen pro Proband zusammengefasst und gemittelt.

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse dargestellt. Sowohl im Setting „Raum Licht an“ als auch im Setting „Einheit“ zeigten sich für Front- und Eckzähne signifikante Unterschiede zwischen den mittleren Mira- und QLF-D-Werten. Die Differenzen der Mittelwerte der beiden Methoden lagen im Setting „Raum Licht an“ zwischen 9,28% und 15,20% und im Setting „Einheit“ zwischen 16,77% und 20,56%.

Die Boxplots (Abbildung 8) zeigen, dass die auf den konventionellen Fotos nach Anfärben gemessene mittlere Plaquebedeckung signifikant größer als die mit QLF-D gemessene Plaquebedeckung war.

Abbildung 9 stellt die Streudiagramme der gemessenen Mira- und QLF-D-Werte bei den Settings für die Front- und Eckzähne von Ober- und Unterkiefer dar, wobei die Labial- und Oralflächen zusammengefasst wurden. Es zeigte sich bei beiden Methoden eine deutliche Streuung des Plaquebedeckungsausmaßes (Standardabweichung in den verschiedenen Settings und Zahngruppen für QLF-D zwischen 7,39%-16,59%

und für Mira zwischen 12,10%-18,06%). Wie der Verlauf der Regressionsgeraden der beiden Settings zeigt, hatte das Setting selbst zwar einen Einfluss, der aber im Verhältnis zum Ausmaß der relativen Plaquebedeckung deutlich geringer ausfällt. Mit zunehmender prozentualer Plaquebedeckung stieg auch der Unterschied zwischen den Messmethoden an.

Tabelle 5: Plaque QLF-D vs. Mira. Differenzen der Mittelwerte beider Messmethoden.

*= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Kiefer	Zähne	Setting	MW Plaque QLF-D [%]	MW Plaque Mira [%]	MW Plaque QLF-D [%] - MW Plaque Mira [%]	Standardabweichung der Differenz
Oberkiefer	Frontzähne	Einheit	16,94	33,70	-16,77*	13,35
		Raum Licht an	21,24	30,52	-9,28*	14,17
	Eckzähne	Einheit	17,30	35,87	-18,57*	13,67
		Raum Licht an	21,82	32,90	-11,09*	16,44
Unterkiefer	Frontzähne	Einheit	23,65	44,21	-20,56*	14,45
		Raum Licht an	22,44	37,64	-15,20*	15,48
	Eckzähne	Einheit	20,96	39,84	-18,88*	13,48
		Raum Licht an	21,07	34,89	-13,81*	13,41

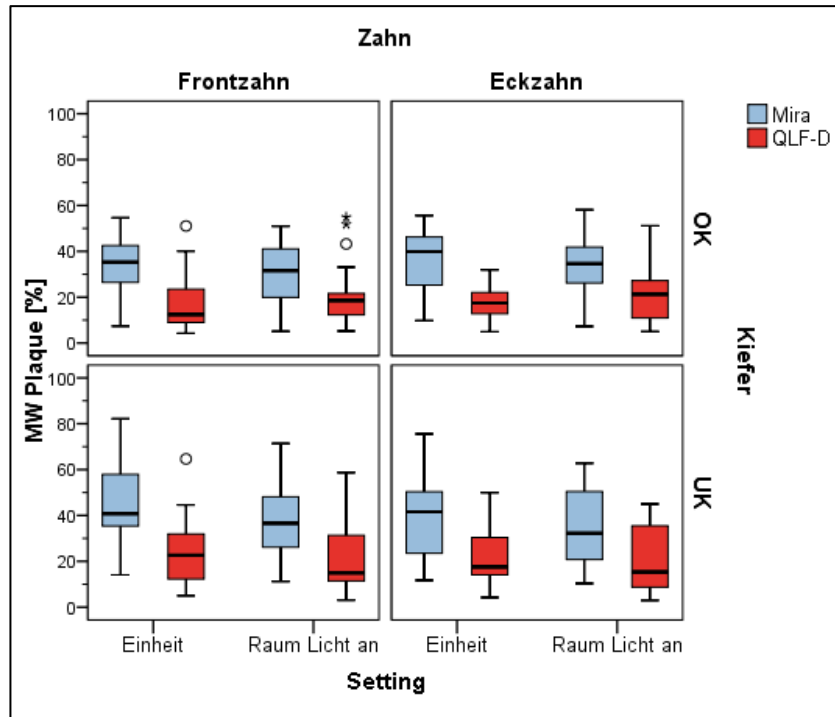


Abbildung 8: Boxplots; Plaque QLF-D vs. Mira (Probandenebene, Zahnflächen aggregiert)

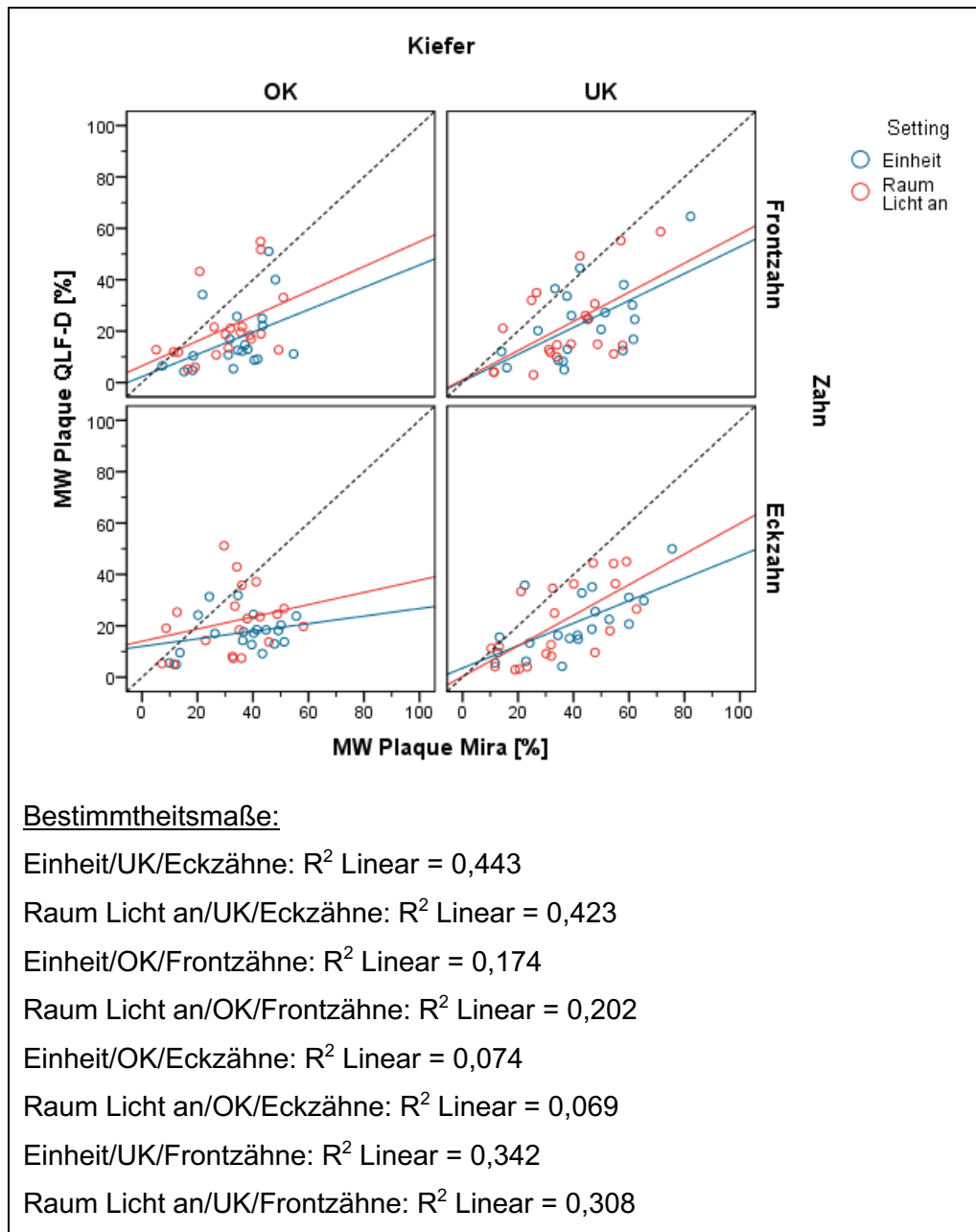


Abbildung 9: Streudiagramme; Plaque QLF-D vs. Mira (Probandenebene, Zahnflächen aggregiert)

5.1.2 Vergleich nach Zahnflächen

Die Mittelwerte auf Ebene der Zahnflächen sind mit den Mittelwerten auf Probandenebene identisch (Tabelle 5).

Die Streudiagramme mit Darstellung der Werte der einzelnen Zahnflächen (Abbildung 10) zeigen eine Verteilung der Messwerte ohne erkennbares Muster und somit eine geringe Korrelation der beiden Methoden, wobei die Bestimmtheitsmaße (R^2) zwischen 0,243 bei den Oberkieferreckzähnen im Setting „Raum Licht an“ und 0,546 bei

den Unterkieferfrontzähnen im Setting „Raum Licht an“ schwanken. Allerdings war eine Häufung im Bereich niedriger QLF-D- bzw. Mira-Werte erkennbar. Diese war bei den Frontzähnen besonders auffällig, da hier naturgemäß mehr Messwerte als für Eckzähne vorlagen (Frontzahnflächen: 160, Eckzahnflächen: 80).

Die in Abbildung 11 dargestellten Boxplots zeigen, dass die auf den konventionellen Fotos nach Anfärben gemessene Plaquebedeckung im Mittel größer als die mit QLF-D gemessene Plaquebedeckung war. Außerdem ist eine große Streuung der Messwerte (Standardabweichung für QLF-D 11,05%-20,4% und für Mira 20,87%-26,03%) erkennbar. So schwankten beispielsweise die Plaquebedeckungswerte für Oberkieferfrontzähne im Setting „Raum Licht an“ bei Fluoreszenzfotos zwischen 0,13% und 81,82% und bei konventionellen Fotos nach Anfärben zwischen 0,71% und 90,48%.

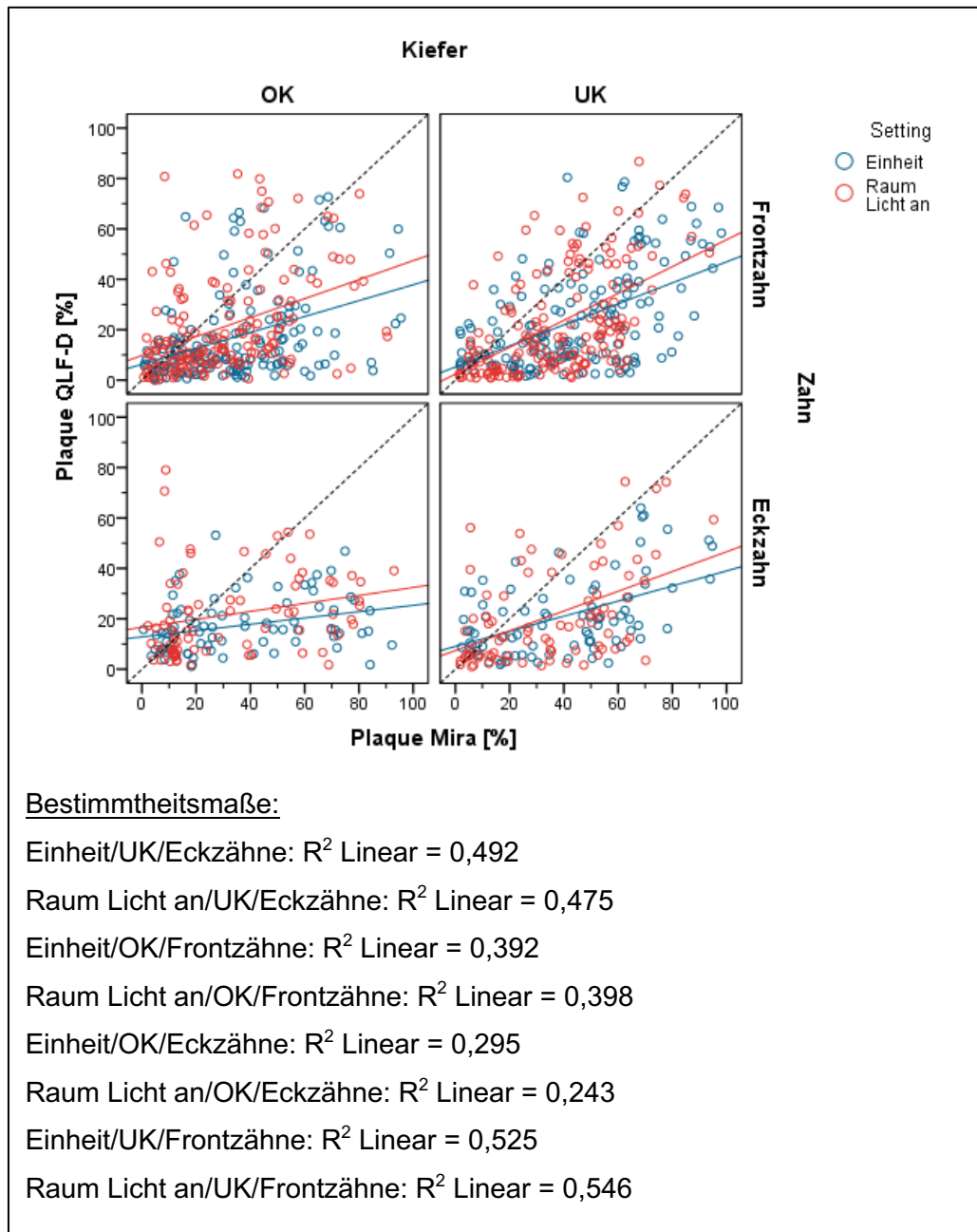


Abbildung 10: Streudiagramme; Plaque QLF-D vs. Mira (auf allen Zahnflächen)

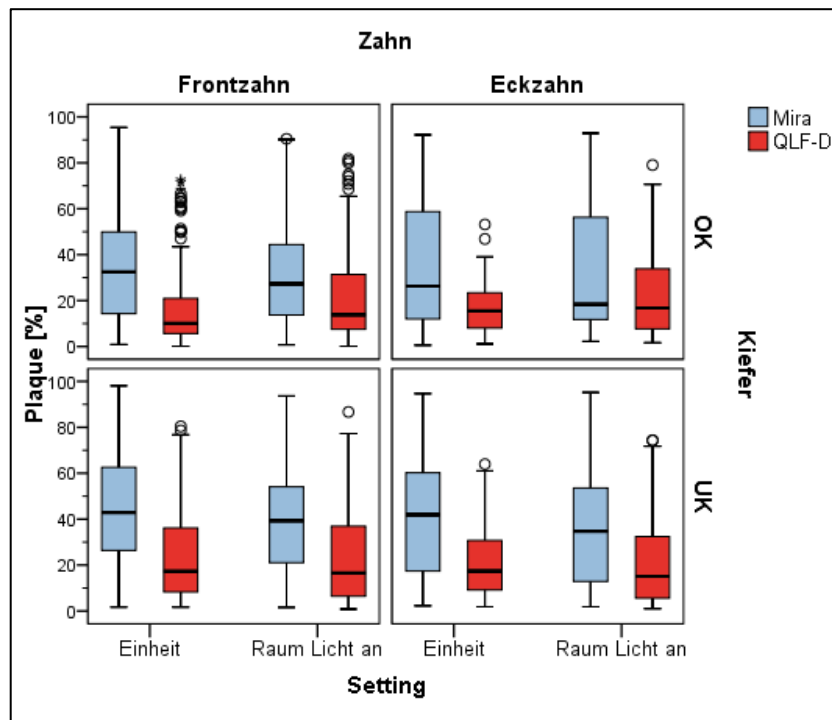


Abbildung 11: Boxplots; Plaque QLF-D vs. Mira (auf allen Zahnflächen)

5.1.3 Bland-Altman-Analyse

Zum Vergleich der Methoden erfolgte eine Bland-Altman-Analyse (Abbildung 12). Dabei wird auf der x-Achse der Mittelwert und auf der y-Achse die Differenz der Methoden aufgetragen [Bland und Altman, 1986]. Es zeigten sich dabei deutliche systematische und proportionale Fehler und eine schwache Korrelation ($R^2=0,186$) der Methoden. Bei größerer Plaquebedeckung war die Differenz zwischen den Methoden besonders groß, während sich die Ergebnisse bei geringerer Plaquebedeckung weniger unterschieden. Dabei streuten die Werte für die Differenz zwischen den beiden Methoden bei größerer Plaquebedeckung in beide Richtungen (Standardabweichung $s=22,63\%$, Spannweite $R=155,04\%$).

Der Durchschnitt der Differenzen der Methoden wich von der optimalen Null-Linie, die bei Übereinstimmung erreicht wird, um $-15,5\%$ ab. Folglich gab QLF-D die Plaquebedeckung um durchschnittlich $15,5$ Flächenprozent geringer an als bei der Messung nach Anfärben mit Mira-2-Ton®.

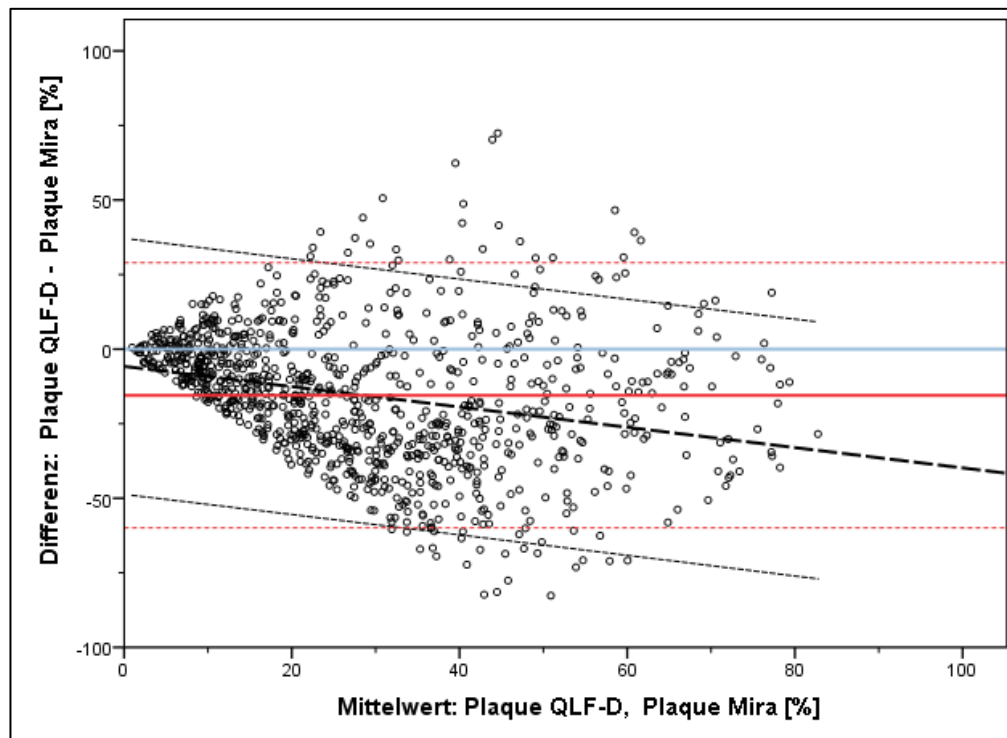


Abbildung 12: Bland-Altman-Analyse; Fette rote Linie: Durchschnitt der Differenzen der Methoden. Gestrichelte rote horizontale Linien: 95%-Toleranzgrenzen für die Differenzen. Blaue Linie: optimale Null-Linie bei Übereinstimmung. Langgestrichelte fette Linie: Regression „Differenz auf Durchschnitt“. Dünne schwarze gestrichelte Linien: Konfidenzgrenzen der Regressionsgeraden. Bestimmtheitsmaß: $R^2=0,186$.

5.2 Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche

5.2.1 QLF-D-Werte

Im vorliegenden Abschnitt wird der Einfluss der drei verschiedenen Settings auf die ermittelten QLF-D-Werte beschrieben (Tabelle 6).

Dabei konnten beim Vergleich der auf den Vestibulärflächen ermittelten Plaquebedeckungswerte keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Settings bzw. den Beleuchtungssituationen festgestellt werden. Während die mittleren Differenzen mit Werten zwischen +5,87% und -5,65% nur wenig schwankten, war die Streuung der Werte jedoch, wie auch an den Boxplots in Abbildung 13 zu erkennen ist, hoch. So lag beispielsweise der Mittelwert für die Plaquebedeckung der Vestibulärflächen von Unterkieferfrontzähnen im Setting „Raum Licht aus“ bei 27,43% (Median 26,28%) und die Standardabweichung bei 20,68%.

Beim Vergleich der mittleren Plaquebedeckungswerte der Oralflächen zeigte sich ein differenzierteres Bild. Auch für die Werte der Oralflächen war die Streuung groß (Standardabweichung je nach Setting und Zahngruppe zwischen 8,42% und 19,51%). Zwischen den im Setting „Raum Licht an“ und „Einheit“ ermittelten Werten waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Allerdings traten sowohl beim Vergleich der Werte für die mittlere Plaquebedeckung der Oralflächen zwischen den Settings „Raum Licht aus“ und „Einheit“ als auch zwischen den Settings „Raum Licht aus“ und „Raum Licht an“ mit Ausnahme der Unterkiefereckzähne signifikante Unterschiede auf. Im Setting „Raum Licht aus“ wurden im Mittel niedrigere Plaquebedeckungswerte gemessen als in den anderen beiden Settings. Sie lagen im Mittel um 8,7% unter den im Setting „Einheit“ gemessenen Werten und um 10,03% unter den im Setting „Raum Licht an“ gemessenen Werten.

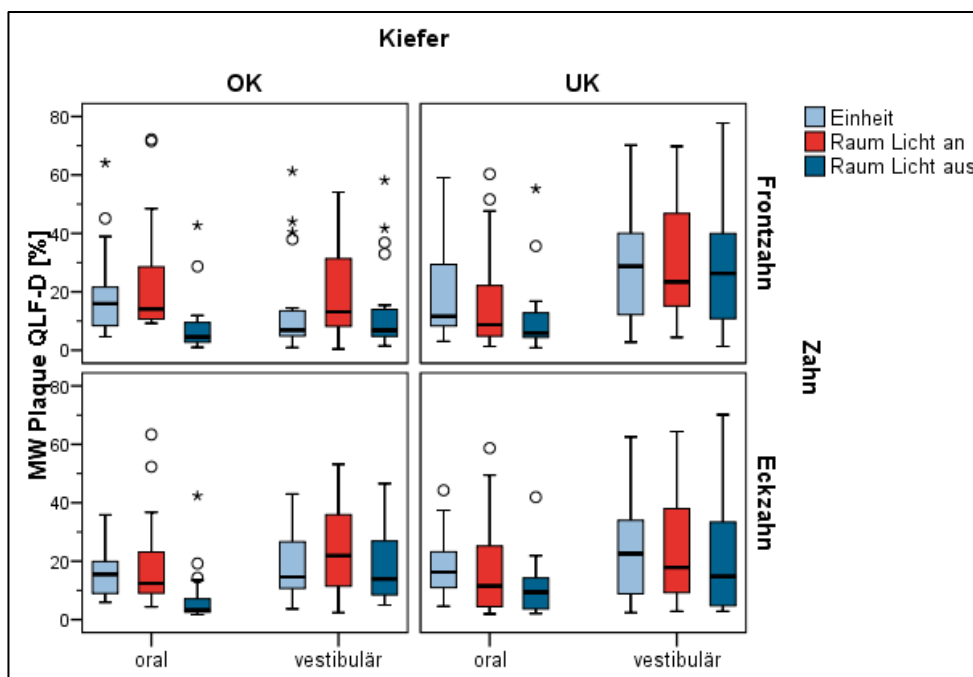


Abbildung 13: Boxplots; Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche bei QLF-D-Werten

Tabelle 6: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen je zwei Settings. *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Kiefer	Zähne	Fläche	Raum Licht an MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Einheit MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Raum Licht an MW Plaque QLF-D [%] - Einheit MW Plaque QLF-D [%]
Oberkiefer	Frontzähne	oral	23,69; (19,51)	19,43; (14,94)	4,26
		vestibulär	18,79; (14,47)	14,44; (16,94)	4,35
	Eckzähne	oral	19,24; (16,18)	16,08; (8,42)	3,16
		vestibulär	24,39; (15,52)	18,52; (11,50)	5,87
Unterkiefer	Frontzähne	oral	16,20; (17,49)	18,32; (14,68)	-2,12
		vestibulär	28,68; (19,62)	28,99; (19,41)	-0,31
	Eckzähne	oral	17,98; (17,81)	18,90; (10,67)	-0,92
		vestibulär	24,17; (18,22)	23,03; (16,20)	1,14
Kiefer	Zähne	Fläche	Raum Licht aus MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Einheit MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Raum Licht aus MW Plaque QLF-D [%] - Einheit MW Plaque QLF-D [%]
Oberkiefer	Frontzähne	oral	8,28; (10,18)	19,43; (14,94)	-11,15*
		vestibulär	14,06; (15,60)	14,44; (16,94)	-0,38
	Eckzähne	oral	7,52; (9,49)	16,08; (8,42)	-8,56*
		vestibulär	18,75; (12,39)	18,52; (11,50)	0,23
Unterkiefer	Frontzähne	oral	10,95; (13,00)	18,32; (14,68)	-7,37*
		vestibulär	27,43; (20,68)	28,99; (19,41)	-1,56
	Eckzähne	oral	11,17; (9,25)	18,90; (10,67)	-7,73*
		vestibulär	21,46; (19,22)	23,03; (16,20)	-1,57
Kiefer	Zähne	Fläche	Raum Licht aus MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Raum Licht an MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Raum Licht aus MW Plaque QLF-D [%] - Raum Licht an MW Plaque QLF-D [%]
Oberkiefer	Frontzähne	oral	8,28; (10,18)	23,69; (19,51)	-15,41*
		vestibulär	14,06; (15,60)	18,79; (14,47)	-4,73
	Eckzähne	oral	7,52; (9,49)	19,24; (16,18)	-11,72*
		vestibulär	18,75; (12,39)	24,39; (15,52)	-5,64
Unterkiefer	Frontzähne	oral	10,95; (13,00)	16,20; (17,49)	-5,25*
		vestibulär	27,43; (20,68)	28,68; (19,62)	-1,25
	Eckzähne	oral	11,17; (9,25)	17,98; (17,81)	-6,81
		vestibulär	21,46; (19,22)	24,17; (18,22)	-2,71

5.2.2 Mira-Werte

In diesem Abschnitt wird der Einfluss der zwei verschiedenen Settings auf die ermittelten Mira-Werte beschrieben (Tabelle 7, Abbildung 14).

Im Gegensatz zu den QLF-D-Werten unterschieden sich hier alle Mittelwerte für die Plaquebedeckung der Vestibulärflächen in den verschiedenen Settings signifikant (Tabelle 7). Die im Setting „Einheit“ auf den Vestibulärflächen gemessenen Werte lagen dabei im Mittel um 5,69% über denen im Setting „Raum Licht an“. So lag beispielsweise der Mittelwert der im Setting „Raum Licht an“ gemessenen Plaquebedeckung der Vestibulärflächen der Oberkieferfrontzähne bei 35,3% und im Setting „Einheit“ bei 40,1%. Die Standardabweichung lag in diesem Fall bei 20,7% für das Setting „Einheit“ bzw. 19,9% für das Setting „Raum Licht an“.

Beim Vergleich der mittleren Plaquebedeckungswerte der Oralflächen traten nur bei Betrachtung der Unterkieferfrontzähne signifikante Unterschiede auf. Während bei diesen der Mittelwert für die Plaquebedeckung im Setting „Einheit“ bei 36,1% (Standardabweichung 23,9%) lag, lag er im Setting „Raum Licht an“ bei 32,0% (Standardabweichung 20,9%). Im Vergleich dazu lagen die Mittelwerte für die Plaquebedeckung der Oralflächen der Oberkieferfrontzähne im Setting „Einheit“ bei 27,3% und im Setting „Raum Licht an“ bei 25,7%.

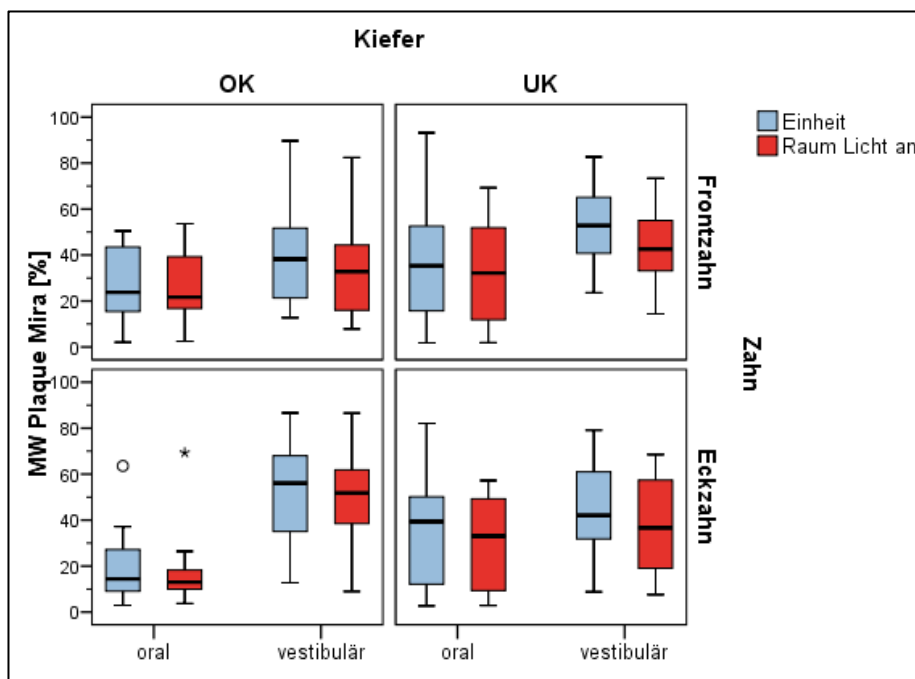


Abbildung 14: Boxplots; Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche bei Mira-Werten

Tabelle 7: Differenzen der Mira-Werte zwischen den zwei Settings. *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Kiefer	Zähne	Fläche	Raum Licht an MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	Einheit MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	Raum Licht an MW Plaque Mira [%] - Einheit MW Plaque Mira [%]
Oberkiefer	Frontzähne	oral	25,73; (14,20)	27,33; (15,06)	-1,60
		vestibulär	35,31; (19,85)	40,08; (20,68)	-4,77*
	Eckzähne	oral	16,64; (14,00)	19,22; (14,50)	-2,58
		vestibulär	49,17; (22,04)	52,52; (21,28)	-3,35*
Unterkiefer	Frontzähne	oral	32,02; (20,89)	36,09; (23,85)	-4,07*
		vestibulär	43,26; (15,54)	52,34; (16,75)	-9,08*
	Eckzähne	oral	31,03; (19,10)	35,37; (22,86)	-4,34
		vestibulär	38,75; (19,62)	44,32; (20,80)	-5,57*

5.2.3 Vergleich der QLF-D- und der Mira-Werte (Setting)

Fasst man den Einfluss des Settings zusammen und vergleicht die beiden Plaque-messmethoden, so wird deutlich, dass die Methode nach Anfärben mit Mira-2-Ton® „empfindlicher“ auf veränderte Beleuchtungsverhältnisse zu reagieren scheint, was bei Wertevergleichen mit der Literatur zu berücksichtigen ist.

Bei der Erstellung von QLF-D Aufnahmen ohne externe Beleuchtung werden im Mittel, vor allem oral, geringere Plaquemengen detektiert.

5.3 Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche

5.3.1 QLF-D-Werte

In diesem Abschnitt werden die mittels QLF-D bei Frontzähnen ermittelten Mittelwerte für die Plaquebedeckung mit denen der Eckzähne verglichen (Tabelle 8, Abbildung 15).

In allen drei Settings zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der mittleren Plaquebedeckung der Oralflächen der Front- und Eckzähne. Dabei lag die mittlere Plaquebedeckung für die Oralflächen der Frontzähne zwischen 8,28% und 23,69% und für die Oralflächen der Eckzähne zwischen 7,52% und 19,24%. Die Streuung der Werte lag bei Standardabweichungen zwischen 10,18% und 19,51% für die Oralflächen der Frontzähne und zwischen 8,42% und 17,81% für die Oralflächen der Eckzähne.

Hinsichtlich der mittleren Plaquebedeckung der Vestibulärflächen der Front- und Eckzähne zeigten sich außer bei Unterkieferfront- und Unterkiefereckzähnen im Setting

„Raum Licht an“ signifikante Unterschiede in allen drei Settings. Die Mittelwerte der mit QLF-D auf Vestibulärflächen ermittelten Plaquebedeckung waren im Oberkiefer bei Eckzähnen (18,52% Setting „Einheit“, 24,39% Setting „Raum Licht an“, 18,75% Setting „Raum Licht aus“) größer als bei Frontzähnen (14,44% Setting „Einheit“, 18,79% Setting „Raum Licht an“, 14,06% Setting „Raum Licht aus“). Andererseits lagen im Unterkiefer die Mittelwerte der mit QLF-D ermittelten Plaquebedeckung der Vestibulärflächen der Frontzähne (28,99% Setting „Einheit“, 28,68% Setting „Raum Licht an“, 27,43% Setting „Raum Licht aus“) höher als diejenigen der Eckzähne (23,03% Setting „Einheit“, 24,17% Setting „Raum Licht an“, 21,46% Setting „Raum Licht aus“). Dabei lag die Standardabweichung für die Vestibulärflächen der Frontzähne zwischen 14,47% und 20,68% und für die Vestibulärflächen der Eckzähne zwischen 11,50% und 19,22% und ist somit zahnunabhängig.

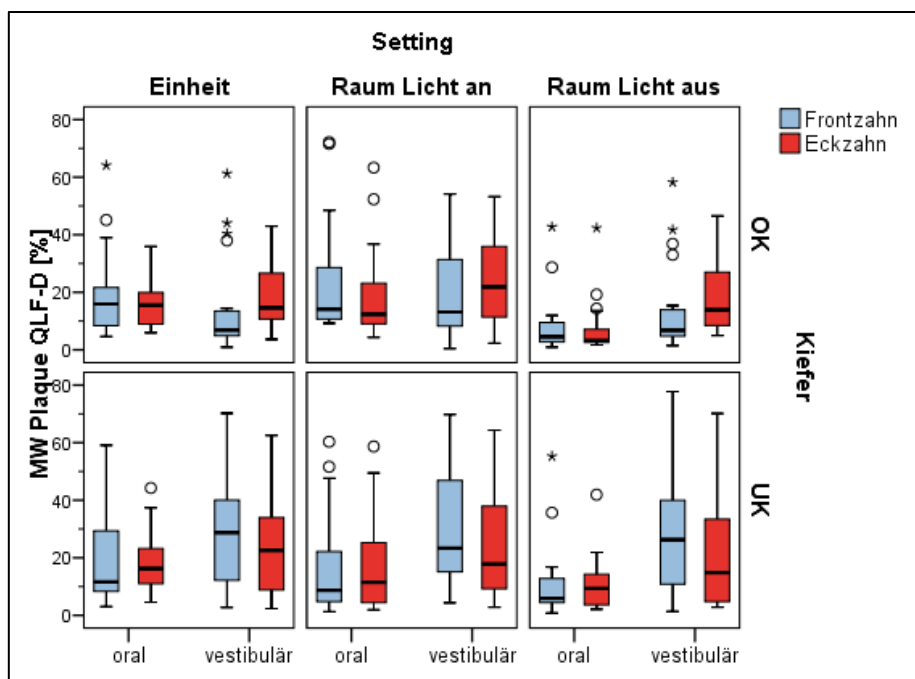


Abbildung 15: Boxplots; Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche bei QLF-D-Werten

Tabelle 8: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen Front- und Eckzähnen. FZ: Frontzähne, EZ: Eckzähne, *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Kiefer	Setting	Fläche	EZ MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	FZ MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	EZ MW Plaque QLF-D [%] - FZ MW Plaque QLF-D [%]
Oberkiefer	Einheit	oral	16,08; (8,42)	19,43; (14,94)	-3,35
		vestibulär	18,52; (11,50)	14,44; (16,94)	4,08*
	Raum Licht an	oral	19,24; (16,18)	23,69; (19,51)	-4,45
		vestibulär	24,39; (15,52)	18,79; (14,47)	5,60*
	Raum Licht aus	oral	7,52; (9,49)	8,28; (10,18)	-0,76
		vestibulär	18,75; (12,40)	14,06; (15,60)	4,69*
Unterkiefer	Einheit	oral	18,90; (10,67)	18,32; (14,68)	0,58
		vestibulär	23,03; (16,20)	28,99; (19,41)	-5,96*
	Raum Licht an	oral	17,98; (17,81)	16,20; (17,49)	1,78
		vestibulär	24,17; (18,22)	28,68; (19,62)	-4,51
	Raum Licht aus	oral	11,17; (9,25)	10,95; (13,00)	0,22
		vestibulär	21,46; (19,22)	27,43; (20,68)	-5,97*

5.3.2 Mira-Werte

Die auf konventionellen Fotos nach Anfärben ermittelten Mittelwerte für die Plaquebedeckung der Frontzähne werden in diesem Abschnitt mit denjenigen der Eckzähne verglichen (Tabelle 9, Abbildung 16).

Hinsichtlich der mittleren Plaquebedeckung der Front- und Eckzähne im Oberkiefer zeigten sich in beiden Settings signifikante Unterschiede zwischen Oral- und Vestibulärflächen.

Bei Betrachtung der Vestibulärflächen der Front- und Eckzähne im Oberkiefer wurden in beiden Settings im Mittel signifikant größere Werte für die Plaquebedeckung der Eckzähne (52,52% im Setting „Einheit“, 49,17% im Setting „Raum Licht an“) als für die der Frontzähne (40,08% im Setting „Einheit“, 35,31% im Setting „Raum Licht an“) gemessen.

Bei Betrachtung der Oralflächen der Front- und Eckzähne im Oberkiefer wurden im Gegensatz zu den Vestibulärflächen in beiden Settings im Mittel signifikant größere Werte für die Plaquebedeckung der Frontzähne (27,33% im Setting „Einheit“, 25,73% im Setting „Raum Licht an“) als für die der Eckzähne (19,22% im Setting „Einheit“, 16,64% im Setting „Raum Licht an“) gemessen.

Die Standardabweichung lag bei 20,68% bzw. 19,85% für die Vestibulärflächen und bei 15,06% bzw. 14,20% für die Oralflächen der Frontzähne des Oberkiefers und bei 21,28% bzw. 22,04% für die Vestibulärflächen und bei 14,50% bzw. 14,00% für die Oralflächen der Eckzähne des Oberkiefers.

Beim Vergleich der mittleren Plaquebedeckung der Front- und Eckzähne im Unterkiefer zeigten sich außer bei den Vestibulärflächen im Setting „Einheit“ keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zahngruppen (Tabelle 9). Dabei betrug die mittlere Plaquebedeckung der Frontzähne des Unterkiefers 34,05% (Mittelwert aus beiden Settings) für die Oralflächen und 47,80% (Mittelwert aus beiden Settings) für die Vestibulärflächen. Bei den Eckzähnen des Unterkiefers betrug die mittlere Plaquebedeckung 33,20% (Mittelwert aus beiden Settings) für die Oralflächen und 41,53% (Mittelwert aus beiden Settings) für die Vestibulärflächen. Die Streuung der Werte lag bei Standardabweichungen zwischen 15,54% und 23,85%.

Die verschiedenen Mediane und die große Spannweite der Messwerte sind in den Boxplots in Abbildung 16 dargestellt.

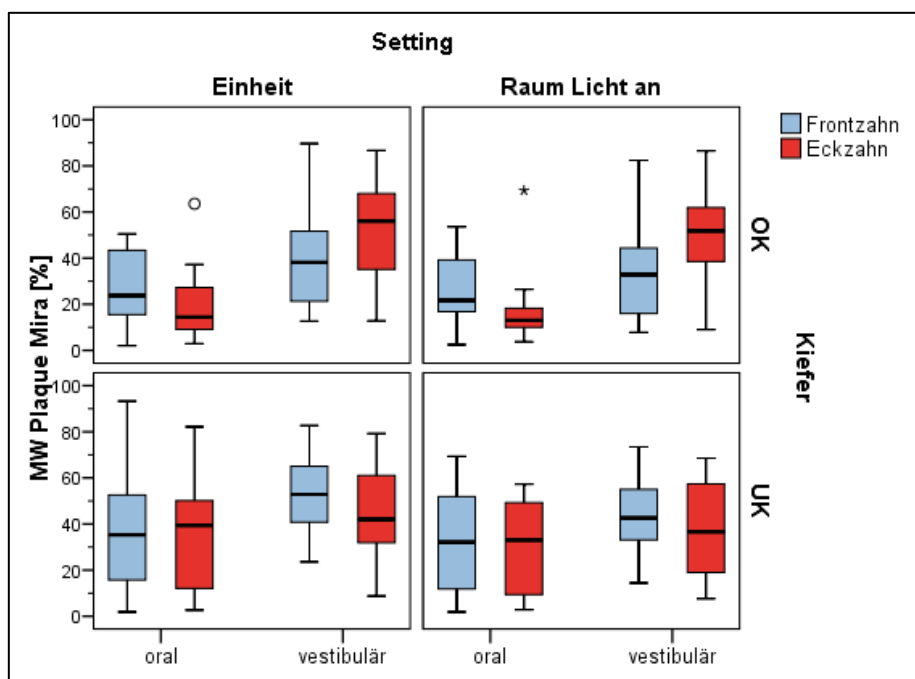


Abbildung 16: Boxplots; Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche bei Mira-Werten

Tabelle 9: Differenzen der Mira-Werte zwischen Front- und Eckzähnen. FZ: Frontzähne, EZ: Eckzähne, *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Kiefer	Setting	Fläche	EZ MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	FZ MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	EZ MW Plaque Mira [%] - FZ MW Plaque Mira [%]
Oberkiefer	Einheit	oral	19,22; (14,50)	27,33; (15,06)	-8,11*
		vestibulär	52,52; (21,28)	40,08; (20,68)	12,44*
	Raum Licht an	oral	16,64; (14,00)	25,73; (14,20)	-9,09*
		vestibulär	49,17; (22,04)	35,31; (19,85)	13,85*
Unterkiefer	Einheit	oral	35,37; (22,86)	36,09; (23,85)	-0,72
		vestibulär	44,32; (20,80)	52,34; (16,75)	-8,02*
	Raum Licht an	oral	31,03; (19,10)	32,02; (20,89)	-0,99
		vestibulär	38,75; (19,62)	43,26; (15,54)	-4,51

5.3.3 Vergleich der QLF-D- und Mira-Werte (Zahn)

Fasst man den Einfluss des Zahnes zusammen, so zeigte sich für beide Plaque-detektionmethoden unabhängig von den Zahnflächen (oral/vestibulär) der Trend für eine größere Plaquebedeckung der Frontzähne im Vergleich zu den Eckzähnen. Ausgenommen sind für beide Methoden die Vestibulärflächen der Eckzähne im Oberkiefer, die im Verhältnis zu den Frontzähnen höhere Plaquebedeckungswerte zeigten.

5.4 Einfluss des Kiefers je Zahn/Setting/Fläche

5.4.1 QLF-D-Werte

In diesem Abschnitt werden die mittels QLF-D ermittelten Mittelwerte für die Plaquebedeckung der bewerteten Flächen von Ober- und Unterkiefer miteinander verglichen (Tabelle 10, Abbildung 17).

Die Plaquebedeckung der Vestibulärflächen der Frontzähne unterschied sich zwischen Ober- und Unterkiefer in allen drei Settings signifikant. Die QLF-D-Werte der Vestibulärflächen der Unterkieferfrontzähne waren im Mittel um 12,6% größer als die QLF-D-Werte der Vestibulärflächen der Oberkieferfrontzähne.

Beim Vergleich der Eckzähne (Vestibulär- und Oralfächen) und der Oralfächen der Frontzähne zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kiefern. Auch die Boxplots in Abbildung 17 zeigen bei diesen Flächen nur geringe Unterschiede

zwischen Ober- und Unterkiefer. Jedoch sind auch hier die großen Spannweiten der Messwerte zu erkennen, sodass die Standardabweichungen zwischen 8,42% (Oralflächen von Oberkiefereckzähnen im Setting „Einheit“) und 20,68% (Vestibulärflächen von Unterkieferfrontzähnen im Setting „Raum Licht aus“) lagen.

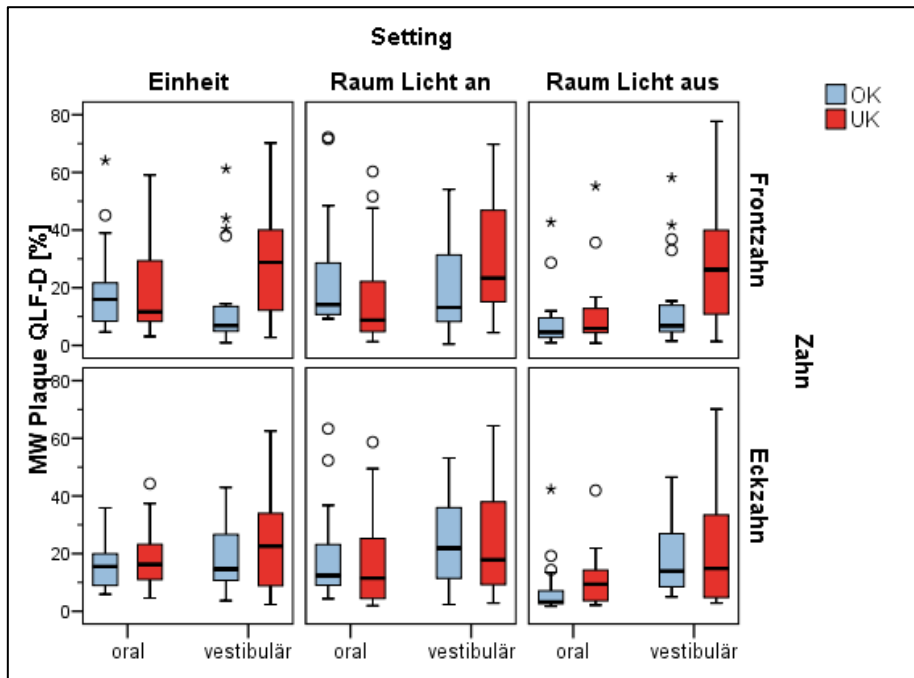


Abbildung 17: Boxplots; Einfluss des Kiefers je Zahn/Setting/Fläche bei QLF-D-Werten

Tabelle 10: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen Ober- und Unterkiefer. UK: Unterkiefer, OK: Oberkiefer, *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Zähne	Setting	Fläche	UK MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	OK MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	UK MW Plaque QLF-D [%] - OK MW Plaque QLF-D [%]
Frontzähne	Einheit	oral	18,32; (14,68)	19,43; (14,94)	-1,11
		vestibulär	28,99; (19,41)	14,44; (16,94)	14,55*
	Raum Licht an	oral	16,20; (17,49)	23,69; (19,51)	-7,49
		vestibulär	28,68; (19,62)	18,79; (14,48)	9,89*
	Raum Licht aus	oral	10,95; (13,00)	8,28; (10,18)	2,67
		vestibulär	27,43; (20,68)	14,06; (15,60)	13,37*
Eckzähne	Einheit	oral	18,90; (10,67)	16,08; (8,42)	2,82
		vestibulär	23,03; (16,20)	18,52; (11,50)	4,51
	Raum Licht an	oral	17,98; (17,81)	19,24; (16,18)	-1,26
		vestibulär	24,17; (18,22)	24,39; (15,52)	-0,22
	Raum Licht aus	oral	11,17; (9,25)	7,52; (9,49)	3,65
		vestibulär	21,46; (19,22)	18,75; (12,39)	2,71

5.4.2 Mira-Werte

Nachfolgend werden die auf konventionellen Fotos nach Anfärben ermittelten Mittelwerte für die Plaquebedeckung der bewerteten Zahnflächen von Ober- und Unterkiefer miteinander verglichen (Tabelle 11, Abbildung 18).

Die mittlere Plaquebedeckung der Vestibulärflächen der Frontzähne unterschied sich, im Gegensatz zu derjenigen der Oralflächen, in beiden Settings signifikant zwischen Ober- und Unterkiefer. Im Unterkiefer war sie im Mittel um 10,1% größer als im Oberkiefer. Auch anhand der Boxplots (Abbildung 18) ist zu erkennen, dass die Plaquebedeckung der Frontzähne im Unterkiefer größer war als im Oberkiefer.

Ebenso unterschied sich die mittlere Plaquebedeckung der Eckzähne mit Ausnahme der Vestibulärflächen im Setting „Einheit“ signifikant beim Vergleich von Ober- und Unterkiefer. Im Unterkiefer war die mittlere Plaquebedeckung der Oralflächen im Mittel um 15,3% größer als im Oberkiefer. Im Oberkiefer war sie jedoch für die Vestibulärflächen im Mittel um 9,3% größer als im Unterkiefer.

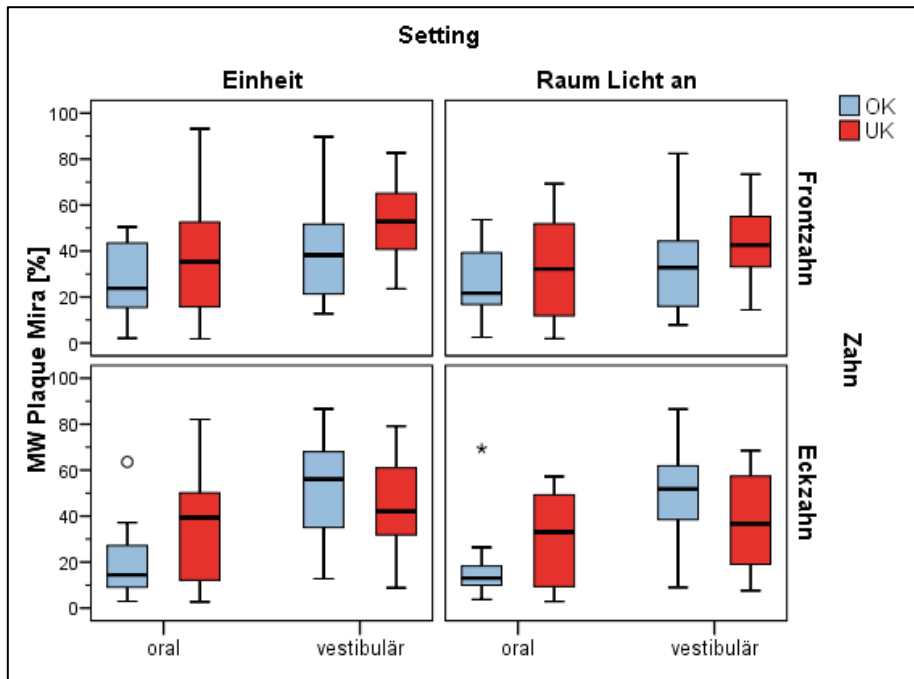


Abbildung 18: Boxplots; Einfluss des Kiefers je Zahn/Setting/Fläche bei Mira-Werten

Tabelle 11: Differenzen der Mira-Werte zwischen Ober- und Unterkiefer. UK: Unterkiefer, OK: Oberkiefer, *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Zähne	Setting	Fläche	UK MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	OK MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	UK MW Plaque Mira [%] - OK MW Plaque Mira [%]
Frontzähne	Einheit	oral	36,09; (23,85)	27,33; (15,06)	8,76
		vestibulär	52,34; (16,75)	40,08; (20,68)	12,26*
	Raum Licht an	oral	32,02; (20,89)	25,73; (14,20)	6,29
		vestibulär	43,26; (15,54)	35,31; (19,85)	7,95*
Eckzähne	Einheit	oral	35,37; (22,86)	19,22; (14,50)	16,15*
		vestibulär	44,32; (20,80)	52,52; (21,28)	-8,2
	Raum Licht an	oral	31,03; (19,10)	16,64; (14,00)	14,39*
		vestibulär	38,75; (19,62)	49,17; (22,04)	-10,42*

5.4.3 Vergleich der QLF-D- und Mira-Werte (Kiefer)

Fasst man den Einfluss des Kiefers zusammen, so zeigte sich für beide Methoden der Trend höherer Bedeckungswerte im Unterkiefer. Ausgenommen davon waren die Vestibulärflächen der Eckzähne, deren Mira-Werte eine größere Plaquebedeckung im Oberkiefer anzeigten.

5.5 Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn/Setting

5.5.1 QLF-D-Werte

In diesem Abschnitt werden die mittels QLF-D ermittelten Mittelwerte für die Plaquebedeckung der Vestibulär- und Oralflächen miteinander verglichen (Tabelle 12, Abbildungen 19-21).

Bei Betrachtung der Front- und Eckzähne des Oberkiefers zeigten sich in den Settings „Raum Licht an“ und „Einheit“ keine signifikanten Unterschiede zwischen der mittleren Plaquebedeckung der Vestibulär- und Oralflächen. Im Setting „Raum Licht aus“ waren die Werte für die mittlere Plaquebedeckung der Vestibulärflächen (Frontzähne: 14,06%, Eckzähne: 18,75%) signifikant höher als für die der Oralflächen (Frontzähne: 8,28%, Eckzähne: 7,52%).

Beim Vergleich der mittleren Plaquebedeckung der Vestibulär- und Oralflächen der Unterkieferfrontzähne zeigten sich, im Gegensatz zu denen der Unterkiefer Eckzähne, signifikante Unterschiede in allen Settings. Dabei waren die mittleren Plaquebedeckungswerte der Vestibulärflächen mit 28,4% (Mittelwert aus allen Settings) größer als die der Oralflächen, wo der Mittelwert aus allen Settings bei 15,2% lag.

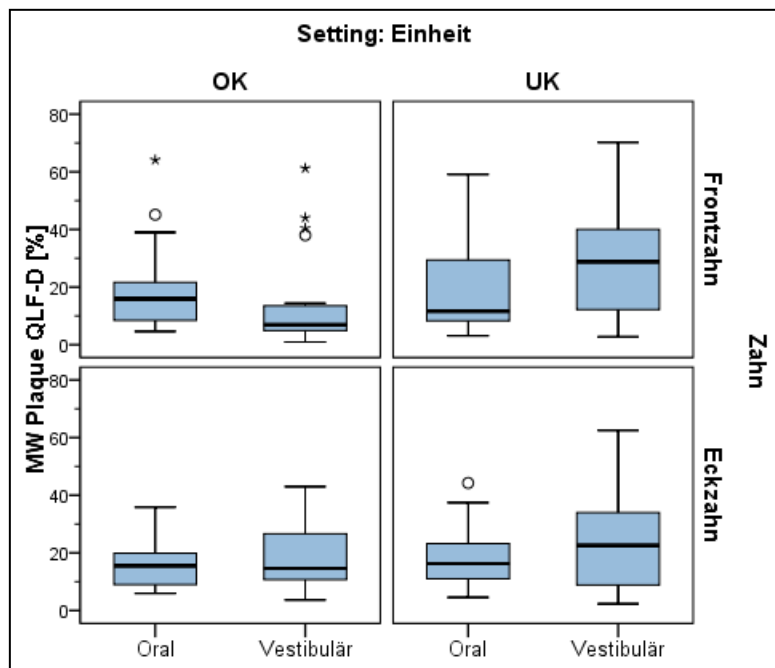


Abbildung 19: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Einheit“ bei QLF-D-Werten

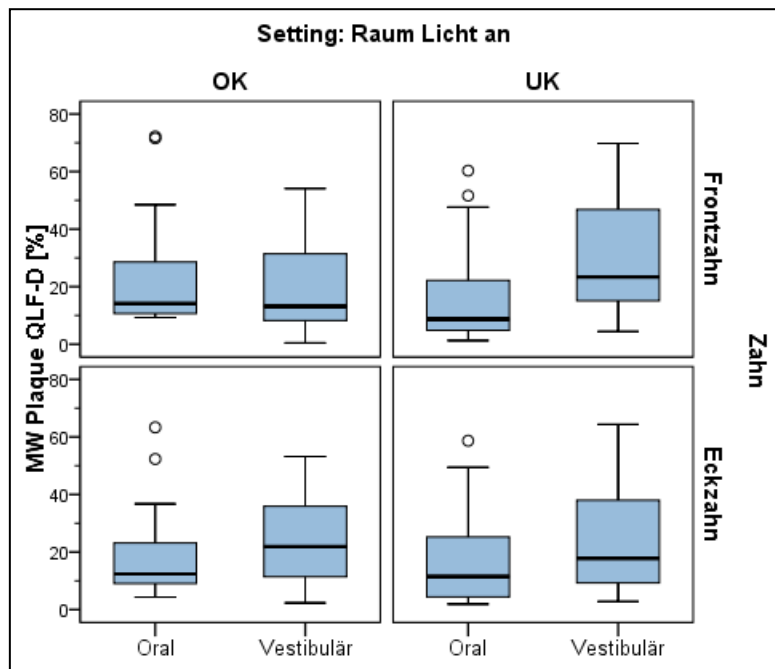


Abbildung 20: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Raum Licht an“ bei QLF-D-Werten

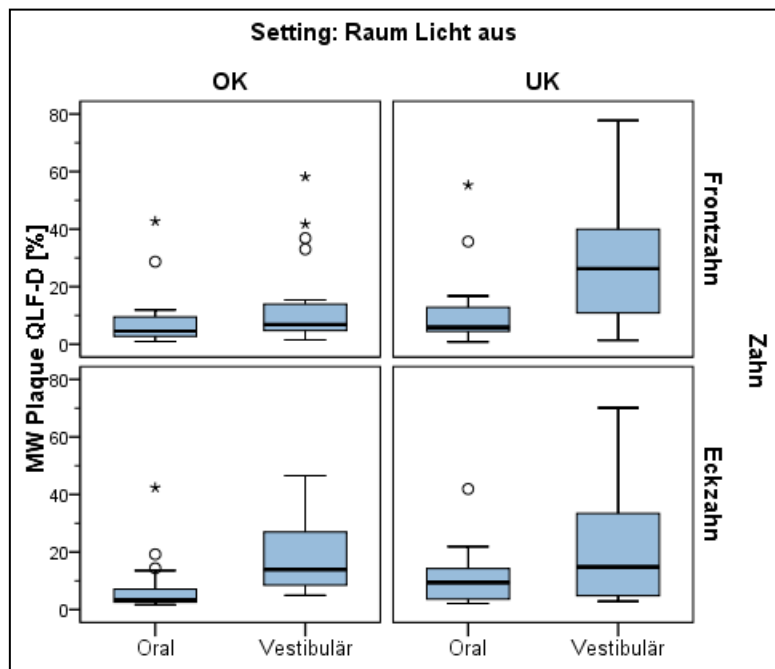


Abbildung 21: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Raum Licht aus“ bei QLF-D-Werten

Tabelle 12: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen Vestibulär- und Oralflächen. *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Kiefer	Zähne	Setting	Vestibulär MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Oral MW Plaque QLF-D [%]; (Standardabweichung)	Vestibulär MW Plaque QLF-D [%] - Oral MW Plaque QLF-D [%]
Oberkiefer	Frontzähne	Einheit	14,44; (16,94)	19,43; (14,94)	-4,99
		Raum Licht an	18,79; (14,47)	23,69; (19,51)	-4,9
		Raum Licht aus	14,06; (15,60)	8,28; (10,18)	5,78*
	Eckzähne	Einheit	18,52; (11,50)	16,08; (8,42)	2,44
		Raum Licht an	24,39; (15,52)	19,24; (16,18)	5,15
		Raum Licht aus	18,75; (12,39)	7,52; (9,49)	11,23*
Unterkiefer	Frontzähne	Einheit	28,99; (19,41)	18,32; (14,68)	10,67*
		Raum Licht an	28,68; (19,62)	16,20; (17,49)	12,48*
		Raum Licht aus	27,43; (20,68)	10,95; (13,00)	16,48*
	Eckzähne	Einheit	23,03; (16,20)	18,90; (10,67)	4,13
		Raum Licht an	24,17; (18,22)	17,98; (17,81)	6,19
		Raum Licht aus	21,46; (19,22)	11,17; (9,25)	10,29

5.5.2 Mira-Werte

Die auf konventionellen Fotos nach Anfärben ermittelten Mittelwerte für die Plaquebedeckung der Vestibulär- und Oralflächen werden in diesem Abschnitt miteinander verglichen (Tabelle 13, Abbildungen 22 und 23).

Im Oberkiefer unterschied sich die mittlere Plaquebedeckung von Vestibulär- und Oralflächen der Eckzähne in beiden Settings signifikant, während sich bei Frontzähnen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vestibulär- und Oralflächen zeigten. Bei Eckzähnen des Oberkiefers betrug die mittlere Plaquebedeckung für Vestibulärflächen 52,52% im Setting „Einheit“ und 49,17% im Setting „Raum Licht an“, während sie für die Oralflächen im Setting „Einheit“ 19,22% und im Setting „Raum Licht an“ 16,64% betrug.

Im Unterkiefer hingegen zeigten sich signifikante Unterschiede beim Vergleich der mittleren Plaquebedeckung der Vestibulär- und Oralflächen der Frontzähne in beiden Settings, während bei den Eckzähnen keine signifikanten Unterschiede auftraten. Bei Frontzähnen des Unterkiefers betrug die mittlere Plaquebedeckung der Vestibulärflächen 52,34% (Setting „Einheit“) bzw. 43,26% (Setting „Raum Licht an“) und der Oralflächen 36,09% (Setting „Einheit“) bzw. 32,02% (Setting „Raum Licht an“).

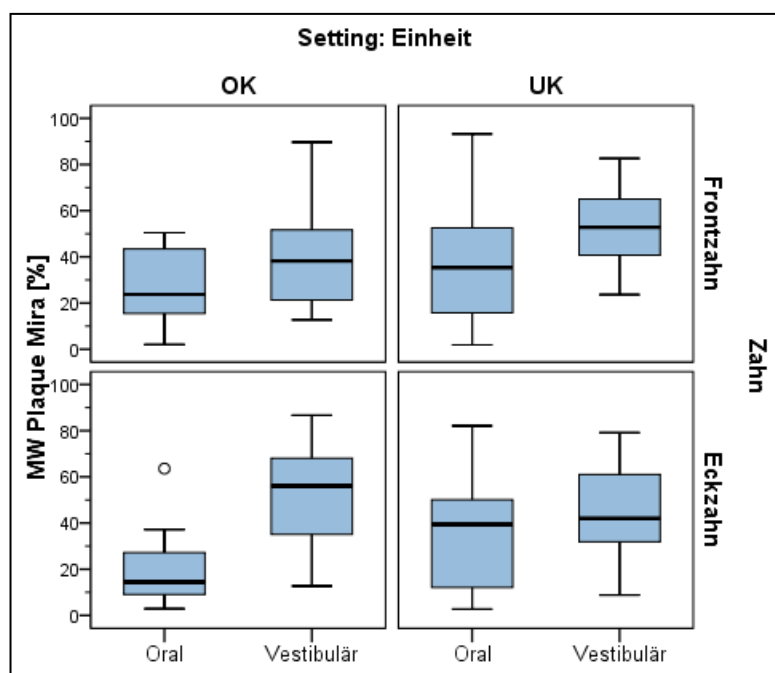


Abbildung 22: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Einheit“ bei Mira-Werten

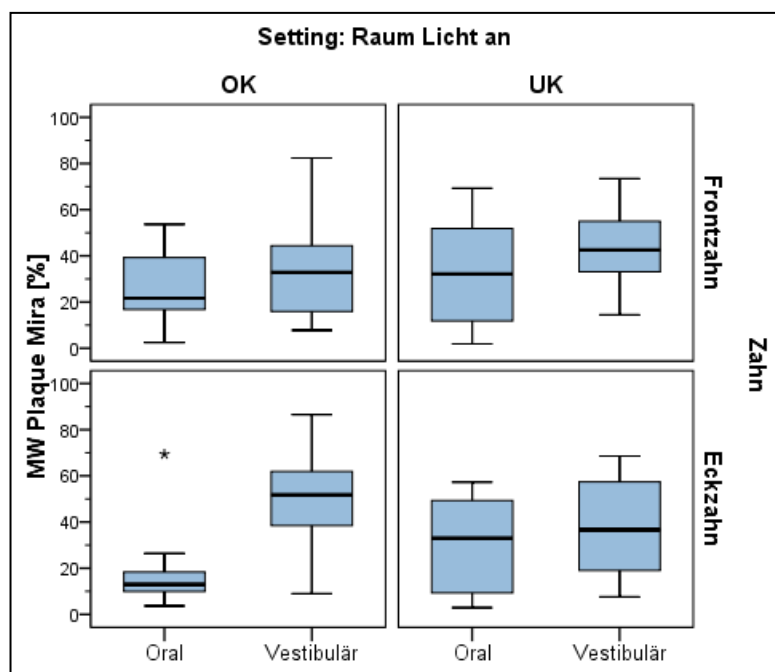


Abbildung 23: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Raum Licht an“ bei Mira-Werten

Tabelle 13: Differenzen der Mira-Werte zwischen Vestibulär- und Oralflächen. *= signifikante Unterschiede (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen, $p < 0,05$)

Kiefer	Zähne	Setting	Vestibulär MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	Oral MW Plaque Mira [%]; (Standardabweichung)	Vestibulär MW Plaque Mira [%] - Oral MW Plaque Mira [%]
Oberkiefer	Frontzähne	Einheit	40,08; (20,68)	27,33; (15,06)	12,75
		Raum Licht an	35,31; (19,85)	25,73; (14,20)	9,58
	Eckzähne	Einheit	52,52; (21,28)	19,22; (14,50)	33,30*
		Raum Licht an	49,17; (22,04)	16,64; (14,00)	32,53*
Unterkiefer	Frontzähne	Einheit	52,34; (16,75)	36,09; (23,85)	16,25*
		Raum Licht an	43,26; (15,54)	32,02; (20,89)	11,24*
	Eckzähne	Einheit	44,32; (20,80)	35,37; (22,86)	8,95
		Raum Licht an	38,75; (19,62)	31,03; (19,10)	7,72

5.5.3 Vergleich der QLF-D- und Mira-Werte (Zahnfläche)

Fasst man den Einfluss der Zahnfläche zusammen, so zeigte sich für beide Plaque-detektionsmethoden der Trend zu höheren Plaquebedeckungswerten für die Vestibulär- im Vergleich zu den Oralflächen. Es gab jedoch bei beiden Methoden Abweichungen ohne erkennbare Systematik.

5.6 Vergleich mit der Gruppe nonMB

Für die Ergebnisse der Gruppe nonMB ist eine ähnlich geringe Korrelation der Ergebnisse wie in Gruppe MB zu erwarten. Die Ergebnisse der Studie von Alexander Glanz (zum Aufbau der Studie siehe Kapitel 1.3) unterstützen diese These. Auch hier zeigte sich nur eine geringe bis mittlere Korrelation zwischen den beiden Plaque-detektionsmethoden, wobei sich bei geringer Plaquebedeckung ($\leq 10\%$ bei konventioneller Messung nach Anfärben) eine etwas höhere Korrelation zeigte [Ganss et al.]. Von einem Vergleich der Ergebnisse beider Gruppen wurde daher abgesehen.

6 Diskussion

6.1 *Material und Methode*

6.1.1 **Probandengut**

Hinsichtlich der Fallzahl der durchgeführten explorativen Studie wurde sich an der Literatur zu ähnlichen Themenkomplexen bzw. Fragestellungen orientiert.

Zur Effektivität der Plaqueentfernung bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparaturen existieren einige Interventionsstudien. Eine dieser Studien beispielsweise, bei welcher die Plaquebedeckung ebenfalls planimetrisch ausgewertet wurde, schloss 30 Probanden (360 Flächen) ein [Arici et al., 2007]. In einer weiteren dieser Studien wurden klinische Indizes zur Bestimmung der Plaquebedeckung verwendet und 20 Probanden eingeschlossen [Kilicoglu et al., 1997].

Studien zur planimetrischen Auswertung der Plaquebedeckung nach Anfärben bei Probanden ohne Multi-Bracket-Apparatur schlossen 25 Probanden (300 Flächen) [Carter et al., 2004] bzw. 10 Probanden [Sagel et al., 2000] ein.

Eine Pilotstudie zur Plaquemessung mittels QLF beschränkte sich auf einen Probanden [Pretty et al., 2005].

In einer Studie von van der Veen et al. aus dem Jahr 2006 wurden unter anderem mit einem Plaquerevelator angefärbte und rot fluoreszierende Plaque verglichen. Es wurden 28 Probanden eingeschlossen und 112 Zahnflächen ausgewertet [van der Veen et al., 2006].

Miller et al. führten 2013 eine der vorliegenden ähnliche Studie durch. Sie entschieden sich für einen Umfang von 30 Probanden, wobei es keine Kontrollgruppe gab [Miller et al., 2016].

Daher erschien in der Gruppe MB eine Fallzahl von 20 Probanden, respektive 480 zu beurteilende Zahnflächen, als ausreichend. Da die Gruppe nonMB im Rahmen einer anderen Studie insgesamt an vier Terminen teilnahm, entschied man sich hier zum Ausgleich von Drop-outs für den Einschluss von 30 Probanden.

Eine Schwierigkeit bei der Rekrutierung der Probanden der Gruppe MB stellte das Mindestalter von 16 Jahren dar. Dieses Mindestalter wurde gewählt, weil die klinische Prüfung Minderjähriger unter 16 Jahren zusätzlichen ethischen Restriktionen unterliegt und klinisch relevante Veränderungen der Aussagen der Ergebnisse durch Her-

absetzen des Mindestalters nicht zu erwarten gewesen wären. Da das durchschnittliche Alter bei Entbänderung zwischen 15,4 und 15,8 Jahren liegt [Beerens et al., 2010; Khalaf, 2014; Knosel et al., 2013; Mizrahi, 1982], waren viele Patienten bereits entbändert. Daher fanden die Untersuchungen der Gruppe MB in einem verhältnismäßig langen Zeitraum von 10,5 Monaten statt, während für die Untersuchung der Gruppe nonMB ein Zeitraum von 2,5 Monaten genügte.

6.1.2 Studienablauf

Die Probanden wurden dazu angehalten am Tag der Untersuchung auf jegliche Mundhygienemaßnahmen zu verzichten, um übermäßiges Putzen in Vorbereitung auf die Studie zu vermeiden und somit ein realistisches Abbild der individuellen Mundhygienesituation darstellen zu können.

Die Vestibulär- und Oralflächen der Zähne 13-23 und 33-43 wurden fotografiert und ausgewertet. Diese Auswahl an Zähnen wurde auch in vorangegangenen Studien getroffen, wobei man sich dort auf Grund der leichteren Abbildbarkeit auf die Beurteilung der Vestibulärflächen beschränkte [Han et al., 2015, 2016; Pretty et al., 2005; Sadeq et al., 2015; van der Veen et al., 2016; Volgenant et al., 2016a]. Durch Verwendung von Fotospiegeln ist jedoch auch die Erfassung von Oralflächen problemlos möglich. Im Setting „Einheit“ wurde dabei zur Positionierung des Spiegels eine Assistenz benötigt, da die Kamera sonst hätte einhändig gehalten und bedient werden müssen, was aufgrund der langen Belichtungszeit zu verwackelten und damit unscharfen Aufnahmen geführt hätte. Unter standardisierten Bedingungen in den Settings „Raum Licht an“ und „Raum Licht aus“, wo die Kamera auf einem Stativ montiert und der Proband durch die Kinn-/Stirnstütze fixiert war, konnten auch ohne Assistenz verwacklungsfreie Aufnahmen erstellt werden.

Eine minimale Angulation des Kopfes der Probanden konnte allerdings auch mit Kinn-/Stirnstütze nicht vollständig ausgeschlossen werden. Außerdem führte die unterschiedliche Breite des Zahnbogens, vor allem des Unterkiefers, dazu, dass der Abstand des intraoralen Spiegels zu den Oralflächen der Frontzähne variierte. Diese variierenden Parameter haben jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die planimetrisch ermittelten Ergebnisse [Soder et al., 1993].

Die Termine konnten aufgrund kurzer Wege zwischen den Settings (Fotoraum und Behandlungseinheit) zügig durchgeführt werden, sodass keine Veränderung der Plaque oder der Farbtintensität der angefärbten Plaque durch Wartezeiten zu erwarten war.

6.1.3 Auswahl des Verfahrens zur Plaquemessung

Die planimetrische Plaquemessung bietet verglichen mit klinischen Plaqueindizes einige Vorteile. Klinische Plaqueindizes sind teilweise von der subjektiven Beurteilung des Untersuchers abhängig, wohingegen die planimetrische Beurteilung nahezu vollständig objektiv erfolgt [Albino et al., 1978]. Daraus resultieren eine gute Reproduzierbarkeit und eine gute Intra- und Interrater-Reliabilität [Quirynen et al., 1991; Sagel et al., 2000]. Außerdem zeigt sie im Vergleich zu klinischen Plaqueindizes eine höhere Sensitivität und Differenzierungsstärke [Quirynen et al., 1991; Soder et al., 1993]. Somit können mittels planimetrischer Auswertung auch minimale Unterschiede der Plaquebedeckung, die beim Vergleich zwischen Mira und QLF-D relevant sein können, erfasst werden. Die planimetrische Plaquemessung erfordert allerdings bei der Beurteilung schwer einsehbarer Bereiche des Zahnbogens erhöhten fotografischen Aufwand und kann daher zur Bewertung von Approximalflächen nur bedingt angewendet werden [Arnim, 1963; Carter et al., 2004]. Außerdem kann zwar die Ausdehnung der plaquebedeckten Flächen, nicht aber die Plaquedicke erfasst werden [Pretty et al., 2005].

Da die Behandlung mit Multi-Bracket-Apparaturen besondere Anforderungen an einen Plaqueindex stellt, wurden bereits spezielle Plaqueindizes entwickelt, die diesen entsprechen (siehe Kapitel 2.2.4). Der Vergleich der Messergebnisse mit denen von Personen ohne Multi-Bracket-Apparatur ist durch die Verwendung derartiger Indizes jedoch nur begrenzt möglich. Es ist daher von Vorteil, dass die planimetrische Plaquemessung gleichermaßen bei Personen mit und ohne Multi-Bracket-Apparatur angewendet werden kann.

In der vorliegenden Studie wurden zur Vermeidung von Fehlern bei der Auswertung die sichtbaren, das heißt die nicht von der Multi-Bracket-Apparatur verdeckten, Zahnflächen auf den Fotos manuell ausgewählt. Es konnte jedoch bereits gezeigt werden, dass nach Anfärben der Plaque mit Fluorescein das Bracket automatisiert vom Zahn unterschieden werden kann, sofern es sich nicht um transluzente Brackets handelt [Klukowska et al., 2011].

6.1.4 QLF-D Biluminator

Der Aufbau des QLF-D Biluminators ist in Kapitel 2.4 beschrieben. Die Bedienung ist einfach und leicht erlernbar, wobei das Gewicht des Objektivs ein beidhändiges Halten der Kamera nötig macht, um das Risiko für verwackelte und fehlfokussierte Bilder

zu reduzieren. Dass die Kamera nur im Netzbetrieb verwendet werden kann, stellte in keinem der Settings eine Beeinträchtigung dar.

Die Qualität der Bilder und somit die Qualität der Ergebnisse sind auch vom Kameragehäuse abhängig. Die verwendete Spiegelreflexkamera Canon EOS 550D (Canon, Tokio, Japan) war in Bezug auf die Bildqualität und den Autofokus bereits bei ihrer Markteinführung im März 2010 anderen für den professionellen Gebrauch vorgesehenen Geräten unterlegen.

Bei der Aufnahme von Fluoreszenzbildern ist die Einstellung einer hohen Empfindlichkeit notwendig. Die Empfindlichkeitseinstellung der Canon EOS 550D ist auf ISO 12800 beschränkt. Daher wird eine relativ lange Belichtungszeit benötigt, wodurch sich das Risiko für verwackelte und unscharfe Bilder erhöht. Außerdem kommt es zu einem vergleichsweise starken Bildrauschen, das zu Ungenauigkeiten bei der Auswertung führen kann. Professionelle Kameragehäuse ermöglichen trotz höherer Einstellung der Empfindlichkeit, und damit verbundener kürzerer Belichtungszeit, ein geringeres Bildrauschen und wären daher besser geeignet [Nikon Corp., abgerufen am 01.08.2018].

Die Verwendung des beim QLF-D Biluminator verwendeten Objektivs (EF-S 60mm f2.8 Macro USM; Canon, Tokio, Japan), an welchem der Bandpassfilter (D007; Inspector Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) und die Lumineszenzioden (405nm) angebracht sind, ist an einem anderen Kameragehäuse bauartbedingt nur bei Geräten mit EF-S-Bajonett oder über einen Adapter möglich, sodass bei anderen Bajonettssystemen auch ein anderes Objektiv verwendet werden müsste.

Die Konstruktion eines überarbeiteten QLF-D Biluminators unter Verwendung eines geeigneten Kameragehäuses mit entsprechendem Objektiv würde zu einer deutlichen Steigerung der Aufnahmequalität führen. Auch wenn im vorliegenden Fall kein signifikanter Einfluss auf die Ergebnisse zu erwarten gewesen wäre, so würde doch die Verwendung eines geeigneteren Kameragehäuses durch Verbesserung in allen Aspekten der Aufnahmequalität das klinische Handling insgesamt erleichtern, da beispielsweise Mehrfachaufnahmen, die in der vorliegenden Studie vor allem im klinischen Setting oft nötig waren, um qualitativ hochwertige Aufnahmen zu erreichen, vermieden werden können.

6.1.5 Software

Zum QLF-D Biluminator gehören zwei Softwareprogramme. Diese sind C3 (Inspector Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) zur Anfertigung und QA2 (Inspector

Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) zur Auswertung der erstellten Fotos.

Die Software C3 ermöglicht die aufeinanderfolgende Aufnahme eines konventionellen und eines Fluoreszenzfotos ohne manuelle Änderung der Kameraeinstellungen. Das Auslösen erfolgt dabei per Mausklick über einen angeschlossenen Computer. Dieses Auslösen muss entweder durch eine Assistenz erfolgen oder ist mit einhändigem Halten der Kamera verbunden. Des Weiteren liegt eine Zeitspanne von mehreren Sekunden zwischen der automatischen Aufnahme des konventionellen Fotos und des Fluoreszenzfotos, die durch die USB-Verbindung zwischen Kamera und Computer bedingt ist. Für den Untersucher ist dabei nicht genau vorhersehbar wann die Software das nächste Bild auslöst und während dieser Zeitspanne konnten bei der Erprobung des Ablaufes Bewegungen seitens des Patienten oder der Kamera nicht ausgeschlossen werden. Diese Probleme bei der Bedienung führten vor allem unter klinischen Bedingungen häufig zu verwackelten und fehlfokussierten Aufnahmen.

Nach der Aufnahme der Bilder mit der Software C3 werden diese in einen Katalog importiert, aus welchem sie mit der Software QA2 ausgewertet werden können. Die zu beurteilende Fläche wird zunächst mittels eines Polygonwerkzeuges ausgewählt. Die Software QA2 erkennt anschließend automatisch die Plaque und berechnet die Plaquebedeckung der ausgewählten Fläche in Prozent. Diese Erkennung stellte sich allerdings, wie in den Abbildungen 24 bis 27 am Beispiel eines Frontzahnes dargestellt, als äußerst fehlerbehaftet dar. Während die plaquefreie Fläche inzisal der Multi-Bracket-Apparatur durch die Software QA2 richtig als solche erkannt wird (Abbildung 25), wird die Plaque auf der Fläche zervikal der Multi-Bracket-Apparatur nur unzureichend erkannt (Abbildung 26). In Abbildung 27 ist die korrekte Erkennung der Plaque auf der gesamten Vestibulärfläche des Zahnes 11 durch das eigens entwickelte Makro mit ImageJ 1.47q dargestellt.

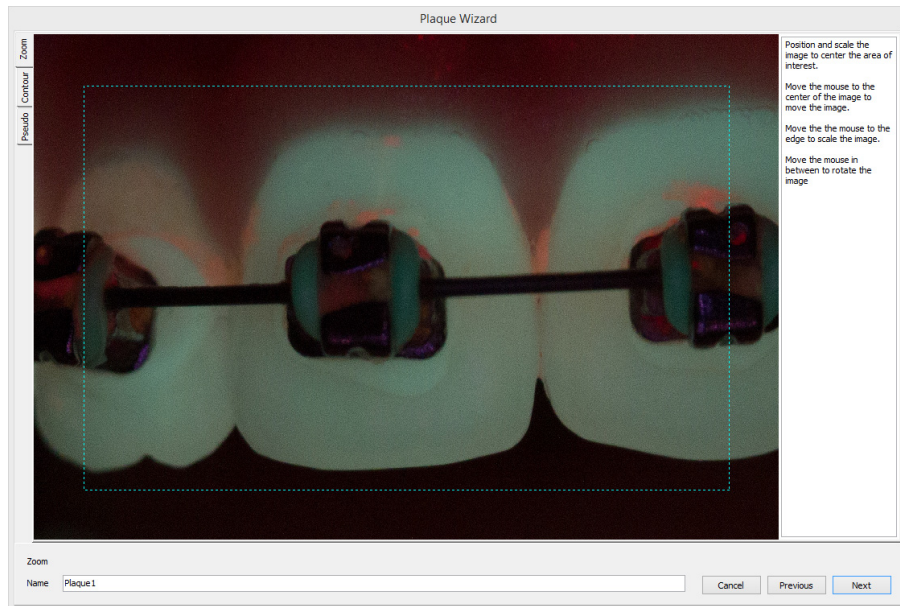


Abbildung 24: Fluoreszenzfoto des auszuwertenden Zahnes 11 in der Software QA2

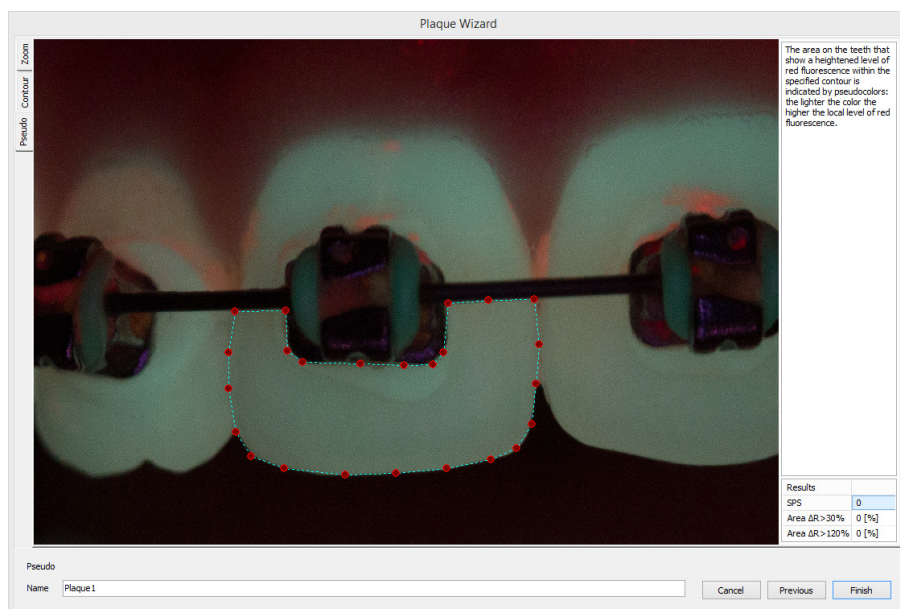


Abbildung 25: Auswahl der Fläche inzisal der Multi-Bracket-Apparatur des Zahnes 11 und Erkennung der Plaque mit der Software QA2

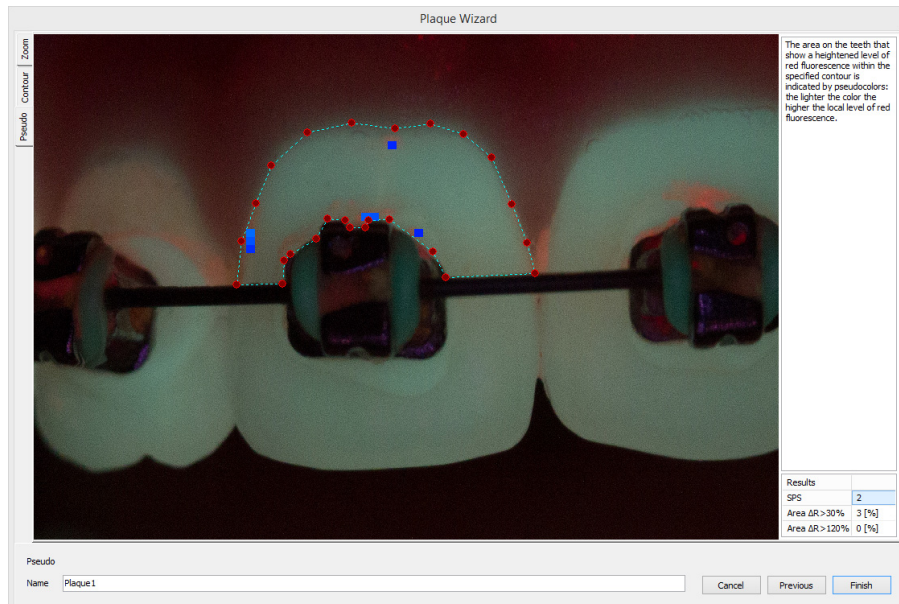


Abbildung 26: Auswahl der Fläche zervikal der Multi-Bracket-Apparatur des Zahnes 11 und Erkennung der Plaque mit der Software QA2

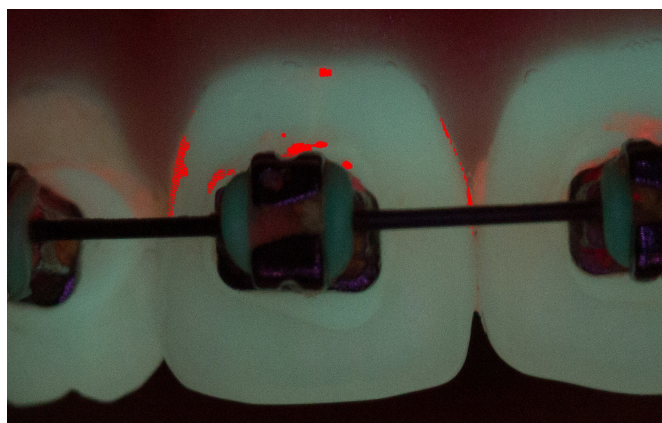


Abbildung 27: Erkennung der Plaque auf der Vestibulärfläche des Zahnes 11 durch entwickeltes Makro in ImageJ 1.47q

Zudem kann die Multi-Bracket-Apparatur nicht ausgeschnitten oder automatisiert erkannt werden, sodass z.B. die Ligaturen, je nach Farbe, häufig als Plaque erkannt und gewertet wurden. Daher müssten die durch die Multi-Bracket-Apparatur geteilten Flächen unter deutlich erhöhtem Aufwand einzeln ausgewertet werden.

Auf Grund der genannten Einschränkungen fanden weder die Software C3 noch die Software QA2 in dieser Studie Verwendung, sondern die Kameraeinstellung erfolgte manuell und es wurde für die Auswertung ein Makro in ImageJ 1.47q entwickelt, dessen Funktionsweise in Kapitel 4.5 beschrieben ist.

6.2 Methodenkritik

Die Methode der Plaqueerkennung mittels QLF-D zeigt bei Personen mit Multi-Bracket-Apparatur Vor- und Nachteile gegenüber der Visualisierung der Plaque durch Anfärben mit Mira-2-Ton®.

Beim Anfärben mit Mira-2-Ton® wird nicht nur die Plaque, sondern werden auch die Ligaturen der Multi-Bracket-Apparatur und Mikrospalten zwischen Kunststoff und Zahnfläche angefärbt. Die irreversibel verfärbten Ligaturen müssen nachfolgend ausgetauscht werden und es muss eine Zahnreinigung erfolgen. Der Austausch der Ligaturen kann zwar im Rahmen der Behandlung leicht in den Praxisablauf integriert werden, die Zahnreinigung zeigte sich im Verlauf der Studie jedoch als sehr zeitintensiv. Die Mira-2-Ton® Lösung war vor allem aus den Mikrospalten zwischen Kunststoff und Zahn rund um das Bracket nur schwer zu entfernen.

Es ist aber von Vorteil, dass der Patient nach dem Anfärben mit Mira-2-Ton® seine Zähne zunächst selbst vor dem Spiegel reinigen und somit ein Gefühl für die Plaqueentfernung entwickeln kann. Die Begutachtung von plaquebedeckten Arealen auf dem Foto, wie es bei QLF-D erfolgt, kann dies so nicht leisten.

Da bei der Plaqueerkennung mittels QLF-D das Plaquewachstum nicht beeinflusst wird, können longitudinale Studien zum Plaquewachstum durchgeführt werden, was mit Anfärbemethoden nicht möglich ist (siehe Kapitel 2.3 Plaquerevelatoren). Eine Limitation zeigt sich dabei bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparaturen, da sich die Zähne durch die Behandlung bewegen und sich der auf den Fotos sichtbare Teil der Zahnflächen und somit auch Plaqueakkumulationsstellen im Verlauf ändern können [Klukowska et al., 2011].

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Plaque QLF-D vs. Mira

Sowohl auf Probandenebene als auch beim Vergleich der Zahnflächen zeigten sich in allen Settings signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Messmethoden. Dabei wurden bei Fluoreszenzmessung im Mittel um 15,5% niedrigere Werte für die Plaquebedeckung als bei Messung nach Anfärben ermittelt.

Dieses Phänomen konnte bereits in früheren Studien beobachtet werden. So fotografierten Van der Veen et al. mittels QLF Zähne von Studierenden vor und nach Anfärben mit einem Plaquerevelator und verglichen die Flächenanteile rot fluoreszierender

Plaque mit denen angefärbter Plaque. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die rot fluoreszierende Plaque nur 62% der angefärbten Plaque ausmacht und sich vor allem am Gingivalrand befindet [van der Veen et al., 2006]. Es wurden allerdings ein einfarbiger Plaquerevelator (D&C red No. 28, 1.5%; Sunstar Butler, Chicago, Ill., USA) und ein älteres Aufnahmesystem (QLF Clin camera, Software QLF Patient Version 3.0.0.4, Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) verwendet, welches noch nicht an das Spektrum der roten Autofluoreszenz von Plaque angepasst war. Auch erfolgte die Erfassung angefärbter Plaque nicht durch konventionelle, sondern durch Fluoreszenzfotos, weshalb die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig und vergleichbar sind.

Auch Volgenant et al. verglichen unter QLF-D rot fluoreszierende Areale mit denen angefärbter Plaque. Sie fertigten Fluoreszenzfotos mit QLF-D und nach Anfärben mit Mira-2-Ton® konventionelle Fotos der Vestibulärflächen der Front- und Eckzähne von 48 Probanden an, die seit dem Vorabend auf jegliche Mundhygienemaßnahmen verzichtet hatten. Anschließend wurden die anhand der Fotos ermittelten T-QHI-Werte verglichen. Auch hier waren die Werte bei Fluoreszenzmessung konstant kleiner als die Werte der gesamten angefärbten Areale (rot und blau). Zwischen der rot fluoreszierenden und der blau angefärbten Plaque konnte eine schwache bis moderate Korrelation festgestellt werden [Volgenant et al., 2016a].

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Han et al. beim Vergleich von mittels QLF-D aufgenommenen Bildern der Vestibulärflächen von Front- und Eckzähnen vor und nach Anfärben mit einem zweifarbigen Plaquerevelator (2-TM Tone, Young Dental, Earth City, USA). Die planimetrische Auswertung zeigte eine signifikante Übereinstimmung rot fluoreszierender mit blau angefärbter, mit reifem Biofilm assoziierter Plaque. Dabei war mit zunehmender Intensität roter Fluoreszenz eine Zunahme der Übereinstimmung zu beobachten. Beim Vergleich rot fluoreszierender mit rot angefärbter Plaque zeigten sich jedoch signifikante Unterschiede, wobei größere Areale rot angefärbt waren als rot fluoreszierten. Allerdings wurden auch hier von der angefärbten Plaque Fluoreszenzfotos erstellt. Zur Auswertung der roten Fluoreszenz wurde QA2 (v1.21, Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) und zur Auswertung der angefärbten Plaque Image-Pro PLUS (Media Cybernetics, MD, USA) verwendet [Han et al., 2016].

Die Unterschiede in Bezug auf die Aufnahme- und Auswertungstechniken und die verwendeten Plaquerevelatoren erschweren den Vergleich der Ergebnisse. Zudem stellt sich die Frage nach der Verwertbarkeit der in den Studien von Han et al. und Van der Veen et al. von der angefärbten Plaque erstellten Fluoreszenzfotos.

Weiterhin sind die Wirkmechanismen der verschiedenen Plaquerevelatoren weitgehend unklar. Es wird angenommen, dass neben dem Biofilm auch weitere weiche Ablagerungen wie das Pellikel angefärbt werden [Lim et al., 1986], woraus falsch hohe Plaquebedeckungswerte resultieren können (siehe Kapitel 2.3). Diese Annahme erklärt eventuell die höheren Messwerte für die Plaquebedeckung nach Anfärben mit Mira-2-Ton® im Vergleich zu den Ergebnissen, die mittels QLF-D ermittelt wurden.

Zudem konnten die Eigenschaften des Biofilms, welche rote Fluoreszenz bedingen, bisher nicht abschließend geklärt werden.

Coulthwaite et al. konnten 2006 nach Kultivierung von auf Polymethylmethacrylat-Prothesen gewachsener Plaque für einige Mikroorganismen Autofluoreszenz unterschiedlicher Farbspektren nachweisen. So fluoreszierten früh kolonisierende Spezies wie *Fusobacterium nucleatum*, *Propionibacterium acnes*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus mitis* und *Streptococcus salivarius* grünlich, während Spezies des ausgereiften Biofilms wie *Prevotella melaninogenica*, *Actinomyces israelii*, *Porphyromonas gingivalis* und *Prevotella intermedia* rote und *Candida albicans* orangefarbene Fluoreszenz zeigten [Coulthwaite et al., 2006].

Lennon et al. untersuchten die Autofluoreszenz verschiedener Bakterien in vitro. Bei *Streptococcus mutans*, *Streptococcus oralis*, *Streptococcus salivarius* und *Fusobacterium nucleatum* überwog grünliche Fluoreszenz, während *Lactobacillus fermentans*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Prevotella intermedia*, *Actinomyces naeslundii* und *Actinomyces israelii* überwiegend rote Fluoreszenz zeigten. Allerdings ist grünliche Autofluoreszenz in vivo auf Grund der Ähnlichkeit zur ebenfalls grünlichen Fluoreszenz gesunder Zahnoberflächen schwer zu erkennen [Lennon et al., 2006].

Van der Veen et al. konnten Plaque, die sich vor allem am Gingivalrand befand, von 112 Zahnflächen gewinnen und einzelne Mikroorganismen anzüchten. *Actinomyces odontolyticus* und *Prevotella intermedia* zeigten mittels QLF (QLF/Clin camera, QLFPatient Version 3.0.0.4, Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) in Monokulturen rote Fluoreszenz, wobei *Porphyromonas gingivalis* und *Peptostreptococcus micros* nur bei gemeinsamer Anzüchtung rote Fluoreszenz aufwiesen. Diese Ergebnisse führten zu der Annahme, dass rote Fluoreszenz von reifer Plaque ausgeht und von der Organisation der Bakterien im Biofilm beeinflusst wird [van der Veen et al., 2006].

Auch Thomas et al. kamen nach in vivo Untersuchung von auf einem speziellen in Totalprothesen eingegliederten Träger innerhalb einer und innerhalb zwanzig Wochen etablierter Plaque mittels QLF (QLF/Clin camera, QLFPatient Version 3.0.0.4,

Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) zu einem ähnlichen Ergebnis. Dabei konnte zwar ein Anstieg roter Fluoreszenz beobachtet werden, allerdings korrelierte dieser nicht mit der Menge an Laktobazillen und *Actinomyces odontolyticus*, welche bei isolierter Anzüchtung hingegen deutliche rote Fluoreszenz zeigten [Thomas et al., 2008].

Lee et al. untersuchten in vivo die Kariogenität rot fluoreszierender Plaque indem sie aus humanem Speichel gewonnene Mikroorganismen des dentalen Biofilms auf bovinen Schmelzproben unter Zugabe verschieden konzentrierter Zuckerlösungen für zehn Tage anzüchteten und dann Aufnahmen mit QLF-D anfertigten. Dabei stieg die Intensität der roten Fluoreszenz mit der anhand des Mineralverlustes der Schmelzprobe, der Anzahl säurebildender Bakterien und dem pH-Wert der Plaque quantifizierten Kariogenität der Plaque [Lee et al., 2013].

Im Gegensatz dazu konnten Bittar et al. in einer in vivo Studie zwar einen Zusammenhang zwischen der roten Fluoreszenz des Biofilms und seiner Reife, nicht aber seiner Kariogenität, gemessen an der Mikrohärtigkeit der Schmelzprobe, erkennen [Bittar et al., 2014].

Volgenant et al. konnten zudem nachweisen, dass die Intensität der roten Fluoreszenz auch mit zunehmender Dicke und fortschreitendem Alter der Plaque zunimmt [Volgenant et al., 2012]. Des Weiteren scheint die rote Fluoreszenz vom Vorhandensein von Nährstoffen wie Metalloporphyrinen und somit auch von bakteriellen Interaktionen im Biofilm abhängig zu sein [Volgenant et al., 2013].

Zusammenfassend können nach aktueller Studienlage keine gesicherten Zusammenhänge zwischen dem Auftreten roter Fluoreszenz und den Eigenschaften des Biofilms nachgewiesen werden. Da die rote Fluoreszenz des Biofilms von seiner Komplexität, den enthaltenden Mikroorganismen und deren Interaktionen und Stoffwechselprodukten, seiner Dicke und von Umgebungsbedingungen beeinflusst wird, ist außerdem eine Übertragung der Ergebnisse der in vitro Studien auf den Biofilm in vivo schwierig. In den Studien wurden zudem verschiedene Aufnahmetechniken angewandt und unterschiedliche Keimspektren untersucht, wodurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse auch hier erschwert ist. Rückschlüsse über die klinische Relevanz sind somit nur eingeschränkt und wenn überhaupt, dann scheinbar nur für ältere/dickere Plaque möglich.

6.3.2 Einfluss der Umgebungsbeleuchtung je Kiefer/Zahn/Fläche (QLF-D)

Bei der Erkennung von White-Spot-Läsionen mit QLF spielt die Umgebungsbeleuchtung eine entscheidende Rolle. Es wurde gezeigt, dass bei einer Beleuchtungsstärke des Umgebungslichtes von mehr als 88 Lux White-Spot-Läsionen schlecht bis gar nicht mit QLF erkannt werden können [Pretty et al., 2002]. Daher stellt sich die Frage nach dem Einfluss der Umgebungsbeleuchtung auf die Erkennung von Plaque mittels QLF-D, welche zu Unterschieden zwischen den Ergebnissen in den Settings „Raum Licht an“ und „Raum Licht aus“ führen könnte.

Auf die mit QLF-D ermittelte Plaquebedeckung der Vestibulärflächen hatte die unterschiedliche Raumbelichtung zwar keinen signifikanten Einfluss, jedoch traten beim Vergleich der Oralflächen mit Ausnahme der Unterkieferzähne signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen bei unterschiedlichen Beleuchtungssituationen auf, wobei im Setting „Raum Licht an“ im Mittel größere Plaquebedeckungswerte als im Setting „Raum Licht aus“ gemessen wurden. Es ist daher verwunderlich, dass bei Plaquemessung mit QLF-D die Umgebungsbeleuchtung auf die Ergebnisse bei Vestibulärflächen offenbar geringeren Einfluss als bei Oralflächen ausübt, obwohl Oralflächen insgesamt geringerer Beleuchtung innerhalb der Mundhöhle ausgesetzt sind. Es ist anzunehmen, dass die größere Plaquebedeckung der Vestibulärflächen aufgrund der Multi-Bracket-Apparatur und der damit verbundenen erschwerten Reinigung auch mit einer dickeren und reiferen Plaque einhergeht. Außerdem nimmt die Intensität der roten Fluoreszenz mit der Dicke und Reife der Plaque zu, was in vitro bereits gezeigt werden konnte [Volgenant et al., 2012]. Die Erkennung dieser dicken Plaque auf den Vestibulärflächen mit QLF-D führt mit und ohne Umgebungsbeleuchtung zu ähnlichen Ergebnissen. Im Gegensatz dazu werden bei den dünneren Plaqueschichten auf den Oralflächen mit Umgebungsbeleuchtung höhere Plaquebedeckungswerte mit QLF-D gemessen als ohne Umgebungsbeleuchtung.

6.3.3 Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche

6.3.3.1 QLF-D-Werte

Beim Vergleich der Settings „Raum Licht aus“ und „Einheit“ konnten für die Plaquebedeckungswerte der Oralflächen, im Gegensatz zu denen der Vestibulärflächen, signifikante Unterschiede festgestellt werden. Dies kann mit der auf Grund der

erschweren Aufnahmebedingungen im Setting „Einheit“ variierenden Ausleuchtungssituation der Oralflächen (siehe Kapitel 6.1.2 und 6.3.2) zusammenhängen.

Außerdem scheint auch hier die aufgrund der erschweren Reinigung durch die Multi-Bracket-Apparatur dickere/reifere Plaque auf den Vestibulärflächen besser mit QLF-D erkennbar zu sein (siehe Kapitel 6.3.2).

6.3.3.2 Mira-Werte

Auch beim Vergleich der Mira-Werte zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Settings „Raum Licht an“ und „Einheit“. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Fluoreszenzfotos zeigten sich bei Vestibulärflächen signifikante Abweichungen, während die Werte der Oralflächen mit Ausnahme der Unterkieferfrontzähne keine signifikanten Unterschiede zwischen den Settings zeigten.

Wie auch bei Anfertigung der Fluoreszenzaufnahmen müssen hier die erschweren Aufnahmebedingungen im Setting „Einheit“ angeführt werden. Die Ausleuchtungssituation der Oralflächen war bei der Anfertigung der konventionellen Fotos in gleichem Maße schwierig wie bei der Anfertigung der Fluoreszenzfotos. Sie spielt aber eine geringere Rolle bei der Plaqueerkennung, sodass auch bei geringer Ausleuchtung angefärbte Plaqueareale erkannt werden können.

Einen möglichen Grund für geringgradige Abweichungen zwischen den gemessenen Plaquebedeckungswerten in den Settings „Raum Licht an“ und „Einheit“ stellen unterschiedliche Lichtreflexionen in den Settings dar, die beim Erstellen konventioneller Fotos auftreten. Diese Reflexionen stellen sich auf den Fotos als weiße Flächen dar und beeinflussen die Ergebnisse, da diese Areale in der Auswertung fälschlicherweise als plaquefrei gewertet werden könnten.

Unterschiede in der Bewertung der Vestibulärflächen könnten bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparatur außerdem auf minimal variierende Aufnahmewinkel zurückgeführt werden, die vor allem bei der freihändigen Benutzung der Kamera auftreten. Bei Probanden ohne Multi-Bracket-Apparatur konnte gezeigt werden, dass unterschiedliche Aufnahmewinkel keinen signifikanten Einfluss auf die planimetrisch ermittelten Ergebnisse haben [Soder et al., 1993]. Bei eingegliedeter Multi-Bracket-Apparatur kann ein abweichender Aufnahmewinkel jedoch zu unterschiedlichen Überlagerungen der Zahnfläche durch das Bracket und den Bogen auf den Fotos und damit zu abweichenden Ergebnissen führen.

6.3.4 Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche

6.3.4.1 QLF-D-Werte und Mira-Werte

Sowohl bei QLF-D-Werten als auch bei Mira-Werten unterscheidet sich die Plaquebedeckung der Vestibulärflächen von Front- und Eckzähnen signifikant.

Durch kieferorthopädische Hilfselemente wie Rotationsfedern, T-Pins, Zusatzbögen und Power Pins weicht die Gestaltung der Multi-Bracket-Apparatur im Bereich der Eckzähne oft von derjenigen der Frontzähne ab. Durch diese Hilfsmittel wird die Plaqueakkumulation noch stärker begünstigt, sodass sich eine dickere und reifere Plaque etablieren kann, die vermehrt rote Fluoreszenz zeigt [van der Veen et al., 2006; Volgenant et al., 2012]. Zudem wird durch die kieferorthopädischen Hilfsmittel der sichtbare Bereich der Vestibulärfläche auf den Fotos beeinflusst, was zu den unterschiedlichen Ergebnissen führen kann (siehe Kapitel 6.3.3.2).

Beim Vergleich der Oralflächen zeigten die QLF-D-Werte keine und die Mira-Werte nur im Oberkiefer signifikante Unterschiede zwischen Front- und Eckzähnen.

6.3.5 Einfluss des Kiefers je Zahn/Setting/Fläche

6.3.5.1 QLF-D-Werte und Mira-Werte

Beim Vergleich von Ober- und Unterkiefer zeigten sowohl die Mira- als auch die QLF-D-Werte der Vestibulärflächen der Frontzähne sowie die Mira-Werte der Vestibulärflächen der Eckzähne im Setting „Raum Licht an“ signifikante Unterschiede. Dabei waren die gemessenen Plaquebedeckungswerte der beschriebenen Flächen im Unterkiefer in allen Settings höher als im Oberkiefer. Der Abstand des Brackets zum Gingivalrand sowie die Interbracketdistanz ist im Unterkiefer aufgrund der kleineren Zähne geringer, sodass hier die Plaqueakkumulation besonders begünstigt wird [Gorelick et al., 1982], woraus erhöhte Plaquebedeckungswerte der Vestibulärflächen im Unterkiefer resultieren können. Jedoch ist bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparatur die Inzidenz von White-Spot-Läsionen auf den Vestibulärflächen der Oberkieferfrontzähne höher als auf den Vestibulärflächen der Unterkieferfrontzähne was mit einer erhöhten Kariogenität der Plaque einhergeht. Dies könnte durch den erhöhten Speichelkontakt der Unterkieferfrontzähne begründet sein [Chatterjee und Kleinberg, 1979; Gorelick et al., 1982]. Allerdings konnten Sadeq et al. während einer einjährigen Studie bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparaturen keinen Zusammenhang zwischen roter Autofluoreszenz, gemessen durch Toothcare™ (Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande), und der Bildung von mit QLF-D erkannten White-Spot-Läsionen nachweisen [Sadeq et al., 2015].

Beim Vergleich der Kiefer hinsichtlich der Mira- und QLF-D-Werte der Oralflächen von Front- und Eckzähnen traten außer bei den Mira-Werten der Eckzähne in allen Settings keine signifikanten Unterschiede auf.

6.3.6 Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn/Setting

6.3.6.1 QLF-D-Werte

Bei Fluoreszenzfotos konnten auf Oberkieferfrontzähnen und -eckzähnen im Setting „Raum Licht aus“ und auf Unterkieferfrontzähnen in allen Settings bei Vestibulärflächen signifikant höhere Plaquebedeckungen als bei Oralflächen festgestellt werden.

Auch für dieses Ergebnis kann als Grund die vermehrte Plaquebildung durch den geringen Abstand zwischen Gingivalrand und Bracket bzw. zwischen den Brackets bei den Unterkieferfrontzähnen angenommen werden (siehe Kapitel 6.3.5). Der Abstand zwischen Gingivalrand und Bracket bei Oberkieferfrontzähnen ist größer, wodurch diese Flächen auch der Reinigung besser zugänglich sind. Insgesamt ist die Reinigung der Vestibulärflächen durch die Multi-Bracket-Apparatur allerdings in beiden Kiefern eingeschränkt. Bei Personen ohne Multi-Bracket-Apparatur wurde gezeigt, dass Oralflächen im Gegensatz zu Vestibulärflächen beim Zähneputzen weniger gründlich gereinigt werden [Rugg-Gunn und Macgregor, 1978; Winterfeld et al., 2015], was in der vorliegenden Studie bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparaturen nicht nachgewiesen werden konnte.

6.3.6.2 Mira-Werte

Auf den konventionellen Fotos nach Anfärben war die Plaquebedeckung der Vestibulärflächen sämtlicher untersuchter Zähne in allen Settings höher als die der Oralflächen, wenngleich der Unterschied nur bei Oberkiefereck- und Unterkieferfrontzähnen signifikant war. Die erhöhte Plaqueakkumulation auf den Vestibulärflächen der Oberkiefereckzähne kann, wie in Kapitel 6.3.4.1 beschrieben, durch die dort positionierten kieferorthopädischen Hilfselemente begründet werden. Dass die Abweichung der Plaquebedeckungswerte zwischen den Oral- und Vestibulärflächen der Unterkieferfrontzähne signifikant war, können auch hier der geringe Abstand zwischen Bracket und Gingivalrand sowie die geringe Interbracketdistanz und die dadurch bedingte erhöhte Plaqueakkumulation erklären [Gorelick et al., 1982].

Auch bei Personen ohne Multi-Bracket-Apparatur konnte auf Vestibulärflächen verstärkte Plaqueakkumulation festgestellt werden [Alexander et al., 1969; Loe et al., 1965].

6.4 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Studie lassen folgende Beantwortung der Fragestellung zu:

1. Korreliert die auf dem Fluoreszenzbild quantifizierte Plaquebedeckung mit der auf dem nach Anfärben aufgenommenen konventionellen Foto quantifizierten Plaquebedeckung bei den Gruppen MB bzw. nonMB, wenn

a) die Aufnahmen in einem standardisierten Setting angefertigt werden?

Die auf dem Fluoreszenzbild quantifizierte Plaquebedeckung korrelierte nur gering mit der auf dem nach Anfärben aufgenommenen konventionellen Foto quantifizierten Plaquemenge in der Gruppe MB, wobei die nach Anfärben auf dem konventionellen Bild quantifizierte Plaquebedeckung im Mittel um 15,5 Flächenprozent höher als die auf dem Fluoreszenzfoto quantifizierte Plaquebedeckung war.

b) die Aufnahmen in einem klinischen Setting angefertigt werden?

Auch bei Aufnahme im klinischen Setting korrelierte die auf dem Fluoreszenzfoto und die auf dem konventionellen Foto nach Anfärben quantifizierte Plaquebedeckung bei Probanden der Gruppe MB nur gering. Es zeigten sich jedoch auch signifikante Unterschiede zwischen der quantifizierten Plaquebedeckung der in klinischem und standardisiertem Setting aufgenommenen Fluoreszenzfotos und konventionellen Fotos nach Anfärben.

2. Unterscheiden sich die möglichen Zusammenhänge zwischen den Gruppen MB und nonMB?

Da nach Auswertung der Daten der Gruppe MB nur geringe Zusammenhänge erkannt werden konnten, wurde auf einen Vergleich der Ergebnisse mit denen der Gruppe nonMB verzichtet.

3. Beeinflusst die Beleuchtungssituation die auf dem Fluoreszenzbild quantifizierte Plaquemenge, wenn die Aufnahmen in einem standardisierten Setting bei Probanden mit und ohne Multi-Bracket-Apparatur angefertigt werden?

Die Umgebungsbeleuchtung scheint die Quantifizierung der Plaque mittels QLF-D zu beeinflussen. Dabei ist ein größerer Einfluss auf die Erkennung dünnerer Plaque als auf die Erkennung dickerer Plaque anzunehmen.

7 Zusammenfassung

Während der Therapie mit Multi-Bracket-Apparaturen steigt das Risiko für Karies und parodontale Erkrankungen, weshalb eine gute Mundhygiene besonders wichtig ist. Die Mundhygienemotivation erfolgt im klinischen Alltag meist mittels Sichtbarmachen der Plaque durch Anfärben mit Plaquerevelatoren. Anschließend ist die Entfernung der angefärbten Plaque und bei Patienten mit Multi-Bracket-Apparaturen oft auch der Austausch der angefärbten Ligaturen notwendig, weshalb die Methode beispielsweise für das Monitoring von Plaque in klinischen Studien ungeeignet ist. Quantitative Light-Induced Fluorescence-Digital (QLF-D) ist ein planimetrisches Plaquemessverfahren, welches auf der Autofluoreszenz der Plaque basiert und geeignet ist, Plaque ohne Anfärben sichtbar zu machen.

Das Ziel dieser explorativen Studie bestand darin die Plaquemessmethode mittels QLF-D im Vergleich zur Plaquemessmethode mittels des Plaquerevelators Mira-2-Ton® bei Probanden mit Multi-Bracket-Apparatur unter verschiedenen Bedingungen zu validieren und festzustellen, ob QLF-D eine geeignete Methode zur Bestimmung der Plaquebedeckung der Zähne und zur Mundhygienemotivation von Patienten mit Multi-Bracket-Apparaturen ist.

Dazu wurden Fotos mittels QLF-D (Fluoreszenzfotos) und konventionelle Fotos nach Anfärben mit Mira-2-Ton® sowohl in einem standardisierten Setting mit Stativ und Kinn-/Stirnstütze als auch unter klinischen Bedingungen und unter verschiedenen Lichtverhältnissen angefertigt und nach planimetrischer Auswertung miteinander verglichen. Die Vestibulär- und Oralflächen der Zähne 13 bis 23 und 33 bis 43 von 20 Probanden, respektive 480 Zahnflächen, wurden bewertet.

Bei den Untersuchungen wurden folgende Ergebnisse festgestellt:

- Die auf den Fluoreszenzfotos quantifizierte Plaquebedeckung zeigte nur geringe Korrelation mit der auf den nach Anfärben aufgenommenen konventionellen Fotos quantifizierten Plaquemenge, wobei die nach Anfärben auf den konventionellen Bildern quantifizierte Plaquebedeckung im Mittel um 15,5 Flächenprozent höher war als die auf den Fluoreszenzfotos quantifizierte Plaquebedeckung, wenn die Aufnahmen in einem standardisierten Setting angefertigt wurden.
- Bei der Aufnahme in einem klinischen Setting korrelierte die auf den Fluoreszenzfotos und die auf den konventionellen Fotos nach Anfärben quantifizierte Plaquebedeckung nur gering. Es zeigten sich jedoch auch signifikante Unter-

schiede zwischen der quantifizierten Plaquebedeckung der in klinischem und standardisiertem Setting aufgenommenen Fluoreszenzfotos und konventionellen Fotos nach Anfärben.

- Die Umgebungsbeleuchtung scheint die Quantifizierung der Plaque mittels QLF-D zu beeinflussen. Dabei ist ein größerer Einfluss auf die Erkennung dünnerer Plaque als auf die Erkennung dickerer Plaque anzunehmen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Plaquemessmethode mittels QLF-D einen vielversprechenden Ansatz für die Bestimmung der Plaquebedeckung bei Patienten mit Multi-Bracket-Apparaturen darstellt. Allerdings bedarf es weiterer Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Autofluoreszenz der Plaque und ihrer Reife, Dicke und Pathogenität.

8 Summary

The risk for caries and periodontal disease increases during therapy with multi bracket appliance, making good oral hygiene particularly important. In common clinical routine, plaque on teeth is usually stained with a plaque-disclosing agent in order to improve patients motivation on oral care, even though this procedure makes it necessary to remove the coloured plaque and to change the elastic ligatures of the multi bracket appliance as well. Therefore the method is not suitable for monitoring plaque in clinical trials. Quantitative Light-induced Fluorescence Digital (QLF-D) is an autofluorescence-based method for planimetric quantification of plaque without the need for staining.

The aim of the present explorative study was to compare the plaque levels measured by the QLF-D method to a staining-based method using Mira-2-Ton® for patients with fixed orthodontic appliances under various conditions and to evaluate whether QLF-D is a suitable alternative for plaque level measurement thus for oral hygiene motivation in patients with fixed orthodontic appliances.

Therefore, under standardised conditions using a tripod and a head and chin rest as well as in a clinical setting and under various ambient lighting conditions, fluorescence images using QLF-D and conventional images after staining were captured. The images were subjected to a planimetric analysis and the plaque levels by both methods were compared. Vestibular and oral surfaces of tooth 13 to 23 and 33 to 43 of 20 patients were analysed, resulting in a total of 480 analysed surfaces.

The results were the following:

- The plaque levels measured on fluorescence images showed only little correlation to the place levels quantified on conventional images after staining. The conventional method showed on average 15.5 area percent higher plaque levels when images were captured in a standardized setting.
- In a clinical setting the plaque levels measured on fluorescence images showed only little correlation to the plaque levels quantified on conventional images after staining. Furthermore there were significant differences in plaque levels between the images captured under clinical and standardised conditions on both fluorescence and conventional images after staining.
- Ambient lighting condition seems to influence the plaque levels measured via QLF-D. It seems this effect is more distinct for areas with thin plaque than for areas with thick plaque.

In conclusion, plaque level measurement using QLF-D seems to be a promising instrument for use in patients with fixed orthodontic appliances. However, there should be further research on the relation of the autofluorescence of plaque and its maturation, thickness and pathogenicity.

9 Literatur

- Aas JA, Paster BJ, Stokes LN, Olsen I, Dewhirst FE: Defining the normal bacterial flora of the oral cavity. *J Clin Microbiol* 2005;43:5721-5732.
- Al-Anezi SA, Harradine NW: Quantifying plaque during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2012;82:748-753.
- Al-Hashimi I, Levine MJ: Characterization of in vivo salivary-derived enamel pellicle. *Arch Oral Biol* 1989;34:289-295.
- Albino JE, Juliano DB, Slakter MJ: A comparison of six plaque scoring methods for assessing oral hygiene. *J Periodontol* 1978;49:419-422.
- Alexander AG, Morganstein SI, Ribbons JW: A study of the growth of plaque and the efficiency of self-cleansing mechanisms. *Dent Pract Dent Rec* 1969;19:293-297.
- Angmar-Mansson B, ten Bosch JJ: Quantitative light-induced fluorescence (QLF): a method for assessment of incipient caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 2001;30:298-307.
- Arici S, Alkan A, Arici N: Comparison of different toothbrushing protocols in poor-toothbrushing orthodontic patients. *Eur J Orthod* 2007;29:488-492.
- Arnim SS: The Use of Disclosing Agents for Measuring Tooth Cleanliness. *Journal of Periodontology* 1963;34:227-245.
- Arslan SG, Akpolat N, Kama JD, Ozer T, Hamamci O: One-year follow-up of the effect of fixed orthodontic treatment on colonization by oral *Candida*. *J Oral Pathol Med* 2008;37:26-29.
- Artun J, Brobakken BO: Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. *Eur J Orthod* 1986;8:229-234.
- Artun J, Thylstrup A: Clinical and scanning electron microscopic study of surface changes of incipient caries lesions after debonding. *Scand J Dent Res* 1986;94:193-201.
- Artun J, Thylstrup A: A 3-year clinical and SEM study of surface changes of carious enamel lesions after inactivation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;95:327-333.
- Attin R: Vorstellung eines neuen Plaqueindex zur Kontrolle und Motivation kieferorthopädischer Patienten. *Inf Orthod Kieferorthop* 2005;37:271-273.
- Baab DA, Broadwell AH, Williams BL: A comparison of antimicrobial activity of four disclosant dyes. *J Dent Res* 1983;62:837-841.

- Balenseifen J: Study on dental plaque in orthodontic patients. *J Dent Res* 1970;49:320-324.
- Beerens MW, van der Veen MH, van Beek H, ten Cate JM: Effects of casein phosphopeptide amorphous calcium fluoride phosphate paste on white spot lesions and dental plaque after orthodontic treatment: a 3-month follow-up. *Eur J Oral Sci* 2010;118:610-617.
- Begue WJ, Bard RC, Koehne GW: Microbial inhibition by erythrosin. *J Dent Res* 1966;45:1464-1467.
- Bittar DG, Pontes LR, Calvo AF, Novaes TF, Braga MM, Freitas PM, Tabchoury CP, Mendes FM: Is the red fluorescence of dental plaque related to its cariogenicity? *J Biomed Opt* 2014;19:065004.
- Bjoern H, Carlsson J: Observations on a dental plaque morphogenesis. *Odontol revy* 1964;15:23-28.
- Bjørndal L: Carieslæsionens tidlige udvikling i emalje og pulpa-dentinorganet. *Tandlægebladet* 1992;96:469-472.
- Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1:307-310.
- Block PL, Lobene RR, Derdivanis JP: A two-tone dye test for dental plaque. *J Periodontol* 1972;43:423-426.
- Boersma JG, van der Veen MH, Lagerweij MD, Bokhout B, PrahI-Andersen B: Caries prevalence measured with QLF after treatment with fixed orthodontic appliances: influencing factors. *Caries Res* 2005;39:41-47.
- Boyd R, Baumrind S: Periodontal considerations in the use of bands or bonds on molars in adolescents and adults. *Angle Orthod* 1992:117-126.
- Caldwell RC, Hunt DE: A comparison of the antimicrobial activity of disclosing agents. *J Dent Res* 1969;48:913-915.
- Carter K, Landini G, Walmsley AD: Automated quantification of dental plaque accumulation using digital imaging. *J Dent* 2004;32:623-628.
- Chatterjee R, Kleinberg I: Effect of orthodontic band placement on the chemical composition of human incisor tooth plaque. *Arch Oral Biol* 1979;24:97-100.
- Ciancio SG, Cunat JJ, Mather ML, Harvey DH: A comparison of plaque accumulation in bonded vs banded teeth. *J Dent Res* 1985;64:359.
- Coulthwaite L, Pretty IA, Smith PW, Higham SM, Verran J: The microbiological origin of fluorescence observed in plaque on dentures during QLF analysis. *Caries Res* 2006;40:112-116.
- Coulthwaite L, Pretty IA, Smith PW, Higham SM, Verran J: QLF is not readily suitable for in vivo denture plaque assessment. *J Dent* 2009;37:898-901.

- Diamanti-Kipiotti A, Gusberti F, Lang N: Clinical and microbiological effects of fixed orthodontic appliances. *J Clin Periodontol* 1987;4:326-333.
- Enaia M, Bock N, Ruf S: White-spot lesions during multibracket appliance treatment: A challenge for clinical excellence. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:e17-24.
- Faltermeier A, Burgers R, Rosentritt M: Bacterial adhesion of *Streptococcus mutans* to esthetic bracket materials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:S99-103.
- Fejerskov O, Kidd E: *Dental Caries The Disease and its Clinical Management*. Oxford, UK, Blackwell Munksgaard Ltd, 2008.
- Fischman SL: Current status of indices of plaque. *J Clin Periodontol* 1986;13:371-374, 379-380.
- Flemming HC, Wingender J: The biofilm matrix. *Nat Rev Microbiol* 2010;8:623-633.
- Forsberg C, Brattström V, Malmberg E, Nord C: Ligature wires and elastomeric rings: two methods of ligation, and their association with microbial colonization of *Streptococcus mutans* and *Lactobacilli*. *Eur J Orthod* 1991;13:416-420.
- Frank RM, Voegel JC: Ultrastructure of the human odontoblast process and its mineralisation during dental caries. *Caries Res* 1980;14:367-380.
- Gallagher IH, Fussell SJ, Cutress TW: Mechanism of action of a two-tone plaque disclosing agent. *J Periodontol* 1977;48:395-396.
- Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M: *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie*, ed 3rd. Stuttgart, Thieme, 2010.
- Ganss C, Glanz A, Glanz T, Schlüter N, Ruf S: bisher nicht veröffentlichte Ergebnisse.
- Glasl B, Ludwig B, Schopf P: Prevalence and development of KIG-relevant symptoms in primary school students from Frankfurt am Main. *J Orofac Orthop* 2006;67:414-423.
- Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ: Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod* 1982;81:93-98.
- Greenstein G: Periodontal response to mechanical non-surgical therapy: a review. *J Periodontol* 1992;63:118-130.
- Grossi SG, Zambon JJ, Ho AW, Koch G, Dunford RG, Machtei EE, Norderyd OM, Genco RJ: Assessment of risk for periodontal disease. I. Risk indicators for attachment loss. *J Periodontol* 1994;65:260-267.
- Hager & Werken GmbH & Co. KG: Hager & Werken online :: Mira-2-Ton®. <http://www.hagerwerken.de/dentalproducts/n18610/Mira2Ton/>.

- Hagg U, Kaveewatcharanont P, Samaranayake YH, Samaranayake LP: The effect of fixed orthodontic appliances on the oral carriage of *Candida* species and *Enterobacteriaceae*. *Eur J Orthod* 2004;26:623-629.
- Han SY, Kim BR, Ko HY, Kwon HK, Kim BI: Validity and reliability of autofluorescence-based quantification method of dental plaque. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2015;12:587-591.
- Han SY, Kim BR, Ko HY, Kwon HK, Kim BI: Assessing the use of Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital as a clinical plaque assessment. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2016;13:34-39.
- Heidemann D, Borchard R: *Parodontologie*, Elsevier, Urban & Fischer, 2005.
- Hellwege KD: *Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe: ein Leitfaden für die Individualprophylaxe, Gruppenprophylaxe und initiale Parodontaltherapie*, Thieme, 2003.
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: *Einführung in die Zahnerhaltung*, Dt. Zahnärzte-Verlag, 2009.
- Hinrichs JE: The role of dental calculus and other local predisposing factors; in Carranza FA, Newman MG, Takei HH, Klokkevold PR (Hrsg.): *Carranza's clinical periodontology*. St. Louis, Missouri, USA, Saunders Elsevier, 2012, S. 217-231.
- Hope CK, de Josselin de Jong E, Field MR, Valappil SP, Higham SM: Photobleaching of red fluorescence in oral biofilms. *J Periodontal Res* 2011;46:228-234.
- Huser M, Baehni P, Lang R: Effects of orthodontic bands on microbiologic and clinical parameters. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:213-218.
- Jakubovics NS: Talk of the town: interspecies communication in oral biofilms. *Mol Oral Microbiol* 2010;25:4-14.
- Khalaf K: Factors Affecting the Formation, Severity and Location of White Spot Lesions during Orthodontic Treatment with Fixed Appliances. *J Oral Maxillofac Res* 2014;5:e4.
- Kilicoglu H, Yildirim M, Polater H: Comparison of the effectiveness of two types of toothbrushes on the oral hygiene of patients undergoing orthodontic treatment with fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:591-594.
- Kim YS, Lee ES, Kwon HK, Kim BI: Monitoring the maturation process of a dental microcosm biofilm using the Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital (QLF-D). *J Dent* 2014;42:691-696.
- Klaus K, Eichenauer J, Sprenger R, Ruf S: Oral microbiota carriage in patients with multibracket appliance in relation to the quality of oral hygiene. *Head Face Med* 2016;12:28.

- Klein H, Palmer CE, Knutson JW: Studies on Dental Caries: I. Dental Status and Dental Needs of Elementary School Children. *Public Health Reports* (1896-1970) 1938;53:751-765.
- Kloehn J, Pfeifer J: The Effect of Orthodontic Treatment on the Periodontium. *Angle Orthod* 1974;44:127-134.
- Klukowska M, Bader A, Erbe C, Bellamy P, White DJ, Anastasia MK, Wehrbein H: Plaque levels of patients with fixed orthodontic appliances measured by digital plaque image analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139:e463-470.
- Knosel M, Eckstein A, Helms HJ: Durability of esthetic improvement following Icon resin infiltration of multibracket-induced white spot lesions compared with no therapy over 6 months: a single-center, split-mouth, randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:86-96.
- Koenig K, Flemming G, Hibst R: Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 1998;44:1293-1300.
- Kolenbrander PE, Palmer RJ, Jr., Rickard AH, Jakubovics NS, Chalmers NI, Diaz PI: Bacterial interactions and successions during plaque development. *Periodontol* 2000 2006;42:47-79.
- Kronenberg O, Lussi A, Ruf S: Preventive effect of ozone on the development of white spot lesions during multibracket appliance therapy. *Angle Orthod* 2009;79:64-69.
- Lang NP, Ostergaard E, Loe H: A fluorescent plaque disclosing agent. *J Periodontal Res* 1972;7:59-67.
- Lee ES, Kang SM, Ko HY, Kwon HK, Kim BI: Association between the cariogenicity of a dental microcosm biofilm and its red fluorescence detected by Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital (QLF-D). *J Dent* 2013;41:1264-1270.
- Lennon AM, Buchalla W, Brune L, Zimmermann O, Gross U, Attin T: The ability of selected oral microorganisms to emit red fluorescence. *Caries Res* 2006;40:2-5.
- Lim LP, Tay FB, Waite IM, Cornick DE: A comparison of 4 techniques for clinical detection of early plaque formed during different dietary regimes. *J Clin Periodontol* 1986;13:658-665.
- Loe H, Theilade E, Jensen SB: Experimental Gingivitis in Man. *J Periodontol* 1965;36:177-187.
- Marsh P, Martin MV: *Orale Mikrobiologie: 60 Tabellen*, Thieme, 2003.
- Miller CC, Burnside G, Higham SM, Flannigan NL: Quantitative Light-induced Fluorescence-Digital as an oral hygiene evaluation tool to assess plaque

- accumulation and enamel demineralization in orthodontics. *Angle Orthod* 2016;86:991-997.
- Mizrahi E: Enamel demineralization following orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1982;82:62-67.
- Nikon Corp.: ISO Sensitivity. <http://imaging.nikon.com/lineup/dslr/basics/13/index.htm>, abgerufen am 01.08.2018.
- Nyvad B: Microbial colonization of human tooth surfaces. *APMIS Suppl* 1993;32:1-45.
- Nyvad B, Kilian M: Comparison of the initial streptococcal microflora on dental enamel in caries-active and in caries-inactive individuals. *Caries Res* 1990;24:267-272.
- O'Leary TJ, Drake RB, Naylor JE: The plaque control record. *J Periodontol* 1972;43:38.
- Ogaard B, Rolla G, Arends J: Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 1. Lesion development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:68-73.
- Poole-Wilson DS: Occupational tumours of the bladder. *Proc R Soc Med* 1960;53:801-814.
- Pretty IA, Edgar WM, Higham SM: The effect of ambient light on QLF analyses. *J Oral Rehabil* 2002;29:369-373.
- Pretty IA, Edgar WM, Smith PW, Higham SM: Quantification of dental plaque in the research environment. *J Dent* 2005;33:193-207.
- Quirynen M, Dekeyser C, van Steenberghe D: Discriminating power of five plaque indices. *J Periodontol* 1991;62:100-105.
- Rainer JA, Micheelis W: Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ), 2016.
- Rugg-Gunn AJ, Macgregor ID: A survey of toothbrushing behaviour in children and young adults. *J Periodontal Res* 1978;13:382-389.
- Sadeq A, Risk JM, Pender N, Higham SM, Valappil SP: Evaluation of the co-existence of the red fluorescent plaque bacteria *P. gingivalis* with *S. gordonii* and *S. mutans* in white spot lesion formation during orthodontic treatment. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2015;12:232-237.
- Sagel PA, Lapujade PG, Miller JM, Sunberg RJ: Objective quantification of plaque using digital image analysis. *Monogr Oral Sci* 2000;17:130-143.
- Salvi GE, Lawrence HP, Offenbacher S, Beck JD: Influence of risk factors on the pathogenesis of periodontitis. *Periodontol* 2000 1997;14:173-201.
- Silness J, Loe H: Periodontal Disease in Pregnancy. II. Correlation between Oral Hygiene and Periodontal Condition. *Acta Odontol Scand* 1964;22:121-135.

- Soder PO, Jin LJ, Soder B: Computerized planimetric method for clinical plaque measurement. *Scand J Dent Res* 1993;101:21-25.
- Spitzer D, ten Bosch JJ: Luminescence quantum yields of sound and carious dental enamel. *Calcif Tissue Res* 1977;24:249-251.
- Stratemann MW, Shannon IL: Control of decalcification in orthodontic patients by daily self-administered application of a water-free 0.4 per cent stannous fluoride gel. *Am J Orthod* 1974;66:273-279.
- Sundararaj D, Venkatachalapathy S, Tandon A, Pereira A: Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. *J Int Soc Prev Community Dent* 2015;5:433-439.
- Theilade E, Wright WH, Jensen SB, Loe H: Experimental gingivitis in man. II. A longitudinal clinical and bacteriological investigation. *J Periodontal Res* 1966;1:1-13.
- Thomas RZ, van der Mei HC, van der Veen MH, de Soet JJ, Huysmans MC: Bacterial composition and red fluorescence of plaque in relation to primary and secondary caries next to composite: an in situ study. *Oral Microbiol Immunol* 2008;23:7-13.
- Tinanoff N, Gross A, Brady JM: Development of plaque on enamel. Parallel investigations. *J Periodontal Res* 1976;11:197-209.
- Tonetti MS, Mombelli A: Early-onset periodontitis. *Ann Periodontol* 1999;4:39-53.
- Turesky S, Gilmore ND, Glickman I: Reduced plaque formation by the chloromethyl analogue of vitamin C. *J Periodontol* 1970;41:41-43.
- van der Veen MH, de Josselin de Jong E: Application of quantitative light-induced fluorescence for assessing early caries lesions. *Monogr Oral Sci* 2000;17:144-162.
- van der Veen MH, Thomas RZ, Huysmans MC, de Soet JJ: Red autofluorescence of dental plaque bacteria. *Caries Res* 2006;40:542-545.
- van der Veen MH, Volgenant CM, Keijser B, Ten Cate JB, Crielaard W: Dynamics of red fluorescent dental plaque during experimental gingivitis – A cohort study. *J Dent* 2016;48:71-76.
- Van Houte J: Role of Micro-organisms in Caries Etiology. *J Dent Res* 1994.
- Varma AA, Fertig JW, Chilton NW, Mandel ID: Restricted latin square design in a plaque disclosant study. *J Periodontal Res* 1974;9:386-393.
- Volgenant CM, Fernandez YMM, Rosema NA, van der Weijden FA, Ten Cate JM, van der Veen MH: Comparison of red autofluorescing plaque and disclosed plaque-a cross-sectional study. *Clin Oral Investig* 2016a;20:2551-2558.

-
- Volgenant CM, Hoogenkamp MA, Buijs MJ, Zaura E, Ten Cate JM, van der Veen MH: Red fluorescent biofilm: the thick, the old, and the cariogenic. *J Oral Microbiol* 2016b;8:30346.
- Volgenant CM, van der Veen MH, de Soet JJ, ten Cate JM: Effect of metalloporphyrins on red autofluorescence from oral bacteria. *Eur J Oral Sci* 2013;121:156-161.
- Volgenant CM, van der Veen MH, Hoogenkamp MA, ten Cate JM: Biofilm age and thickness determines the amount of red fluorescence. *Caries Res* 2012;46:279.
- Wahlström S: WHO Oral Health Country/Area Profile Programme. <https://www.mah.se/CAPP/Country-Oral-Health-Profiles/>, 2014.
- Wilcoxon F: Individual comparisons of grouped data by ranking methods. *J Econ Entomol* 1946;39:269.
- Winterfeld T, Schlueter N, Harnacke D, Illig J, Margraf-Stiksrud J, Deinzer R, Ganss C: Toothbrushing and flossing behaviour in young adults--a video observation. *Clin Oral Investig* 2015;19:851-858.
- Wright CJ, Burns LH, Jack AA, Back CR, Dutton LC, Nobbs AH, Lamont RJ, Jenkinson HF: Microbial interactions in building of communities. *Mol Oral Microbiol* 2013;28:83-101.
- Zachrisson B: Cause and prevention of injuries to teeth and supporting structures during orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1976;69:285-300.
- Zachrisson S, Zachrisson BU: Gingival condition associated with orthodontic treatment. *Angle Orthod* 1972;42:26-34.

10 Anhang

10.1 Planimetrische Auswertung

1. Einheitliche Sortierung der Rohdaten nach Aufnahmesituation
2. Vorverarbeitung in Adobe Photoshop Lightroom 5.7.1
 - a. Import
 - b. Export ins JPEG-Format in Standardeinstellungen
 - c. Graustufenkonvertierung durch Anwendung der der Aufnahmesituation entsprechenden Entwicklungsvorgabe
 - d. Export ins JPEG-Format in Graustufen
3. Flächenauswahl mit ImageJ 1.47q-Makro
 - a. Festlegung der Flächenanzahl pro Foto
 - b. Starten des Auswahl-Moduls
 - c. Auswahl des Verzeichnisses der Daten in Standardeinstellungen
 - d. Erstellung der „Region of Interest“-Daten (ROI) für die festgelegten Flächen sämtlicher Fotos
4. Kopie der ROI-Daten ins Verzeichnis der Daten in Graustufen
5. Quantitative Auswertung mit ImageJ 1.47q-Makro
 - a. Starten des Auswertungs-Moduls
 - b. Festlegung der Graustufengrenzwerte
 - Fluoreszenzfoto: 180
 - Konv. Foto nach Anfärben: 90
 - c. Auswahl des Verzeichnisses der Daten in Graustufen
 - d. Automatische Erkennung der ROIs pro Foto
 - e. Histogrammäquilibrium innerhalb der ROI*
 - f. Identifikation der Gesamtpixelanzahl innerhalb der ROI*
 - g. Speicherung der ROI im JPEG-Format*
 - h. Identifikation der Pixelanzahl im festgelegten Graustufenbereich innerhalb der ROI*
 - i. Speicherung der Visualisierung im JPEG-Format*
 - j. Ausgabe in Tabellenform (Excel-Format)
6. Datenmodulation in Excel für Mac 2011

*für jede ROI

Mit freundlicher Genehmigung von Alexander Georg Glanz [Ganss et al.].

10.2 Checkliste

	Ja	Nein
Ist der Patient jünger als 16 Jahre?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wird der Patient nicht mit einer MB-Apparatur behandelt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fehlen Zähne im FZ-Gebiet (13-23, 33-43)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient Füllungen im FZ-Gebiet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient Kronen im FZ-Gebiet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient Zahnfehlbildungen im FZ-Gebiet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient offene kariöse Läsionen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient offensichtlich defekte Füllungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient Rezessionen über mehr als 1/3 der Wurzellänge?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient ausgeprägte Gingivitis mit Schwellung und Bluten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient Parodontitis?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hat der Patient schwere Allgemeinerkrankungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nimmt der Patient Medikamente, die die Plaquebildung beeinflussen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ist der Patient nicht zur Teilnahme an der Studie bereit?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Grade des Plaqueindex nach Attin bei vestibulären Brackets	15
Abbildung 2: QLF-D Biluminator	18
Abbildung 3: Verteilung der Geschlechter in den Gruppen nonMB und MB.....	23
Abbildung 4: Fotoraum.....	27
Abbildung 5: Fotos der Vestibulärflächen	28
Abbildung 6: Fotos der Oralflächen	28
Abbildung 7: Behandlungseinheit	29
Abbildung 8: Boxplots; Plaque QLF-D vs. Mira (Probandenebene, Zahnflächen aggregiert).....	38
Abbildung 9: Streudiagramme; Plaque QLF-D vs. Mira (Probandenebene, Zahnflächen aggregiert).....	39
Abbildung 10: Streudiagramme; Plaque QLF-D vs. Mira (auf allen Zahnflächen).....	41
Abbildung 11: Boxplots; Plaque QLF-D vs. Mira (auf allen Zahnflächen).....	42
Abbildung 12: Bland-Altman-Analyse	43
Abbildung 13: Boxplots; Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche bei QLF-D-Werten	44
Abbildung 14: Boxplots; Einfluss des Settings je Kiefer/Zahn/Fläche bei Mira-Werten	46
Abbildung 15: Boxplots; Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche bei QLF-D-Werten	48
Abbildung 16: Boxplots; Einfluss des Zahnes je Kiefer/Setting/Fläche bei Mira-Werten	50
Abbildung 17: Boxplots; Einfluss des Kiefers je Zahn/ Setting /Fläche bei QLF-D-Werten	52
Abbildung 18: Boxplots; Einfluss des Kiefers je Zahn/Setting/Fläche bei Mira-Werten	54
Abbildung 19: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Einheit“ bei QLF-D-Werten	55

Abbildung 20: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Raum Licht an“ bei QLF-D-Werten.....	56
Abbildung 21: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Raum Licht aus“ bei QLF-D-Werten	56
Abbildung 22: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Einheit“ bei Mira-Werten.....	58
Abbildung 23: Boxplots; Einfluss der Zahnfläche (oral vs. vestibulär) je Kiefer/Zahn im Setting „Raum Licht an“ bei Mira-Werten.....	59
Abbildung 24: Fluoreszenzfoto des auszuwertenden Zahnes 11 in der Software QA2	66
Abbildung 25: Auswahl der Fläche inzisal der Multi-Bracket-Apparatur des Zahnes 11 und Erkennung der Plaque mit der Software QA2.....	66
Abbildung 26: Auswahl der Fläche zervikal der Multi-Bracket-Apparatur des Zahnes 11 und Erkennung der Plaque mit der Software QA2.....	67
Abbildung 27: Erkennung der Plaque auf der Vestibulärfläche des Zahnes 11 durch entwickeltes Makro in ImageJ 1.47q.....	67

10.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einstellungen der Kamera.....	30
Tabelle 2: Plaquebedeckung [%] bei konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton® - Färbung und bei QLF-D-Beleuchtung nach doppelter Auswertung durch zwei Untersucher	33
Tabelle 3: Mediane prozentuale Plaquebedeckung nach zehnfacher Auswertung eines Molaren und eines Frontzahnes eines Probanden mit eher niedriger und eines Probanden mit eher hoher Plaquebedeckung bei QLF-D-Beleuchtung (QLF- D) und konventioneller Beleuchtung mit Mira-2-Ton® -Färbung (Mira).....	34
Tabelle 4: Mittels QLF-D gemessene Plaquebedeckung nach professioneller Zahnreinigung	35
Tabelle 5: Plaque QLF-D vs. Mira. Differenzen der Mittelwerte beider Messmethoden	37
Tabelle 6: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen je zwei Settings	45
Tabelle 7: Differenzen der Mira-Werte zwischen den zwei Settings.....	47
Tabelle 8: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen Front- und Eckzähnen.....	49
Tabelle 9: Differenzen der Mira-Werte zwischen Front- und Eckzähnen	51
Tabelle 10: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen Ober- und Unterkiefer	53
Tabelle 11: Differenzen der Mira-Werte zwischen Ober- und Unterkiefer	54
Tabelle 12: Differenzen der QLF-D-Werte zwischen Vestibulär- und Oralflächen	57
Tabelle 13: Differenzen der Mira-Werte zwischen Vestibulär- und Oralflächen	59

11 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift

12 Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Frau Prof. Dr. Sabine Ruf, die mich während der gesamten Bearbeitungsphase meiner Dissertation mit viel Geduld wissenschaftlich und methodisch unterstützt hat.

Ich danke Frau Prof. Dr. Carolina Ganß für die stets konstruktive Betreuung des Gesamtprojekts.

Auch Frau Dr. Katharina Klaus gilt mein besonderer Dank für ein stets offenes Ohr und kompetente Hilfe bei allen statistischen und kieferorthopädischen Fragen.

Außerdem danke ich meinem Mann Alexander Glanz für die stetige moralische Unterstützung, die Motivation, die vielen zielführenden Diskussionen und die konstruktive Kritik.

Allen Mitarbeitern der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen und allen Beteiligten der Studie bin ich sehr dankbar für die Unterstützung und die konstruktive Zusammenarbeit vor allem während der Durchführung der Studie.

Weiterhin danke ich meiner Familie und insbesondere meinen Eltern für ihre unermüdliche Unterstützung und Motivation in allen Lebenslagen.