

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Universitätsmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Poliklinik für Kieferorthopädie

Quantitative Untersuchung zur Progression von White Spot Läsionen mit zwei
verschiedenen Bestimmungsmethoden vor und während des ersten Jahres der
kieferorthopädischen Behandlung mit Alignern (Invisalign® Teen) bei Jugendlichen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
Philipp-Jan Hofman-Ebert
aus Sydney, Australien

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. U. Förstermann

Tag der Promotion: 18. Juli 2024

*Man sieht nur mit dem Herzen gut,
das Wesentliche ist für die Augen unsichtbar.*

(Antoine de Saint-Exupéry)

*Im Gedenken an
Heidemarie Gassen,
die diese Arbeit mit dem Lektorat unterstützte.*

** 19.06.1943 † 02.11.20*

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis.....
II.	Abkürzungsverzeichnis.....
II.	Abbildungsverzeichnis.....
IV.	Tabellenverzeichnis.....
1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	4
2.1	Die Alignertherapie.....	4
2.2	Das Invisalign® System.....	5
2.3	Mundgesundheit während der Alignertherapie.....	6
2.4	White Spot Läsionen.....	10
2.5	Diagnostik initialer kariöser Läsionen.....	12
2.5.1	Visuell taktile Inspektionstechnik.....	12
2.5.2	Enamel Decalcification Index (EDI).....	13
2.5.3	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenzmessung.....	14
2.5.4	Beurteilung von WSL nach dem International Caries Detection and Assessment System (ICDAS).....	20
2.6	White Spot Läsionen in der MBTherapie	21
3	Material und Methoden.....	22
3.1	Probanden.....	22
3.1.1	Einschlusskriterien.....	22
3.1.2	Ausschlusskriterien.....	23
3.1.3	Fortbestandskriterien.....	24

3.2	Studiendesign.....	24
3.3	EDI nach Banks & Richmond.....	27
3.4	QLF™.....	29
3.5	Statistische Auswertung.....	36
4	Ergebnisse.....	39
4.1	Probanden.....	39
4.2	Prävalenz der White Spot Läsionen.....	40
4.2.1	Prävalenz bezogen auf das Geschlecht.....	40
4.2.2	Prävalenz WSL durch visuelle Inspektionstechnik.....	40
4.2.3	Prävalenz der WSL: Befundung mit QLF™.....	44
4.3	Inzidenz der WSL mit EDI und QLF™.....	48
4.4	Verlauf der Messungen der QLF™-Werte zu den Zeitpunkten T0 bis T4.....	48
4.4.1	Fluoreszenzverlust (ΔF).....	49
4.4.2	Maximaler Fluoreszenzverlust (ΔF_{max}).....	49
4.4.3	Volumen der Läsion (ΔQ).....	50
4.4.4	Fläche der Läsion (WS Area).....	51
4.5	Vergleich der beiden Untersuchungsmethoden: EDI und QLF™.....	52
4.5.1	Cohen´s Kappa-Wert.....	55
4.6	Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC).....	56
5	Diskussion.....	57
5.1	Patienten.....	57
5.2	Studienaufbau.....	58
5.3	Ergebnisdiskussion.....	59
5.3.1	Prävalenz.....	59

5.3.2	Verteilung von Demineralisationen bezogen auf das Geschlecht.....	60
5.3.3	Visuelle Untersuchungsmethode: EDI nach Banks und Richmond.....	61
5.3.4	Digital durchgeführte Untersuchungsmethode: QLF™.....	62
5.3.5	WSL-Inzidenz.....	64
5.3.5	Korrelation der beiden Untersuchungsmethoden: EDI und QLF™.....	65
6	Fazit.....	66
7	Zusammenfassung.....	67
8	Literaturverzeichnis.....	68
9	Appendix.....	77

II. Abkürzungsverzeichnis

ΔF	Prozentanteil des Fluoreszenzverlustes von physiologischem Zahnschmelz
ΔF_{max} ,	Höchster Wert des Fluoreszenzverlustes im Bereich der White Spot Läsion (Maximalwert)
ΔQ	Prozentanteil des Fluoreszenzverlustes von physiologischem Zahnschmelz mal die Fläche
$A\Delta F$	Fläche mit ΔF gleich oder kleiner als der spezifischer Schwellenwert von ΔF (Standard -5%)
%:	Einheit: Prozent
ASR:	Approximale Schmelzreduktion
CCD:	charge-coupled device (ladungsgekoppeltes Bauteil)
EDI:	Enamel Decalcification Index
ICC:	intraclass correlation (Intraklassen-Korrelation)
ICDAS:	International Caries Detection and Assessment System
KFO:	Kieferorthopädie
M:	Männlich
max.:	maximal
MBA:	Multibracketapparatur
MBTherapie:	Multibrackettherapie
MIH:	Molaren-inzisiven-Hypomineralisation
mm:	Einheit: Millimeter
MUHY:	Mundhygiene
OK:	Oberkiefer
px:	Einheit: Pixel
QLF™:	Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenzmessung
LQP:	Lebensqualität des Patienten
S.:	Streptococcus
UK:	Unterkiefer
UniViSS:	Universelle Visuelle Scoring-System
W:	Weiblich
WSL:	White Spot Läsion
z.B.:	zum Beispiel

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bild eines Aligner tragenden Patienten.....	
Abbildung 2: Invisalign® Teen.....	
Abbildung 3: Beispiele von WSL im OK-Frontzahnbereich.....	
Abbildung 4: Darstellung der Flächeneinteilung beim EDI nach Banks und Richmond am Beispiel eines Zahnes 11 [79].....	
Abbildung 5: Die verschiedenen Reaktionen eines Materials mit Photonen.....	
Abbildung 6: Fluoreszenzbildung.....	
Abbildung 7: Aufbau des Kamerasystems (E. Waller Inspektor Research Systems)...	
Abbildung 8: WSL werden im QLF™ gräulich links/bräunlich rechts dargestellt	
Abbildung 9: Einteilung der Zahnoberfläche und Reihenfolge der Bewertung der Quadranten: Enamel Decalcification Index (EDI) nach Banks und Richmond.....	
Abbildung 10: Schweregradeinteilung des EDI nach Banks & Richmond [79].....	
Abbildung 11: Verwendetes Kamerasystem in der Praxis Dr. Drechsler in Wiesbaden (Canon 600D mit Acer Aspire V3-572PG).....	
Abbildung 12: Verwendetes Kamerasystem in Fachbereich Kieferorthopädie, Uniklinik Mainz (Canon 550D mit HP Probook 4520s).....	
Abbildung 13: Bildersequenz, oben die regluären Fotos, unten mit Fluoreszierendem Licht, innerhalb einer Visite.....	
Abbildung 14: WSL mesial an Zahn 12: Rechts visuell ersichtlich (Standardbild), links mit fluoreszierendem Licht aufgenommen.....	
Abbildung 15: QLF™-Auswertung: Darstellung der WSL vor Analyse (Zahn11).....	
Abbildung 16: QLF™-Auswertung: Kontur um die WSL.....	
Abbildung 17: QLF™-Auswertung: Die grauen Schattierungen bezeichnen die WSL, je Dunkler je tiefer die WSL.....	
Abbildung 18: QLF™-Auswertung: Analysierter WSL mit Tabelle.....	
Abbildung 19: QLF™: Prozentuale Verteilung von betroffenen Zähnen auf das Geschlecht zum Zeitpunkt T0 und T4.....	
Abbildung 20: EDI: Prävalenz der Verteilung der WSL nach Zahnflächenbereich (Quadranten) zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten (T0 bis 4).....	
Abbildung 21: EDI: Prozentuale Verteilung der WSL bezogen auf die Zahnflächen zum	

Zeitpunkt T0 und T4.....	
Abbildung 22: Prävalenz von betroffenen Zähnen im OK mit der visuellen Inspektions- technik (EDI) zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4.....	
Abbildung 23: Prävalenz der betroffenen Zähne im UK mit der visuell Inspektions- technik zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4.....	
Abbildung 24: QLF™: Prävalenz der Verteilung der WSL nach Zahnflächenbereich (Quadranten) zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4.....	
Abbildung 25: QLF™: Prozentuale Verteilung der WSL bezogen auf die Zahnflächen zum Zeitpunkt T0 und T4	
Abbildung 26: QLF™: Prävalenz der WSL im OK zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4.....	
Abbildung 27: QLF™: Prävalenz der WSL im UK zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4.....	
Abbildung 28: Prozentuale Verteilung betroffener Zähne mit EDI, QLF™ und beiden Untersuchungsverfahren.....	
Abbildung 29: Zahnputzflyer für die Patienten vor Beginn der Studienteilnahme.....	

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ablauf der einzelnen Visiten (T0 bis T4).....
Tabelle 2:	Grad der Übereinstimmung: Kappa-Wert und Bedeutung.....
Tabelle 3:	Darstellung der Verteilung des Alters, der ethnischen Zugehörigkeit und des Geschlechts
Tabelle 4:	Beurteilte Quantität der Zahnoberflächen zu den jeweils definierten Zeitpunkten T0 bis T4
Tabelle 5:	Fluoreszenzverlust der analysierten WSL im OK und UK mit dem arithmetischen Mittelwert und dem Median über alle detektierten Läsionen zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4
Tabelle 6:	Volumen und Fläche der analysierten WSL im OK und UK mit dem arithmetischen Mittelwert und dem Median über alle detektierten Läsionen zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4
Tabelle 7:	Anzahl der pathologisch veränderten Zähne ausgewertet durch den EDI und QLF TM im Vergleich zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4
Tabelle 8:	Analyse der WSL, die mit QLF TM und EDI detektiert wurden.....
Tabelle 9:	Analyse der WSL, die nur mit QLF TM detektiert wurden
Tabelle 10:	Korrelation beider Untersuchungsverfahren, EDI und QLF TM : Angaben der Cohen´s Kappa-Werte zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4.
Tabelle 11:	Intraklassenkorrelationskoeffizienten für die einzelnen Parameter im QLF TM

1 Einleitung

Aktuell besteht bei vielen Patienten der Wunsch, kaum sichtbare aber gleichwohl effektive kieferorthopädische (KFO) Therapien, wie zum Beispiel (z.B.) bei festsitzenden vestibulären Apparaturen, durchführen zu lassen. So stellt die Korrektur mit herausnehmbaren, sequenziellen Minioplastschienen („Aligner“), eine revolutionäre Behandlungsmethode dar. Eines der angewandten Alignersysteme, Invisalign[®], wurde 1998 von der Firma Align Technology vorgestellt. Es erlaubt eine Behandlung von Erwachsenen, jugendlichen Patienten („Invisalign[®] Teen“) und Kindern („Invisalign[®] First“) [1-4].

Während der Behandlung mit Alignern wird im Vergleich zur konventionellen vestibulär befestigten Multibracketapparatur (MBA) die Lebensqualität minimal eingeschränkt [2, 5-13]. Somit steht ein Komfort- und Ästhetikgewinn der Alignertherapie im Vordergrund [2, 14]. In für den Patienten wichtigen Alltagssituationen, wie z.B. Kommunikation oder das Spielen von Instrumenten, können die Schienen selbsttätig für kurze Zeit entfernt und auch wieder eingesetzt werden [9, 15-17]. Diese Möglichkeit erlaubt es gleichzeitig, im Tagesverlauf eine uneingeschränkte häusliche Zahnpflege mit Zahnbürste und -seide durchzuführen. Es entstehen weniger Retentionsstellen, da die geklebten Attachments eine glatte Oberfläche im Vergleich zu Brackets haben, so dass alle Bereiche des Attachments und der Übergang von Attachment zum Zahn vom Patienten gut gereinigt werden können [11, 15, 18, 19]. Um eine effektive Veränderung der Zahnfehlstellung zu bewirken, müssen Aligner mindestens 20 bis 22 Stunden am Tag vom Patienten getragen und alle ein bis zwei Wochen gewechselt werden [16, 20].

Eine Herausforderung während einer kieferorthopädischen Behandlung stellt die Erhaltung einer guten Mundhygiene (MUHY) dar. In Studien wurde die MUHY bei der Hälfte aller Patienten als mäßig oder schwach eingestuft [6, 21]. Unter Nutzung von Multibracketsystemen entwickeln sich aufgrund der unzureichenden MUHY oft vestibuläre Demineralisationen. Diese sind sichtbar als White Spots Läsionen (WSL), milchig-weiß erscheinende Porositäten unter der glatten Oberfläche des Zahnschmelzes, die nach erfolgreicher Behandlung persistieren oder sich leicht zurückbilden können [22-27]. Derzeit treten Nebenwirkungen dieser Art während einer KFO Behandlung in 2 bis 96% der Fälle auf [21, 28-36]. Aus diesem Grund ist innerhalb der Therapie eine regelmäßig durchgeführte Kariesdiagnostik notwendig, um weiteren

invasiven Maßnahmen (endodontisch, konservierend oder prothetisch) vorzubeugen [37].

Unterschiedliche Methoden und Hilfsmittel werden angewandt, um WSL zu diagnostizieren: Die visuell-taktile Inspektionstechnik stellt neben der Beurteilung intraoraler Fotos die häufigste Bestimmungsmethode dar. Diese Methode kann mit technischen Verfahren, wie DIAGNOdent™ oder QLF™ (Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenzmessung), ergänzt werden [38].

Die QLF™ ermöglicht durch eine softwareunterstützte Auswertung von intraoralen Aufnahmen, die mit fluoreszierendem Licht aufgenommen werden, die Diagnostik von WSL in einem frühen Stadium [39, 40]. Dieses System erlaubt die objektive Beurteilung des Istzustandes und im Verlauf die mögliche Progression einer WSL in Bezug auf die Tiefe, die Fläche und das Volumen. Dies kann unter Umständen nach Entfernung einer festsitzenden Apparatur zur Notwendigkeit einer therapeutischen Intervention führen. Eine Aussage zur Progression oder Remineralisation von WSL, wie bei therapeutischer Fluoridapplikation, ist möglich [25, 40, 41].

Das Ziel dieser vorliegenden prospektiven Studie untersucht die Fragestellung, ob eine therapeutische Alternative mit Alignern (Invisalign® Teen) das Risiko der Entstehung von WSL verstärken und ob positive Befunde sich im Verlauf des ersten Jahres der Therapie verändern können.

Folgende Nullhypothesen wurden definiert:

- a. H0: Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Quantität von WSL vor Beginn und nach einem Jahr während der KFO Behandlung mit Alignern, Invisalign® Teen.
H1: Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Quantität von WSL vor Beginn und nach einem Jahr während der KFO Behandlung mit Alignern, Invisalign® Teen.
- b. H0: Die Detektionen beider Verfahren, QLF™ und „*Enamel Decalcification Index*“ (EDI), zeigen im Verlauf des ersten Jahres der KFO Behandlung keine signifikanten Unterschiede.
H1: Die Detektionen beider Verfahren, QLF™ und „*Enamel Decalcification Index*“ (EDI), zeigen im Verlauf des ersten Jahres der KFO Behandlung signifikante Unterschiede.

- c. H0: Das Volumen, die Fläche und die Tiefe neuer oder bereits bestehender WSL sind im Verlauf der KFO Behandlung konstant.
H1: Das Volumen, die Fläche und die Tiefe neuer oder bereits bestehender WSL ändern sich im Verlauf der KFO Behandlung.

2 Literaturübersicht

2.1 Die Alignertherapie

Aktuell wünschen sich viele Erwachsene sowie Jugendliche ein schönes Lächeln, distanzieren sich aber von der Möglichkeit eine vestibulär festsitzende Apparatur einsetzen zu lassen. Stattdessen suchen sie nach einer ästhetischen Alternative. Somit steht die Behandlung mit lingualen festsitzenden Apparaturen und die Therapie mit Alignern im Vordergrund (siehe Abbildung 1) [2, 5-8, 42].



Abbildung 1: Bild eines Aligner tragenden Patienten (eigene Darstellung)

Eine Studie von AlSeraidi et al. erfasste die „*patient quality of life*“ (LQP). Im Vergleich zu lingualen und vestibulären MBA hatten Patienten signifikant bessere LQP-Scores für die körperliche und psychische Gesundheit, soziale Beziehungen und Umgebung [43].

Vorteile einer Alignertherapie beinhalten Termine ohne Bogenwechsel, seltene Notfälle, keine Einschränkung beim Sport, Schauspiel und Spielen von Blasinstrumenten. Weiterhin sind Auslandsaufenthalte während einer aktiven Therapie möglich. Es besteht keine Gefahr von Schmelzabrasionen durch Bracketkontakt und Jiggling von Zähnen [15-17, 44].

Nachteil ist die Abhängigkeit des Therapieerfolges von der Compliance des Patienten. Gerade zu Beginn bedarf es einer Gewöhnungszeit, in der es auch zu Sprachbeeinträchtigungen kommen kann. Dabei wird oft die Tragezeit von 22 Stunden, die die Voraussetzung für den Erfolg der Behandlung ist, nicht immer

eingehalten [2, 3, 8, 16, 17, 44, 45]. Dies kann zur Neuplanung und Herstellung neuer Schienen oder zur Therapieänderung mit einer festsitzenden Apparatur führen [15, 46, 47].

2.2 Das Invisalign® System

Der Student Ziaullab Chisthi entdeckte 1993, dass während eines Rezidivs (Unterkieferfrontengstand) das Tragen des Schienenretainers über eine gewisse Zeit die Position der Zähne wieder korrigierte. Daraufhin gründete er zusammen mit Kelsey Wirth im Jahr 1997 die Firma Fa. Align Technology in Santa Clara, Kalifornien. Ein Jahr später wurde das Produkt „Invisalign®“ vorgestellt [12, 48].

Invisalign® als KFO Alternative zu konventionellen Systemen mit Brackets wurde zunehmend ab 1999 in den „United States of America“ als Möglichkeit bekannt, rein dentoalveoläre Malokklusionen zu verbessern. Die ClinCheck®-Software erlaubte die Planung von „Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Manufacturing“-gefertigten Set-up-Modellen (Stereolithographieverfahren) zur Herstellung von transparenten Kunststoffschienen (Alignern), mit denen Zahnfehlstellungen in kleinen Schritten behoben wurden. Dieses System wurde 2001 in Europa eingeführt [2, 44]. Weltweit wurden nach Stand 2022 über 13 Millionen Patienten bereits mit Invisalign® behandelt [13, 49].

Die Anwendung von Invisalign® war primär auf die Behandlung von Erwachsenen mit voller permanenter Dentition beschränkt [50]. Align Technology® erweiterte 2008 das Spektrum mit der Einführung von Invisalign® Teen (siehe Abbildung 2), eine Alternative zur konventionellen Multibracketbehandlung für Jugendliche. Diese Neueinführung ermöglicht somit eine Behandlung während des Zahnwechsels bis hin zur Einstellung aller permanenten Zähne [3, 13]. So erlaubt es Jugendlichen, die sich von der Möglichkeit der Multibrackettherapie aus ästhetischen wie funktionellen Argumenten distanzieren, eine solche Alternative in Betracht zu ziehen [3, 45, 51]. Durchbrechenden Zähnen wird bei Behandlung mit Invisalign® Teen der Platz mit einem Durchbruchkompensators („*eruption guidance pontics*“) offen gehalten [52-54].



Abbildung 2: Invisalign® Teen (eigene Darstellung)

2.3 Mundgesundheit während der Alignertherapie

KFO Apparaturen können nach Insertion Veränderungen im Mikrobiom der Mundhöhle hervorrufen. Dies erhöht das Risiko von Erkrankungen wie Parodontitis, Halitosis und kariösen Läsionen [29, 30, 35, 55-57].

Um eine vom Behandler gewünschte orthodontische Veränderung herbeizuführen, muss ein Aligner mindestens 22 Stunden am Tag im Mund verbleiben und dies in der Regel über einen Zeitraum von zwei Wochen. Erst dann ist es möglich auf das nächste Schienenpaar zu wechseln. Zu diesen Variablen gehören zum einen die mechanische Wirkung eines Aligners auf das stomatognathe System und zum anderen Veränderungen in der Speichel-, Bakterienzusammensetzung, Plaqueanlagerungen und die Durchführung der täglichen MUHY des Patienten [2, 16, 20, 58-60].

Eine Therapie mit Alignern ermöglicht dem Patienten die temporäre Entfernung der Apparatur. Dies ermöglicht eine uneingeschränkte tägliche MUHY mit Zahnseide und -bürste. Die Interdentalräume sind leicht zugänglich und werden nicht durch Bögen und Brackets zum Teil verdeckt. Es gibt weniger Retentionsstellen für Plaque und Essensreste. Patienten, die eine Alignerbehandlung durchlaufen, zeigen eine bessere Einstellung und Motivation, um eine gute Mundgesundheit zu erhalten. Die Gefahr von erhöhter Plaqueakkumulation und der Papillenblutungsindex sind im Gegensatz zu Patienten, die mit festsitzenden vestibulären oder lingualen Apparaturen behandelt werden, verringert [3, 11, 14-16, 18, 19, 58, 61-65]. Trotzdem ist die Aufklärung und Remotivation während der Behandlung essenziell, da es bei Nichtbeachtung zu Schädigungen in Form von initialen kariösen Läsionen, Gingivitis und

Plaqueakkumulation kommen kann. Dies muss von dem Behandler während der KFO Behandlung überwacht werden [66, 67].

Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Aligner als Fluoridierungsschienen zu verwenden, um initialen Läsionen vorzubeugen [16, 66].

Parodontale Veränderungen

Bei KFO Behandlungen kann es zu negativen Effekten auf den Parodontalstatus kommen. Entzündliche Prozesse sollten bei KFO Therapien vermieden werden [68, 69].

Schaefer et al. beobachteten 31 Patienten in den ersten acht Monaten ihrer Invisalign®-Behandlung und dokumentierten unterschiedliche Indizes, die die Mundgesundheit beeinträchtigen könnten. Während der KFO Behandlung gab es keine erhöhten Halimeter®- oder Plaquewerte und die Patienten zeigten keine bis sehr geringe Anzeichen einer Gingivitis. Die stimulierte Speichelflussrate blieb nach Aussage des Autors konstant. Einige der Patienten gaben in den ersten Monaten an, dass sie das Gefühl hatten, mehr Mundgeruch als vor der KFO Behandlung mit Invisalign® zu verspüren (Pseudohalitoses) [11].

Auch Miethke et al. zeigten bereits 2007, dass sich der Gingiva-Index während der Invisalign®-Therapie in den ersten Monaten verbessert hatte. Der Papillenblutungsindex und der Plaqueindex nahmen ab, die Sulkustiefe blieb konstant. Der Autor schloss daraus, dass, obwohl die Zahnbögen und marginalen Anteile der Gingiva propria fast den gesamten Tag von Alignern bedeckt waren, nur ein geringes parodontales Risiko im Vergleich zu festsitzenden lingualen Apparaturen bestehe. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass es sich am ehesten auf die einfachere Durchführung der täglichen MUHY zurückführen ließe [65].

Tuncay et al. untersuchten in seiner Studie die Veränderungen der Mundgesundheit bei Patienten, die mit Invisalign® Teen behandelt wurden. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass der Plaqueindex im OK um 15,1% und im UK um 16,6% abnahm. Die posterioren Segmente, die Molaren, waren am meisten betroffen. Der Gingivale Blutungsindex wurde initial und nach Abschluss der Behandlung oder spätestens nach 24 Monaten bestimmt und verglichen. Es wurden kaum Veränderungen festgestellt. [3].

Sfondrini et al. verglichen in ihrer Studie 2021 die Veränderungen der Mundflora und Schleimhautreaktionen über einen Zeitraum von zwei Monaten bei Patienten, die mit Alignern behandelt wurden im Vergleich zu einer Kontrollgruppe von Teilnehmern, die

keine KFO Behandlung durchliefen. Sie untersuchten die Sulkustiefe, führte den Blutungs- und Plaqueindex durch und nahm Proben von der Sulkusflüssigkeit, um Bakterien vom orangenen und roten Komplex zu detektieren. Es gab keine signifikanten Veränderungen in beiden Gruppen, weder im Bereich der parodontalen noch mikrobiologischen Parameter [70]. Eine andere Studie bestätigte, dass sich während Alignerbehandlung die Sulkustiefe nicht änderte [71]. Ein anderer Autor verglich Patienten, die mit Alignertherapie oder MBA behandelt wurden, und stellte bei allen Patienten höhere Sondierungstiefen fest. Diese waren in der MBA-Gruppe größer als bei den Patienten, die mit Alignern therapiert wurden [18].

Einfluss der Alignertherapie auf das Mikrobiom in der Mundflora

Die Gesundheit des Zahnschmelzes ist direkt abhängig von dem pH-Wert und der mikrobiellen Zusammensetzung des umgebenden Speichels, die sich auf der inneren Fläche der Aligner befindet. Besonders Bakterien wie *Streptococccen*, *Lactobacillen* und *Actinomyceten* werden in Zusammenhang mit initialen Läsionen gebracht [72-74]. In einer Studie von Yan et al. wurden die bakteriellen Veränderungen des Speichels und pH-Wertes auf der Innenfläche von Alignern nach 0 bis 24 Stunden Tragezeit untersucht und dokumentiert. Die Patienten wurden angewiesen eine reguläre MUHY durchzuführen, ohne die Aligner zu reinigen. Die Autoren stellten fest, dass es zu einer signifikanten Zunahme der Bakterienstämme der Firmicutes, Lactobacillen, Bacteriodales, Streptococccen und *Streptococcus infantis* kam, während die Gruppen der *Actinomyces* und *Rothia aeria* abnahm. Der pH-Wert nahm am Aligner und im Speichel ab, anfangs 7,7 und nach 24 Stunden 7,4. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Aligner, die nicht regelmäßig gereinigt werden, zu Schäden am Zahnschmelz führen können. Er empfiehlt eine Reinigung nach 12 Stunden Tragezeit, spätestens nach 24 Stunden [72].

Mummolo et al. zeigten 2019 in einem Vergleich zwischen der mikrobiellen Kolonisierung von Bakterien bei Patienten, die mit Alignern oder MBA behandelt wurden, dass das Risiko einer Läsionsbildung nach sechs Monaten doppelt so hoch in der MBA-Gruppe lag. Die Autoren stellten eine Zunahme der Bakterien (*Streptococcus mutans* und *Lactobacilli*) in beiden Gruppen fest [73].

Dagegen konnten Zhao et al. bei Invisalign®-Patienten keine signifikanten Veränderungen in der Bakterienzusammensetzung im Speichel feststellen. Der Plaqueindex nahm im Vergleich beider Gruppen, vor Therapiebeginn und nach sechs

Monaten, ab. Die Autoren schlossen auf einen Zusammenhang mit einem höheren MUHY Bewusstsein des Patienten [63].

In der Literatur werden unterschiedliche Möglichkeiten der Reinigung eines Aligners beschrieben. Die effektivste Entfernung des Biofilms über ein Ultraschallbad wurde in einer Untersuchung von Shpack et al. an 132 Alignern nachgewiesen [75].

Mechanische Wirkung von Alignern auf die Mundgesundheit und das Schmerzempfinden des Patienten

Weichteilläsionen und Wunden, die durch festsitzende KFO Apparaturen verursacht werden, können einer der Faktoren sein, die zu Schmerzen beitragen. Das Ausmaß dessen im Vergleich zu Patienten die mit dem Invisalign®-System behandelt wurden ist in der initialen Phase signifikant größer [42, 76]. In einer Studie von Tuncay et al. gaben 70% der Patienten an, dass sie nie oder selten die Aligner (Invisalign Teen) als unkomfortabel empfanden [3]. Kvam et al. berichteten, dass bei 76% der Patienten, die mit einer festsitzenden Apparatur behandelt wurden, Läsionen auftraten, bei 2,5% waren es schwere Ulcera. Neben ästhetischen Vorteilen zu der konventionellen Methode mit MBA liegt nahe, dass durch die Form der Schienen weniger Irritationen entstehen und das Empfinden von Schmerzen geringer ausfällt. Der Konsum von Schmerzmedikamenten während der initialen Phase war bei Patienten, die mit Alignern behandelt wurden, deutlich reduziert im Vergleich zur Gruppe, die eine festsitzende MBA inseriert bekommen hatten [77].

In einer Umfrage über die Akzeptanz während einer Alignertherapie mit Invisalign® wurde festgestellt, dass die Gewöhnungszeit an die Aligner kurz war. Beeinträchtigungen wurden als gering beurteilt. Nur bei 6% traten starke Irritationen auf und 44% der Patienten hatten Probleme beim Kauen aufgrund Druckempfindlichkeit oder Verbleib von Nahrungsresten in temporär vergrößerten Interdentalräumen [9]. Das geringe Druckempfinden lässt sich auf die leichten intermittierenden Kräfte zurückführen. Diese geringen Einschränkungen im Vergleich zu anderen festsitzenden Systemen erzeugt ein erhöhtes Wohlbefinden im Alltag des Patienten und wird als die am wenigsten invasive Methode empfunden [2, 16, 17, 42, 78-80].

2.4 White Spot Läsionen

Die chemoparasitäre Theorie der Kariesentstehung wurde von Miller 1898 erstmalig vorgestellt. Diese besagt, dass es zur organischen Säurebildung kommt, wenn kariogenen Mikroorganismen (Plaque) ein Überangebot an speziell niedermolekularen Kohlenhydraten dargereicht werden. Unter Berücksichtigung der Zeit und der Anfälligkeit des Wirtes kann es zu Demineralisationen kommen. „Der kritische pH-Wert beträgt für Zahnschmelz 5,2-5,7“ [81].

Viele Autoren, darunter Applebaum und Thewlis et al. (1940), Besic et al. (1953), Coolidge et al. (1955), Gray und Francis et al. (1963), stellten fest, dass es sich um eine Demineralisation unter der Zahnoberfläche handelt [82-85].

In WSL ist die kristalline Struktur im Vergleich zu gesundem Zahnschmelz aufgelöst. Die Reflexionsflächen innerhalb der Läsion nehmen zu. Die Änderung der lichtstreuenden optischen Eigenschaften des demineralisierten Zahnschmelzes führt zu der weißlichen Erscheinung (siehe Abbildung 3) [86].



Abbildung 3: Beispiele von WSL im OK-Frontzahnbereich (eigene Darstellung)

Die Oberfläche erscheint leicht angeraut, es ist aber keine Kontinuitätsunterbrechung festzustellen. WSL sind somit Initialläsionen („*incipient lesion*“) [81], das heißt, sie entstehen durch Auflösung von Hydroxylapatit aufgrund bakterieller Aktivität, die ein saures Milieu in Zusammenhang mit Kohlenhydraten in aufgenommener Nahrung hervorrufen (Demineralisation) [87]. Bereits nach vier Wochen in einer KFO Therapie

ist das Auftreten solcher Oberflächenveränderungen möglich, meist kombiniert mit unzureichender MUHY des Patienten [88].

Ätiologie

Kohlenhydrate und eine bakterielle Infektion können in einer Dysbalance abhängig von der individuellen MUHY und Resistenz, sowie Retention der Oberfläche der Zähne zu Demineralisationen führen. Ein weiterer Faktor stellt ein geringes Speichelvolumen dar (wie während einer chemotherapeutischen Behandlung [89]). Besonders unter Bedingungen fester Apparaturen während einer KFO Behandlung kommt es durch die irregulären Oberflächen von Brackets zu erhöhter Anlagerung von Plaque. Somit wird die MUHY erschwert und erlaubt unter der Präsenz von Kohlenhydraten die Kolonisierung von Bakterien wie *Streptococcus mutans* (*S. mutans*) und *Lactobacilli* [28, 29, 87, 90-94].

Die Behandlungszeit, die individuelle MUHY des Patienten und die Prävalenz von bereits existierenden WSL vor Therapiebeginn kann das Risiko signifikant beeinflussen [21].

Der Speichel spielt in der Mundgesundheit und Erhaltung eine große Rolle und hat Einfluss auf die Entstehung von WSL. Seine Aufgabe ist der Schutz vor Abrieb, die Verzögerung der Demineralisation, Remineralisation und Neutralisierung von Säuren. So ist es ihm auch möglich Läsionen in einem frühen Stadium mit einem Überangebot von Fluorid, Calcium und Phosphaten zu reduzieren und weiteren Schädigungen präventiv entgegenzuwirken [90, 94, 95].

Histologie

WSL haben histologisch eine intakte Oberflächenschicht (porös, aber immer noch mineralreich). Der Bereich darunter hat einen niedrigeren Mineralgehalt (10 bis 70 Vol.%). Somit sind Demineralisationen als solche klinisch schwieriger zu determinieren [82, 96].

Die Läsion wird in vier Schichten unterteilt: Die Oberflächenschicht erscheint mit einem Mineralverlust von 1-10% intakt. Darunter befindet sich der Läsionskörper, in dem der größte Verlust von Mineralien besteht (5-25%). Die dunkle Zone umgibt den Läsionskörper und hat ein kleineres Porenvolumen. Die letzte Schicht, die transluzente Zone, zeichnet sich durch eine beginnende Demineralisation aus („Herauslösen von „leicht“ säurelöslichem Karbonat aus dem Apatitgitter“) [81].

Differentialdiagnostik

Weitere Ursachen von weißlichen Verfärbungen auf der Zahnoberfläche sind Zahnfluorose, Molaren-inzisiven-Hypomineralisation (MIH) und Formen von traumatischen Läsionen. Die Differentialdiagnostik der verschiedenen Arten kann manchmal visuell nicht deutlich unterschieden werden. Zahnfluorose hat oft eine weiß-gelbliche Verfärbung und ist in Form einer symmetrischen Verteilung im Zahnbogen vorzufinden [97]. Dagegen sind WSL eher milchig weiß [23]. Zähne, die von MIH betroffen sind, zeigen in ihrer Erscheinung oft gut abgrenzbare weißcremige bis gelbbraunliche Verfärbungen mit posteruptiven Schädigungen (Schmelzeinbrüche). Der Grund dieser Oberflächenveränderung lässt sich auf eine verminderte Mineralisation zurückführen. Betroffen sind meistens die ersten Molaren (Sechsjahrmolar) und Inzisiven der permanenten Dentition [98, 99]. Die Schädigung eines Milchzahnes durch ein Trauma (Konkussionen, Extrusionen, Luxationen, Subluxationen, vor allem aber Intrusionen) kann zu einer gestörten Mineralisation des darunter liegenden Zahnkeimes als Folge einer periapikalen Infektion führen. Aus diesem Grund liegt die traumatische Hypomineralisation oft im oberen inzisalen Drittel der Zahnkrone. Solche Veränderungen können sich klinisch in Form, Umriss, Lokalisation und Farbe (weiß bis gelbbraunlich) unterscheiden. [99-102].

2.5 Diagnostik initialer kariöser Läsionen

2.5.1 Visuell taktile Inspektionstechnik

Eine visuell taktile Beurteilung kann nur unter Entfernung von Plaque und Verfärbungen erfolgen. Danach wird der Zahn erst feucht und dann getrocknet beurteilt [103, 104]. Die visuelle Inspektionstechnik stellt heutzutage den Standard der Kariesdiagnostik dar. Diese kann durch röntgenologische Aufnahmen ergänzt werden [105]. In der Literatur werden rein visuelle und visuell taktile Inspektionstechniken beschrieben. Einige Autoren sprechen sich für die Detektion und Beurteilung kariöser Läsionen mit einer zahnärztlichen Sonde aus. Unter Nutzung eines solchen Instrumentes muss die Kraftübertragung auf die betroffene Zahnoberfläche berücksichtigt werden [104, 106-109]. Andere beschreiben, dass die Sondierung eines zu beurteilenden Zahnareals für die Diagnostik keinen Zugewinn mehr bedeutet und

sogar unter Umständen den Zahn in demineralisierten Zonen irreversibel schädigen kann [110-114]. Darüber hinaus ist eine Übertragung von Bakterien (*S. mutans*) über die Sonde von einem auf den anderen Zahn möglich [115]. Eine Verbesserung der Detektion mit Lupenbrillen konnte bei kariösen Läsionen in Bereichen von Fissuren nicht bestätigt werden [116].

2.5.2 Enamel Decalcification Index (EDI)

Der EDI wurde von Banks und Richmond (1994) als Indexmodifikation von Årtun und Brobakken entwickelt. Dabei werden Demineralisationen auf allen vier Flächen (siehe Abbildung 4), inzisal/okklusal, gingival, mesial und distal der Bracketseiten beurteilt. Jeder Fläche wird dabei ein Schweregrad von Grad 0-3 zugewiesen [117].

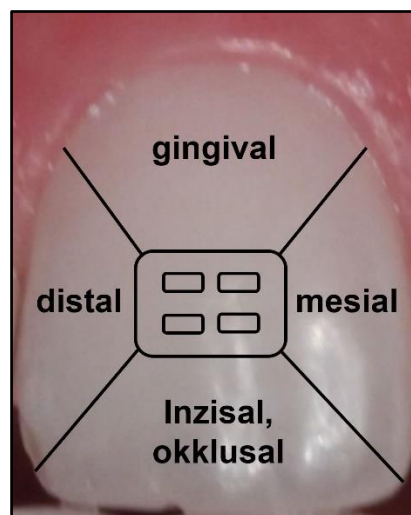


Abbildung 4: Darstellung der Flächeneinteilung beim EDI nach Banks und Richmond am Beispiel eines Zahnes 11 (eigene Darstellung) [117]

Neben dem EDI gibt es noch weitere Indizes, die WSL visuell erfassen. Einer davon ist der Index nach Fehr et al. (1961), der die Zahnoberfläche einem Grad (1 bis 4) zuteilt. Dieses System wurde später von Gorelick et al. modifiziert: Die Stufen des Ausmaßes wurden in 1-4 eingeteilt (1= keine WSL, 2= leicht, 3= stark, 4= mit Hohlrumbildung). Der Index nach Gorelick et al. findet bis heute noch in Studien Verwendung. Eine Modifikation angewendet von Årtun und Brobakken et al. teilte die Grade nach folgenden Kriterien ein: 0= keine WSL, 1= Dekalzifizierung unter 1/3 der

Fläche, 2= Dekalzifizierung mehr als 1/3, aber weniger als 2/3 der Fläche und 3= Dekalzifizierung mehr als 2/3 der Fläche [28, 30, 118-121].

Der EDI wird in der Literatur auch oft in Zusammenhang mit Maßnahmen wie Fluoridpasten oder Casein-Phosphopeptid-amorphes Calciumphosphat zur Prävention von WSL genutzt [122, 123].

2.5.3 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenzmessung

Unter Nutzung von Licht mit einer Wellenlänge von 405nm und der erzeugten Fluoreszenz lässt sich auf Veränderungen im Bereich des Zahnschmelzes schließen, da sich die Streuungseigenschaften auf demineralisierten Flächen im Vergleich zur physiologischen Oberfläche unterscheiden [103].

Stübel et al. beschrieben bereits 1911 in seinen Beobachtungen zur Fluoreszenz in biologischen Geweben:

„Viel stärker als die Haut fluoreszieren die Nägel und die Haare, sofern sie nicht pigmentiert sind, am stärksten aber die Zähne, welche ein sehr intensives weißes Licht ausstrahlen“ [124]. Es folgten andere Autoren, die dieses Phänomen weiter beobachteten und beschrieben. Sie stellten fest, dass in Bereichen kariöser Läsionen sich im Vergleich zu physiologischem Zahnschmelz die Lichtintensität änderte oder keine Fluoreszenz zeigte [125, 126]. Die Idee Fluoreszenz zur Kariesdiagnostik zu verwenden stammte erstmals von ten Bosch et al. 1979 [127]. Bjelkhagen et al. wiesen 1982 nach, dass sich mit dem Einsatz eines Argon-Lasers ($\lambda=488\text{nm}$) initiale kariöse Läsionen detektieren ließen [127].

Die Möglichkeit der Nutzung der quantitativen lichtinduzierten Fluoreszenzmessung (QLF) reicht schon bis 1994 zurück und bekam eine bedeutende Position durch die Bestimmung der Korrelation zwischen Fluoreszenz- und Mineralverlust in der Messung von Re- sowie Demineralisationen des Zahnschmelzes. Diese Werte können im Verlauf einer Behandlung Hinweise über die Aktivität der Läsionen geben. Es handelt sich hierbei um eine nichtinvasive und sehr patientenfreundliche Technik. Gemessen wird dies mit einer speziellen Fluoreszenzkamera (QLF-D Biluminator 2-Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, The Netherlands) [40, 41, 96, 128-138].

Die QLF™ kann in vivo und in vitro verwendet werden, die Analyse braucht allerdings eine gewisse Übung des Anwenders, um verlässliche reproduzierbare Ergebnisse wiederzugeben [96, 130, 139].

Physikalische Grundlagen des QLF™: Die Lumineszenz

Lumineszenz ist “die Fähigkeit eines Materials, absorbierte Energie in sichtbares Licht umzuwandeln, wobei Wärmestrahlung nicht als Lumineszenz gilt”. Unterscheiden lässt sich Lumineszenz in Fotolumineszenz und Radiolumineszenz. Dabei entsteht Fotolumineszenz bei Absorption von Licht und Radiolumineszenz bei ionisierender Bestrahlung eines Körpers [140].

Lumineszierende Materialien werden auch als Phosphore bezeichnet. Diese enthalten Lumineszenzzentren (das aktive Element, das die Lumineszenz verursacht), die “durch Energiezufuhr in den angeregten Zustand angehoben werden und bei der Relaxation in den Grundzustand sichtbares Licht emittieren” [140].

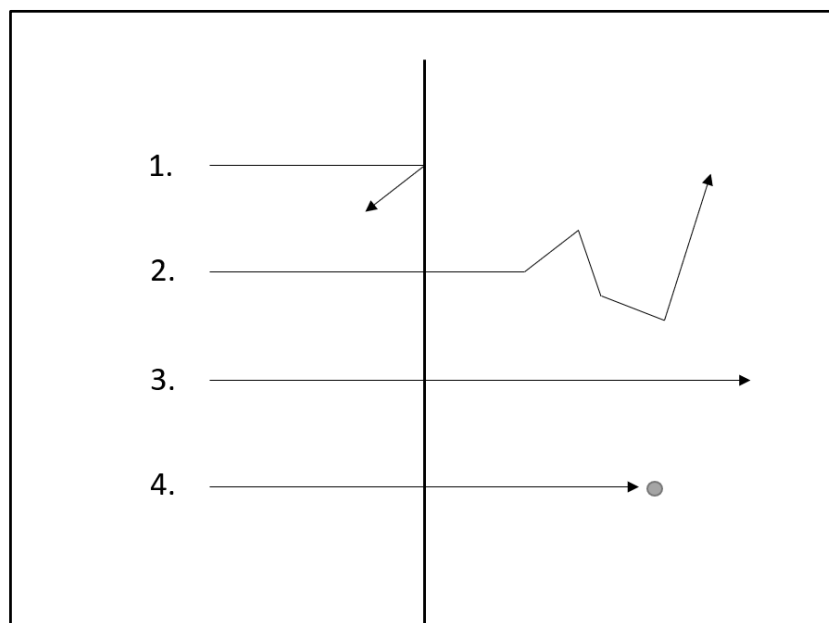


Abbildung 5: Die verschiedenen Reaktionen eines Materials mit Photonen (eigene Darstellung)

Licht (Photonen) kann auf verschiedene Art und Weisen mit dem Zahn interagieren (siehe Abbildung 5):

1. Reflektion
2. Streuung
3. Übertragung
4. Absorption und Umwandlung in Wärme
5. Kombination von 1. bis 4.

Eine weitere Möglichkeit ist die Absorption in Form von Fluoreszenz, wobei Elektronen sich von einem geringeren in einen höheren Energiestatus begeben. Wenn sie zurückfallen, geben sie Licht ab (Fluoreszenz). Das heißt, Fluoreszenz ist das Ergebnis der Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Molekülen im Gewebe (siehe Abbildung 6) [141].

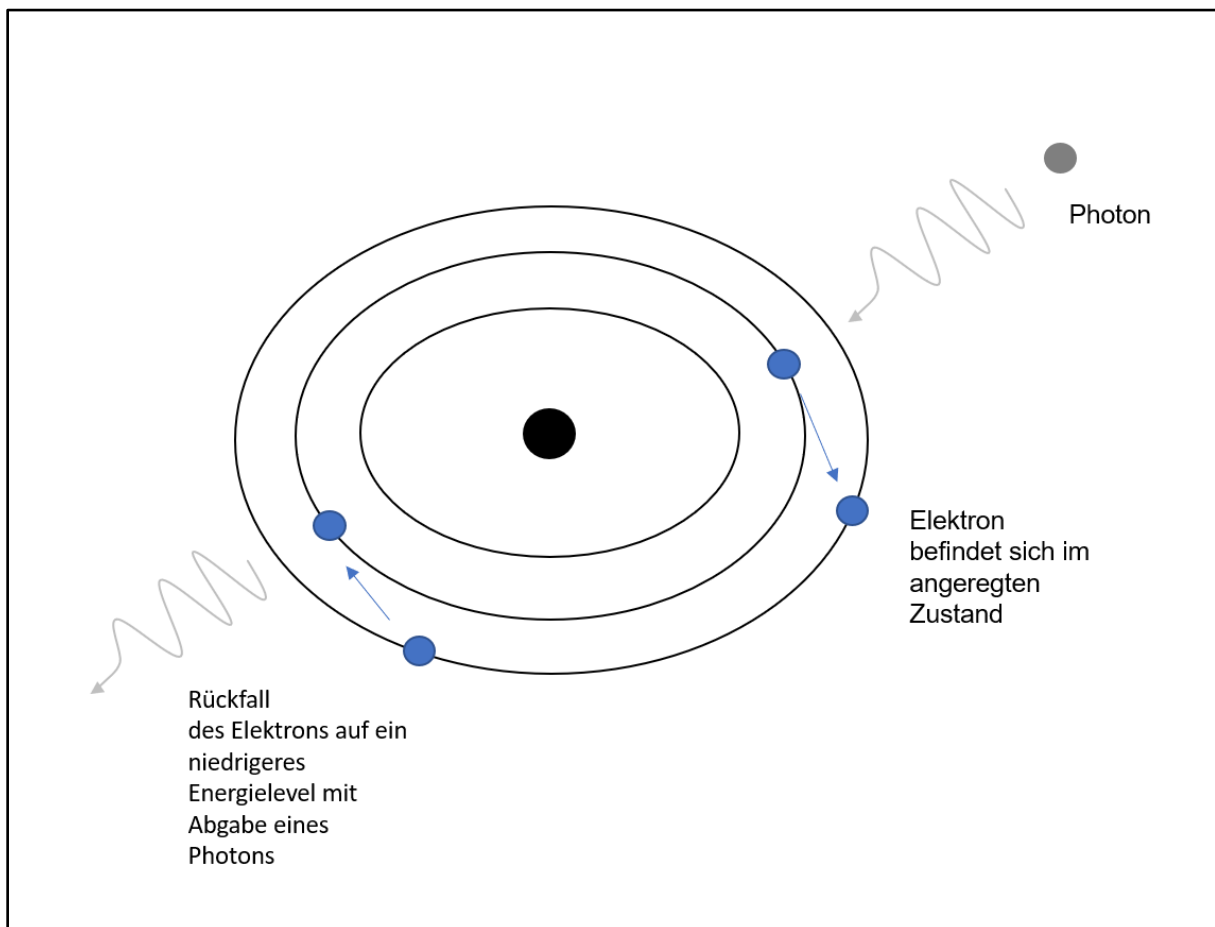


Abbildung 6: Fluoreszenzbildung (eigene Darstellung)

An den Zähnen entsteht diese Fluoreszenz durch Fluorophore (Moleküle oder Teile von Molekülen mit fluoreszierenden Eigenschaften), die im Dentin liegen, wobei die Fluoreszenzstrahlung direkt abhängig ist von der Quantität der Fluorophore [127, 142, 143]. Je nach Ausmaß der Läsion im Bereich der WSL können somit nur wenige der Photonen das Dentin erreichen. Da emittiertes Fluoreszenzlicht auch Reflektion, Streuung und Absorption unterliegt, kann das wenig emittierte Licht, das das Dentin erreicht, im Bereich der Läsion wieder reflektiert, absorbiert oder gebrochen werden. Dies resultiert in sehr geringer Fluoreszenzabgabe (Verschattung als gräulicher Bereich im Bild, siehe Abbildung 8) [127].

WSL haben im Vergleich zu gesundem Zahnschmelz aufgrund der zerstörten/demineralisierten Oberfläche einen erhöhten Streukoeffizienten, der die WSL kreidig und weiß erscheinen lässt. Die Bedeutung der Absorption in diesem Zusammenhang ist eher gering. Braunverfärbungen können von aromatischen Aminosäuren durch Absorption der Photonen entstehen [127, 144].

Bei der QLF™ handelt es sich um ein lichtoptisches Verfahren, das die Läsion durch die Erhöhung des Kontrastes zwischen physiologischem und pathologischem Zahnschmelz als dunkle Fläche auf der fluoreszierenden Zahnoberfläche darstellt [127].

Der QLF-D Biluminator ist mit einer Beleuchtungsröhre mit vier weißen und 12 blauen LED's, die in einem Ring angeordnet sind, ausgestattet. Die Besonderheit hier ist das 60mm Makro-Objektiv. Dieses bietet in Kombination mit dem geringen Abstand zum Mund den optimalen Betrachtungswinkel, um die Zähne auf den CCD-Chip zu projizieren. Der enge Abstand ist notwendig, um die Zähne vor dem Umgebungslicht abschirmen zu können. Fotografien mit und ohne Fluoreszenz sind möglich. Die Bilder werden dann direkt an die Software (Image capture software) digital weitergeleitet (siehe Abbildung 7) [40].

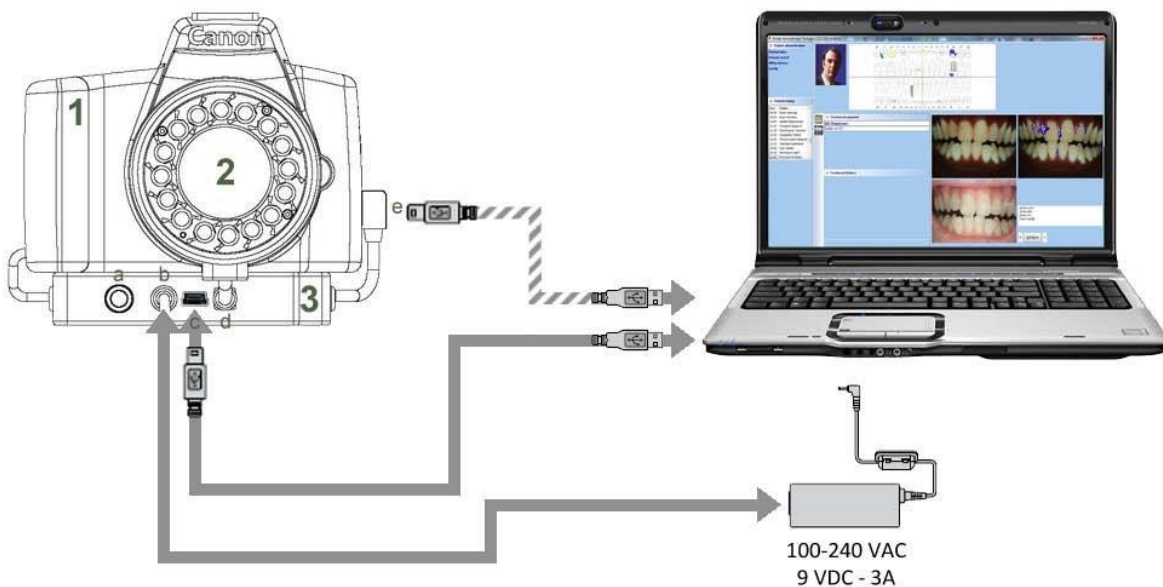
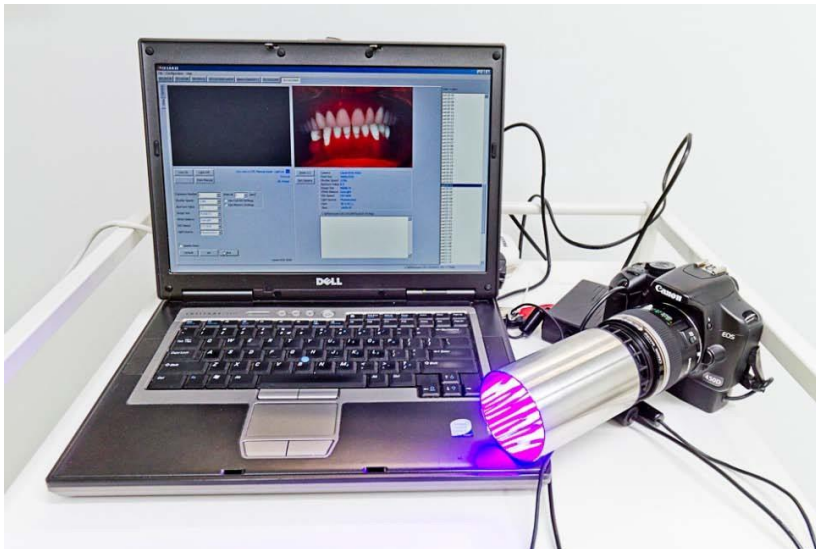


Abbildung 7: Aufbau des Kamerasystems (E. Waller Inspektor Research Systems bv, Amsterdam, Netherlands)

Es kommt während der Aufnahme zu einer Absorption von Licht einer bestimmten Wellenlänge, die in einer anderen Wellenlänge wieder abgegeben wird. Bereiche des Zahnes, die demineralisiert sind, erscheinen als „dunkle Wolken“ oder „dunkle Flecken“, wobei der Verlust der Fluoreszenz mit der Veränderung des Zahnschmelzes durch Demineralisation korreliert. So kommt es zur Darstellung von gesundem und pathologisch verändertem Zahnschmelz (siehe Abbildung 8) [145, 146]. Die Quantifizierung des Ausmaßes der Läsion lässt sich digital mit der Software über eine Rekonstruktion mit grauen Schattierungsstufen durch Vergleich mit dem physiologischen Zahnschmelz bestimmen [127].



Abbildung 8: WSL werden im QLF™ gräulich links/bräunlich rechts dargestellt (Bild links eigene Darstellung, Bild rechts E. Waller Inspektor Research Systems bv, Amsterdam, Netherlands)

Um eine möglichst aussagefähige Auswertung zu erhalten, erfolgt vor der Bildaufnahme eine professionelle Zahnreinigung, die sicherstellt, dass die Oberflächen frei von Verfärbungen und Zahnstein sind. Diese könnten mögliche Läsionen bedecken und somit maskieren. Eine Abdunkelung der Umgebung ist unerlässlich, um reproduzierbar auswertbare Bilder anzufertigen [127, 147]. Während der Aufnahmen ist besonders darauf zu achten, dass dieselbe Ausrichtung der Kamera eingehalten wird. Eine Veränderung der Angulation über 20 Grad kann das Ergebnis der Auswertung falsch positiv oder negativ beeinflussen [148].

Der Vorteil der Nutzung von QLF™ ist, dass es sich um ein nicht-invasives Verfahren handelt. Initiale Läsionen können erfasst und die Progression dieser oder bereits bestehender kariöser Läsionen im Verlauf beurteilt werden. Es erlaubt dem Behandler die genaue Differenzierung, ob präventive oder zahnärztliche Maßnahmen indiziert sind. Das System zeigt eine gute Reproduzierbarkeit und lässt eine Beurteilung des größten Bereiches der Zahnoberfläche, die visuell auf einem Foto erfasst werden kann, zu [127, 139, 149-151]. Eine Beobachtung der Remineralisierung bei Fluoridgabe ist möglich [41].

Die Quantität der detektierten Läsionen mit QLF™ ist höher als bei der visuellen Untersuchung [152, 153].

Während Glattflächenkaries auf Bukkal- oder Oralflächen gut zu erfassen ist, fällt es mit QLF™ aufgrund der Umsetzung der Bilder, der Lichtapplikation und dem Kontakt zum Nachbarzahn schwer, proximale Läsionen im initialen Stadium zu erkennen [127].

2.5.4 Beurteilung von WSL nach dem International Caries Detection and Assessment System (ICDAS)

Verschiedene systematisierte, visuelle, reproduzierbare Diagnostikverfahren beeinflussten die Etablierung des ICDAS:

Ekstrand stufte die Läsionen 1998 während visueller Inspektion in Grade von 1 bis 4 ein. Die Definition der Grade unterschieden die Sichtbarkeit einer Opazität nach Trocknung des Zahnes (Grad 1 und 1a) und bei nasser Oberfläche (Grad 2 und 2a) [106]. Nyvad veröffentlichte 1999 die Einteilung kariöser Läsionen in zehn Codes (0 bis 9). Die Sondierung erlaubt eine Aussage über die Aktivität der Läsion. Die Kriterien berücksichtigen Läsionen an Restaurationen (Code 7 bis 9) [154].

ICDAS fasste diese Klassifikationssysteme erstmals 2002 in Schottland in einem definierten Standard zusammen. Dies hatte den Vorteil, dass Studien einheitlicher arbeiteten und wissenschaftliche Forschungsergebnisse untereinander vergleichbar waren. Die Idee beinhaltete auch die Beurteilung von nicht kavitierten Läsionen, den WSL. Das System wurde 2005 überarbeitet: Die Kariescodes 3 und 4 wurden getauscht, da das Ausmaß der Dentinläsionen mit oder ohne Schmelzeinbruch in der histologischen Ausdehnung größer war als bei Verlust der Schmelzstruktur. Die Einteilung besteht aus Code 0 bis 6 [103, 155-158].

Code 1 und 2 beziehen sich auf die Beurteilung von Demineralisationen, die sich im Folgenden unterscheiden: Eine Code-1-Veränderung lässt sich im Gegensatz zu Code 2 nur unter Trocknung detektieren. Dies beruht auf der Tatsache unterschiedlicher Refraktionsindizes von Luft (1,0), Wasser (1,33) und Zahnschmelz (1,62). Das heißt, dass die Differenz von Luft zu Wasser geringer und deswegen die Läsion erst unter Trocknung erkennbar ist. Es ist besonders wichtig Code 1-Läsionen zu detektieren, da hier die Möglichkeit der Remineralisation im Gegensatz zu Code 2-Läsionen noch besteht. Gerade in heutiger Zeit, in der die Prävalenz kariöser Läsionen in den letzten Jahrzehnten abgenommen hat, ist die Feststellung initialer Läsionen zur Prävention von großer Bedeutung [155, 159-165].

Zur gleichen Zeit wurde neben ICDAS das universelle visuelle Scoring System (UniViSS) mit einem dreistufigen Vorgehen zur Detektion und Beschreibung kariöser Läsionen entwickelt: 1. Detektion der Läsion und Beurteilung des Schweregrades, 2. Einschätzung der Verfärbung und 3. der Aktivität bezogen auf Variablen wie Alter, MUHY, unter anderem [166, 167].

2.6 White Spot Läsionen in der Multibrackettherapie

Der Zusammenhang zwischen der Multibrackettherapie (MBTherapie) und einer höheren Inzidenz von WSL wurde bereits in mehreren Studien publiziert [26, 27, 29, 88, 118]. Ursächlich hierfür ist die notwendige Insertion von Brackets, Bänder und Bögen, die Retentionsflächen für Plaque darstellen. Zähne im Oberkiefer, v.a. die lateralen Inzisiven und Canini, sind mehr betroffen als die Zähne im Unterkiefer. Die tägliche MUHY des Patienten wird daher zeitaufwändiger, ist schwerer durchzuführen, hat aber so einen großen Einfluss auf die Entwicklung von WSL [29, 30, 168]. Weitere Studien, wie die von Øgaard et al., bestätigten diese Beobachtung. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die WSL nach Entfernung der Apparatur persistieren können [21, 24, 169].

In einigen Publikationen konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Auftreten von WSL festgestellt werden [30, 170]. Dagegen zeigten andere einen höheren Schweregrad oder eine erhöhte Detektion von WSL bei männlichen Patienten [29, 171].

Bukkalkflächen, an denen ein Bracket befestigt ist, sind anfälliger für Progression und Etablierung solcher Läsionen als der linguale Bereich, insbesondere wenn prätherapeutisch bereits ein WSL existiert [90, 172].

Nach Entfernung einer MBA kommt es meist zu einer Verbesserung der demineralisierten Flächen [25].

Die Anzahl auftretender WSL im Bereich der lingualen MBTherapie ist im Vergleich zur vestibulären um das zehnfache reduziert [173-175].

3 Material und Methoden

Das Forschungsvorhaben wurde in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz, Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten, Augustusplatz 2, 55131 Mainz sowie in der Fachpraxis für unsichtbare Kieferorthopädie, Dr. T. Drechsler, Wilhelmstr. 40, 65183 Wiesbaden durchgeführt.

3.1 Probanden

Die Genehmigung erfolgte über die Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz (Ethikantrag Nr.: 837.326.14 (9565)).

In der prospektiv klinischen Studie wurden 46 Patienten in einem Alter von 11 bis 17 Jahren von Mai 2015 bis Juli 2020 untersucht und die Ergebnisse aus den einzelnen Visiten ausgewertet und verglichen. 10 Patienten wurden in der Poliklinik für Kieferorthopädie, Universitätsmedizin Mainz, und 36 Patienten in der Fachpraxis für Kieferorthopädie Dr. Drechsler in Wiesbaden untersucht.

Das Patientenkollektiv unterteilte sich in 21 weibliche und 25 männliche Teilnehmer mit einem durchschnittlichen Alter von $13,4 \pm 1,9$ Jahren (weiblich $13,2 \pm 1,8$ Jahre, männlich $13,6 \pm 2,0$ Jahre) vor aktiver KFO Behandlung..

Bei allen Patienten wurde eine Alignertherapie (Invisalign® Teen) im Ober- als auch im Unterkiefer geplant.

3.1.1 Einschlusskriterien

Alle Teilnehmer der Studie mussten folgende Kriterien erfüllen:

- Ausschluss einer vorangegangenen KFO Behandlung mit MBA
- Existenz von mindestens 16 natürlichen Zähnen einschließlich der acht Frontzähne zur fazialen und lingualen Beurteilung
- Gute parodontale Gesundheit
- Guter Allgemeinzustand des Patienten mit einer bestehenden Zahnstellungs-/Bissanomalie

Die Teilnahme fand unabhängig von Geschlecht oder ethnischer Zugehörigkeit statt.

3.1.2 Ausschlusskriterien

Im Folgenden eine Auflistung der Ausschlusskriterien:

- Patienten, die keine KFO Behandlung benötigen
- Schwere parodontale Erkrankung (Zahnbeweglichkeit, Rezessionen, schwere Gingivitis oder aktive parodontologische Behandlung)
- Allergien zu Färbemitteln/Farbstoffen, die in kosmetischen Produkten oder Nahrungsmitteln vorhanden sind
- Mehr als drei kariöse Defekte
- Einnahme von Antibiotika (nach zwei Wochen vor Studienbeginn oder vor einer der Visiten)
- Tragen eines Herzschrittmachers
- Schwangerschaft
- Bei Verdacht auf fehlende Compliance
- Bei Inanspruchnahme professioneller Zahnreinigungen außerhalb der Studie

Es durften keine Einwände des Hauszahnarztes vorliegen. Patienten mit chronischen Erkrankungen, Syndromen oder Allgemeinerkrankungen wurden von der Studie ausgeschlossen.

3.1.3 Fortbestandskriterien

Die Patienten wurden in allen Visiten über die Studienkriterien wiederholt aufgeklärt.

Vor Beginn wurden folgende Punkte mündlich abgefragt:

- Allgemeiner Gesundheitszustand
- Einnahme von Antibiotika bis zwei Wochen vor der Visite
- Professionelle Zahnreinigung außerhalb der Studie
- Bestehende Schwangerschaft
- Teilnahme an anderen Studien
- Verletzungen und/oder Entzündungen im Mundraum

Jeder dieser Punkte führte bei Vorliegen zum Ausschluss aus der Studie.

3.2 Studiendesign

Die Studie beinhaltete fünf Visiten, die montags bis freitags zwischen 8 und 18 Uhr stattfanden. Es erfolgte eine direkte Erhebung am Patienten vor und während Aligner-Therapie an definierten Zeitpunkten (T):

- | | |
|----------------|---|
| Visite 1 (T0): | Vor Erhalt der 1. und 2. Aligner |
| Visite 2 (T1): | Vor Anbringen der Attachments, vier Wochen nach dem Erhalt der ersten Aligner |
| Visite 3 (T2): | Sechs Wochen nach Anbringen der Attachments, 10 Wochen nach Erhalt der ersten Aligner |
| Visite 4 (T3): | Sechs Monate nach Erhalt der ersten Aligner |
| Visite 5 (T4): | Ein Jahr nach Erhalt der ersten Aligner |

In Tabelle 1 sind die Abläufe der einzelnen Visiten zu den unterschiedlichen Zeitpunkten T0 bis T4 aufgelistet.

Tabelle 1: Ablauf der einzelnen Visiten (T0 bis T4)

ABLAUF	VISITE	VISITE	VISITE	VISITE	VISITE
	1	2	3	4	5
EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG	X				
ANAMNESEERHEBUNG	X				
EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN	X				
PRÜFUNG DER FORTBESTANDS- KRITERIEN		X	X	X	X
INTRAORALE INSPEKTION	X	X	X	X	X
MUNDHYGIENEINSTRUKTIONEN	X				
PROFESSIONELLE ZAHNREINIGUNG	X	X	X	X	X
REZEPT FÜR ELMEX® GELEE	X			X	X
UNTERSUCHUNGSMETHODE 1: EDI	X	X	X	X	X
UNTERSUCHUNGS-METHODE 2: PHOTOGRAPHIEN ZUR AUSWERTUNG DES QLF™	X	X	X	X	X
BEGINN DER ALIGNER-THERAPIE	X				
BONDING DER ATTACHMENTS		X			
VERLAUFSKONTROLLE		X	X	X	X

Visite 1 (T0)

Vor Studienbeginn erfolgte die allgemeine Aufklärung des Patienten und der Eltern in schriftlicher und mündlicher Form durch einen Fachzahnarzt für Kieferorthopädie. Es wurden die Einverständniserklärungen von Eltern und Patienten unterschrieben, die Anamnese erhoben und die Ein- und Ausschlusskriterien abgefragt. Es folgte eine intraorale Inspektion mit zahnärztlichem Spiegel und Licht. Alle eventuell vorhandenen Veränderungen im gesamten Bereich der Mundhöhle und auf den Oberflächen der Zähne wurden nach Lokalisation und Ausmaß dokumentiert. Nachfolgend wurde eine professionelle Zahnreinigung zur mechanischen Entfernung von supragingivaler Plaque und Zahnstein mit anschließender Politur (Zircate® Prophy Paste, Dentsply De Trey GmbH, Konstanz, Deutschland) durchgeführt.

Standardisierte MUHY-Instruktionen wurden schriftlich (siehe Appendix – Abbildung 27) und mündlich mit Empfehlung und Anleitung von Interdentalbürsten und/oder Zahnseide erteilt. Der Patient wurde instruiert wöchentliche Fluoridierungsmaßnahmen mit Elmex® Gelee (GABA, Lörrach, Deutschland) durchzuführen.

Unter der Nutzung der visuellen Inspektionstechnik EDI nach Banks & Richmond [117] wurden bereits etablierte WSL dokumentiert. Im Anschluss wurden die Aufnahmen für die Auswertung der QLF™ (E. Waller Inspektor Research Systems bv, Amsterdam, Netherlands) angefertigt. Am Ende des ersten Termines erfolgte dann die Insertion und Kontrolle der Passung der ersten Schienen und dem Patienten wurden die ersten zwei nicht aktiven Aligner (je zwei für OK/UK für jeweils zwei Wochen) für vier Wochen zur Gewöhnung mitgegeben.

Visite 2 (T1)

Nach vier Wochen wurden vor der Visite (T1) die Fortbestandskriterien abgefragt. Es erfolgte eine Remotivation der MUHY- und Fluoridierungsinstruktionen. Danach wurde eine professionelle Zahnreinigung erneut durchgeführt. Nach zahnärztlicher visueller Befundung wurde der EDI nach Banks & Richmond und die Aufnahmen mit QLF™ erhoben.

Es folgte die zahnärztliche Kontrolle und Klebung der Attachments. Dem Patienten wurden dann die ersten aktiven Aligner mitgegeben.

Visite 3 (T2)

Sechs Wochen nach Anbringung der Attachments fand die Visite 3 statt. Der Ablauf der Befundaufnahme war wie zum t T1.

Visite 4 (T3)

Sechs Monate nach Erhalten der ersten Aligner wurde Visite 4 durchgeführt. Der Ablauf der Befundaufnahme war wie T1 und T2. Ein weiteres Rezept für Elmex® Gelee wurde dem Patienten mitgegeben.

Visite 5 (T4)

Ein Jahr nach Erhalt der ersten Aligner fand die letzte Visite statt. Kein Patient hatte zu diesem Zeitpunkt die Behandlung beendet. Der Ablauf der Befundaufnahme war wie bei T1 bis T3.

3.3 Enamel Decalcification Index nach Banks & Richmond

Der EDI beschreibt das Ausmaß der Demineralisation auf der Oberfläche jedes zu beurteilenden Zahnes. In der Studie wurde die Zahnoberfläche, oral oder vestibulär, in vier Bereiche unterteilt. Die Beurteilung der vier Quadranten erfolgte in folgender Reihenfolge: gingival, distal, mesial, inzisal/Okklusal (siehe Abbildung 9).

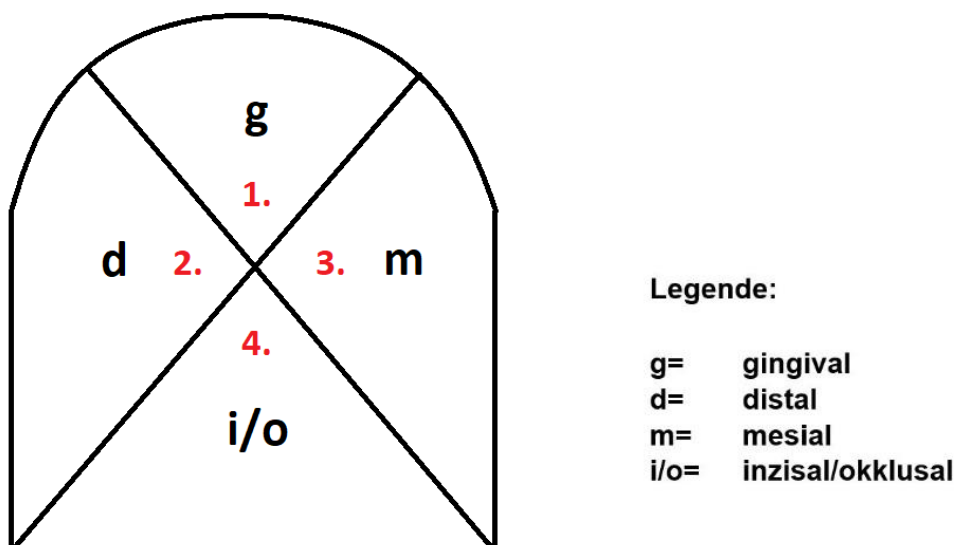


Abbildung 9: Einteilung der Zahnoberfläche und Reihenfolge der Bewertung der Quadranten: Enamel Decalcification Index (EDI) nach Banks und Richmond (eigene Darstellung)

Es erfolgte die Zuweisung einer Gradzahl (0 bis 3, siehe Abbildung 10) zu jedem Quadranten mit anschließender Dokumentation. Beurteilt wurden die Labial- sowie Palatinal- oder Lingualflächen der Front-, Eckzähne und der beiden Prämolaren im Ober- und Unterkiefer.

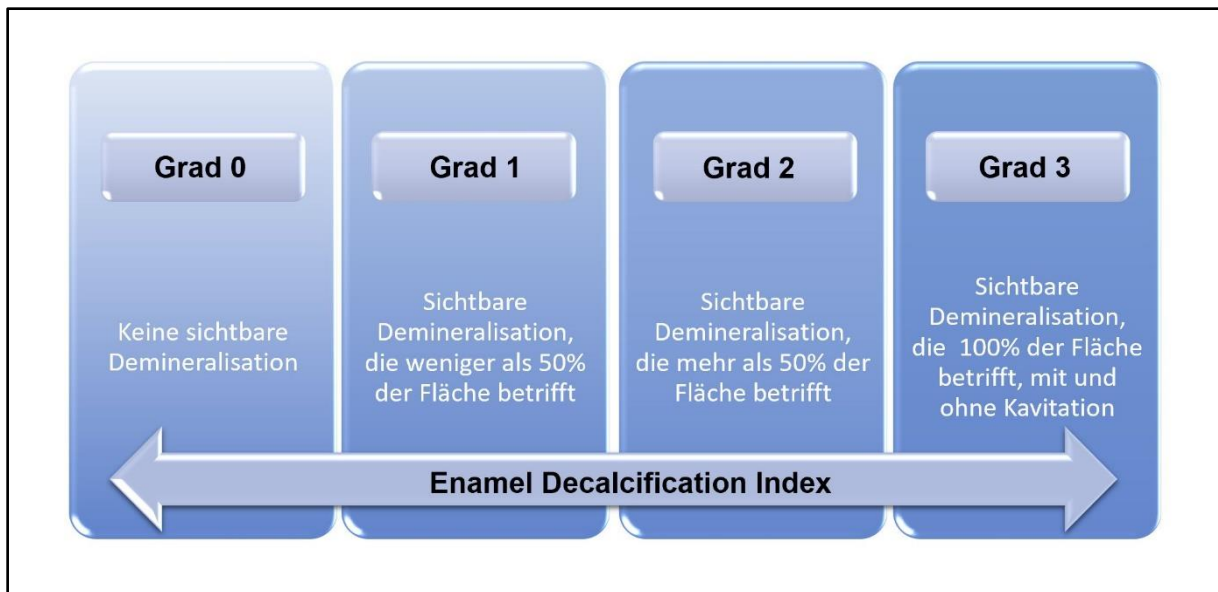


Abbildung 10: Schweregradeinteilung des EDI nach Banks & Richmond (eigene Darstellung) [117]

Vor Beurteilung der einzelnen Flächen musste die Oberfläche frei von Plaque, Zahnstein, Speichel und Verfärbungen sein. Die Befundung der Zahnflächen wurde ohne zahnärztliche Lichtquelle durchgeführt und erfolgte vom 1. zum 4. Quadranten, erst vestibulär dann oral (Zahn 15 bis 25 und 35 bis 45). Bereiche auf der Zahnoberfläche, die durch ein oder mehrere Attachments bedeckt waren, wurden als „nicht beurteilbar“ eingestuft.

3.4 QLF™

Zur Beurteilung der Labial- und Oralflächen der Frontzähne und der Labialflächen der Prämolaren wurden bei den Teilnehmern der Studie unter Nutzung zweier Kamerasysteme (siehe Abbildung 11 und 12) in jeder Visite fünf Doppelbilder angefertigt:

1. Ein Doppelbild: Frontal (zusammengebissen mit Interinzisalkontakt zur Beurteilung der Zähne 13-23, 33-43)
2. Zwei Doppelbilder: Seitlich (rechts und links, zusammengebissen zur Beurteilung der Zähne 15-13, 23-25, 35-33, 43-35)
3. Zwei Doppelbilder: Palatinale/linguale Frontaufnahme (Zähne 13-23, 33-43)

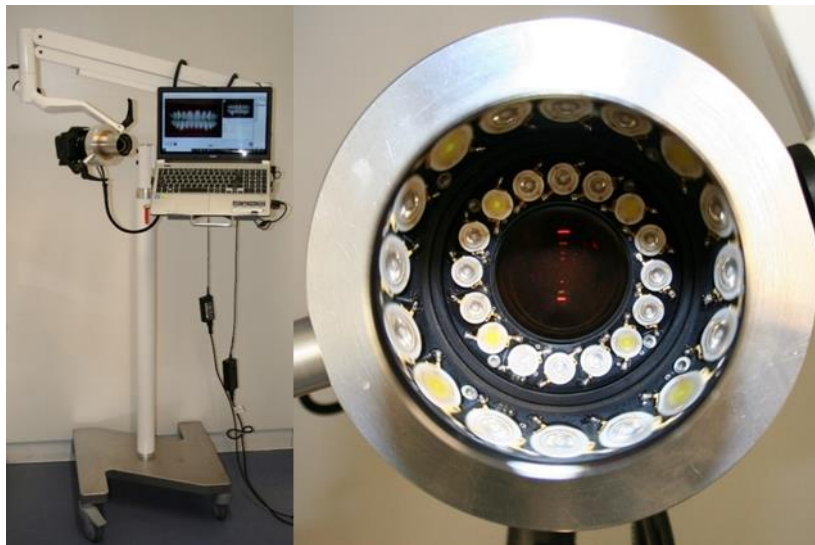


Abbildung 11: Verwendetes Kamerasystem in der Praxis Dr. Drechsler in Wiesbaden (Canon EOS 600D mit Acer Aspire V3-572PG) (eigene Darstellung)



Abbildung 12: Verwendetes Kamerasystem im Fachbereich Kieferorthopädie, Universitätsmedizin Mainz (Canon 550D mit HP Probook 4520s, eigene Darstellung)

Vor jeder Aufnahme wurde sichergestellt, dass der Patient eine stabile Position einnimmt, die Zahnbereiche vollständig von der Kamera erfasst wurden und die Oberfläche frei von Speichelüberlagerungen war, um falsch negative Aussagen durch Maskierung der WSL zu vermeiden.

Die frontal und lateral aufgenommenen Bilder wurden in Interinzisalkontakt aufgenommen, um die vestibulären Zahnflächen der Ober- und Unterkieferinzisiven vollständig einsehen zu können. Für die seitlichen Aufnahmen wurde der Kopf des Patienten zur Gegenseite der abzubildenden Zähne gedreht. Unter Zug eines Wangenretraktors in eine posteriokraniale Richtung wurden die seitlichen Zähne dargestellt.

Die lingualen/palatinalen Zahnoberflächen wurden über einen Intraoralspiegel abfotografiert und das Bild später mit der Software gespiegelt. Alle Aufnahmen erfolgten in einem Abstand von 20cm von der Kamera zu den darzustellenden Zahnbereichen.

Die Kamera führt immer zwei Aufnahmen direkt hintereinander aus, ein Standard-Lichtbild sowie ein Bild mit fluoreszierendem Licht. Zur Fokussierung wurden bei frontalen Bildern die Eckzähne, bei seitlichen die Prämolaren und bei oralen die zentralen Inzisivi herangezogen. Abbildung 13 zeigt eine Doppelbildersequenz, die in einer Visite aufgenommen wurde.



Abbildung 13: Bildersequenz, oben die regulären Fotos, unten mit fluoreszierendem Licht, innerhalb einer Visite (eigene Darstellung)

Nach Aufnahme erfolgte eine direkte Kontrolle der Qualität der einzelnen Bilder. Hierbei wurde darauf geachtet, dass keine Verfärbungen, Plaque, Zahnstein oder Speichel die Auswertung verfälschen. Abbildung 14 zeigt ein Beispiel der Unterschiede der regulären und der Aufnahmen mit fluoreszierendem Licht einer WSL an Zahn 12.

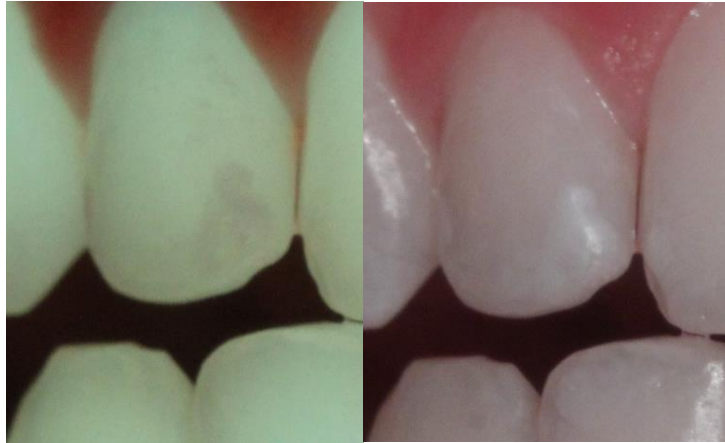


Abbildung 14: WSL mesial an Zahn 12: Rechts visuell ersichtlich (Standardbild), links mit fluoreszierendem Licht aufgenommen (eigene Darstellung)

Die Auswertung erfolgte über die Image Analysis Software QA2 Version 1.27.0.0 (Inspektor Research Systems Amsterdam, Niederlande), die die Detektion und Quantifizierung von WSL erlaubt.

Vorbereitung der Aufnahmen:

Als erstes wurden die Bilder im Programm mittig zentriert, wenn notwendig gespiegelt, gedreht und auf eine standardisierte Größe angepasst, um einen Vergleich in der Auswertung zu gewährleisten.

Detektion von WSL

Nach Ausrichtung wurde eine Inspektion jeder der zu beurteilenden Zahnflächen durchgeführt und Verdunkelungen (graue oder bräunliche Bereiche/WSL) dokumentiert. Jedes dieser WSL wurde dann einzeln in der Software analysiert (siehe Abbildung 15).

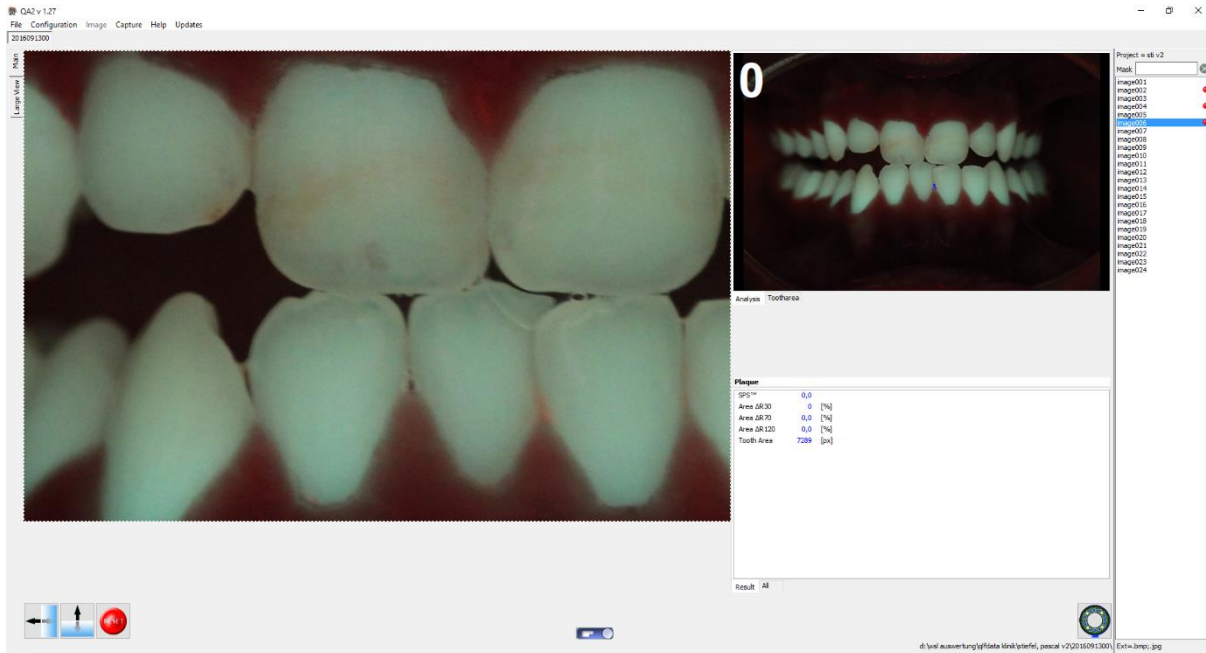


Abbildung 15: QLF™-Auswertung: Darstellung der WSL vor Analyse (Zahn 11, eigene Darstellung)

Auswertung der einzelnen WSL

Bei einer zu analysierenden WSL wurde vom Untersucher manuell eine Kontur gelegt, die nahe der Läsion, aber in der gesunden Zahnhartsubstanz liegt (siehe Abbildung 16). Dabei werden Punkte, die nicht im physiologischen Schmelz liegen, deaktiviert (Referenz für die Auswertung der Software, z.B. im Bereich des mesialen oder distalen Interdentalraums oder im Übergang zur Gingiva-Zahngrenze). Diese Bereiche wurden von der Software in der Analyse/Rückrechnung nicht berücksichtigt.

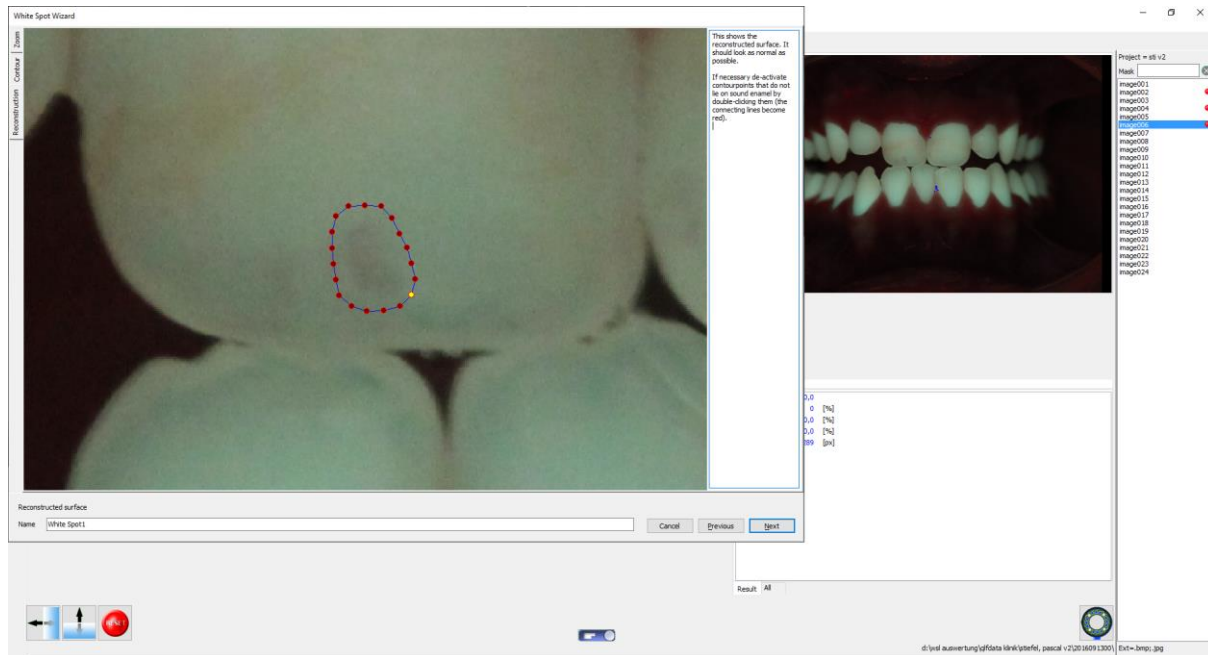


Abbildung 16: QLF™-Auswertung: Kontur um die WSL (eigene Darstellung)

Nach der richtigen Einstellung rekonstruiert die Software die Oberfläche (virtuelle Wiederherstellung der physiologischen Oberfläche des Zahnschmelzes) und ermittelt einen Referenzpunkt. Die Parameter zur Festlegung des Referenzpunktes errechnen sich durch die manuell eingestellten aktivierten Flächen der Kontur (physiologischer Zahnschmelz). So wird jedem Pixel innerhalb der WSL ein neuer Wert zugeordnet. Diese Pixelwerte werden dann mit dem Durchschnittswert aller Pixel im Referenzbereich verglichen.

Die unterschiedlichen Grauschattierungen korrespondieren mit dem Fluoreszenzverlust und lassen so auf die Tiefe und Ausmaß der WSL schließen (siehe Abbildung 17).

Nach der Bestätigung der Auswahl wird in einer Tabelle rechts unten im Bild folgende Einzelwerte angezeigt (siehe Abbildung 18):

1. **ΔF** (Einheit: %):

Prozentanteil des Fluoreszenzverlustes von physiologischem Zahnschmelz, Bezug zur Tiefe der Läsion

2. **ΔF_{max}** . (Einheit: %):

Höchster Wert des Fluoreszenzverlustes im Bereich der White Spot Läsion (Maximalwert)

3. ΔQ (Einheit: %/px²):

Prozentanteil des Fluoreszenzverlustes von physiologischem Zahnschmelz mal die Fläche, Bezug zum Volumen

4. **WS Area** (Symbol: $\Delta\Delta F$, Einheit: px²):

Fläche mit ΔF gleich oder kleiner als der spezifischer Schwellenwert von ΔF (Standard -5%)

Im Allgemeinen wird die Fläche in Pixel² (px²) angezeigt. Durch Kalibrierung kann dieser Wert in mm² umgerechnet werden.

Die Ergebnisse werden zur Evaluation der Veränderungen im Verlauf der Behandlung mit ihrem zugehörigen Zeitpunkten (T= 0-5) gespeichert.

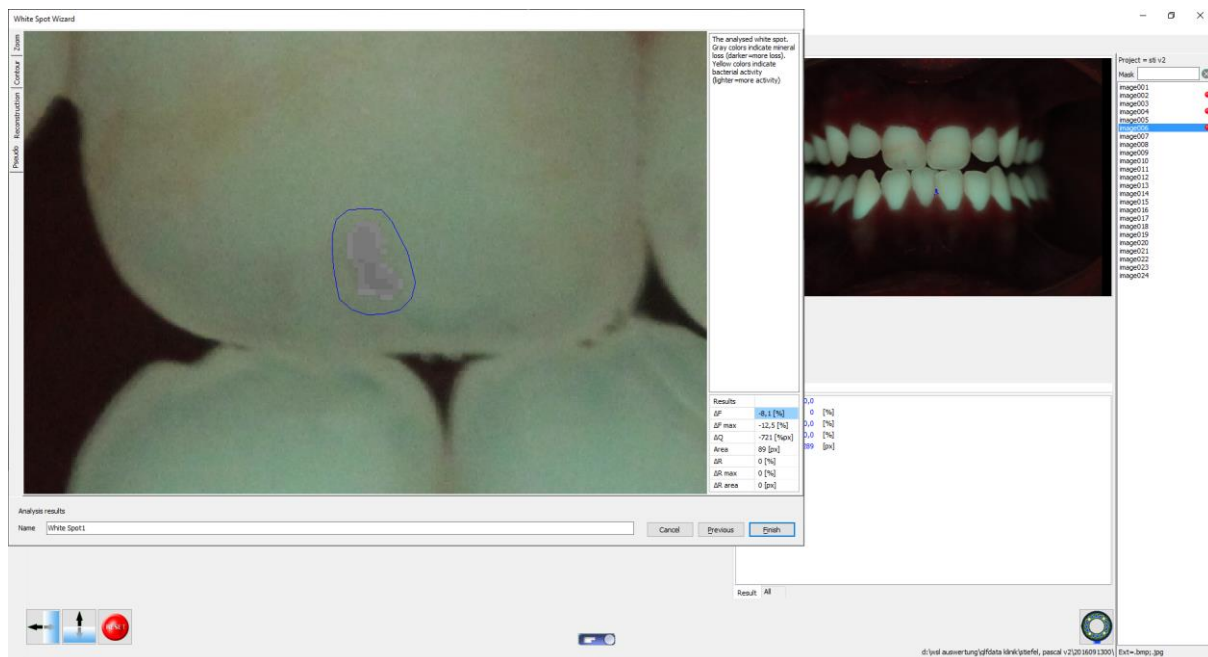


Abbildung 17: QLF™-Auswertung: Die grauen Schattierungen bezeichnen die WSL, je dunkler je tiefer die WSL (eigene Darstellung)

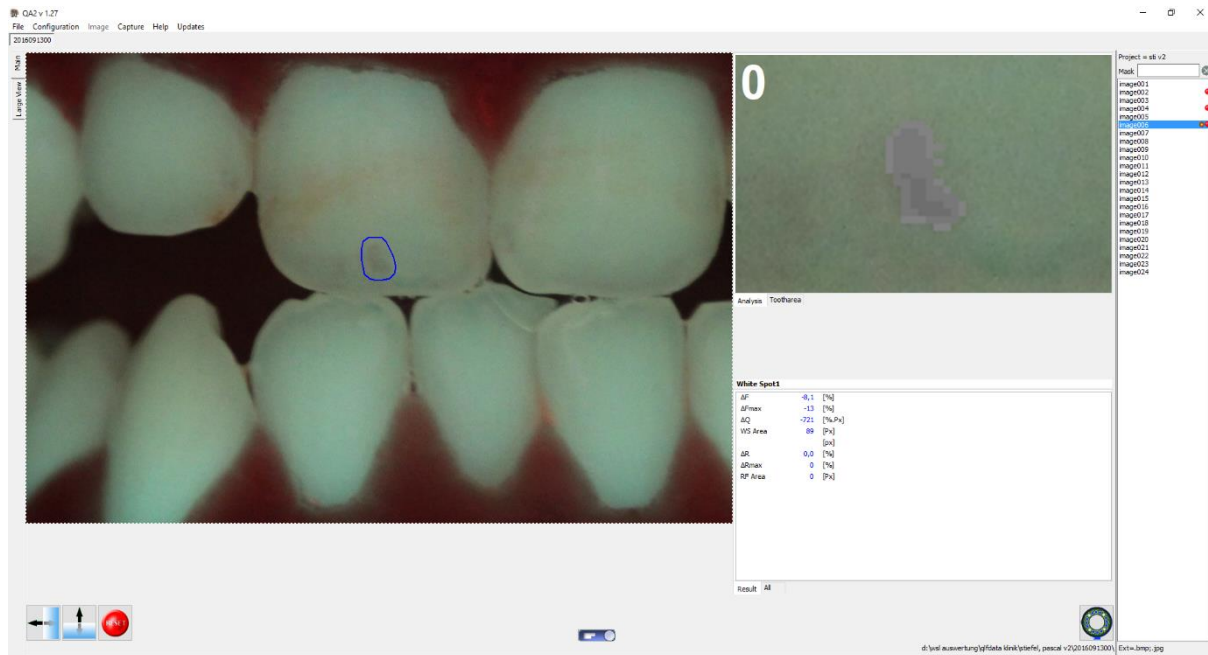


Abbildung 18: QLF™-Auswertung: Analysierter WSL mit Tabelle (eigene Darstellung)

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte unter Nutzung der SAS-Software (Version 9.4 für Windows, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA) und Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA).

Die Fragestellungen wurden nach folgendem Schema analysiert und ausgewertet:

- Prävalenz der WSL zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4
 - Ergebnisse der Befundung (visuell-taktil) mit EDI
 - Messung der Prävalenz nach Teilzahnflächen (Quadranten)
 - Auswertung nach Prävalenz der Einzelzähne
 - Über Analyse der QLF™- Bilder
 - Auswertung nach Prävalenz der Einzelzähne
- Verteilung der Prävalenz nach Geschlecht
- Inzidenz der WSL mit EDI und QLF™ zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4

- Verlauf der Messungen der QLF™-Werte (ΔF , ΔF_{\max} , ΔQ , $A\Delta F$) zu den Zeitpunkten T0 bis T4
- EDI und QLF™ im Vergleich (Cohen´s Kappa Koeffizient)
- Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC)

Cohen´s Kappa-Koeffizient

Zur Beurteilung der Korrelation beider Verfahren, EDI und die QLF™, wurde der der Cohen´s Kappa-Koeffizient herangezogen. Dieser wurde für alle Untersuchungszeitpunkte T0-4 bestimmt und zusammengefasst.

Der Vergleich beider Untersuchungsmethoden erfolgte ohne die Berücksichtigung der oralen Zahnflächen der ersten und zweiten Prämolaren, da diese mit der QLF™ nicht dokumentiert wurden.

Der κ -Koeffizient wird über folgende Gleichung errechnet:

$$\kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e}$$

p_0 = Gemessener Übereinstimmungswert beider Methoden

p_e = Anteil der zufällig erwarteten Übereinstimmungen

Der Kappa-Koeffizient kann Werte von 1 bis -1 annehmen, die eine Aussage über die Übereinstimmung treffen. Hierbei steht „1“ für die komplette Übereinstimmung beider Methoden, beide Methoden kommen zum gleichen Ergebnis. Beträgt der Kappa-Koeffizient „0“ liegen die übereinstimmenden Urteile entsprechend der Zufallserwartung und bei negativem Wert darunter (siehe Tabelle 2) [176, 177].

Tabelle 2: Grad der Übereinstimmung: Kappa-Wert und Bedeutung [176]

KAPPA-WERTE	BEURTEILUNG DER ÜBEREINSTIMMUNG
<0,2	Schwach
0,21-0,4	Leicht
0,41-0,6	Mittelmäßig
0,61-0,8	Gut
0,81-1,0	Sehr gut

Intrarater-Reliabilität

Zur Kontrolle der Intrarater-Reliabilität für die Analyse der QLFTM-Aufnahmen wurde eine definierte Menge an zufällig ausgewählten Patienten zur Bestimmung des Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) von einem weiteren Untersucher erneut ausgewertet und mit den vorherigen Werten verglichen.

Der ICC dient zur Quantifizierung der Übereinstimmung zwischen zwei Ratern, in diesem Fall in Bezug auf die Untersuchung einer Methode, und stellt damit einen Indikator der Reliabilität der Aussage dar.

Die Werte des ICC liegen in einem Spektrum von 0 bis 1. Dabei werden Werte, die größer gleich 0,7 sind als eine gute Übereinstimmung eingestuft [176, 178].

Zur mathematischen Bestimmung des ICC müssen folgende Variablen berücksichtigt werden:

$$ICC = \frac{A}{A + B}$$

A: Varianz zwischen den Beobachtungsfällen

B: Fehlervarianz

4 Ergebnisse

4.1 Probanden

Insgesamt wurden 46 Teilnehmer für diese Studie untersucht. Die Visiten wurden ausnahmslos und entsprechend dem Studienkonzept wahrgenommen. Alle Teilnehmer entstammten kaukasischer Herkunft (100%).

Die demografischen Daten sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Darstellung der Verteilung des Alters, der ethnischen Zugehörigkeit und des Geschlechts

Alter (in Jahren)	N=46	
Mittelwert	14	
SD	1,8	
Minimum	11,1	
Maximum	17,3	
Ethnische Zugehörigkeit	Häufigkeit	Prozent
Kaukasisch	46	100%
GESAMT (n)	46	100%
Geschlecht	Häufigkeit	Prozent
Männlich	25	54,4%
Weiblich	21	45,7%
GESAMT (n)	46	100%
SD: Standardabweichung		

4.2 Prävalenz der White Spot Läsionen

4.2.1 Prävalenz bezogen auf das Geschlecht

Von den 46 Patienten waren 45,65% weiblich (n=21) und 54,35% männlich (n=25). In beiden Untersuchungsmethoden zeigten sich bei den männlichen Teilnehmern signifikant mehr WSL als bei den weiblichen.

Prätherapeutisch wurden mit QLF™ 34% (n=16) der Zähne bei weiblichen Teilnehmern und 66% bei männlichen (n=31) mit mindestens einer WSL befundet. Im Verlauf von T0 zu T4 blieb die Verteilung weitgehend konstant mit 31,4% der betroffenen Zähne bei weiblichen und 68,6% bei männlichen Patienten (siehe Abbildung 19).

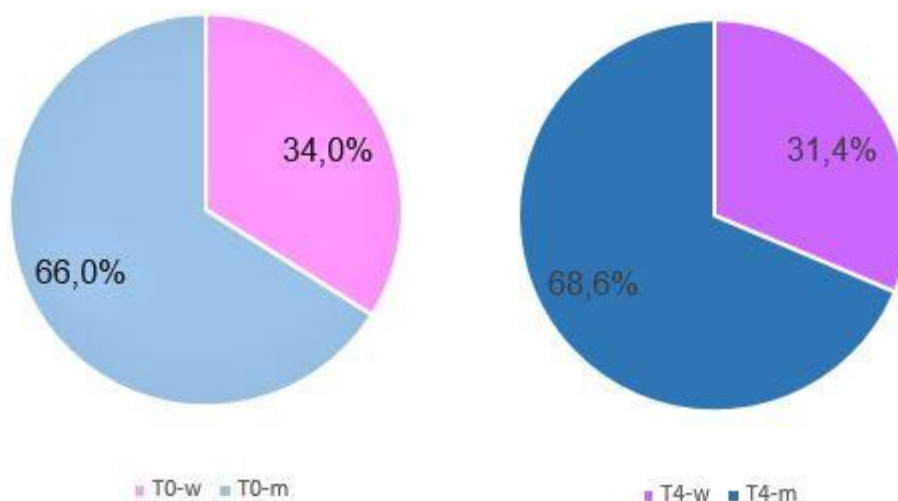


Abbildung 19: QLF™: Prozentuale Verteilung von betroffenen Zähnen auf das Geschlecht zum Zeitpunkt T0 und T4

4.2.2 Prävalenz WSL durch visuelle Inspektionstechnik

Es wurden von T0 bis T4 insgesamt 36.800 Quadranten bei insgesamt 9200 Zahnoberflächen (vestibulär und oral) beurteilt.

Prävalenz: Teilzahnflächen

Insgesamt wurden zu Beginn (T0) 43 betroffene Teilflächen mit Demineralisationen diagnostiziert, 0,1% der Quadranten, nach einem Jahr nur noch 40 (T4). Der Gesamtwert verhielt sich leicht rückläufig.

Die befundeten Läsionsbereiche lagen alle in einer Größenordnung von Grad 1 (<50% der Fläche) vor. Zahnflächen ohne positiven Befund wurden als Grad 0 eingestuft. Innerhalb der Studie wurden Grad 3 und 4 nicht detektiert.

Vestibulär inzisal zeigten mit 34,9% die meisten Demineralisationen (n=15). Weitere WSL wurden vestibulär distal 16,3% (n=7), mesial mit 23,3% (n=10) und zervikal mit 20,9% (n=9) detektiert. Eine geringe Anzahl wurde im Bereich der oral inzisalen Anteile festgestellt mit 4,7% (n=2). Im Verlauf der Behandlung zeigten die Ergebnisse nach einem Jahr nur geringe Veränderungen im Vergleich zum Befund vor Beginn der Therapie. Die vestibulären Zahnflächen waren von mehr Prävalenzen betroffen als die oralen (siehe Abbildung 20 und 21).

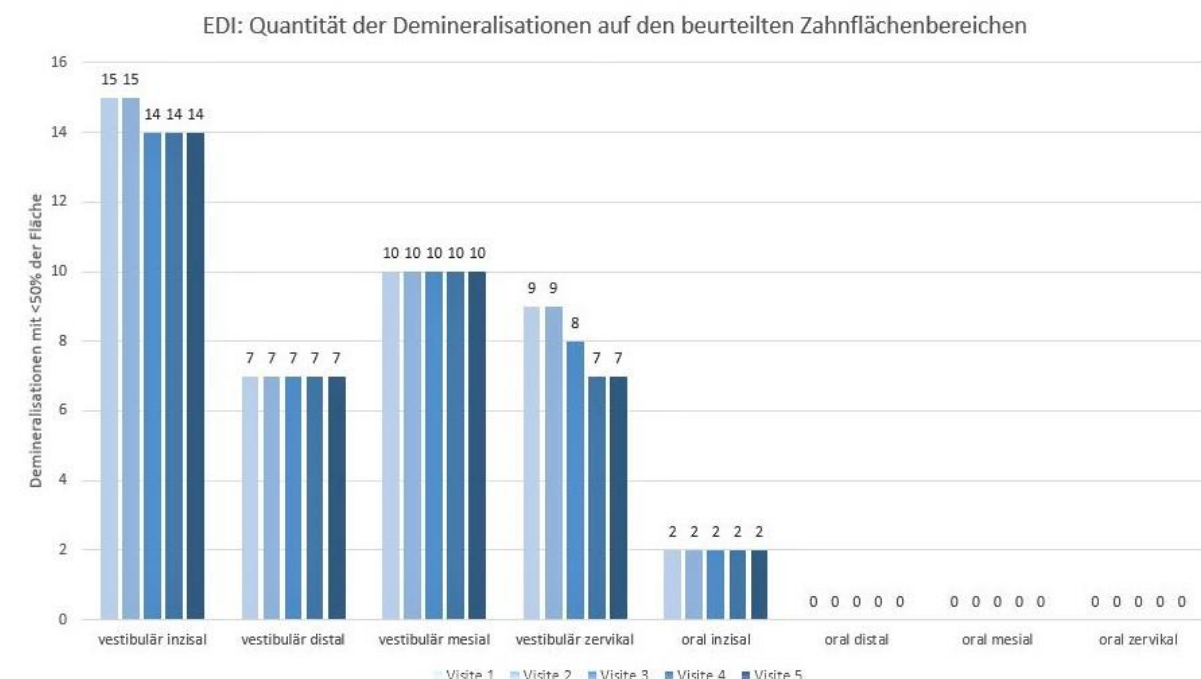


Abbildung 20: EDI: Prävalenz der Verteilung der WSL nach Zahnflächenbereich (Quadranten) zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten (T0 bis 4)

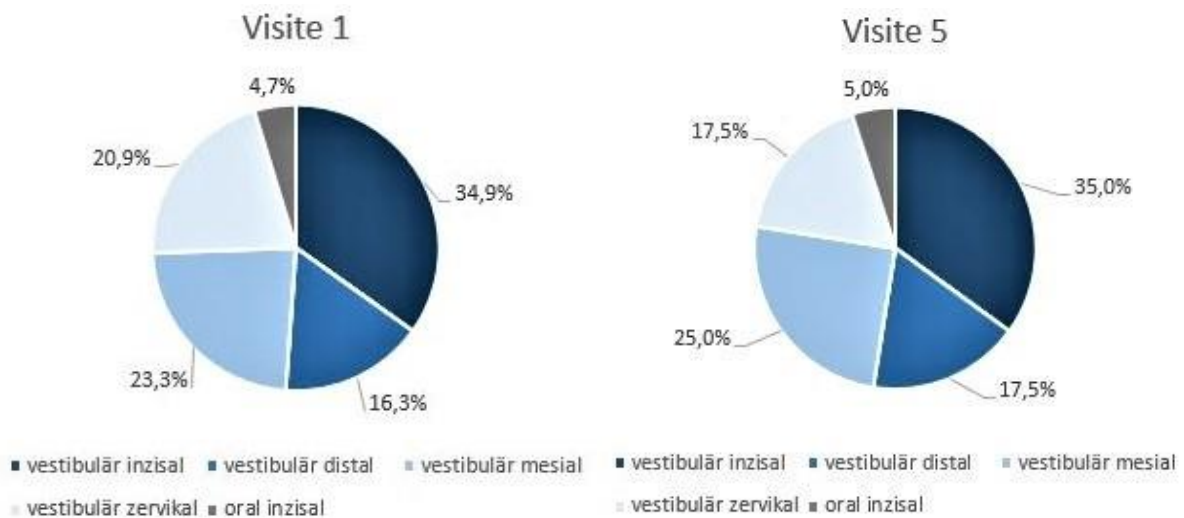


Abbildung 21: EDI: Prozentuale Verteilung der WSL bezogen auf die Zahnflächen zum Zeitpunkt T0 und T4

Prävalenz der Einzelzähne

Die Prävalenz nach Einzelzähnen beschreibt die Anzahl an Zähnen mit mindestens einer vorhandenen WSL unabhängig von Größe und betroffener Zahnfläche. Es wurden insgesamt 4600 Zähne beurteilt.

Oberkiefer

Es wurden 32 Zähne vor KFO Intervention mit mindestens einer WSL befundet. Zum Zeitpunkt T0 waren vor allem der 12 (n=6), 21 (n=7) und 22 (n=6) betroffen. 13 (n=5) und 11 (n=4) zeigten im Vergleich eine moderate Menge an Zähnen, die Demineralisationen aufwiesen. An 15 (n=1), 14 (n=1) und 23 (n=2) wurden im Gegensatz nur wenige WSL dokumentiert. 24 und 25 waren ohne Befund. 12, 21, und 22 blieben im Verlauf der Behandlung konstant. Geringe Veränderungen wurden an den Zähne 13 und 11 festgestellt (siehe Abbildung 22).

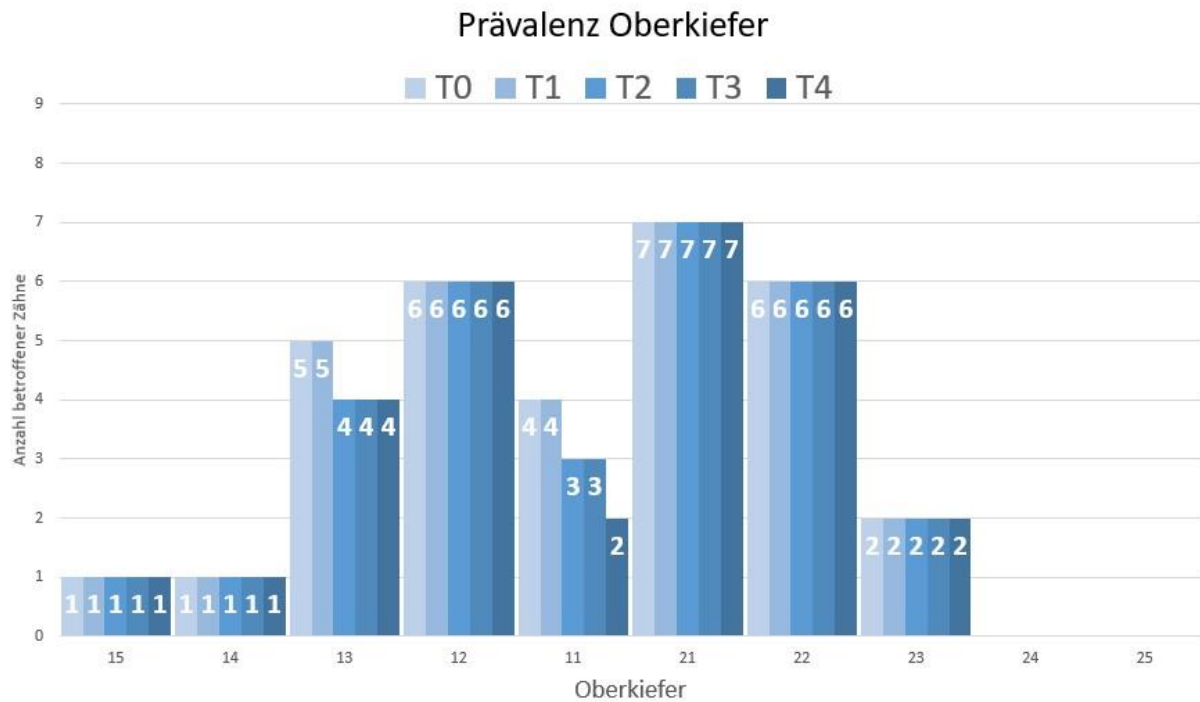


Abbildung 22: Prävalenz von betroffenen Zähnen im OK mit der visuellen Inspektionstechnik zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4

Unterkiefer

Im UK dagegen wurde nur an einem Zahn 33 ein WSL diagnostiziert, der im Verlauf des ersten Jahres der Behandlung persistierte. Alle anderen Zähne wiesen keine Veränderungen auf (siehe Abbildung 23).

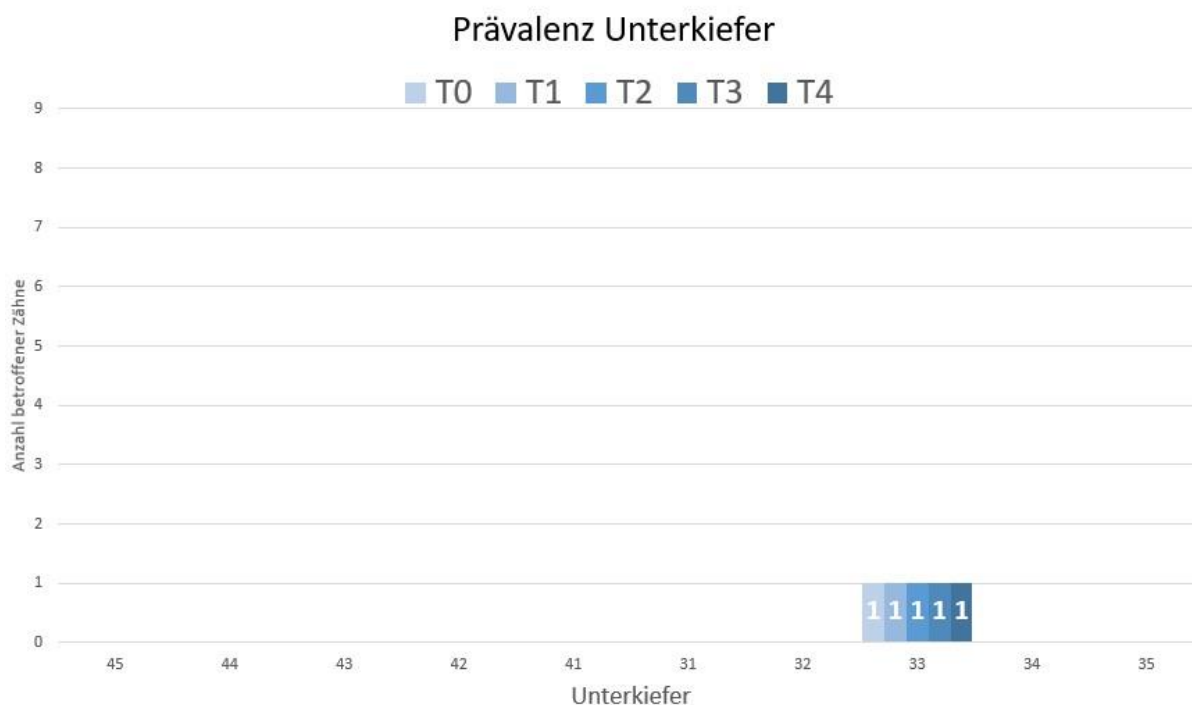


Abbildung 23: Prävalenz der betroffenen Zähne im UK mit der visuell Inspektionstechnik zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4

4.2.3 Prävalenz der WSL: Befundung mit QLF™

Untersucht wurden die bukkalen und lingualen/palatinalen Zahnoberflächen von 13-23 und 33-43 sowie die bukkalen Flächen von 14, 15, 24, 25, 34, 35, 44, 45 an den definierten Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4.

Tabelle 4: Beurteilte Quantität der Zahnoberflächen zu den jeweils definierten Zeitpunkten T0 bis T4:

Zeitpunkt der Untersuchung innerhalb der Studie	Quantität der beurteilten Zahnoberflächen (n)
T0	1367
T1	1328
T2	1392
T3	1404
T4	1414
GESAMT	6905

Die maximale Anzahl möglicher Zahnoberflächen pro Visite beläuft sich auf 1472 bei insgesamt 7360 Zahnoberflächen von T0-T4. Tabelle 4 zeigt die Anzahl der ausgewerteten Zahnoberflächen in den einzelnen Visiten. Die unterschiedlichen Zahlen (T0-4) sind auf Bilder mit ungenügender Qualität zurückzuführen. Diese wurden aus der Auswertung ausgeschlossen.

Prävalenz: Teilzahnflächen

Zum Zeitpunkt T0 wurden 49 Teilflächen mit einer Oberflächenveränderung detektiert. Nach einem Jahr (T4) waren es nur noch 43 und verhielten sich somit leicht rückläufig.

Die beurteilten Flächen deckten die Grade 0 bis 1 ab. Es lag kein Grad 2 oder 3 in der Auswertung der QLFTM-Bilder vor.

Vestibulär inzisal und mesial wurden die meisten Demineralisationen festgestellt (inzisal: n=15, 30,6%; mesial: n=13, 26,5%). Moderate Werte zeigten vestibulär distal mit 16,3% (n=8), zervikal mit 10,2% (n=5) und oral inzisal mit 12,2% (n=6). Die oral distalen Flächen waren mit 4,1% (n=2) von geringen Detektionen betroffen. Insgesamt gingen die Menge der Verteilung von betroffenen Zahnoberflächen im vestibulär inzisalen Bereich leicht zurück, die anderen Quadranten blieben unter leichten Fluktuationen weitgehend konstant (siehe Abbildung 24 und 25).

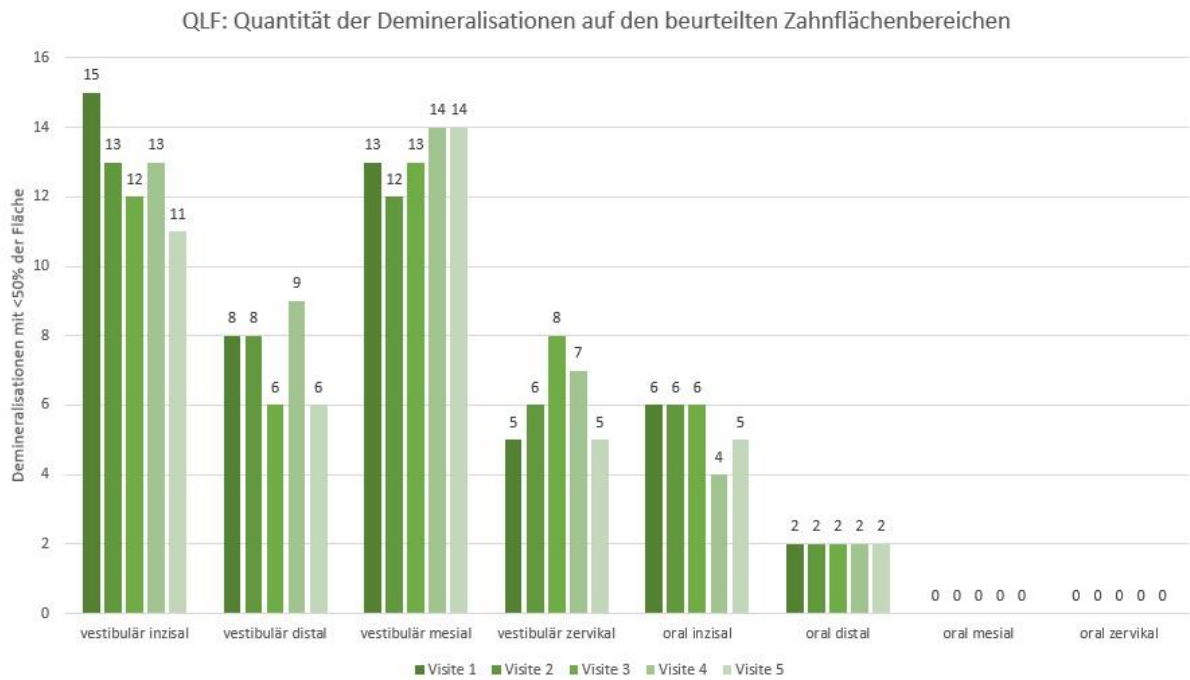


Abbildung 24: QLF™: Prävalenz der Verteilung der WSL nach Zahnflächenbereich (Quadranten) zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten (T0 bis 4)

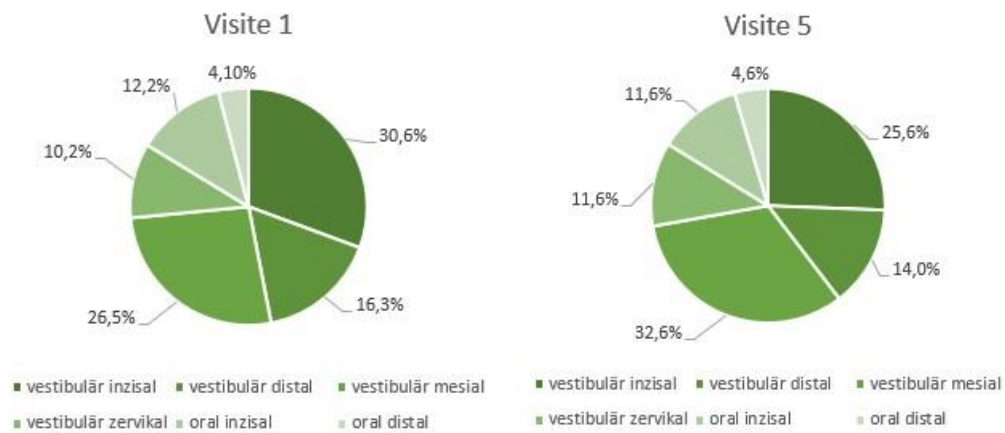


Abbildung 25: QLF™: Prozentuale Verteilung der WSL bezogen auf die Zahnflächen zum Zeitpunkt T0 und T4

Prävalenz der Einzelzähne

In der Auswertung wurden 6905 Zahnflächen von insgesamt möglichen 7360 berücksichtigt.

Oberkiefer

Zum Zeitpunkt T0 wurden 45 betroffene Zähne bei 25 Patienten detektiert. Die meisten Befunde zeigten sich an Zahn 22 (N=11). Moderate Werte, zwischen 2 und 8 Befunden, wurden an den Zähnen 13-21 und 23 festgestellt. Die Frontzähne waren mehr betroffen als die Prämolaren. Im Verlauf zeigten sich nur leichte Fluktuationen der Werte (siehe Abbildung 26).

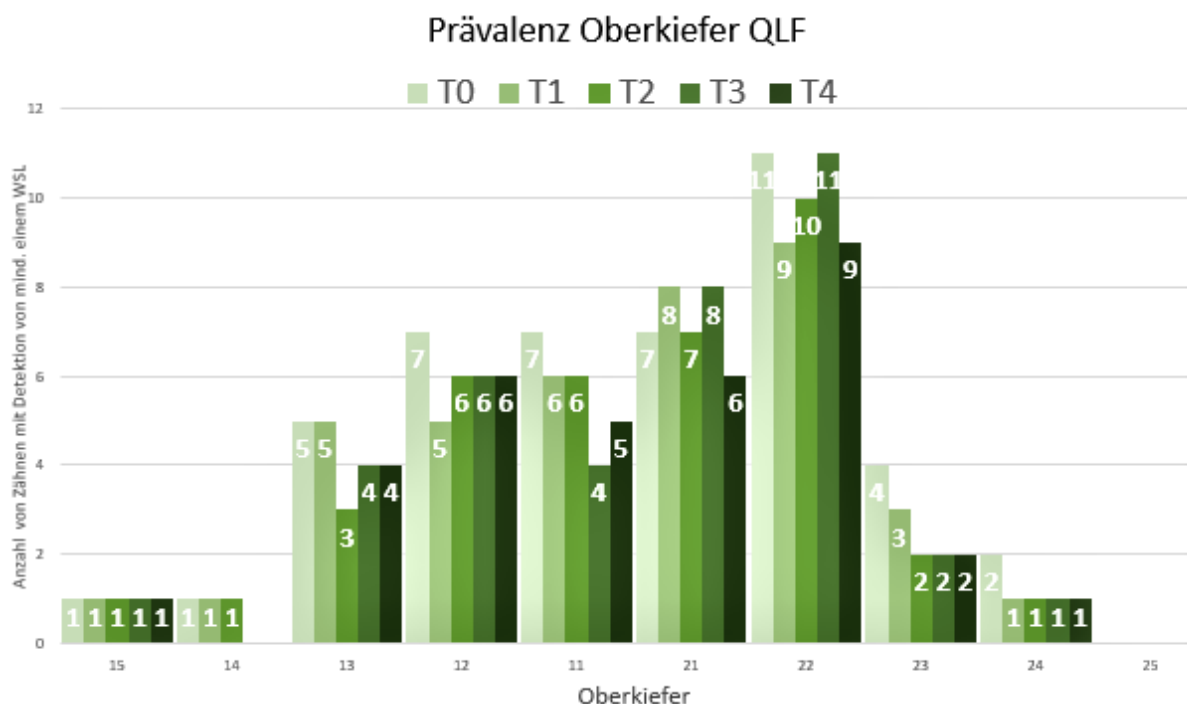


Abbildung 26: QLF™: Prävalenz der WSL im OK zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4

Unterkiefer

Im Gegensatz zum OK ließen sich im UK nur sehr wenige Zähne mit WSL detektieren, an 31 und 33. Die Unterbrechung an 33 lässt sich auf ein nicht zu beurteilendes Bild zurückführen. Am 31 war nach einem halben Jahr der WSL nicht mehr messbar (siehe Abbildung 27).

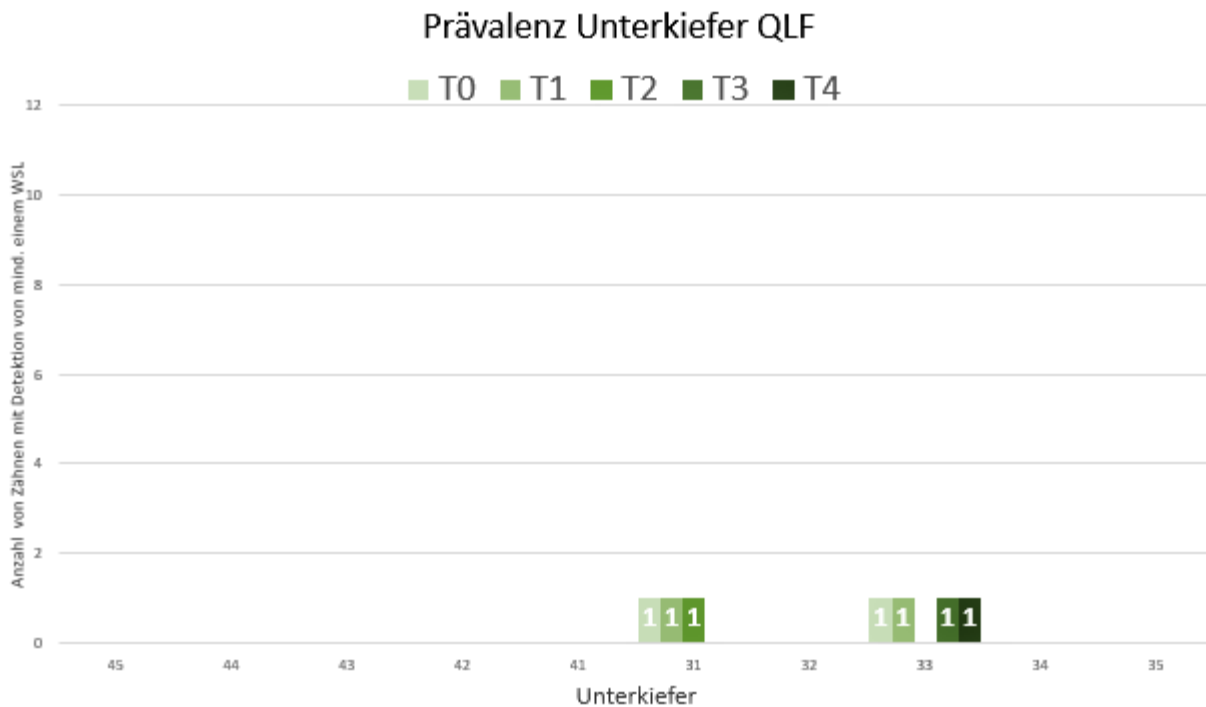


Abbildung 27: QLF™: Prävalenz der WSL im UK zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4

4.3 Inzidenz der WSL mit EDI und QLF™

Unter Nutzung des EDI wurden keine Inzidenzen detektiert. Mit der Messmethode der QLF™ konnte eine neue WSL an 21 zum Zeitpunkt T1 und eine an 22 zum Zeitpunkt T2 dokumentiert werden. Das sind 4,08% von insgesamt 49 WSL, die in der gesamten Studie erfasst wurden.

4.4 Verlauf der Messungen der QLF™-Werte

Es wurden zum Zeitpunkt T0 im OK und UK auf den palatinalen sowie lingualen Flächen 47 WSL festgestellt. Nach vier Wochen veränderte sich dieser Wert auf 41 Läsionen (T1), nach 10 Wochen auf 38 (T2). Die Anzahl blieb nach 6 Monaten nach Einsetzen der ersten Aligner bei 38 (T3) und fiel auf 35 nach einem Jahr (T4).

Die detektierten Läsionen wurden im Rahmen der QLF™-Analyse auf die Tiefe (ΔF), maximale Tiefe ($\Delta F_{max.}$), Volumen (ΔQ) und Fläche der Läsion (WS Area) ausgewertet.

4.4.1 Prozentuale Fluoreszenzverlust (ΔF)

ΔF beschreibt die durchschnittliche Tiefe der Läsion. Der Mittelwert blieb im Verlauf mit einem Durchschnitt von -7,67% konstant (siehe Tabelle 5).

4.4.2 Maximaler Fluoreszenzverlust (ΔF_{\max})

ΔF_{\max} bezieht sich im Bereich einer WSL auf den höchsten Wert (ΔF) und beschreibt somit den tiefsten Punkt (dunkelster Pixel) innerhalb dieser Demineralisation.

Der Mittelwert änderte sich von -11,44% zum Zeitpunkt T0 im OK und UK auf -11,97% (T4). Der Wert zeigte eine nur leichte Veränderung im Verlauf des ersten Jahres der KFO Therapie (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Fluoreszenzverlust der analysierten WSL im OK und UK mit dem arithmetischen Mittelwert und dem Median über alle detektierten Läsionen zu den Untersuchungszeitpunkten T0-4

		ΔF (%)			ΔF_{\max} (%)		
Visite	WSL ges.	Mittelwert	SD	Median	Mittelwert	SD	Median
T0	47	-7,78	0,45	-6,7	-11,44	0,98	-9,2
T1	41	-7,44	0,43	-6,5	-10,93	0,92	-9,2
T2	38	-7,85	0,52	-6,6	-10,91	1,01	-8,6
T3	38	-7,46	0,5	-6,3	-10,63	1,01	-8,45
T4	35	-7,84	0,53	-6,6	-11,97	1,28	-10,2

4.4.3 Volumen der Läsion (ΔQ)

ΔQ ist definiert als der Verlust von Fluoreszenz in Prozent durch die Fläche. Der Mittelwert stieg von -686,98%/px² zum Zeitpunkt T0 auf -848,31%/px² (T4) an (siehe Tabelle 6).

4.4.4 Fläche der Läsion (WS Area)

WS Area wird durch die Menge an Pixeln zum Quadrat (px^2) beschrieben. Die WS Area nimmt von 88,46 px^2 (T0) auf 112,69 px^2 (T4) zu (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Volumen und Fläche der analysierten WSL im OK und UK mit dem arithmetischen Mittelwert und dem Median über alle detektierten Läsionen zu den Untersuchungszeitpunkten T0-T4

		ΔQ ($\%/ \text{px}^2$)			WS Area (px^2)		
Visite	WSL ges.	Mittelwert	SD	Median	Mittelwert	SD	Median
T0	47	-686,98	134,98	-295	88,46	15,95	48
T1	41	-973,85	267,05	-399	124,17	29,60	61
T2	38	-911,39	259,35	-249,5	115,61	28,39	40
T3	38	-1000,47	337,74	-222	131,55	40,24	35
T4	35	-848,31	209,93	-512	112,69	24,45	78

Die Tiefe (ΔF) veränderte sich durchschnittlich kaum, während die Fläche sich um 27,39% vergrößerte.

4.5 Vergleich der beiden Untersuchungsmethoden: EDI und QLF™

Um identische Voraussetzungen für beide Untersuchungsmethoden zu schaffen war es notwendig, die lingualen/palatalen Zahnflächen von 14, 15, 24, 25, 34, 35, 44, 45 nicht miteinzubeziehen, da keine luminiszierenden Aufnahmen von diesen Flächen durchgeführt wurden.

Von insgesamt 4600 Zähnen wiesen 2,86% (n=229) der Zähne eine Demineralisation auf. Es wurden 1,60% (n=128) der WSL von beiden Methoden detektiert, nämlich 0,89% (n=71) nur vom QLF™ und 0,37% (n=30) nur vom EDI (siehe Abbildung 28). Im Verlauf (T0-4) war die Quantität der Detektionen stets mit der Untersuchungsmethode des QLF™ höher (siehe Tabelle 7). Der p-Wert nach McNemar betrug <0,0001% und zeigt eine hohe Signifikanz.

Bezogen auf den OK zeigte QLF™ eine höhere Anzahl an Befunden als der EDI. An Zahn 22 erfasste der EDI nur 77% (7 Zähne) im Vergleich zum QLF™ (11 Zähne). Die WSL an Zahn 14 war im Verlauf mit QLF™ nicht mehr messbar, konnte aber mit dem EDI bis zum Zeitpunkt T4 nachgewiesen werden. An den Zähnen 11 und 23 detektierte QLF™ mehr WSL als der EDI.

Der UK war deutlich geringer von WSL-Bildungen betroffen. Auf dem Zahn 31 konnte die WSL in den ersten drei Untersuchungszeiträumen nur mit QLF™ gemessen werden. Beide Messmethoden erfassten dagegen die Demineralisation auf dem Zahn 33.

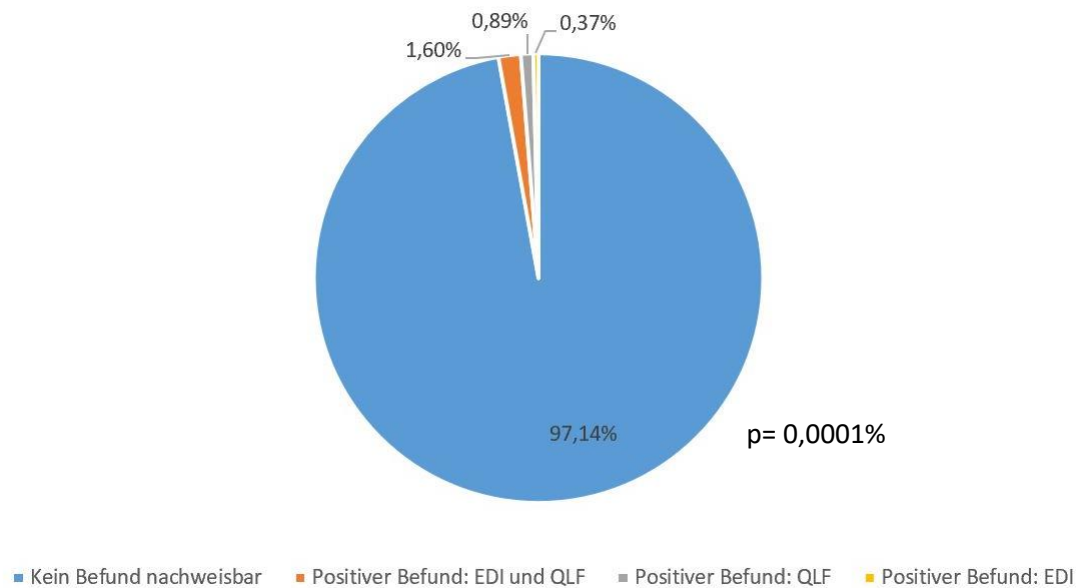


Abbildung 28: Prozentuale Verteilung betroffener Zähne mit EDI, QLF™ und beiden Untersuchungsverfahren

Tabelle 7: Anzahl der pathologisch veränderten Zähne ausgewertet durch den EDI und QLF™ im Vergleich zu den Untersuchungszeitpunkten T0-4

UNTERSUCHUNGS- ZEITPUNKT	NEG. BEFUND	POS. BEFUND EDI	POS. BEFUND QLF™	POS. BEFUND EDI UND QLF™
T0	869	4	18	29
T1	873	6	14	27
T2	876	6	13	25
T3	876	6	13	25
T4	877	8	13	22

Vergleich bezogen auf die Unterschiede der detektierten WSL mit EDI und QLF™ und solche, die nur mit QLF™ befundet werden konnten

Auf den insgesamt 229 betroffenen Zähnen wurden 128 von QLF™ und EDI detektiert und 71 nur vom QLF™. Die Mittelwerte der einzelnen Parameter liegen unter denen der WSL, die beide detektierten.

ΔF lag bei WSL, die nur mit QLFTM detektiert worden sind, um 19,52% niedriger. Der maximale Fluoreszenzverlust (ΔF_{max}) lag bei -23,15% zum Gegenwert. Auch die Werte ΔQ und WS Area zeigten kleinere Zahlen mit ΔQ -28,74% und WS Area -27,34%. Die hohe Standardabweichung (ΔQ und WS Area) ist begründet durch die sehr unterschiedlich großen Flächen der WSL, die in die Berechnung einbezogen wurden (siehe Tabelle 8 und 9).

Tabelle 8: Analyse der WSL, die mit QLFTM und EDI detektiert wurden

VARIABLE	ZAHNFLÄCHEN	MITTELWERT	SD
ΔF	128	-8,25	3,59
ΔF_{MAX}	128	-12,18	7,57
ΔQ	128	-977,40	1559,20
WS AREA	128	125,76	174,98

Tabelle 9: Analyse der WSL, die nur mit QLFTM detektiert wurden

VARIABLE	ZAHNFLÄCHEN	MITTELWERT	SD
ΔF	71	-6,64	0,97
ΔF_{MAX}	71	-9,36	3,15
ΔQ	71	-696,49	1483,89
WS AREA	71	91,38	177,80

4.5.1 Cohen´s Kappa-Wert

Zum Vergleich beider Verfahren (EDI und QLFTM) wurde der Cohens Kappa-Wert herangezogen. Dieser Wert ist ein Maß für die Übereinstimmung dieser zwei Untersuchungsmethoden.

Insgesamt wurden 229 Teilflächen, unabhängig der Untersuchungsmethode, als pathologisch verändert beurteilt. Davon wurden von EDI und QLFTM 128 Flächen erkannt. Der EDI erfasste 30 demineralisierte Flächen, die mit QLFTM nicht messbar waren. 71 WSL wurden mit QLFTM gemessen, die vom EDI als „0“ (Fläche ohne sichtbare Oberflächenveränderung) eingestuft wurden (Kappa-Wert von 0,71, siehe Tabelle 10).

Im Verlauf der einzelnen Visiten detektierte QLFTM stets mehr betroffene Zähne im Vergleich zum EDI.

Tabelle 10: Korrelation beider Untersuchungsverfahren, EDI und QLFTM: Angaben der Cohen´s Kappa-Werte zu den Untersuchungszeitpunkten T0 bis T4

UNTERSUCHUNGSZEITPUNKTE	COHEN´S KAPPA-WERT
T0	0,7129
T1	0,7185
T2	0,7140
T3	0,7140
T4	0,6652
GESAMT (T0-4)	0,7107

Die Kappa-Werte zeigen eine gute Übereinstimmung beider Methoden. Allerdings ist festzustellen, dass beide Methoden in einigen Fällen WSL detektieren, die mit dem jeweils anderen System nicht erkannt wurden.

4.6 Intraklassenkorrelationskoeffizient

Der Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) dient als Maß für die Intraraterreliabilität für die Auswertung der WSL mit der Image Analysis Software QA2 (Inspector Research Systems, Amsterdam, Niederlande).

Zur Berechnung des ICC wurden randomisierte Datensätze von zehn Patienten erneut von einem weiteren Untersucher mit derselben Software ausgewertet und mit den vorherigen Werten verglichen. Die ICC-Werte zeigen zu allen Parametern (ΔF , ΔF_{\max} , ΔQ und WS Area) eine sehr gute Reproduzierbarkeit auf. Der ICC wurde für alle einzelnen Parameter bestimmt (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Intraklassenkorrelationskoeffizienten für die einzelnen Parameter im QLF™

PARAMETER	ICC-WERT
ΔF	0,998
ΔF_{\max}	0,987
ΔQ	0,954
WS AREA	0,952

5 Diskussion

Die Bildung von WSL während einer KFO Behandlung stellt eine häufig unerwünschte Komplikation dar. Im Gegensatz zu Multibracketsystemen erlaubt die Alignertherapie das Entfernen der therapeutischen Apparatur. Somit ist es dem Patienten möglich, die tägliche MUHY ohne Einschränkungen durchzuführen. Gleichwohl verbleiben die Schienen im Idealfall mindestens 22 Stunden am Tag im Mund und schränken somit remineralisierende Prozesse des Speichels ein [63, 94]. Als Folge siedelt sich bakterielle Plaque bereits 48 Stunden nach Einsetzen der Aligner an, der pH-Wert nimmt ab. Darüber hinaus bieten geklebte Attachments Retentionsgebiete, die eine erhöhte Plaquebildung begünstigen [72, 179, 180]. Daher ist die Aufklärung und Remotivation über die Erhaltung einer guten MUHY im Behandlungsverlauf von entscheidender Bedeutung, um Schädigungen in Form von WSL vorzubeugen [66].

5.1 Patienten

Die Studie umfasst 46 Patienten in einem Alter von 11-17 Jahren. Die Teilnehmer wurden in einem Zeitraum von Mai 2015 bis Juli 2020 vor und während der Behandlung mit Invisalign® Teen zu definierten Zeitpunkten (T0-T4) untersucht. Es wurden 21 weibliche und 25 männliche Teilnehmer durch Zufallsverteilung in die Studie miteinbezogen.

Die Anzahl von 46 Patienten erscheint für die Studie angemessen, da entsprechende Probandenzahlen auch in ähnlichen Studien verwendet wurden [181, 182]. Vergleichbare Arbeiten wie von Azeem et al. (25 Patienten) und Albhaisi et al. (23 Patienten in der Alignergruppe) wurden mit deutlich geringeren Probandenzahlen publiziert [183]. Eine weitere Studie von Buschang et al., in der retrospektiv die Bilder von 450 Patienten ausgewertet wurden, kam auf eine höhere Fallzahl [184]. Studien von Lovrov et al. und Øogard et al. untersuchten die WSL an Patienten, die mit MBA behandelt wurden, und lagen von der Anzahl der Probanden in einem vergleichbaren Bereich [35, 169].

In der vorliegenden Studie belief sich das Gesamtdurchschnittsalter auf $13,4 \pm 1,9$ Jahren und entspricht der Alterszielsetzung, in der mit Invisalign® Teen behandelt wird. Diese Altersstufe ist zugleich bei KFO Behandlungen assoziiert mit einem höheren Risiko WSL zu entwickeln [36].

5.2 Studienaufbau

Jeder der 46 Teilnehmer wurde neben den regulären klinischen Kontrollen zu den fünf Terminen (T0-4) einbestellt. Es wurden Photoaufnahmen, konventionell und mit lumineszierendem Licht, angefertigt. Die initiale Untersuchung erfolgte prätherapeutisch vor Einsetzen der ersten Aligner und diente zum Vergleich mit den später gemessenen Werten.

Nach vier Wochen folgte die Anbringung der Attachments (T1), weitere Untersuchungszeitpunkte beinhalteten die Kontrolle nach sechs Wochen (2), sechs Monaten (T3) und einem Jahr (T4) nach Beginn der Alignertherapie (T0).

Vorteil dieser Studie sind die regelmäßigen Kontrollen in kurzen Abständen, die eine Aussage zum Verlauf der individuellen Veränderungen der WSL erlaubten. Andere Studien beobachteten die Situation nur prä- und posttherapeutisch [183, 184].

Die Behandlung mit Invisalign® Teen ist complianceabhängig. Der Patient kann entgegen dem Studiendesign die Aligner jederzeit entfernen, was die Ergebnisse dieser Arbeit negativ beeinflussen kann. Die Tragezeit lässt sich mit Invisalign® Teen über den Farbindikator nur eingeschränkt kontrollieren [185]. Daher sind wiederholte Aufklärungen des Patienten und entsprechende Remotivationen unerlässlich.

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Zahnreinigungen, regelmäßigen Fluoridierungen und WSL-Entwicklung [35]. Daher bekamen alle Patienten dieser Studie dieselben schriftlichen sowie mündlichen MUHY-Instruktionen (siehe Abbildung 27). Weiterhin wurden dieselbe Anzahl an professionellen Zahnreinigungen zu den festgelegten Untersuchungszeitpunkten T0-4 durchgeführt. Die Entfernung von Plaque, Zahnstein und Verfärbungen erlaubte eine korrekte Beurteilung mit dem EDI und vermied falsch positive Ergebnisse in der QLF™-Auswertung [147]. Dies erlaubte standardisierte Bedingungen zur Detektion von WSL und der Beurteilung einer eventuellen Progression.

5.3 Ergebnisdiskussion

5.3.1 Prävalenz

In dieser Studie waren unter Berücksichtigung beider Untersuchungsverfahren 56,52% (n=26) der 46 Teilnehmern von WSL betroffen. Vor aktiver KFO Behandlung mit Alignern hatten 54,35% (n=25) der Patienten bereits Demineralisationen.

In der Literatur werden hierzu unterschiedliche Zahlen angegeben. Buschang et al. beschrieben in ihrer Studie eine Anzahl von 9-10,1% der Teilnehmer, die vor Therapiebeginn Prävalenzen aufwiesen [184]. In einer anderen Studie waren 69,4% der Patienten vor Multibracketbehandlung von mindestens einer WSL betroffen. Dies liegt prozentual deutlich über dem Anteil, der in dieser Studie festgestellt wurde [186]. Auch Mizrahi et al. erreichten eine hohe prätherapeutische Prävalenz von 72,3%. Allerdings wurde die Diagnostik im Gegensatz zu der vorliegenden Studie nur unter Auswertung von fotografischen Aufnahmen durchgeführt [29]. Eine vergleichbare Prävalenz zu dieser Studie berichteten Årtun und Brobakken et al., die unter Durchführung einer modifizierten visuellen Untersuchungsmethode nach Gorelick feststellten, dass 50,3% der Teilnehmer prätherapeutisch WSL aufwiesen [30].

In dieser Studie zeigten sich die meisten Befunde im Oberkieferfrontzahnbereich (13 bis 23). Vor allem waren die Zähne 12, 21 und 22 betroffen. Im Vergleich zeigten die Prämolaren geringe Prävalenzen, auch im UK konnten sehr wenige WSL detektiert werden. Im Verlauf blieben die Prävalenzen weitgehend konstant.

Azeem et al. stellten in ihrer Studie ebenfalls fest, dass die lateralen Inzisiven im OK am meisten von WSL betroffen waren [183]. Die häufigere Prävalenz im OK im Vergleich zum UK wird wiederholt in der Literatur beschrieben. Z.B. stellten Julien et al. fest, dass in ihrer Studie im OK 74%, und im UK 26% der Zähne von Demineralisationen betroffen waren [21, 187]. Andere Studien, die Patienten mit festsitzenden Apparaturen untersuchten, bestätigten diese Beobachtung. Einige Publikationen berichten von Demineralisationen an den UK-Canini. In dieser Studie konnte nur eine WSL an 33 detektiert werden [28, 169, 188].

5.3.2 Verteilung von Demineralisationen bezogen auf das Geschlecht

Das Patientenkollektiv teilte sich in 21 weibliche und 25 männliche Teilnehmer. 66% der Läsionen wurden vor der Behandlung (T0) in der männlichen und 34% in der weiblichen Gruppe detektiert. Das Verhältnis blieb nach einem Jahr der aktiven Behandlung mit Invisalign® Teen weitgehend konstant (M: 68,6%, W: 31,4%). Die zwei neu aufgetretenen Inzidenzen waren dem weiblichen Geschlecht zuzuordnen.

In der Literatur wird kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit von WSL-Bildungen zwischen Jungen und Mädchen beschrieben. Im Vordergrund stehen Faktoren wie MUHY und Behandlungszeit. Bei der Literaturrecherche ist festzustellen, dass die vorliegende Menge an Publikationen zu dieser Thematik noch gering ist. Weitere Studien zur Evaluation sind daher notwendig [183, 184, 189].

Studien, die die Inzidenzen von WSL während einer festsitzenden Therapie untersuchten, kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die überwiegende Anzahl stellte bezogen auf das Geschlecht keine signifikanten Unterschiede fest [29, 190, 191]. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen berichteten andere Autoren, dass ein Zusammenhang von Geschlecht und WSL-Bildung bestehen könnte [152, 171, 187].

5.3.3 Visuelle Untersuchungsmethode: Klinisch und der fluoreszierenden Aufnahmen

Der EDI teilt die Demineralisationen in Schweregrade von 0-3 ein. In dieser Studie wurden nur die Schweregrade 0 und 1 beobachtet (Grad 0: Zahnfläche ohne Dekalzifikation, Grad 1: Unter 50% der Fläche). Die Werte blieben weitgehend konstant. Während klinischer Beobachtung waren 0,54 bis 0,58% der Quadranten zu den Zeitpunkten T0 bis T4 von einer Grad 1-Veränderung betroffen. Die Aufnahmen der QLFTM zeigten dagegen Werte von 0,67 (T0) bis 0,58% (T4).

In dieser Arbeit wurde festgestellt, dass die vestibulär inzisalen Bereiche die größte Prävalenz aufzeigten. Allerdings gab es auch positive Befunde in den vestibulär mesial, distal und zervikalen Bereichen. Oral wurden wenige Demineralisationen befundet, es waren vor allem die inzisalen Bereich betroffen. Klinisch konnten drei positiv auf Demineralisationen detektierte Teilflächen im Verlauf nicht mehr festgestellt werden. Dies könnte mit Einschränkung auf die subjektive Betrachtung und Beurteilung der unterschiedlichen Untersucher zurückzuführen sein.

Im Gegensatz zu der klinischen Beobachtung zeigten sich in den vestibulär distalen, mesialen und oral inzisalen und distalen Bereichen der Aufnahmen mit fluoriszierendem Licht mehr Detektionen bezogen auf die Teilflächen. Auf den vestibulär zervikalen Zahnoberflächen wurden klinisch mehr veränderte Bereiche befundet als auf den QLFTM-Aufnahmen. Die Fluktuationen lassen sich auf die Aufnahmen mit ungenügender Qualität zurückführen.

Der EDI wurde in der Vergangenheit nur mit Multibracketsystemen genutzt, weder unter Nutzung von Alignersystemen noch in Zusammenhang mit fluoreszierenden Aufnahmen. In solchen Studien waren meist die Zahnoberfläche gingival vom Bracket von demineralisierten Flächen betroffen [28, 117, 192]. Um einen korrekten Vergleich durchzuführen sind weitere Studien notwendig, die den modifizierten EDI während einer Alignertherapie klinisch und mit fluoriszierenden Bildern anwenden.

Tuncay et al. teilten in ihrer Publikation die WSL in vier Schweregrade ein (0= kein WSL, 1= sichtbarer WSL ohne Unterbrechung der Oberfläche, 2= sichtbarer WSL mit rauer Oberfläche, 3= sichtbarer WSL mit Oberflächeneinbruch, 4= Läsion). Von insgesamt 336 untersuchten Zähnen erhöhten sich 14,3% um einen Grad, 0,9% um zwei Grade und 0,9% um drei Grade [3]. In dieser Studie konnten nur geringe Veränderungen der WSL mit dem EDI erfasst werden.

5.3.4 Digital durchgeführte Untersuchungsmethode: QLF™

Mithilfe der quantitativen lichtinduzierten Fluoreszenzmessung, einem lichtoptischen Verfahren, lassen sich durch die Erhöhung des Kontrastes pathologische Bereiche auf der Oberfläche des Zahnschmelzes darstellen und analysieren. Die Bestimmung erfolgt über Pixelwerte, die von der Software gemessen werden können [127]. Die QLF™ ermöglicht somit eine objektive Diagnosestellung mit guter Reproduzierbarkeit zur Beurteilung und Kontrolle von Verläufen von WSL [139, 151, 193].

Die Ergebnisse, angegeben in ΔF , ΔF_{\max} , ΔQ und WS Area, werden als Tabelle von der Software QA2 v1.27.0.0 angezeigt (Inspektor Research Systems by Inspektor Research Systems BV Amsterdam).

Azeem et al. evaluierten in ihrer Studie einen Fluoreszenzverlust von durchschnittlich 5,43%/mm² (kalibrierter ΔQ -Wert) [183]. Die Werte in dieser Studie hatten eine Zunahme der Fläche (WS Area) von 19,02% (Zeitraum T0 bis T4).

Albhaisi et al. dokumentierten Demineralisationen in zwei Gruppen (festsitzende Apparatur und Aligner). Es wurden zwei Untersuchungszeitpunkte festgesetzt, prätherapeutisch (T0) und nach drei Monaten aktiver Behandlung (T1). Dabei lag der durchschnittliche Fluoreszenzverlustwert (ΔF) der Alignergruppe vor Behandlungsbeginn bei $-7,3 \pm 4,4\%$ und nach drei Monaten bei $-7,7 \pm 4,9\%$ (Differenz von $-0,4\%$). Allerdings zeigte der p-Wert ($p=0,283$) eine geringe Signifikanz. Der maximale Fluoreszenzverlust (ΔF_{\max}) erfuhr eine minimale, die WS Area eine Zunahme ($+82,2 \text{ px}^2$). Die p-Werte für ΔF_{\max} und WS Area ergaben eine hohe Signifikanz. Die Ergebnisse dieser Veröffentlichung zeigten trotz einer geringeren Patientengruppe eine hohe Korrelation zu dieser Studie [181]. Die Zunahme der Fläche könnte auf die Einschränkung von remineralisierenden Prozessen des Speichels zurückzuführen sein (Abdeckung der Zahnkronen durch die Aligner) [66].

Zur Überprüfung der Intraraterreliabilität wurde der Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) nach McNemar herangezogen. Dieser wurde für alle Variablen, die mit QLF™ gemessen worden sind, einzeln berechnet. Es lagen alle Werte nahe an 1 (Mittelwert: 0,973). Dies lässt auf eine gute Reproduzierbarkeit schließen. Diese Annahme wird gestützt durch vergleichbare Nennungen in der Literatur [139, 151, 193].

Die QLF™ stellt somit eine verlässliche Untersuchungsmethode dar, die zur Verlaufskontrolle von WSL eingesetzt werden kann. Die Anwendung eines solchen

Verfahrens benötigt aber eine gewisse Erfahrung des Untersuchers, um reproduzierbare Ergebnisse sicherzustellen [139, 193, 194].

Die Nullhypothese wird zum Teil angenommen. Der Fluoreszenzverlust (ΔF) blieb konstant. Die WS Area nahm im Verlauf der Studie signifikant zu.

Limitationen

Fluktuationen müssen in Zusammenhang mit den Limitationen der Technik des QLF™ berücksichtigt werden:

Die erste und wichtigste Limitation für diese Studie war die -5%-Grenze (Fluoreszenzverlust). Das Analyseprogramm von QLF™ kann Werte über -5% nicht detektieren [40]. Innerhalb dieser Studie wurde ein Mittelwert, T0-T4, von -7,67% ermittelt, T0 mit -7,78% und T4 mit -7,84%. Dies zeigt, dass ein großer Teil der befundeten WSL bereits eine geringe Tiefe hatten. Manche WSL lagen nahe dieser Grenze und waren zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten nicht messbar.

Weitere Einschränkungen beinhalteten die Analyse von WSL im Bereich der Approximalkontakte oder nahe der Gingivalgrenze, da es in Einzelfällen nicht möglich war WSL in den Aufnahmen darzustellen. Speichelüberlagerungen können die Fluoreszenzmessung beeinflussen und stellen einen weiteren begrenzenden Faktor dar [127, 147].

Eine weiterer Aspekt sind Bilder, die aufgrund ungenügender Qualität, Verwacklung oder falscher Angulation [148] nicht ausgewertet werden konnten. Die Software QA2 v1.27.0.0 (Inspektor Research Systems by Inspektor Research Systems BV Amsterdam) ermöglicht Korrekturen in der X- und Y-Achse, eine Anpassung der Z-Achse ist nicht möglich [145].

Trotz der genannten Limitationen zeigt der Intraklassenkorrelationskoeffizient eine gute Reproduzierbarkeit der vorliegenden Werte (ICC gesamt: 0,973).

5.3.5 WSL-Inzidenz

Der EDI erfasste keine Inzidenzen. Dagegen detektierte QLFTM zwei Inzidenzen, an 21 zum Zeitpunkt T1 und an 22 zum Zeitpunkt T2.

Das bevorzugte Auftreten von WSL im Bereich der Oberkieferschneidezähne ist in der Literatur gut dokumentiert [66, 183, 184].

Buschang et al. werteten retrospektiv die Photoaufnahmen von 244 Patienten aus, die eine Aligner- oder MBTherapie durchlaufen haben. 25,7% der Patienten, die mit Multibrackets behandelt wurden, zeigten zwischen Beginn und Therapieende neue Inzidenzen von WSL. In der Alignergruppe konnten nur bei drei Patienten neue Inzidenzen erfasst werden (1,2%) [184].

In einer weiteren Studie erfassten Azeem et al. bei 25 Patienten während einer KFO Behandlung mit Alignern eine WSL-Inzidenz von 2,85% [183].

Die wenigen Inzidenzen bestätigen auch das Ergebnis dieser Studie, in der wir insgesamt zwei neue Inzidenzen (2,17%) detektieren konnten.

Drei Alignersysteme, Invisalign®, CA® Clear Aligner und Orthocaps®, wurden in einer Studie von Hammad et al. verglichen. Sie konnten im Verlauf der Studie keine Inzidenzen feststellen [182].

In Widerspruch dazu entdeckten Albhaisi et al. die Zunahme von 6 WSL pro Teilnehmer in einem Zeitraum von drei Monaten [181].

Die Nullhypothese, dass die WSL während einer Behandlung mit Invisalign® Teen konstant bleiben, wird verworfen. In dieser Studie konnten zwei WSL neu detektiert werden, was einer sehr geringen Inzidenz entspricht.

5.3.6 Korrelation der beiden Untersuchungsmethoden EDI und QLF™

Es wurden von beiden Untersuchungsmethoden für den Vergleich die vestibulären Flächen 15 bis 25, 35 bis 45 und die oralen Flächen 13 bis 23 und 33 bis 43 berücksichtigt. EDI und QLF™ konnten die überwiegende Anzahl an Läsionen erfassen. Weiterhin waren die Detektionen in der Analyse mit QLF™ signifikant höher. Um die Übereinstimmung dieser Verfahren zu vergleichen, wurde der Cohen´s Kappa-Wert herangezogen.

Insgesamt wurden 229 Zähne positiv auf mindestens eine Läsion innerhalb der Studie dokumentiert. Davon erfasste die QLF™ 86,9% (n=199) und der EDI 69% (n=158).

Heinrich-Weltzien et al. publizierten in einer Studie, dass die visuelle Inspektionstechnik 71,6% der WSL dokumentierte und QLF™ 82,2%. Dieses Ergebnis korreliert mit den Daten der vorliegenden Studie [153].

Gerade bei sehr kleinen Demineralisationen („incipient lesions“) gelang es der QLF™ diese zu erfassen und auszuwerten. Die Analyse der WSL, die nur mit der QLF™ detektiert wurden, zeigten im Mittelwert kleinere Werte im Fluoreszenzverlust und in der WS Area. Aus dieser Beobachtung folgt, dass kleinere Läsionen nicht mit der visuellen Inspektionstechnik aber mit der QLF™ detektiert werden können. Studien anderer Autoren unterstützen diese These [152, 153].

Der Cohen´s Kappa Wert wurde herangezogen, um beide Verfahren, EDI und QLF™, zu vergleichen. Der Wert von 0,71 (gesamt T0-4) spricht für eine gute Korrelation beider Untersuchungsmethoden.

Die Nullhypothese, dass die Detektionen beider Inspektionsmethoden im Verlauf gleich ist, wird verworfen. QLF™ zeigte durchgehend quantitativ höhere Detektionen als der EDI.

6 Fazit

Innerhalb des ersten Jahres einer KFO Therapie mit Invisalign® Teen konnten nur geringe Inzidenzen von WSL erfasst werden. Beide Untersuchungsmethoden, die QLF™ und der EDI, dokumentierten verlässlich die vorhandenen WSL. Allerdings erscheint die QLF™ dem EDI überlegen. Die analysierten Werte von QLF™ zeigten, dass die Tiefe (ΔF , ΔF_{max}) konstant blieb, die Fläche (WS Area) im Verlauf der Behandlung zunahm.

Die QLF™ stellt eine verlässliche Alternative zur konventionellen Kariesdiagnostik dar und kann bei der Entscheidung helfen, ob eine therapeutische Intervention indiziert ist. Diese Methode kann Läsionen in einem sehr frühen Stadium erkennen und erlaubt dem Behandler die Beurteilung der Progression im Verlauf [25, 40, 127, 149]. Weiterhin stellte es eine nichtinvasive und patientenfreundliche Diagnostikalternative dar, die beliebig oft reproduzier- und vergleichbar ist. Für verlässliche Ergebnisse ist die Erfahrung des Anwenders essenziell [96, 130, 139].

Um das Risiko der Entstehung und der möglichen weiteren Progression von WSL möglichst gering zu halten müssen regelmäßige Remotivationen sowie MUHY - Instruktionen durchgeführt werden. Fluoride, in Form von fluoridhaltiger Zahnpasta sowie als Spülung oder Lack, können zusätzlich präventiv angewandt werden [31, 86]. Gerade bei jugendlichen Patienten kann eine Alignertherapie länger als ein Jahr dauern, d.h. über die Zeit hinaus, die in dieser Studie beobachtet wurde. Daher sind weitere Langzeitstudien notwendig, die die Veränderungen von Demineralisationen während der gesamten Zeit einer KFO Therapie und nach Entfernen der Attachments in der Retentionsphase untersuchen.

7 Zusammenfassung

Ziel: Gegenstand dieser prospektiven Studie war, die Entstehung und Progression von White Spot Läsionen (WSL) vor und während des ersten Jahres einer KFO Behandlung mit Invisalign® Teen zu untersuchen.

Material und Methoden: Sechsvierzig Jugendliche (21 weibliche und 25 männliche Teilnehmer im Alter von $13,4 \pm 1,9$ Jahren) wurden vor Beginn der KFO Behandlung in die Studie eingeschlossen. Zu fünf Zeitpunkten wurden die Patienten auf WSL untersucht: Vor Erhalten der 1. und 2. Aligner (T0), vor Anbringen der Attachments/4 (T1), 10 (T2) Wochen, 6 Monate (T3) und ein Jahr nach Erhalten der ersten Aligner (T4). Zur Befundung wurden zwei Untersuchungsmethoden herangezogen, „*Enamel Decalcification Index*“ (EDI) nach Banks & Richmond 1994 und die Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenzmessung (QLF™). Die Ergebnisse der Prävalenz und Inzidenz wurden einzeln und in Korrelation (Cohen´s Kappa Wert) mit der anderen Messmethode ausgewertet. Es fand eine Kontrolle der Intraraterreliabilität für die einzelnen Parameter der QLF™-Auswertung statt (ICC nach McNemar).

Ergebnisse: Beide Untersuchungsmethoden detektierten die meisten WSL ($p=0,0001$). EDI zeigte keine neuen Inzidenzen. QLF™ konnte zwei während der Studie entstandene WSL erfassen. Insgesamt wurden mehr Demineralisationen im Studienzeitraum mit QLF™ dokumentiert als mit dem EDI. In der digitalen Auswertung der QLF™ konnten weitere Parameter (Tiefe und Fläche) der WSL untersucht werden. Die Tiefe (ΔF , ΔF_{max}) blieb im Verlauf des ersten Jahres konstant. Die Fläche (ΔQ) nahm im Durchschnitt um 27,1% zu. Der Cohen´s Kappa-Wert zeigte eine gute Übereinstimmung beider Untersuchungsmethoden (0,71). Der ICC nach McNemar ergab eine gute Intraraterreliabilität (0,95 bis 1).

Fazit: Eine KFO Behandlung im ersten Jahr mit Invisalign® Teen kann zu geringen Inzidenzen von WSL führen. Zu erwarten sind weniger Veränderungen in der Tiefe aber Vergrößerungen in der Fläche. Darüber hinaus erfasst die QLF™ Initialläsionen oft früher als die visuelle Inspektionstechnik.

8 Literaturverzeichnis

1. Pinho, T., et al., *Interceptive Treatment with Invisalign® First in Moderate and Severe Cases: A Case Series*. Children, 2022. **9**(8): p. 1176.
2. Drechsler, T., *Möglichkeiten und Grenzen der kieferorthopädischen Erwachsenenbehandlung mit wenig sichtbaren Therapiemitteln*. Quintessenz, 2017. **68**(5): p. 515-523.
3. Tuncay, O., et al., *Aligner treatment in the teenage patient*. J Clin Orthod, 2013. **47**(2): p. 115-119.
4. AlignTechnology, Available from: <https://www.invisalign.de/ortho/treatment-solutions>. 2023.
5. Erbe, D.C., et al., *Invisalign®-Behandlung im Frontzahnbereich*. zm 2013.
6. Meier, B., K.B. Wiemer, and R.-R. Miethke, *Invisalign®—patient profiling*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2003. **64**(5): p. 352-358.
7. Cooper-Kazaz, R., et al., *The impact of personality on adult patients' adjustability to orthodontic appliances*. The Angle orthodontist, 2013. **83**(1): p. 76-82.
8. Melkos, A.B., *Advances in digital technology and orthodontics: a reference to the Invisalign method*. Medical science monitor, 2005. **11**(5): p. PI39-PI42.
9. Nedwed, V. and R.-R. Miethke, *Motivation, acceptance and problems of Invisalign® patients*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2005. **66**(2): p. 162-173.
10. Miller, K.B., et al., *A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2007. **131**(3): p. 302. e1-302. e9.
11. Schaefer, I. and B. Braumann, *Halitosis, oral health and quality of life during treatment with Invisalign® and the effect of a low-dose chlorhexidine solution*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2010. **71**(6): p. 430-441.
12. Miethke, R., *Zur Geschichte der Alignertherapie*. Kieferorthopädische Nachrichten, 2012. **10**: p. 6-8.
13. AlignTechnology, Available from: <http://www.aligntech.com/>. 2020.
14. Azaripour, A., et al., *Braces versus Invisalign®: gingival parameters and patients' satisfaction during treatment: a cross-sectional study*. BMC Oral Health, 2015. **15**(1): p. 69.
15. Göz, G., *Stellungnahme der DGKFO zur Behandlung mit Alignern*, https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/veroeffentlichungen/Stellungnahme_Aligner.pdf. 2010.
16. Hemprich, A., *Kieferorthopädische Behandlungen mit dem Invisalign-System*. Zahnmedizin up2date, 2018. **12**(02): p. 147-157.
17. Schupp, W. and J. Haubrich, *Möglichkeiten und Grenzen der Invisalign-Behandlung*. Quintessenz, 2010. **61**(8): p. 951-962.
18. Abbate, G.M., et al., *Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2015. **76**(3): p. 240-250.
19. Miethke, R.-R. and S. Vogt, *A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign® system and with fixed orthodontic appliances*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2005. **66**(3): p. 219-229.
20. Drake, C.T., et al., *Orthodontic tooth movement with clear aligners*. International Scholarly Research Notices, 2012. **2012**.
21. Julien, K.C., P.H. Buschang, and P.M. Campbell, *Prevalence of white spot lesion formation during orthodontic treatment*. The Angle Orthodontist, 2013. **83**(4): p. 641-647.
22. Geiger, A.M., et al., *Reducing white spot lesions in orthodontic populations with fluoride rinsing*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1992. **101**(5): p. 403-407

23. Summitt, J.B., et al., *Fundamentals of operative dentistry: a contemporary approach*. 2006: Quintessence Pub. Chicago.
24. Wisth, P. and A. Nord, *Caries experience in orthodontically treated individuals*. The Angle Orthodontist, 1977. **47**(1): p. 59-64.
25. Van der Veen, M.H., T. Mattousch, and J.G. Boersma, *Longitudinal development of caries lesions after orthodontic treatment evaluated by quantitative light-induced fluorescence*. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 2007. **131**(2): p. 223-228.
26. Sundararaj, D., et al., *Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis*. Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry, 2015. **5**(6): p. 433.
27. O'reilly, M. and J. Featherstone, *Demineralization and remineralization around orthodontic appliances: an in vivo study*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1987. **92**(1): p. 33-40.
28. Gorelick, L., A.M. Geiger, and A.J. Gwinnett, *Incidence of white spot formation after bonding and banding*. American journal of orthodontics, 1982. **81**(2): p. 93-98.
29. Mizrahi, E., *Enamel demineralization following orthodontic treatment*. American journal of orthodontics, 1982. **82**(1): p. 62-67.
30. Årtun, J. and B.O. Brobakken, *Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances*. European Journal of Orthodontics, 1986. **8**(4): p. 229-234.
31. Geiger, A.M., et al., *The effect of a fluoride program on white spot formation during orthodontic treatment*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1988. **93**(1): p. 29-37.
32. Mitchell, L., *Decalcification during orthodontic treatment with fixed appliances—an overview*. British Journal of Orthodontics, 1992. **19**(3): p. 199-205.
33. Wenderoth, C.J., M. Weinstein, and A.J. Borislow, *Effectiveness of a fluoride-releasing sealant in reducing decalcification during orthodontic treatment*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1999. **116**(6): p. 629-634.
34. Fornell, A.-C., et al., *Effect of a hydrophobic tooth coating on gingival health, mutans streptococci, and enamel demineralization in adolescents with fixed orthodontic appliances*. Acta Odontologica Scandinavica, 2002. **60**(1): p. 37-41.
35. Lovrov, S., K. Hertrich, and U. Hirschfelder, *Enamel demineralization during fixed orthodontic treatment—incidence and correlation to various oral-hygiene parameters*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2007. **68**(5): p. 353-363.
36. Chapman, J.A., et al., *Risk factors for incidence and severity of white spot lesions during treatment with fixed orthodontic appliances*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2010. **138**(2): p. 188-194.
37. Ismail, A.I., *Clinical diagnosis of precavitated carious lesions*. Community dentistry and oral epidemiology, 1997. **25**(1): p. 13-23.
38. Paula, A.B.P., et al., *Therapies for white spot lesions—a systematic review*. Journal of Evidence Based Dental Practice, 2017. **17**(1): p. 23-38.
39. Sadeq, A., et al., *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 and Photodynamic Therapy, 2015. **12**(2): p. 232-237.
40. InspektorResearchSystems. *White Paper on QLF*, Available from: <https://www.inspektor.nl/download/WhitepaperQLF-11.pdf>.
41. Tranæus, S., et al., *Application of quantitative light-induced fluorescence to monitor incipient lesions in caries-active children. A comparative study of remineralisation by fluoride varnish and professional cleaning*. European journal of oral sciences, 2001. **109**(2): p. 71-75.
42. Fujiyama, K., et al., *Analysis of pain level in cases treated with Invisalign aligner: comparison with fixed edgewise appliance therapy*. Progress in orthodontics, 2014. **15**(1): p. 1-7.
43. AlSeraidi, M., et al., *The effect of vestibular, lingual, and aligner appliances on the quality of life of adult patients during the initial stages of orthodontic treatment*. Progress in Orthodontics, 2021. **22**(1): p. 1-6.

44. Schupp, W., J. Haubrich, and E. Hermens, *Möglichkeiten und Grenzen der Schienentherapie in der Kieferorthopädie*. Zahnmedizin up2date, 2013. **7**(02): p. 171-184.
45. Schott, T.C. and G. Göz, *Young patients' attitudes toward removable appliance wear times, wear-time instructions and electronic wear-time measurements—results of a questionnaire study*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2010. **71**(2): p. 108-116.
46. Phan, X. and P.H. Ling, *Clinical limitations of Invisalign*. Journal of the Canadian Dental Association, 2007. **73**(3).
47. Boyd, R.L. and V. Waskalic. *Three-dimensional diagnosis and orthodontic treatment of complex malocclusions with the invisalign appliance*. in *Seminars in orthodontics*. 2001. Elsevier.
48. Wong, B.H., *Invisalign a to z*. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 2002. **121**(5): p. 540-541.
49. Galler, D. *The Peace of Mind That Comes with Peering Into the Future. The Outcome is Simulated. The Impact is Genuine*. Available from: <https://blog.itero.com/2016/01/20/the-peace-of-mind-that-comes-with-peering-into-the-future-the-outcome-is-simulated-the-impact-is-genuine/>. 2016.
50. Boyd, R.L., R. Miller, and V. Vlaskalic, *The Invisalign system in adult orthodontics: mild crowding and space closure cases*. Journal of Clinical Orthodontics, 2000. **34**(4): p. 203-212.
51. Walton, D.K., et al., *Orthodontic appliance preferences of children and adolescents*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2010. **138**(6): p. 698. e1-698. e12.
52. Chazalon, J.-F., *INVISALIGN for adolescents: an alternative to multibracket attachments?: Illustrated treatment of a clinical case*. Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics, 2013. **16**(4).
53. AlignTechnology, *ParentInfoKit*, Available from: <https://www.invisalign.de/de/what-is-invisalign/Pages/Teen-Braces.aspx>. 2020.
54. Agnini, A. and A.M. Agnini, *DENTAL LEARNING*.
55. Filippi, A., *The influence of fixed orthodontic appliances on halitosis*. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 2013. **123**(12): p. 1064-1069.
56. Nalçacı, R., et al., *Effect of bracket type on halitosis, periodontal status, and microbial colonization*. The Angle Orthodontist, 2014. **84**(3): p. 479-485.
57. Banjar, A.A., et al., *Self-perceived halitosis among young adults undergoing orthodontic treatment*. International Journal of Dental Hygiene, 2022. **20**(3): p. 479-486.
58. Galluccio, G., *Is the use of clear aligners a real critical change in oral health prevention and treatment*. La Clinica Terapeutica, 2021. **172**(2).
59. Bergius, M., S. Kiliaridis, and U. Berggren, *Pain in orthodontics*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2000. **61**(2): p. 125-137.
60. Cardoso, P.C., et al., *Pain level between clear aligners and fixed appliances: a systematic review*. Progress in orthodontics, 2020. **21**(1): p. 1-17.
61. Zachrisson, S. and B.U. ZACHRISSON, *Gingival condition associated with orthodontic treatment*. The Angle Orthodontist, 1972. **42**(1): p. 26-34.
62. Klukowska, M., et al., *Plaque levels of patients with fixed orthodontic appliances measured by digital plaque image analysis*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2011. **139**(5): p. e463-e470.
63. Zhao, R., et al., *The dynamics of the oral microbiome and oral health among patients receiving clear aligner orthodontic treatment*. Oral diseases, 2020. **26**(2): p. 473-483.
64. Pango Madariaga, A.C., et al., *Impact of fixed orthodontic appliance and clear aligners on the periodontal health: a prospective clinical study*. Dentistry journal, 2020. **8**(1): p. 4.
65. Miethke, R.-R. and K. Brauner, *A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign® system and with fixed lingual appliances*. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2007. **68**(3): p. 223-231.
66. Moshiri, M., et al., *Consequences of poor oral hygiene during clear aligner therapy*. JCO, 2013. **8**(47): p. 494-98.

67. Tsomos, G., et al., *Objective assessment of patient compliance with removable orthodontic appliances: a cross-sectional cohort study*. The Angle Orthodontist, 2014. **84**(1): p. 56-61.
68. Guerra, F., et al., *Periodontitis and the microbiome: a systematic review and meta-analysis*. Minerva stomatologica, 2018. **67**(6): p. 250-258.
69. Gomes, S.C., et al., *Periodontal conditions in subjects following orthodontic therapy. A preliminary study*. The European Journal of Orthodontics, 2007. **29**(5): p. 477-481.
70. Sfondrini, M.F., et al., *Microbiological Changes during Orthodontic Aligner Therapy: A Prospective Clinical Trial*. Applied Sciences, 2021. **11**(15): p. 6758.
71. Karkhanechi, M., et al., *Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy*. The Angle Orthodontist, 2013. **83**(1): p. 146-151.
72. Yan, D., et al., *Changes in the microbiome of the inner surface of clear aligners after different usage periods*. Current Microbiology, 2021. **78**(2): p. 566-575.
73. Mummolo, S., et al., *Salivary concentrations of Streptococcus mutans and Lactobacilli during an orthodontic treatment. An observational study comparing fixed and removable orthodontic appliances*. Clinical and Experimental Dental Research, 2020. **6**(2): p. 181-187.
74. Peterson, S.N., et al., *The dental plaque microbiome in health and disease*. PloS one, 2013. **8**(3): p. e58487.
75. Shpack, N., et al., *Efficacy of three hygienic protocols in reducing biofilm adherence to removable thermoplastic appliance*. The Angle Orthodontist, 2014. **84**(1): p. 161-170.
76. Gao, M., et al., *Comparison of pain perception, anxiety, and impacts on oral health-related quality of life between patients receiving clear aligners and fixed appliances during the initial stage of orthodontic treatment*. European journal of orthodontics, 2021. **43**(3): p. 353-359.
77. Kvam, E., N.R. Gjerdet, and O. Bondevik, *Traumatic ulcers and pain during orthodontic treatment*. Community dentistry and oral epidemiology, 1987. **15**(2): p. 104-107.
78. White, D.W., et al., *Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: a randomized, prospective trial*. The Angle Orthodontist, 2017. **87**(6): p. 801-808.
79. Sergl, H.G., U. Klages, and A. Zentner, *Pain and discomfort during orthodontic treatment: causative factors and effects on compliance*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1998. **114**(6): p. 684-691.
80. Krukemeyer, A.M., A.O. Arruda, and M.R. Inglehart, *Pain and orthodontic treatment: patient experiences and provider assessments*. The Angle Orthodontist, 2009. **79**(6): p. 1175-1181.
81. Hellwig, E., J. Klimek, and T. Attin, *Einführung in die Zahnerhaltung*. 2009: Deutscher Ärzteverlag.
82. Arends, J. and J. Christoffersen, *Invited review article: the nature of early caries lesions in enamel*. Journal of dental research, 1986. **65**(1): p. 2-11.
83. Applebaum, E., *The radiopaque surface layer of enamel and caries*. Journal of Dental Research, 1940. **19**(1): p. 41-46.
84. Besic, F., *Carieslike enamel changes by chemical means*. Journal of dental research, 1953. **32**(6): p. 830-839.
85. Coolidge, T., F. Besic, and M. Jacobs, *A microscopic comparison of clinically and artificially produced changes in enamel*. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 1955. **8**(11): p. 1204-1208.
86. Øgaard, B. *White spot lesions during orthodontic treatment: mechanisms and fluoride preventive aspects*. in *Seminars in Orthodontics*. 2008. Elsevier.
87. Featherstone, J.D., *The science and practice of caries prevention*. The Journal of the American dental association, 2000. **131**(7): p. 887-899.
88. Øgaard, B., G. Rølla, and J. Arends, *Orthodontic appliances and enamel demineralization: Part 1. Lesion development*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1988. **94**(1): p. 68-73.
89. Maurer, J., *Xerostomie und Lebensqualität bei Plattenepithelkarzinomen der Kopf-Hals-Region*. 2010.

90. Chang, H., L. Walsh, and T. Freer, *Enamel demineralization during orthodontic treatment. Aetiology and prevention*. Australian Dental Journal, 1997. **42**(5): p. 322-327.
91. Aoba, T., *Solubility properties of human tooth mineral and pathogenesis of dental caries*. Oral diseases, 2004. **10**(5): p. 249-257.
92. Rosenbloom, R.G. and N. Tinanoff, *Salivary Streptococcus mutans levels in patients before, during, and after orthodontic treatment*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1991. **100**(1): p. 35-37.
93. Guo, L. and W. Shi, *Salivary biomarkers for caries risk assessment*. Journal of the California Dental Association, 2013. **41**(2): p. 107.
94. Schroeder, H., *Pathobiologie oraler Strukturen*. 1997: KARGER.
95. Featherstone, J.D., *Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride*. Community dentistry and oral epidemiology, 1999. **27**(1): p. 31-40.
96. Kim, H.E. and B.-I. Kim, *An in vitro comparison of quantitative light-induced fluorescence-digital and spectrophotometer on monitoring artificial white spot lesions*. Photodiagnosis and photodynamic therapy, 2015. **12**(3): p. 378-384.
97. Russell, A., *The differential diagnosis of fluoride and nonfluoride enamel opacities*. Journal of Public Health Dentistry, 1961. **21**(4): p. 143-146.
98. Almulhim, B., *Molar and Incisor Hypomineralization*. JNMA: Journal of the Nepal Medical Association, 2021. **59**(235): p. 295.
99. Almualllem, Z. and A. Busuttill-Naudi, *Molar incisor hypomineralisation (MIH)—an overview*. British dental journal, 2018. **225**(7): p. 601-609.
100. von Arx, T., *Developmental disturbances of permanent teeth following trauma to the primary dentition*. Australian dental journal, 1993. **38**(1): p. 1-10.
101. Denis, M., et al., *White defects on enamel: diagnosis and anatomopathology: two essential factors for proper treatment (part 1)*. International orthodontics, 2013. **11**(2): p. 139-165.
102. de Fátima Guedes de Amorim, L., C. Estrela, and L.R.R.S. da Costa, *Effects of traumatic dental injuries to primary teeth on permanent teeth—a clinical follow-up study*. Dental Traumatology, 2011. **27**(2): p. 117-121.
103. Roulet, J.-F., *Prophylaxe und Präventivzahnmedizin*. Vol. 16. 2003: Georg Thieme Verlag.
104. Fyffe, H.E., et al., *Effect of diagnostic threshold on the validity and reliability of epidemiological caries diagnosis using the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM)*. Community dentistry and oral epidemiology, 2000. **28**(1): p. 42-51.
105. Gomez, J., *Detection and diagnosis of the early caries lesion*. BMC oral health, 2015. **15**(1): p. 1-7.
106. Ekstrand, K., et al., *Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation*. Caries research, 1998. **32**(4): p. 247-254.
107. Ismail, A., *Visual and visuo-tactile detection of dental caries*. Journal of dental research, 2004. **83**(1_suppl): p. 56-66.
108. Amarante, E., M. Raadal, and I. Espelid, *Impact of diagnostic criteria on the prevalence of dental caries in Norwegian children aged 5, 12 and 18 years*. Community dentistry and oral epidemiology, 1998. **26**(2): p. 87-94.
109. Weerheijm, K., R. Gruythuysen, and W. Van Amerongen, *Prevalence of hidden caries*. ASDC journal of dentistry for children, 1992. **59**(6): p. 408-412.
110. Lussi, A., *Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries*. Caries research, 1991. **25**(4): p. 296-303.
111. Penning, C., et al., *Validity of probing for fissure caries diagnosis*. Caries Research, 1992. **26**(6): p. 445-449.
112. Ekstrand, K., V. Qvist, and A. Thylstrup, *Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces*. Caries research, 1987. **21**(4): p. 368-374.
113. Kühnisch, J., et al., *Effects of dental probing on occlusal surfaces—a scanning electron microscopy evaluation*. Caries research, 2007. **41**(1): p. 43-48.

114. Pitts, N.B., *Clinical diagnosis of dental caries: a European perspective*. J Dent Educ, 2001. **65**(10): p. 972-8.
115. Loesche, W.J., M.L. Svanberg, and H.R. Pape, *Intraoral transmission of Streptococcus mutans by a dental explorer*. Journal of dental research, 1979. **58**(8): p. 1765-1770.
116. Lussi, A., *Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation*. Caries research, 1993. **27**(5): p. 409-416.
117. Banks, P. and S. Richmond, *Enamel sealants: a clinical evaluation of their value during fixed appliance therapy*. The European Journal of Orthodontics, 1994. **16**(1): p. 19-25.
118. Enaia, M., N. Bock, and S. Ruf, *White-spot lesions during multibracket appliance treatment: a challenge for clinical excellence*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2011. **140**(1): p. e17-e24.
119. von Bremen, J., N. Lorenz, and S. Ruf, *Impact of body mass index on oral health during orthodontic treatment: an explorative pilot study*. European journal of orthodontics, 2016. **38**(4): p. 386-392.
120. Hadler-Olsen, S., et al., *The incidence of caries and white spot lesions in orthodontically treated adolescents with a comprehensive caries prophylactic regimen—a prospective study*. The European Journal of Orthodontics, 2012. **34**(5): p. 633-639.
121. Bock, N.C., et al., *Changes in white spot lesions following post-orthodontic weekly application of 1.25 per cent fluoride gel over 6 months—a randomized placebo-controlled clinical trial. Part II: clinical data evaluation*. European journal of orthodontics, 2017. **39**(2): p. 144-152.
122. Smyth, R.S. and J.H. Noar, *Preventing white spot lesions with fluoride pastes*. Evidence-Based Dentistry, 2019. **20**(3): p. 88-89.
123. Rechmann, P., et al., *MI Varnish and MI Paste Plus in a caries prevention and remineralization study: a randomized controlled trial*. Clinical Oral Investigations, 2018. **22**(6): p. 2229-2239.
124. Stübel, H., *Die fluoreszenz tierischer gewebe in ultraviolettem licht*. Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere, 1911. **142**(1-2): p. 1-14.
125. Hartles, R. and A. Leaver, *The fluorescence of teeth under ultraviolet irradiation*. Biochemical Journal, 1953. **54**(4): p. 632.
126. Benedict, H., *A note on the fluorescence of teeth in ultra-violet rays*. Science, 1928. **67**(1739): p. 442-442.
127. Kühnisch^o, J. and R. Heinrich-Weltzien^o, *Quantitative Light-induced Fluorescence (GLF)-A Literature Review*. International journal of computerized dentistry, 2004. **7**: p. 325-338.
128. Kambara, M., *Results of clinical trial of fluoride dentifrice using QLF*. Early detection of dental caries III 2003, 2005.
129. Gonzalez-Cabezas, C., et al., *Early detection of secondary caries using quantitative, light-induced fluorescence*. OPERATIVE DENTISTRY-UNIVERSITY OF WASHINGTON-, 2003. **28**(4): p. 415-422.
130. Amaechi, B.T. and S.M. Higham, *Quantitative light-induced fluorescence: a potential tool for general dental assessment*. Journal of biomedical optics, 2002. **7**(1): p. 7-14.
131. Emami, Z., et al., *Mineral loss in incipient caries lesions quantified with laser fluorescence and longitudinal microradiography: a methodologic study*. Acta Odontologica Scandinavica, 1996. **54**(1): p. 8-13.
132. de Jong, E.d.J., et al., *Determination of mineral changes in human dental enamel by longitudinal microradiography and scanning optical monitoring and their correlation with chemical analysis*. Caries research, 1988. **22**(3): p. 153-159.
133. Herkstroter, F., J. Noordmans, and J. Ten Bosch, *Wavelength-independent microradiography used for quantification of mineral changes in thin enamel and dentin samples with natural surfaces, pseudo-thick tooth sections, and whole teeth*. Journal of dental research, 1990. **69**(12): p. 1824-1827.
134. Ten, J.B. and B. Angmar-Månsson, *A review of quantitative methods for studies of mineral content of intra-oral caries lesions*. Journal of dental research, 1991. **70**(1): p. 2-14.

135. Hafström-Björkman, U., et al., *Comparison of laser fluorescence and longitudinal microradiography for quantitative assessment of in vitro enamel caries*. Caries research, 1992. **26**(4): p. 241-247.
136. Al-Khateeb, S., et al., *Quantification of formation and remineralization of artificial enamel lesions with a new portable fluorescence device*. Advances in Dental Research, 1997. **11**(4): p. 502-506.
137. Al-Khateeb, S., et al., *Laser fluorescence quantification of remineralisation in situ of incipient enamel lesions: influence of fluoride supplements*. Caries research, 1997. **31**(2): p. 132-140.
138. Ando, M., et al., *Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro*. Caries Research, 1997. **31**(2): p. 125-131.
139. Pretty, I., et al., *The intra-and inter-examiner reliability of quantitative light-induced fluorescence (QLF) analyses*. British dental journal, 2002. **193**(2): p. 105-109.
140. Wolfgang Schlegel, C.P.K., Oliver Jäkel, *Medizinische Physik: Grundlagen – Bildgebung – Therapie – Technik*. 2018: SpringerSpektrum.
141. Tranæus, S., X.Q. Shi, and B. Angmar-Månsson, *Caries risk assessment: methods available to clinicians for caries detection*. Community dentistry and oral epidemiology, 2005. **33**(4): p. 265-273.
142. Muriel Gargaud, R.A., Henderson James Cleaves, *Encyclopedia of Astrobiology, Band 1*. 2011: Springer.
143. Abe Schwartz, L.W., Edward Early, Adolfas Galgalas, Yo-zhong Zhang, Gerald Marti, Robert Vogt, *Quantitating Fluorescence Intensity from Fluorophore: The Definition of MESF Assignment*. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology 2002. **107**.
144. Spitzer, D. and J. Ten Bosch, *Luminescence quantum yields of sound and carious dental enamel*. Calcified tissue research, 1977. **24**(1): p. 249-251.
145. Waller, E., *USER MANUAL QLF-D Biluminator™ 2 Practical guidelines to good quality clinical and fluorescence photographs with the QLF-D Biluminator™ 2*. Monique van der Veen, ACTA-preventive Dentistry, Amsterdam, Netherlands Elbert Waller, Inspektor Research Systems bv, Amsterdam, Netherlands Version 1.23
Available from: <http://www.inspektor.nl/download/WhitepaperQLF-11.pdf>.
146. InspektorResearchSystems. Available from: <https://www.inspektor.nl/irsresearch.html>. 2020.
147. Tranæus, S., et al., *Potential Applications and Limitations of Quantitative Light-induced Fluorescence in Dentistry*. Medical Laser Application, 2001. **16**(3): p. 195-204.
148. Ando, M., et al., *Effect of imaging geometry on evaluating natural white-spot lesions using quantitative light-induced fluorescence*. Caries research, 2004. **38**(1): p. 39-44.
149. Silva, F.G., et al., *Monitoring enamel caries on resin-treated occlusal surfaces using quantitative light-induced fluorescence: an in vitro study*. Lasers in medical science, 2020.
150. Tranæus, S., *Clinical application of QLF and DIAGNOdent: Two new methods for quantification of dental caries*. 2002: Institutionen för odontologi/Department of Odontology.
151. Benson, P.E., N. Pender, and S.M. Higham, *Quantifying enamel demineralization from teeth with orthodontic brackets—a comparison of two methods. Part 1: repeatability and agreement*. The European Journal of Orthodontics, 2003. **25**(2): p. 149-158.
152. Boersma, J., et al., *Caries prevalence measured with QLF after treatment with fixed orthodontic appliances: influencing factors*. Caries research, 2005. **39**(1): p. 41-47.
153. Heinrich-Weltzien, R., et al., *Detection of initial caries lesions on smooth surfaces by quantitative light-induced fluorescence and visual examination: an in vivo comparison*. European journal of oral sciences, 2005. **113**(6): p. 494-498.
154. Nyvad, B., V. Machiulskiene, and V. Bælum, *Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions*. Caries research, 1999. **33**(4): p. 252-260.
155. Dikmen, B., *Icdas II criteria (international caries detection and assessment system)*. Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry, 2015. **49**(3): p. 63.

156. Pitts, N.B., K.R. Ekstrand, and I. Foundation, *International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) and its International Caries Classification and Management System (ICCMS)—methods for staging of the caries process and enabling dentists to manage caries*. Community dentistry and oral epidemiology, 2013. **41**(1): p. e41-e52.
157. Pitts, N. and J. Stamm, *International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials (ICW-CCT)—final consensus statements: agreeing where the evidence leads*. Journal of dental research, 2004. **83**(1_suppl): p. 125-128.
158. Ismail, A.I., et al., *The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries*. Community dentistry and oral epidemiology, 2007. **35**(3): p. 170-178.
159. Ismail, A.I., et al., *The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries*. Community dentistry and oral epidemiology, 2007. **35**(3): p. 170-178.
160. *Internationales Karieserkennungs- und Beurteilungssystem (ICDAS II)*, Available from: <https://www.sdpt.net/ICDASgermany.htm>. 2018.
161. Seitz, M., *Validierung des International Caries Detection and Assessment Systems (ICDAS) mit Hilfe verschiedener histologischer Methoden*. 2011, lmu.
162. Diniz, M.B., et al., *Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for occlusal caries detection*. Community dentistry and oral epidemiology, 2009. **37**(5): p. 399-404.
163. Ismail, A.I., et al., *Risk indicators for dental caries using the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS)*. Community dentistry and oral epidemiology, 2008. **36**(1): p. 55-68.
164. Marthaler, T., *Changes in dental caries 1953–2003*. Caries research, 2004. **38**(3): p. 173-181.
165. Heinrich-Weltzien, R., et al., *Kariesdiagnostik-eine Herausforderung für den Zahnarzt?* ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt, 2008. **117**(04): p. 160-168.
166. Kühnisch, J., et al., *Development, methodology and potential of the new Universal Visual Scoring System (UniViSS) for caries detection and diagnosis*. Int J Environ Res Public Health, 2009. **6**(9): p. 2500-9.
167. Galler, M., *Mikrocomputertomografische Validierung des universellen visuellen Scoring Systems (UniViSS) zur Okklusalkariesdiagnostik*. 2011, lmu.
168. ZAGHRISSEON, B.U. and S. ZACHRISSEON, *Caries incidence and oral hygiene during orthodontic treatment*. European Journal of Oral Sciences, 1971. **79**(4): p. 394-401.
169. Øgaard, B., *Prevalence of white spot lesions in 19-year-olds: A study on untreated and orthodontically treated persons 5 years after treatment*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 1989. **96**(5): p. 423-427.
170. Shrestha, S. and R.M. Shrestha, *Prevalence of white spot lesion in nepalese patients with fixed orthodontic appliance*. Orthodontic Journal of Nepal, 2013. **3**(2): p. 7-10.
171. Tufekci, E., et al., *Prevalence of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances*. The Angle Orthodontist, 2011. **81**(2): p. 206-210.
172. Van der Veen, M., et al., *Caries outcomes after orthodontic treatment with fixed appliances: do lingual brackets make a difference?* European Journal of Oral Sciences, 2010. **118**(3): p. 298-303.
173. Knösel M, H.H.-J., *Post-orthodontische Schmelzentkalkungen und resultierende Folgekosten: Welche Perspektiven bieten linguale Apparaturen? Vortrag*, in 89. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGKFO. 2016: Hannover.
174. Knösel, M., et al., *Occurrence and severity of enamel decalcification adjacent to bracket bases and sub-bracket lesions during orthodontic treatment with two different lingual appliances*. European journal of orthodontics, 2016. **38**(5): p. 485-492.
175. Wiechmann, D., et al., *Lingual appliances reduce the incidence of white spot lesions during orthodontic multibracket treatment*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2015. **148**(3): p. 414-422.
176. Benesch, T., *Schlüsselkonzepte zur Statistik: die wichtigsten Methoden, Verteilungen, Tests anschaulich erklärt*. 2012: Springer-Verlag.

177. Fleiss, J.L., B. Levin, and M.C. Paik, *Statistical methods for rates and proportions*. 2013: John Wiley & Sons.
178. Shrout, P.E. and J.L. Fleiss, *Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability*. *Psychological Bulletin*, 1979. **86**(2): p. 420.
179. Türköz, Ç., et al., *Influence of thermoplastic retainers on Streptococcus mutans and Lactobacillus adhesion*. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2012. **141**(5): p. 598-603.
180. Low, B., et al., *Ultrastructure and morphology of biofilms on thermoplastic orthodontic appliances in 'fast' and 'slow' plaque formers*. *The European Journal of Orthodontics*, 2011. **33**(5): p. 577-583.
181. Albhaisi, Z., S.N. Al-Khateeb, and E.S.A. Alhaja, *Enamel demineralization during clear aligner orthodontic treatment compared with fixed appliance therapy, evaluated with quantitative light-induced fluorescence: A randomized clinical trial*. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2020. **157**(5): p. 594-601.
182. Hammad, H., K. Thedens, and M.H. Abo Younis, *Clinical comparison of three aligner systems*. 2019.
183. Azeem, M. and W.U. Hamid, *Incidence of white spot lesions during orthodontic clear aligner therapy*. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 2017. **6**(3): p. 127-130.
184. Buschang, P.H., et al., *Incidence of white spot lesions among patients treated with clear aligners and traditional braces*. *The Angle Orthodontist*, 2019. **89**(3): p. 359-364.
185. Schott, T.C. and G. Göz, *Color fading of the blue compliance indicator encapsulated in removable clear Invisalign Teen® aligners*. *The Angle Orthodontist*, 2011. **81**(2): p. 185-191.
186. Erbe, C., et al., *A New Method for Quantifying Labial White Spot Lesions*. 2020.
187. Khalaf, K., *Factors affecting the formation, severity and location of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances*. *Journal of Oral & Maxillofacial Research*, 2014. **5**(1).
188. Mizrahi, E., *Surface distribution of enamel opacities following orthodontic treatment*. *American Journal of Orthodontics*, 1983. **84**(4): p. 323-331.
189. Weidenkeller, J., et al., *Comparing Aligner and Multibracket Therapy in The Evaluation of White Spot Lesions*. 2021.
190. Sagarika, N., et al., *Prevalence of white spot lesion in a section of Indian population undergoing fixed orthodontic treatment: An in vivo assessment using the visual International Caries Detection and Assessment System II criteria*. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 2012. **15**(2): p. 104.
191. Akin, M., et al., *Incidence of white spot lesion during fixed orthodontic treatment*. *Turkish J Orthodol*, 2013. **26**(2).
192. Willmot, D. *White spot lesions after orthodontic treatment*. in *Seminars in Orthodontics*. 2008. Elsevier.
193. Tranæus, S., et al., *In vivo repeatability and reproducibility of the quantitative light-induced fluorescence method*. *Caries Research*, 2002. **36**(1): p. 3-9.
194. Heinrich-Weltzien, R., et al., *Quantitative light-induced fluorescence (QLF)--A potential method for the dental practitioner*. *Quintessence International*, 2003. **34**(3).

9 Appendix

Wie achte ich am besten darauf, dass alle Bereiche geputzt werden?

Das Einhalten einer Systematik hilft dabei (Abb. 7). Begonnen wird mit den Innenflächen der Zähne oben rechts und dann weiter nach links oben. Danach wird links unten und dann rechts unten weiter geputzt. In gleicher Weise wird mit den Außenflächen und Kauflächen verfahren.



Poliklinik für Kieferorthopädie

Putzanleitung

Richtiges Putzen mit einer Handzahnbürste und einer elektrischen Zahnbürste

Unser Wissen für Ihre Gesundheit

Universitätsmedizin Mainz
Poliklinik für Kieferorthopädie
Augustusplatz 2
55131 Mainz

© Erbe/Paukert/Ebert (Text/Bilder)

UNIVERSITÄT **med** **lin.**
MAINZ

Richtiges Putzen mit einer Handzahnbürste

An allen Innenflächen wird die Zahnbürste in einem 45° Winkel aufgesetzt.

Innenflächen Ober- und Unterkiefer:

Die Innenflächen der Zähne im Ober- und Unterkiefer werden geputzt, indem die Zahnbürste in einem 45° Winkel auf die Zähne aufgesetzt (Abb. 1) und in kleinen rüttelnden Bewegungen vom Zahnfleisch in Richtung Zahn bewegt wird. Wenn die Innenflächen der Zähne geputzt sind, werden die zur Wange und Lippe zeigenden Außenflächen der Zähne geputzt.



Außenflächen Ober- und Unterkiefer:

An der Außenfläche der Zähne wird wie auf der Innenseite in kleinen rüttelnden Bewegungen vom Zahnfleisch in Richtung Zahn bewegt (Abb. 2). Dabei sollte das Zahnfleisch mit massiert werden.



Kauflächen Ober- und Unterkiefer:

Die Kauflächen der Zähne werden geputzt, indem die Zahnbürste senkrecht auf die Kauflächen aufgesetzt wird (Abb. 3) und schrubbende Bewegungen durchgeführt werden.



Richtiges Putzen mit einer elektrischen Zahnbürste

Das Putzen mit einer elektrischen Zahnbürste erfolgt nach einem ähnlichen Prinzip, wie das zuvor beschriebene Putzen mit der Handzahnbürste.

Innen- und Außenflächen im Ober- und Unterkiefer:

Begonnen wird an den Innenflächen, indem die Bürste in einem 45° Winkel an jeden Zahn angesetzt und vom Zahnfleisch in Richtung Zahn bewegt wird (Abb. 4). Eine elektrische Zahnbürste, die rotierende und oszillierende Bewegungen macht, eignet sich am besten.



Wenn die Innenflächen der Zähne geputzt sind, werden die zur Wange und Lippe zeigenden Außenflächen der Zähne auf die gleiche Weise geputzt (Abb. 5).

Kauflächen Ober- und Unterkiefer:

Die Kauflächen der Zähne werden geputzt, indem die Zahnbürste senkrecht auf die Kauflächen aufgesetzt wird (Abb. 6). Begonnen wird dabei an den großen Backenzähnen und dabei Zahn für Zahn nach vorne gearbeitet.



Abbildung 29: Zahnputzflyer für die Patienten vor Beginn der Studienteilnahme