

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

**Kariesprävalenz und -inzidenz
bei kieferorthopädisch behandelten Jugendlichen**
—
**eine retrospektive Vergleichsstudie
zwischen Aligner- und Multibracket-Therapie**

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
vorgelegt von

Julia Weidenkeller
aus Wiesbaden

Mainz, 2020

Tag der Promotion: 08. Dezember 2020

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
1. Einleitung.....	8
2. Literaturdiskussion.....	10
2.1 Entstehungsprozess von kariösen Läsionen bei Jugendlichen.....	10
2.1.1 White-Spot-Läsionen.....	10
2.1.2 Kariogene Mikroorganismen.....	12
2.2 Kieferorthopädische Behandlungsformen.....	14
2.2.1 Was ist die Aligner-Therapie?.....	14
2.2.1.1 Die Anfänge.....	15
2.2.1.2 Die Herstellung der Aligner.....	16
2.2.1.3 Indikationen.....	17
2.2.1.4 Patientenklientel und Motivation.....	18
2.2.1.5 Vor- und Nachteile.....	19
2.2.1.6 Formen.....	21
2.2.1.7 Parodontale Gesundheit.....	25
2.2.1.8 Pflegemaßnahmen.....	27
2.2.2 Multibracket-Therapie.....	28
2.2.2.1 Ästhetische Bracketsysteme.....	28
2.2.2.2 Lingualtechnik.....	28
2.3 Prävalenz und Inzidenz von WSL bei der Aligner- und MB-Therapie.....	30
2.3.1 Prävalenz Vorher.....	31
2.3.2 Prävalenz Nachher.....	32
2.3.3 Inzidenz.....	34
2.4 Methoden in früheren Studien.....	36
2.4.1 Diagnoseverfahren von WSL.....	36
2.4.2 Indexierung von kariösen Läsionen.....	38
2.4.3 Auswertungsparameter.....	39
2.4.3.1 Verteilung nach Geschlecht.....	39
2.4.3.2 Verteilung nach Zahngruppen und Zahnflächen.....	40
2.4.3.3 Verteilung nach dem Zeitpunkt des Auftretens.....	42
2.5 Forschungslücke in der Literatur.....	43
3. Material und Methoden.....	44
3.1 Material.....	44
3.2 Methode.....	49
3.2.1 Maßzahlen der Prävalenz und Inzidenz.....	49
3.2.2 Fotografieren der Zahnflächen.....	51
3.2.3 Bewertung der Intensität von WSL.....	52
3.2.4 Bewertung des Ausmaßes von WSL.....	54
3.2.5 Berücksichtigung der verschiedenen Attachmenttypen.....	55
3.2.6 Statistische Auswertung.....	56
4. Ergebnisse.....	57
4.1 Übersicht und Zusammenfassung der Ergebnisse.....	57
4.2 Untersuchung der WSL-Prävalenz bei der Aligner-Therapie.....	59
4.2.1 Verteilung der WSL-Prävalenz im Oberkiefer.....	59
4.2.2 Verteilung der WSL-Prävalenz im Unterkiefer.....	61
4.2.3 Verteilung der WSL-Prävalenz nach Intensität und Ausmaß.....	62
4.3 Untersuchung der WSL-Inzidenz bei der Aligner-Therapie.....	64

4.4 Untersuchung der WSL-Prävalenz und -Inzidenz bei der Aligner- und MB-Therapie	66
4.4.1 Verteilung der WSL-Prävalenz auf die Einzelzähne	68
4.4.2 Verteilung der WSL-Prävalenz nach Intensität und Ausmaß	72
4.4.3 Untersuchung der inzidenten WSL-Verteilung nach Intensität und Ausmaß	76
4.5 Ergebnisse der logistischen Regression bei der Aligner-Therapie	78
4.5.1 WSL-Prävalenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen	78
4.5.2 WSL-Inzidenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen	81
4.6 Ergebnisse der logistischen Regression bei der MB-Therapie	83
4.6.1 WSL-Prävalenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen	83
4.6.2 WSL-Inzidenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen	85
5. Diskussion	87
5.1 Methodendiskussion	87
5.1.1 Vergleichbarkeit der Probandengruppen	87
5.1.2 Diagnoseverfahren und Indexierung der WSL	89
5.1.3 Beobachtungseinheit Zahnflächen versus Zähne	91
5.2 Ergebnisdiskussion	92
5.2.1 Prävalenz von WSL bei der Aligner- und MB-Therapie	92
5.2.2 Inzidenz von WSL bei der Aligner- und MB-Therapie	95
5.2.3 Einflussgrößen	100
5.2.3.1 Verteilung der WSL nach Geschlecht	100
5.2.3.2 Verteilung der WSL nach Ober- und Unterkiefer	101
5.2.3.3 Verteilung der WSL nach Zahngruppen und Zahnflächen	102
5.2.3.4 Verteilung der WSL nach dem Alter	104
5.2.3.5 Attachments	105
6. Zusammenfassung	106
6.1 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse	106
6.2 Limitationen	107
6.3 Empfehlungen für die kieferorthopädische Praxis	108
6.4 Empfehlungen für künftige Studien	108
7. Literaturverzeichnis	110
Lebenslauf	<i>Error! Bookmark not defined.</i>

Abkürzungsverzeichnis

CMD = Craniomandibuläre Dysfunktion

DMS V = Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie

EDI = Enamel-Decalcification-Index

MB = Multibracket

MBA = Multibracket-Apparatur

QLF = Quantitative Lichtinduzierte Fluoreszenz

S. mutans = Streptococcus mutans

WSL = White-Spot-Läsionen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entstehungsprozess von WSL (erstellt durch die Autorin)	12
Abbildung 2: Zahnschema (frontale Sicht)	44
Abbildung 3: Situation vor der Behandlung T0.....	45
Abbildung 4: Situation nach der Behandlung T1	45
Abbildung 5: Reihenfolge der Auswertung am Beispiel des Zahnes 21	52
Abbildung 6: Enamel Decalcification Index	52
Abbildung 7: Gradeinteilung von 0 bis 3 des EDI nach Banks & Richmond (1994)	53
Abbildung 8: Auswertungshilfe.....	54
Abbildung 9: Auswertung mit der an den Zahn angepassten Polyesterfolie	54
Abbildung 10: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Oberkiefer vor (blau) und nach (rot) der Aligner-Therapie	59
Abbildung 11: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Unterkiefer vor (blau) und nach (rot) der Aligner-Therapie.....	61
Abbildung 12: Balkendiagramm zur Darstellung der Intensität der WSL-Prävalenz der beobachteten Zahnflächen vor (blau) und nach (rot) der Aligner-Therapie	62
Abbildung 13: Balkendiagramm zur Darstellung des Ausmaßes der WSL-Prävalenz der beobachteten Zahnflächen vor (blau) und nach der Therapie (rot) mit Aligner... ..	63
Abbildung 14: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Flächen mit inzidenter WSL nach Intensität (EDI).....	64
Abbildung 15: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Flächen mit inzidenter WSL nach Ausmaß (%).....	65
Abbildung 16: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Oberkiefer vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau).....	68
Abbildung 17: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Oberkiefer nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot)	69
Abbildung 18: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Unterkiefer vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau)	70
Abbildung 19: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Unterkiefer nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot).....	71
Abbildung 20: Balkendiagramm zur Darstellung der Intensität der WSL der Zahnflächen vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau).....	72
Abbildung 21: Balkendiagramm zur Darstellung der Intensität der WSL der Zahnflächen nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot)	73
Abbildung 22: Balkendiagramm zur Darstellung des Ausmaßes der WSL der Zahnflächen vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau).....	74
Abbildung 23: Balkendiagramm zur Darstellung des Ausmaßes der WSL der Zahnflächen nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot)	75
Abbildung 24: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Intensität (EDI) unter den Flächen mit inzidenter WSL.....	76
Abbildung 25: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Inzidenz nach Ausmaß (%) unter den Flächen mit inzidenter WSL	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Formen von Aligner-Therapien.....	24
Tabelle 2: Literaturübersicht zur Untersuchung der Prävalenz von WSL vor der MB-Behandlung.....	31
Tabelle 3: Literaturübersicht zur Untersuchung der Prävalenz von WSL nach der MB-Behandlung.....	33
Tabelle 4: Literaturübersicht zur Untersuchung der Inzidenz von WSL bei der Aligner- und MB-Behandlung.....	35
Tabelle 5: Diagnoseverfahren von WSL.....	37
Tabelle 6: Einteilung der WSL.....	39
Tabelle 7: Anzahl der ausgewerteten Zahnflächen.....	45
Tabelle 8: Anzahl der Probanden, Zahnflächen und Messungen.....	47
Tabelle 9: Berechnung des Auftretens von WSL.....	50
Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse.....	57
Tabelle 11: Prävalenz zum Zeitpunkt T0 und T1, Beobachtungseinheit Patient.....	66
Tabelle 12: Inzidenz gesamt und aufgeteilt nach Geschlecht, Beobachtungseinheit: Patient.....	67
Tabelle 13: Logistische Regression (GEE-Modell) – Prävalenz der Zahnflächen nach Aligner-Therapie.....	79
Tabelle 14: Logistische Regression (GEE-Modell) – Inzidenz der Zahnflächen während der Aligner-Therapie.....	81
Tabelle 15: Logistische Regression – Prävalenz der Zahnflächen nach MB-Therapie.....	83
Tabelle 16: Logistische Regression – Inzidenz der Zahnflächen während der MB-Therapie.....	85
Tabelle 17: Messung von WSL-Inzidenz in Aligner-Studien.....	95
Tabelle 18: Messung von WSL-Inzidenz in MB-Studien.....	96
Tabelle 19: Nicht thematisierte Faktoren in MB-Studien.....	97
Tabelle 20: Unterschiedliche Parameter in MB Studien.....	98
Tabelle 21: Unterschiede bei Aligner- und MB-Therapie.....	99
Tabelle 22: Prävalenz und Inzidenz nach Geschlecht.....	100
Tabelle 23: Prävalenz und Inzidenz nach Ober- und Unterkiefer aufgeteilt.....	101
Tabelle 24: Prävalenz und Inzidenz nach Zahngruppen und Zahnflächen.....	102
Tabelle 25: Prävalenz und Inzidenz nach Alter.....	104
Tabelle 26: Prävalenz und Inzidenz in Bezug auf Attachments.....	105

1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten zeigen sich signifikante Verbesserungen in der Mundgesundheit. Die Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V) stellt die aktuellste Untersuchung der Mundgesundheit in Deutschland dar. Laut der DMS V hat sich die Zahl der kariesfreien Kinder von 1997 bis 2014 verdoppelt. Heute sind 81,3% der 12-jährigen Jugendlichen laut der DMS V kariesfrei und jedes zweite Kind ist informiert, wie gute Zahnpflege gelingt. Dazu gehört das Wissen über das Zähneputzen und den Einfluss von Zuckereinnahme und Fluoridzufuhr. Diese Aufklärungsarbeit über die Bedeutung der Mundhygiene zur Vermeidung von Karies hat zu einem Rückgang im Auftreten von Karies geführt, da durch eine gute Zahnpflege Bakterien und Plaque eliminiert werden.

Obwohl ein Kariesrückgang zu beobachten ist, stellt Karies dennoch eine der häufigsten chronischen Erkrankungen dar (1). Eine Vorstufe im Entstehungsprozess von Karies sind frühe Schmelzläsionen, sogenannte White-Spot-Läsionen (WSL) (2). Das Auftreten dieser weißen, kreidigen Flecken weist auf eine Demineralisierung und eine eventuelle Zerstörung der Zahnhartgewebe hin, die durch Bakterien im Zusammenspiel mit anhaltender Plaquebesiedlung hervorgerufen werden.

Kieferorthopädische Behandlungen finden zum größten Teil bei Jugendlichen am Ende der zweiten Dentition, im Alter von 10 bis 14 Jahren statt (3, 4). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Frage, ob und wie häufig bei umfassenden kieferorthopädischen Behandlungen von Jugendlichen WSL als unerwünschte Begleiterscheinung auftreten. Dabei werden zwei der wichtigsten Behandlungsmethoden verglichen, nämlich Aligner- und Multibracket (MB)-Apparaturen, die die hauptsächlichen Behandlungsoptionen in der Kieferorthopädie darstellen und deswegen für diese Studie ausgewählt wurden.

Bei der Aligner-Therapie handelt es sich um eine Behandlungsmethode in der Kieferorthopädie, die sowohl kosmetische als auch gesundheitliche Stellungskorrekturen an den Zähnen vornimmt. Aligner (von Englisch „align“ für Deutsch „ausrichten“) sind durchsichtige Schienen. Unter den Aligner-Systemen ist Invisalign® die am weitesten verbreitete und untersuchte Therapieform und die zugrunde liegende Aligner-Methode in dieser wissenschaftlichen Untersuchung.

Bei MB-Apparaturen werden sichtbare Brackets auf die Zahnflächen aufgeklebt. Brackets sind kleine quadratische Plättchen. Dabei gibt es je nach Diagnose und Schwierigkeitsgrad Standardteile oder individuell angefertigte und an die Zahnoberfläche angepasste Brackets.

Bei der Literaturrecherche fand sich ein Treffer zur Suche nach Aligner-Therapien im Zusammenhang mit WSL (5). Zu MB-Therapien gibt es bereits zahlreiche Untersuchungen (2, 6-20). Nach Wissen der Autorin gibt es zum Zeitpunkt dieser Dissertation keine Studie, die Aligner und MB im Hinblick auf WSL vergleicht.

Deshalb ist es das Ziel der vorliegenden retrospektiven Vergleichsstudie, dass zum ersten Mal eine Gegenüberstellung und ein Vergleich gezogen wird zwischen Prävalenz und Inzidenz von WSL bei Aligner- und bei MB-Therapie.

2.Literaturdiskussion

Im Folgenden wird zunächst die heutige Bedeutung von Karies und insbesondere die Entstehung von WSL erläutert. Danach wird die Aligner- und MB-Therapie als kieferorthopädische Behandlungsform bei Jugendlichen vorgestellt. Um anschließend die Wirkung auf die Prävalenz und Inzidenz, das Auftreten und Neuauftreten von WSL im Zusammenhang mit kieferorthopädischen Behandlungen darzulegen. Anhand relevanter Studien werden daraufhin die bisherigen wissenschaftlichen Forschungsergebnisse und der aktuelle Stand der Forschung vorgestellt und diskutiert.

2.1 Entstehungsprozess von kariösen Läsionen bei Jugendlichen

2.1.1 White-Spot-Läsionen

Karies ist eine chronische Krankheit, die die Zahnhartsubstanz durch Demineralisationen zerstört. Zu Demineralisationen kommt es durch kariogene Mikroorganismen in der Zahnplaque in Verbindung mit niedermolekularen Kohlenhydraten. Zahnplaque ist ein Zahnbelag, auch Biofilm genannt, der aus, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Bakterienzellen, Nahrungsresten und Speichelbestandteilen besteht (21). Die Mikroorganismen bauen die Kohlenhydrate zu organischen Säuren ab. Demineralisationen sind die Folge von Säureeinwirkungen durch die Metaboliten von Speiseresten (15). WSL stellen die ersten Zeichen von oberflächlichen Schmelzdemineralisationen dar, resultieren aus einem Ungleichgewicht von Remineralisationen und Demineralisationen (12), hin zu verminderter natürlicher Remineralisation (22) und sind eine Vorstufe bei der Kariesentwicklung (15). Zu den begünstigenden Risikofaktoren des Auftretens von kariösen Läsionen während einer kieferorthopädischen Behandlung zählen eine unzureichende Mundhygiene, bereits vor der kieferorthopädischen Behandlung bestehende WSL, unzureichende oder fehlende Fluoridzufuhr (23) und ein sehr junges Alter zu Behandlungsbeginn (24).

Die Anfälligkeit und Entwicklung von WSL ist auch abhängig von der individuellen Speichelzusammensetzung und Speichelfließrate (22). Speichel setzt sich aus Ionen, organischen Molekülen, Enzymen und Proteinen zusammen und verfügt über ein Puffersystem. Gesättigte Calcium- und Phosphationenkonzentrationen ermöglichen eine Remineralisation des Zahnschmelzes. Ein saurer pH-Wert des Speichels verschiebt das Gleichgewicht der freien Ionen und begünstigt Demineralisationen (25).

Beginnende kariöse Läsionen erscheinen durch den Mineralstoffverlust des Schmelzes weißlich (55). Die weniger mineralisierten Schmelzbereiche reflektieren das Licht, welches somit nicht das Dentin erreichen können kann. So erscheinen die WSL opak (12). WSL sind die erste klinische Manifestation einer Entkalkung, die zu Karies führen kann (2). Laut Zachrisson and Zachrisson, 1971 (16) zählen WSL zu den häufigsten iatrogen verursachten Schmelzläsionen im Zusammenhang mit festsitzenden Apparaturen. WSL resultieren aus einem Ungleichgewicht von Remineralisationen und Demineralisationen (12) hin zu verminderter natürlicher Remineralisation (22). Demineralisationen sind eine Folge von Säureeinwirkung.

Hinsichtlich der Prävention und Behandlung von WSL stehen verschiedene Möglichkeiten offen. Diese erfordern aber ein kontinuierliches Beobachten und Behandeln und verursachen zusätzliche Kosten. Darüber hinaus ist die minimal- und mikroinvasive Behandlungsmethode bei tiefergehenden Läsionen in ihrer Wirkungsweise begrenzt (24). Die prophylaktische Anwendung von Fluorid während der kieferorthopädischen Behandlung soll die Entwicklung von WSL verhindern (23, 26). Rosenbloom et al. (27) zeigen auf, dass eine Probeentnahme 6 bis 15 Wochen nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung nun einen Rückfall der Demineralisationen auf ähnliche Level von gleichaltrigen unbehandelten Kontrollgruppen vorweisen.

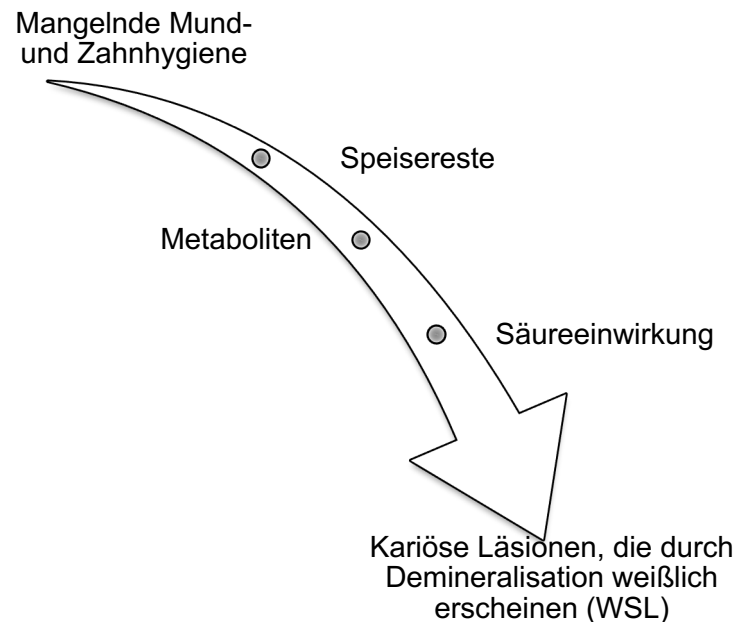


Abbildung 1: Entstehungsprozess von WSL (erstellt durch die Autorin)

Die Säureeinwirkung wird noch verstärkt, wenn zu mangelnder Mund- und Zahnhygiene mangelnde eine unzureichende Reinigung der Apparaturen hinzukommt.

2.1.2 Kariogene Mikroorganismen

Zu den bekannten Karies auslösenden Faktoren zählen die Ernährungszusammensetzung, die Fluoridapplikation, die Mund- und Zahnhygiene, der Speichelfluss und immunologische Faktoren (28). Karies ist eine Folge des mikrobiologischen Ungleichgewichts der Mundflora hin zu vermehrtem Vorkommen pathogener Bakterienstämme (28). Mutans Streptokokken und Laktobazillen sind die namhaften Vertreter. Streptokokken sind vor allem die Auslöser von kariösen Läsionen, während Laktobazillen mit der Manifestation und dem Fortschreiten der kariösen Läsionen assoziiert sind. Mit ihnen steigt das Risiko für Demineralisationen der Zahnhartsubstanz (28, 29). Wird das Vorkommen der kariösen Mikroorganismen, vornämlich Streptokokkus mutans und auch Laktobazillen im Biofilm bei unbehandelten Probanden und Probanden unter kieferorthopädischer Behandlung (MB) verglichen, zeigt sich ein Anstieg unter der Therapie (12, 29). Das lässt sich mit der Akkumulation durch die Bänder, Bögen und Brackets auf den Zahnflächen

erklären. Kieferorthopädische Apparaturen erschweren die Mundhygiene und erhöhen die möglichen Retentionsstellen für Mikroorganismen und Essensreste (29).

Auch kieferorthopädische Attachments, die ihre Anwendung in der Aligner-Therapie finden, sind mit höheren Bakterienkonzentrationen assoziiert. Die Aligner folgen dem Verlauf des Zahnbogens und die Oberfläche der Aligner ist nicht völlig glatt, wodurch eine Bakterien- und Biofilmanlagerung begünstigt wird (30). Zusätzliche Plaqueretentionsstellen und damit ein Anstieg der mikrobiellen Last sind nachweisbar (30). Im Vergleich zeigen Probanden mit Aligner eine niedrigere *S. sanguinis* Konzentration auf als Probanden mit MB-Apparaturen. Rosenbloom et al. (27) beweisen, dass sich die orale Mikroflora während der kieferorthopädischen Behandlung hin zu höheren Konzentrationen von kariogenen Mikroorganismen in Plaque und Speichel verschiebt. Nach sechs Monaten kieferorthopädischer Behandlung stellt sich ein signifikanter Anstieg in der *Streptokokkus mutans* und *Lactobacillus* spp. Konzentration im Speichel dar. Dies zeigen Maret et al. in ihrer Studie (31). Batoni et al. (32) zeigen auf, dass Aligner potenzielle Träger von Bakterienkolonien sind, indem sie die *Streptokokkus mutans* Konzentration im Speichel von Kindern, die mit herausnehmbaren Alignern behandelt wurden, mit dem Speichel von Kindern, die keiner Behandlung unterzogen wurden, verglichen. Herausnehmbare Apparaturen sind somit ein möglicher kariesfördernder Faktor. Eine weitere Studie zum Thema Prophylaxe zeigt, dass Aufklärung, Instruktion, Motivation, praktische Übungen und Anschauungen bereits von 3- bis 7 Jahre alten Schulkindern zu einer signifikanten Reduktion der *S.mutans* Konzentration im Speichel der Kinder führen (64,8% nach 3 Monaten; 86,6% nach 6 Monaten) (33). Deshalb haben präventive Maßnahmen wie regelmäßige zahnärztliche Untersuchungen und wiederholte Hygieneinstruktionen einen hohen Stellenwert.

2.2 Kieferorthopädische Behandlungsformen

Im Folgenden werden die beiden in dieser Studie verglichenen Behandlungsformen Aligner und MB vorgestellt.

2.2.1 Was ist die Aligner-Therapie?

Invisalign®, als zugrundeliegende Behandlungsmethode dieser wissenschaftlichen Untersuchung, ist eine ästhetische und nahezu unsichtbare (engl. = invisible) kieferorthopädische Aligner-Therapiemethode (34). Sie besteht aus einer Serie von herausnehmbaren, durchsichtigen und dünnen Kunststoffschienen, welche die Zähne bukkal, okklusal und lingual oder palatinal (35, 36) und die marginale Gingiva propria umfassen (37). Anwendung findet sie bei Erwachsenen und Jugendlichen mit vollständig durchgebrochenen bleibenden Zähnen (38-40). Die Aligner werden individuell angefertigt. Charakteristisch für die Invisalign®-Methode ist die virtuelle, computergestützte, dreidimensionale Simulation der Zahnbewegungen von Beginn bis Ende der Behandlung. Mit diesen Bildern werden die erforderlichen Aligner erstellt (35). Es wird ein virtuelles Modell angefertigt, welches die Zahnstellung des Patienten wiedergibt abbildet. Mit diesem virtuellen Modell wird ein Behandlungsplan erstellt (41). Schritt für Schritt werden die Zähne mit aufeinanderfolgenden Aligner in die vorher virtuell dargestellte vorgesehene Position gebracht. Die ideale Tragedauer beträgt täglich 20-22 Stunden (36, 42, 43). Herausgenommen werden sollten die Aligner während der Therapie nur zum Essen, zum Reinigen und zur Zahnpflege (35). Eine durchschnittliche Aligner-Therapie hat 50 Wochen Behandlungszeit mit einer durchschnittlichen Anzahl von 25 Aligner. Die Tragedauer beträgt zwei Wochen, bis die Umstellung auf eine weitere Schiene erfolgt (36). Die Anzahl der Aligner variiert je nach Schwere der Fehlstellung meist zwischen 10 und 50 Aligner (36). Bei der Aligner-Technik dienen Befestigungen aus Komposit, sogenannte Attachments, dazu die Zahnbewegungen zu erweitern (44). Diese werden mit der Komposittechnik adhäsiv an der Zahnoberfläche befestigt. Ein Aligner kann einzelne Zähne um jeweils 0,25-0,30mm bewegen (36, 40, 43).

2.2.1.1 Die Anfänge

Das Aligner-Konzept beruht auf der Idee der Entwicklung einer Schiene durch den Kieferorthopäden H.D. Kesling (45), der diese Idee zum ersten Mal in der Fachliteratur 1945 erwähnte. Darin wird erstmals eine Reihe aufeinanderfolgender, flexibler, herausnehmbarer kieferorthopädischer Apparaturen als kieferorthopädischen Behandlungsmethode dokumentiert. Kesling verwendete mehrere aufeinanderfolgende Set-up-Modelle, um „tooth positioner“ zur kieferorthopädischen Zahnkorrektur herzustellen. Diese wurden zunächst aus Kautschuk und später aus elastischen Silikonen hergestellt und umfassten beide Zahnbögen. Neben einer Zahnstellungskorrektur dienten die Aligner der Stabilisierung des Behandlungsergebnisses (45).

Ein ähnliches Vorgehen wurde auch von Ponitz (46), McNamara et al. (47), Sheridan et al. (48) und Rinchuse & Rinchuse (49) beschrieben. Ab 1960 wurden einteilige Aligner eingeführt (50). Die zahntechnischen Labore stellten die Aligner aus thermoplastischen Folien auf Setup-Modellen her, auf denen die Zähne in die kieferorthopädisch korrigierte Position positioniert wurden. Der Nachteil in den Anfängen dieser Technik lag in den mehrmaligen Abformungen, da für jeden weiteren Schritt in der Zahnbewegungen neue Set-up Modelle benötigt wurden (36).

Eine effiziente Behandlung und verbreitete Anwendung der Align Technology Inc. (Santa Clara, Kalifornien, USA) in der kieferorthopädischen Behandlungspraxis erfolgte ab dem Jahr 1997 durch das von Align Technology Inc. entwickelte Invisalign®-System (40, 51), das seit 1999 zur Korrektur von Zahnfehlstellungen (engl.=align) angewendet wird (36, 52, 53). In Deutschland startete Align Technology eine Medienkampagne im Mai 2001 zur Vorstellung der Invisalign®-Behandlung (51, 53). Moderne Aligner-Systeme nutzen zunehmend die Digitalisierung und zeichnen sich durch ihre computerbasierte Technologie aus. Kieferabformungen mit Abformmassen werden durch intraorale 3D-Scans der Zähne ersetzt. Die Set-ups werden virtuell am Computer dargestellt und erst anschließend werden Set-up-Modelle zur Aligner-Produktion erstellt. Somit kompensiert das computergestützte Herstellungsverfahren der Invisalign®-Schiene die wiederholenden Abformungen und den Aufwand neuer Zwischenmodelle während der Behandlung. Das anfängliche Konzept der „Set-up Technik“ entwickelte sich somit zu einer effizienten und weit verbreiteten Behandlungsmethode (36).

Das Unternehmen Align Technology, Inc. entwickelte 1997 das Konzept in den USA. Dabei werden die Aligner nach Maß gefertigt und dem behandelnden Kieferorthopäden per Post zugestellt. Das Konzept basiert auf der Herstellung verschiedener, sich schrittweise an das Behandlungsziel annähernde Setup Modelle. Auf diesen Modellen werden die Aligner angefertigt (44). Die gute Ästhetik, der hohe Tragekomfort und die uneingeschränkte Mundhygienemöglichkeiten führten zur Entwicklung und Etablierung der Invisalign®-Methode, einer ebenbürtigen Behandlungsalternative zu Multibracket-Apparaturen. Bereits im Jahre 2003 wurden ca. 40.000 Patienten in den USA und Kanada mit Invisalign® behandelt (36).

2.2.1.2 Die Herstellung der Aligner

Von jedem Patienten werden zu Behandlungsbeginn Polyvinyl Siloxan Abformungen genommen, ein Zentrikregistrat angefertigt, eine Panoramaschichtaufnahme gemacht und ein Fernröntgenseitenbild und Fotos angefertigt. Diese Unterlagen werden an Align Technology verschickt. Mit den Abdrücken werden Gipsmodelle erstellt, welche in Epoxid und Urethan gelagert werden (35, 54). Die Modelle werden durch Laserscanverfahren in dreidimensionale digitale Bilder konvertiert (53-55). Alternativ können heute auch direkt digital mit intraoralen Scan-Verfahren (wie. z.B. mit dem iTero-Scanner) 3D-Scans erstellt und an Invisalign versendet werden zur weiteren Bearbeitung (56).

Als nächsten Schritt simuliert Invisalign® die Zahnbewegungen mit einem Computerprogramm, dem sogenannten ClinCheck® (Align Technology, Santa Clara, Calif.) (34). Dazu werden die virtuellen Zähne separiert, damit sie individuell bewegt werden können. Das 3D-Modell wird virtuell nach den Vorgaben des Behandlungsplanes vom Kieferorthopäden erstellt (36). Dabei dient eine virtuelle Gingiva zur Orientierung für die Ausdehnung der Aligner (54).

Mit der ClinCheck®-Software wird virtuell die Zahnkorrektur Schritt für Schritt von der Ausgangssituation bis zur erwünschten und erzielten korrigierten Zahnposition durchgeführt (36). Die Anzahl der Zwischenschritte ist abhängig von der Komplexität der Bewegungen. Änderungen des Behandlungsplanes sind unbeschränkt möglich (36). Vor Herstellung der Aligner werden diese Ergebnisse dem Behandler über die Homepage von Invisalign® vorgestellt. Nach Erhalt der Bestätigung des Kieferorthopäden werden die Aligner mit CAD (Englisch für computer-aided design und

Deutsch für rechnerunterstütztes Konstruieren) und CAM (Englisch für Computer-aided manufacturing und Deutsch für rechnerunterstützte Fertigung) (am Anfang hattest du Englisch mit eng abgekürzt) durch CAD-CAM-Technologie erstellt nach Anfertigung eines stereolithografischen Modells (53, 55). Auf diesen werden die Aligner mit der Tiefziehtechnik unter Verwendung eines Biostar Druckfromgerätes (Scheu-Dental, Iserlohn, Deutschland) hergestellt. Die Aligner werden mit den Initialen der Patienten, der Fallnummer, der Alignernummer und der Bezeichnung Ober- oder Unterkiefer versehen. Nach Desinfektion werden sie verpackt und an den Behandler verschickt (35, 55).

2.2.1.3 Indikationen

Aligner-Systeme haben ihre Indikationen und Beschränkungen. Sie weisen erwiesene biomechanische Grenzen auf in Bezug auf körperliche Zahnbewegungen und bei Torquebewegungen. Somit ist es die Aufgabe des Behandlers in jedem einzelnen Patientenfall die geeignete Behandlungsmethode zu wählen abgestimmt auf das jeweilige Behandlungsspektrum, das mit der kieferorthopädischen Apparatur möglich ist.

Mit Invisalign® werden größere Zahnbewegungen möglich (54). Für einfache bis mittlere Fälle ohne Extraktionen sollte die Invisalign®-Behandlung vorgesehen werden (36). Weiterhin können die Aligner modifiziert werden durch Attachments. Die Attachments können Rotationen und die Kontrolle von Angulationen ermöglichen sowie die Retention der Aligner erhöhen. Ihre therapeutische Anwendung ermöglicht es vorhersagbare Zahnbewegungen zu erreichen. Transversale und vertikale Positionen auf den Zähnen werden für den Torque der Inzisiven und zur Distalisierung der Molaren genutzt (57). Sie sind aus Komposit und werden mit durchsichtigen Schablonen, sogenannten Attachment-Templates, auf die Bukkalflächen und seltener auf die Palatinal-/ Lingualflächen bestimmter Zähne geklebt. Die üblichen Fehlstellungen, die mit dem Aligner-System behandelt werden, sind leichte Engstände und Fehlstellungen von 1 bis 5 mm. Weiterhin finden die Aligner Anwendung bei Platzprobleme von 1 bis 5 mm, wenn ein Tiefbiss oder ein enger Zahnbogen vorliegt, der erweitert werden kann ohne die Zähne zu sehr zu kippen.

Schwere Fällen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Anwendung der Aligner-Therapie erschwert ist, insbesondere durch Engstände und Lücken größer als 5 mm,

skelettalen Anomalien größer als 2 mm, Diskrepanzen in der Zentrik und der zentrischen Okklusion, mehreren rotierten Zähnen um mehr als 20 Grad, frontal und/oder seitlich offener Biss, Zahnextrusionen, Kippungen von Zähnen um mehr als 45 Grad, Zähne mit kurzen klinischen Kronen und Zahnbögen mit mehreren fehlenden Zähnen. Jedoch schließt die erschwerte Behandlung der genannten Anomalien eine Behandlung mit Aligner nicht komplett aus.

Die Aligner-Therapie stellt eine weniger invasive Behandlung im Vergleich zu herkömmlichen kieferorthopädischen Behandlungsoptionen dar. Einschränkende Indikationen sind die Extraktionsfälle von Prämolaren und kieferorthopädische Bewegungen von impaktierten Zähnen. Eine weitere Einschränkung stellt die Chirurgie mit mehreren Osteotomiesegmenten dar (58). Es besteht auch die Behandlungsoption, mehrere Behandlungsmethoden zu kombinieren (36).

2.2.1.4 Patienten Klientel und Motivation

Die Aligner-Therapie stellt eine ästhetische kieferorthopädische Behandlungsoption dar (54). In einer Patientenbefragung die Meier et al. 2003 (51) durchführten, nennen 97% der Befragten ästhetische Gründe als Motiv der Korrektur ihrer Zahnfehlstellung. 40% der Befragten sehen die Behandlung zudem auch als eine Grundlage für einen längeren Zahnerhalt sowie eine verbesserte Sprech- und Kaufunktion. Nur 3% der Patienten erhoffen sich einen längeren Zahnerhalt. 62% der Interessierten lehnen aus ästhetischen Gründen eine Behandlung mit sichtbaren Apparaturen ab.

Auch durch den vorteilhaften Tragekomfort ist die Aligner-Therapie zu einer akzeptierten kieferorthopädischen Behandlungsoption geworden (53). Meier et al. (51) kamen in ihrer Untersuchung zum Ergebnis, dass 72% der an einer Aligner-Therapie interessierten Patienten Frauen und die Probanden zwischen 15 bis 68 Jahre alt waren. Für eine Behandlung mit Aligner interessierten sich hauptsächlich 20- bis 29-jährige Frauen, bei den Männern waren es 30- bis 39-jährige Patienten. 76% der Patienten waren Angestellte und Schüler bzw. Studierende, dabei waren Selbstständige und Beamte deutlich weniger vertreten.

Der hohe Frauenanteil der Befragten lässt sich auf einen erhöhten ästhetischen Anspruch beim weiblichen Geschlecht zurückführen. Weiterhin hat das Alter einen Einfluss auf den Behandlungsgrund. Mit zunehmendem Alter legen die Menschen tendenziell weniger Wert auf Ästhetik. Diese Hypothese wird durch die Studie von

Meier et al. (51) bestätigt, da 97% der Befragten in der Altersgruppe von 20 bis 29 Jahren angaben, eine Behandlung aus ästhetischen Gründen zu wünschen. 62% der Befragten lehnten eine sichtbare Behandlungsoption ab, dies verdeutlicht den hohen Stellenwert des ästhetischen Bewusstseins und damit die Nachfrage nach einer ästhetischen Behandlungsmethode.

2.2.1.5 Vor- und Nachteile

Patienten, die mit den bisherigen kieferorthopädischen Apparaturen keine Behandlung wünschen, sind offen für die Aligner-Therapie (59). Zu den Vorteilen der Aligner-Therapie zählt der ästhetische Gesichtspunkt, die leichte Anwendung für den Patienten, der Tragekomfort und das angenehme Tragegefühl. Weiterhin die einfache Reinigung und eine gut durchführbare Mundhygiene (36), sowie meist fehlende mögliche allergische Reaktionen wie bei der Anwendung der Brackets aus Metall und kein zur Befestigung notwendiges Kleben (35), außer bei der Verwendung von Attachments. Erwachsene Patienten entscheiden sich für eine kieferorthopädische Behandlung hauptsächlich aus ästhetischen Gründen. Eine nebensächliche Rolle spielen funktionelle Gründe (60). Der ästhetische Vorteil der Aligner-Technik überzeugt erwachsene Patienten (40, 43). Unsichtbare kieferorthopädische Behandlungsmethoden haben die Kieferorthopädie dahingehend verändert, dass nun selbst Patienten, die sich aus beruflichen oder ästhetischen Gründen keiner kieferorthopädischen Behandlung unterziehen konnten, eine mögliche Behandlungsalternative haben. Meist fordern erwachsene Patienten und Berufstätige, die im öffentlichen Leben stehen, Erwachsene mit Engständen und Rückfällen nach bereits erfolgter kieferorthopädischer Behandlung, Berufssportler und auch Jugendliche eine unsichtbare Behandlungsmethode (61).

Der virtuelle Behandlungsplan bringt Vorteile mit sich. Weiterhin zählt als Vorteil die mögliche detaillierte Evaluation der Behandlungsoptionen vor Behandlungsbeginn mit einem virtuellen Behandlungsmodell (36). Dieses stellt eine Motivationshilfe für den Patienten dar, weil es das Ziel der kieferorthopädischen Behandlung abbildet.

Nachteilig wirkt sich die begrenzte Kontrolle über Wurzelbewegungen aus. Ausgeprägte skeletale Diskrepanzen können nicht ausschließlich alleine mit Alignern behandelt werden, da die mögliche intermaxilläre Korrekturmöglichkeit mit Aligner begrenzt ist. Die fehlende Kontrolle des Behandlers über spezifische Zahnbewegungen stellt einen weiteren Nachteil dar, da der Behandler die Schiene

während der Behandlung nicht verändern kann. Sollten Veränderungen nach Anbruch der Behandlung notwendig sein, verursacht das zusätzliche Kosten und Zeit (36). Zusätzlich wird während der kieferorthopädischen Behandlung Zeit zur Dokumentation benötigt, da der Behandler für jeden Zahn schrittweise Bewegungen vom Beginn bis zum Behandlungsende plant (35). Weiterhin können leichte Intrusionen (0,25-0,5mm) der hinteren Molaren auftreten. Diese können dann allerdings innerhalb der Retentionsphase korrigiert werden. Ein weiterer Nachteil stellt die Adhärenz dar, weil der Patient für die vorgegebene Tragezeit selbst verantwortlich ist. Die Tragezeit sollte jedoch für einen Behandlungsfortschritt und zur Erzielung einer effektiven Therapie der vorgegebenen Stundenanzahl entsprechen (35, 42).

Aligner zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie nur zu minimal ansteigender Zahnmobilität führen. Das wird erreicht durch eine höhere Anzahl der verwendeten Aligner und minimalere angewendete Kräfte und Bewegungen der einzelnen Aligner. Weiterhin besteht die Möglichkeit zur Schienung von Zähnen und bei Bedarf zu einer möglichen langsameren Bewegung einzelner Zähnen, um die auf sie ausgeübte Kraft zu minimieren (58).

Der Vorteil in der Aligner-Technik liegt in der weiterhin uneingeschränkt möglichen und gewohnten Mundhygiene, ohne ein Behandlungsgerät im Mund zu haben.

Der Mundstatus vor der Behandlung sollte beleuchtet werden, um mögliche Veränderungen der Mundgesundheit im Zusammenhang mit kieferorthopädischen Behandlungen zu erkennen und unterscheiden zu können. Meier et al. (51) untersuchen die Mundgesundheit ihrer Probanden vor Studienbeginn. 54% der Interessierten weisen eine schlechte Mundhygiene auf. 61% haben eine Gingivitis und 33% benötigen vor Behandlungsbeginn eine systematische Parodontalbehandlung. Eine schlechte Mundhygiene oder Mundgesundheit gilt aber nicht als Kontraindikation für eine Aligner-Therapie, da einer der Vorteile der Aligner darin besteht, dass sie herausnehmbar sind und daher eine uneingeschränkte Zahnreinigung möglich ist.

Nahezu unsichtbare Aligner stehen den Bögen und Brackets klassischerweise aus Metall gegenüber (40). Der ästhetische Vorteil lässt viele Patienten die Aligner-Therapiemethode wählen (58). Die Nachteile festsitzender kieferorthopädischer Behandlungen umfassen den ästhetischen Gesichtspunkt sowie unangenehme Empfindungen an Zähnen und Weichgewebe. Darüber hinaus sind soziale Gründe zu nennen (55).

Eine weitere Studie verzeichnet größere Einschränkungen des täglichen Lebens während einer festsitzenden Behandlung im Vergleich zur Behandlung mit Aligner. Der

Unterschied ist signifikant. Vor allem 15-16 jährige Patienten geben Beschränkungen beim Sprechen und bei den Essgewohnheiten an. Es kann bestätigt werden, dass Aligner eine bessere Lebensqualität zulassen (58).

Festsitzende Apparaturen bringen unangenehme Empfindungen an Zähnen und Weichgewebe, den ästhetischen Nachteil und Nachteile in sozialen Interaktionen mit sich (55).

Ein Fall berichtete bisher von Wurzelresorptionen durch die Aligner-Therapie. Weiterhin sind weniger Weichteilverletzungen der Lippe, der Zunge und des Gaumens und Muskelverspannungen oder myofaziale Schmerzen durch Habits während der Aligner-Therapie verzeichnet (58).

2.2.1.6 Formen

Die Invisalign®-Methode wurde für diese wissenschaftliche Untersuchung nach Vorkommen und Häufigkeit von WSL unter der Behandlung gewählt, weil es die zurzeit am weitesten verbreitete und eine wissenschaftlich untersuchte Technik unter den Aligner-Apparaturen ist. Die Aligner-Therapie stellt die Anwendung von transparenten Schienen zur Zahnstellungskorrektur dar. Der in der Zahnmedizin verwendete Begriff Miniplast-Schiene umfasst die Anwendung von Aufbissschienen zur Behandlung von CMD-Erkrankungen. Diese werden auch Entlastungsschienen genannt und werden darüber hinaus als Schutz vor Abrasionen durch Bruxismus angewendet. Sie werden auch zum Schutz vor Abrasionen durch Bruxismus verwendet. Weiterhin dienen Schienen als Träger für Medikamente oder finden Anwendung beim Bleaching. In der Kieferorthopädie können sie passiv zur Retention als auch im Sinne von Positionern eine aktive Methode zur Zahnkorrektur darstellen.

Sogenannte Tooth Positioner wurden bereits 1944 eingeführt und zur Stellungskorrektur von Zähnen verwendet. Das Aligner-System Invisalign® gibt es seit 1998. Auf dem Markt gibt es mittlerweile mehrere bekannte Firmen, die verschiedene Aligner-Systeme anbieten. Weir (62) spricht von 27 verschiedenen für kieferorthopädische Therapien genutzte Aligner-Systeme. Der Patient wird vor Behandlungsbeginn über die Vor- und Nachteile der Alignertherapie aufgeklärt. Aufgrund der möglichen Behandlungsoptionen, im Sinne von festsitzenden Multibracket-Apparaturen und Aligner, sollten die Erwartungen des Patienten erfragt werden, um zwischen den möglichen kieferorthopädischen Apparaturen zu wählen.

Aligner bringen zusätzlich den Vorteil mit sich, dass sie herausnehmbar sind. Hergestellt werden können sie aus verschiedenen Kunststoffen (61). Auf dem Markt gibt es mittlerweile auch „Do it yourself“- Aligner (DIY). Crystal Braces, Smile Care Club sind Beispiele für diese DIY-Aligner, die direkt an den Patienten gerichtet sind (62).

Im Folgenden werden einige weitere Varianten geschützter Markennamen vorgestellt. CA® Clear Aligner, dieses Konzept nutzt drei Materialstärken und die Aligner sind so gestaltet, dass sie die Gingiva 2-3mm überdecken (63).

Die HarmonieSchiene®, dass in Deutschland entwickelte Konzept von Orthos Fachlabor für Kieferorthopädie GmbH & Co. KG, wird für kosmetische Korrekturen im Frontzahnbereich angewendet. Behandler können es ohne eine Zertifizierung nutzen, da es keine kieferorthopädische Korrektur darstellt. Die HarmonieSchiene® dient der ästhetischen Korrektur im sichtbaren Frontzahnbereich und benötigt dafür keine Software (46).

Zu den komplexeren Aligner-Systemen, die mit CAD/CAM Zahnbewegungen planen, zählen Invisalign®, ClearCorrect, ClearPath, eClinger, K Line und Orthocaps (62). ClearCorrect wurde 2006 gegründet und bedeckt im Unterschied zu Invisalign® die befestigte Gingiva mit den Aligner. Aus dem größeren Umfang der Schiene folgt eine stärkere Retention. Jedoch wird die Ausdehnung über die Gingiva in Zusammenhang gebracht mit der mikrobiellen Besiedlung und möglicher parodontaler Probleme (30). ClearPath, eClinger, K line und Orthocaps zeichnen sich durch ähnliche Merkmale wie das ClearCorrect System aus (62). Dr. Wajeeh Khan ist der Gründer von Ortho Caps GmbH (64).

Invisalign teen® sind Aligner, die gezielt an Teenager gerichtet sind. Eine blaue Indikator-Markierung - eingebracht in der Schiene - dient der Kontrolle und dem Einhalten der Tragedauer (65, 66).

nivellipso®, das erste Schweizer Aligner-System der nivellmedical AG, bedeckt ein Teil der Gingiva, mit dem Ziel die Passform zu optimieren und die Retention zu verstärken. Weiterhin wirbt die Firma mit einer verbesserten Druckübertragung und dem

Auskommen ohne Attachments. Während der Behandlung kommen drei Materialstärken zur Anwendung (67).

Bei der Gegenüberstellung zweier Alignersysteme, in diesem Fall die Fantasma- und Nuvola-Aligner, zeigte sich, dass beide Patientengruppen mit ihrer Behandlung sehr zufrieden waren und das geplante Behandlungsziel erreicht wurde (61). Patienten mit Fantasma-Aligner zeigten Schwierigkeiten bei der Aussprache spezieller Konsonanten (t/d/s/z/ts/dz/l/r), die sich im Laufe der Behandlung verbesserte. Vorteilhaft war die kürzere Tragedauer, da sie den Patienten eine freie Entscheidung bezüglich des Tragezeitpunktes erlaubt. Die Fantasma-Aligner sollten 14 Stunden getragen werden. Die Nuvola-Aligner setzten eine Tragedauer von 22 Stunden voraus. Diese beiden Aligner-Systeme unterscheiden sich in ihren Kunststoffen. Fantasma-Aligner werden aus Polyvinylchloriden (PVC) hergestellt. Dieses Material erlaubt die kurze optimale Tragedauer von 14 Stunden. Die Dicke der Aligner variiert je nach Therapie, überschreitet aber nicht 1mm. Zusätzlich können Bögen aus Beta-Titan oder australische Bögen angewendet werden, um Rotationen oder Kippungen der Zähne zu ermöglichen. Nuvola-Aligner werden aus Polyethylen-Terephthalat-Glykol (PETG) hergestellt, ein widerstandsfähiges, durchsichtiges Material. Die Alignerdicke hängt vom Behandlungsfortschritt ab. Zu Beginn sind die Aligner 0,75 mm dick, dann wird auf 0,85 mm dicke Aligner umgestiegen. In der letzten Phase der Behandlung haben die Aligner eine Dicke von 1mm. Sowohl Fantasma- und Nuvola-Alignersysteme sind kompatibel mit Attachments, die je nach Therapiebedarf angewendet werden. Zu Beginn des Herstellungsprozesses werden die Gipsmodelle mit einem Laserlesegerät gescannt. Die beiden Alignersysteme unterscheiden sich in der hierbei verwendeten Software. Nuvola nutzt die Software NUVOLA CAD 3D. Fantasma die Software Ortolab Pompei. Darauf folgt die Überführung der Informationen in ein Stereo Lithographisches Interfaceformat, um dann virtuell die Zahnbewegungen durchzuführen und die Set-Up Modelle herzustellen. Der nächste Schritt im Herstellungsverfahren der Nuvola- und Fantasma-Aligner mit der Software ist dann die Alignerherstellung (61).

Das folgende Diagramm zeigt die beschriebenen Aligner-Therapieformen in einer Übersicht.

Tabelle 1: Formen von Aligner-Therapien

Formen von Aligner-Therapien	Charakteristikum	Literaturnachweis
CA Clear Aligner	3 Materialstärken, gingivaüberdeckend	Zawawi et al. (2014)
ClearCorrect	CAD CAM geplant	Weir et al. (2017)
ClearPath	CAD CAM geplant	Weir et al. (2017)
Cristal Braces	kein Behandler nötig	Weir et al. (2017)
eClinger	CAD/CAM geplant	Weir et al. (2017)
Fantasmino	kurze Tragedauer von 14 Stunden	Ercoli et al. (2014)
HarmonieSchiene	kosmetische Korrektur im Frontzahnbereich	Zawawi et al. (2014)
Invisalign® Teen	blaue Markierung-zeichnet die Tragedauer wieder	Schott und Göz (2011)
K line	CAD/CAM geplant	Weir et al. (2017)
Nivellipso	3 Materialstärken, gingivaüberdeckend	https://www.nivellipso.com/for-orthodontists/company/about-nivellmedical/
Nuvola	aus Polyethylen-Terephthalat-Glykol (PETG)	Ercoli et al. (2014)
Orthocaps	CAD/CAM geplant	Weir et al. (2017)
Smile Care Club	kein Behandler nötig	Weir et al. (2017)

2.2.1.7 Parodontale Gesundheit

Der Zusammenhang zwischen Plaque und der parodontalen Gesundheit ist klinisch erwiesen (28, 68, 69). Aligner erzielten in der Anwendung bessere Ergebnisse im Hinblick auf Plaquequantität und -qualität (69) und eine bessere parodontale Gesundheit (37). Diesen Vergleich zogen Rossini et al. (68) zu den Ergebnissen mit einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung mit Brackets. Mehrere klinische (37) und mikrobiologische Studien (69) konnten zeigen, dass das Risiko an parodontalen Erkrankungen zu erkranken bei Patienten mit Aligner geringer war, als bei Patienten, die mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen behandelt wurden. Der Vorteil der Aligner liegt in ihrer Herausnehmbarkeit und ermöglicht somit ungehindert die gewohnte Zahnpflege (34). Deshalb weisen Patienten, die mit Aligner behandelt wurden, nicht den für kieferorthopädisch festsitzende Apparaturen typischen Biofilm auf. Dies führt zu einem verbesserten Parodontalstatus (55, 69). Miethke et al. (37) zeigten, dass durch die Alignerbedeckung der Zähne und der Gingiva mit Aligner das parodontale Erkrankungsrisiko nicht steigt. Die Autoren nannten auch die Herausnehmbarkeit und damit uneingeschränkte Mundhygiene als Erklärung. Beobachtungen bestätigten den Vorteil der Herausnehmbarkeit und der damit optimal erzielbaren Mundhygiene und der Abnahme von Plaqueretentionsstellen (46). Plaqueakkumulation und -retention spielen eine bedeutende Rolle. Diese kann im Falle kieferorthopädischer Behandlungen zu einer Verschiebung der mikrobiellen Flora hin zu parodontal aggressiveren Keimen führen (69). Eine schwerwiegende Parodontitiserkrankung stellt gewöhnlich eine Kontraindikation für eine festsitzende kieferorthopädische Behandlung dar, da eine festsitzende kieferorthopädische Behandlung während aktiver Parodontitis zu einer Verschlechterung der parodontalen Situation führen kann. Für Patienten mit erhöhtem Risiko zur Entwicklung einer Parodontitis sollte deshalb eine Aligner-Therapie der MB-Therapie vorgezogen werden (69).

Miethke und Vogt (37) zeigten in ihrer Studie mit erwachsenen Probanden, dass bei Patienten die häusliche Mundhygiene durch das Wegfallen von Brackets und Bögen erleichtert wird. Diese Studie beobachtete eine bessere Hygienesziplin unter den Aligner-Patienten woraus sich der bessere Gesundheitszustand des Parodonts folgern lässt. Diese Beobachtungen decken sich mit Beobachtung von Schaefer u. Braumann (70). Sie nannten das geschärfte Hygienebewusstsein der Patienten als Grund. Grundvoraussetzung für ein gesundes Parodont sind die Mundhygienebemühungen:

In dieser Studie konnten diese gut in Zusammenhang mit den beiden Therapieformen gestellt werden. Aus den 12 Behandlungsmonaten konnte der Rückschluss gezogen werden, dass Jugendliche mit einer herausnehmbaren Apparatur eine bessere Zahnpflege betrieben, weniger Plaque aufwiesen und eine geringere Entzündungsreaktion der Gingiva zeigten (17). Sie minimieren durch eine leichter zu vollziehende Mundhygiene die negativen Auswirkungen auf das Parodont, die bei festsitzenden Apparaturen beobachtet werden. Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen beeinträchtigen die parodontale Gesundheit, weil sie die Mundhygiene erschweren und damit die Plaqueakkumulation fördern.

Ein strenges Recallsystem während der kieferorthopädischen Behandlung kann eine Verschlechterung des Parodontalzustandes und Demineralisationen vorbeugen. Als eine ästhetisch ansprechendere Alternative und als Erleichterung der Mundhygiene bieten sich Aligner an. Diese Therapieform vereint den ästhetischen Vorteil mit der Herausnehmbarkeit beim Essen und der erleichterten und gewohnten Mundhygiene. Durch die gut durchzuführende Mundhygiene während der Aligner-Therapie ist der Gesundheitszustand des Parodontiums besser, als bei Patienten mit festsitzenden Apparaturen (69). Miethke et al. (71) berichteten auch von signifikant besseren parodontalen Indices ihrer Probanden unter der Aligner-Therapie.

Karkhanechi et al. (72) folgerten aus ihren Ergebnissen, dass sich der parodontale Zustand verschlechtert und die parodontalpathogenen Keime während der MB-Behandlung zunehmen. Im Zusammenhang mit der MB-Behandlung wird eine veränderte subgingivale Plaquezusammensetzung beschrieben. Von gram-positiven Aerobiern hin zu gram-negativen Anaerobiern. Der Anstieg parodontalpathogener Keime lässt vermuten, dass es sich ähnlich bei der Betrachtung von kariesfördernden Bakterien im Zusammenhang mit kieferorthopädischen Apparaturen verhält.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Behandlung mit herausnehmbaren Alignern die Mundhygiene erleichtert.

2.2.1.8 Pflegemaßnahmen

Eine gute Hygiene der Aligner ist Voraussetzung für eine Reduzierung der Bakterienzahl auf deren Oberfläche. Patienten werden über die Ausführung einer guten Pflege aufgeklärt. Die höchste Bakterienbesiedlung lässt sich bei der Reinigung mit Wasser nachweisen. Die Bakterienkonzentration sinkt mit der mechanischen Reinigung. Mit der zusätzlichen Verwendung von Natriumkarbonat- und Sulfatabletten kann die Bakterienbesiedlung noch weiter gesenkt werden. Untersuchungen mit einem Elektronenmikroskop legen die Bakterienbesiedlung der Aligner dar. Diedrich et al. (73) zeigten durch ihre Studie, dass eine Reinigung mit Ultraschall optimale Reinigungseffekte erzielt.

Die mechanische Entfernung des Biofilms mit einer Zahnbürste mit Zahnpasta hat sich als effektiv erwiesen. Noch bessere Ergebnisse lassen sich bei zusätzlicher Verwendung von Natriumkarbonat- und Sulfatabletten erzielen (34). Eine Studie von Levrini et al. (74) zeigte, dass die effektivste Reinigungsmethode das Bürsten und die Verwendung von Natriumkarbonat und Sulfat beinhaltet, die den Ergebnissen dieser Studie entsprechen. Natriumkarbonat und Sulfat reduzieren die Bakterienkonzentration.

2.2.2 Multibracket-Therapie

Dem gegenüber steht die Anwendung von Multibracket-Apparaturen. MB-Apparaturen sind festsitzende kieferorthopädische Behandlungsapparaturen und bestehen aus Brackets, die auf die Zahnflächen aufgeklebt werden. Die Brackets dienen zur Aufnahme und zum Halten der Bögen, die um den Zahnbogen verlaufen. Der Drahtbogen wird individuell für die Zahnstellungsänderung ausgewählt und eingesetzt, und übt durch Zug und Druck Kräfte auf die Zähne aus.

2.2.2.1 Ästhetische Bracketsysteme

Neben konventionellen Brackets aus Edelstahl stehen ästhetische Brackets aus Kunststoff oder Keramik zur Verfügung. In den 1970er kommen erstmals Brackets aus Kunststoff auf den Markt. Neben dem ästhetischen Vorteil durch ihre Transluzenz stellt sich deren geringe Festigkeit und Stabilität als nachteilig dar. Anhand der Zusammensetzung von Polycarbonaten hin zu anderen Polymeren mit höherer Festigkeit wird versucht, dem Problem zu begegnen. Ebenso mit der Entwicklung von Slots aus Metall. Das Avalon®-Komposit-Bracket-System und das Encore!™ Keramik-Bracket-System arbeiten mit einem Metall-Bracketschlitz (75). Einige weitere Vertreter sind das Pure®-Saphir-Bracket-System, das Reflections™ Keramik-Bracket-System, Clarity von 3M und das OrthoFlex™ Komposit-Bracket-System (76, 77).

2.2.2.2 Lingualtechnik

Linguale Brackets haben einen ästhetischen Vorteil (78), da sie das Lächeln nicht einschränken und seltener Schmelzdeminalisationen aufweisen.

Von der technischen Seite kann versucht werden, die Passung der Brackets auf der lingualen Zahnfläche zu optimieren. Je besser die Kongruenz, desto besser die Passform und desto dünner wird die Schicht des Bonding Materials (24). Es wurde in vorherigen Studien ermittelt, dass der Zahnarzt oder Kieferorthopäde die Hauptinformationsquelle für labiale und linguale Apparaturen darstellt (79). Bei Invisalign® ist das nicht der Fall, da die Firma durch ihre ausgeprägte Öffentlichkeitsarbeit bekannt wird (51), und somit die Patienten direkt anspricht und gewinnt.

Bedenken haben Patienten bezüglich der lingualen festsitzenden Apparatur wegen Beeinträchtigungen bei der Phonetik und gegenüber labialen festsitzenden Apparaturen aufgrund der ästhetischen Beeinträchtigung (51).

Weiterhin können linguale Brackets zu Irritationen des Parodontiums und der Weichgewebe führen (78). Bauer und Diedrich (79) untersuchten die Bereitschaft zum Tragen einer MB-Apparatur. Die weiblichen Patienten wünschten sich zu einem größeren Anteil nicht sichtbare Apparaturen.

Weiterhin untersuchten Bauer und Diedrich (79) die Beeinträchtigungen durch MB-Apparaturen. 63% ihrer Probanden gaben während der Behandlung Schmerzen an den Zähnen und 41% Mukosaverletzungen als Beeinträchtigungen des Allgemeinbefindens durch die MB-Apparatur an. Jedoch fühlen sich 90% der Patienten dadurch in ihrem Allgemeinbefinden nicht beeinträchtigt. Das negative Aussehen und damit der ästhetische Gesichtspunkt liegen mit 22% weit im Hintergrund. Bauer und Diedrich (79) zeigten auf, dass 62% der von ihnen befragten Patienten die Zahnpflege während der Behandlung mit einer MB-Apparatur nicht als aufwendig empfinden.

Ebert (80) berichtete bei Kindern mit Plattenapparaturen von einer geringen Beeinträchtigung der Ästhetik. 10% der Probanden gaben eine Beeinträchtigung durch ihre Plattenapparatur an. Daraus zog er den Schluss, dass Kinder der Ästhetik noch keinen so hohen Stellenwert zumessen, wie Erwachsene es tun.

Ebert (80) hob das verstärkte ästhetische Bewusstsein bei erwachsenen weiblichen Patienten hervor. Bauer und Diedrich (79) begründeten damit in ihrer Untersuchung den Frauenanteil von 66%. Und die notwendige Weiterentwicklung der Lingualtechnik und anderer ästhetischer Behandlungsoptionen.

Untersucht man die Beweggründe zu einer kieferorthopädischen Behandlung zeigt sich folgendes Ergebnis: Ästhetische Gründe nehmen im jugendlichen Alter zu und führen zu dem Wunsch einer kieferorthopädischen Behandlung (80). Der Altersgipfel liegt zwischen 20 und 30 Jahren indem ästhetische Behandlungsgründe die Bereitschaft zu einer kieferorthopädischen Behandlung überwiegend beeinflussen (79).

2.3 Prävalenz und Inzidenz von WSL bei der Aligner- und MB-Therapie

Die Prävalenz von WSL im Zuge der MB-Behandlung wurde bereits in mehreren Studien untersucht (10, 11, 13-17, 26, 81). Ergebnisse zum Auftreten von WSL während einer Aligner-Therapie sind hingegen bisher wenig untersucht (5).

Die Prävalenz von WSL bei MB-Therapien wird in der Literatur mit Werten zwischen 2% und 96% angegeben (7, 13). Der Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse liegt unter anderem in den verschiedenen Methoden zur Beurteilung und in der Unterschiedlichkeit der Anzahl der Studienteilnehmer. Ein Unterschied zeigt sich auch in der Auswahl der untersuchten und miteinbezogenen Zähne (11). Einige Studien untersuchten lediglich die Frontzähne (9, 13). Andere wiederum nur die Oberkieferfrontzähne (13, 17). Bestandteil einiger Studienrichtlinien ist weiterhin eine Beratung zur Fluoridapplikation (11). Diese Aspekte müssen beim Vergleich der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Im Weiteren folgt eine Übersicht über Studien zur Prävalenz und Inzidenz von WSL.

2.3.1 Prävalenz Vorher

Die Ergebnisse der untersuchten Studien zur Prävalenz vor der MB-Behandlung, zeigten eine Prävalenz von 3% bei Lovrov et al. (14) bis 72% bei Mizrahi et al. (15). Dazwischen liegen die Ergebnisse von Akin et al. (12) mit 19% und Enaia et al. (13) mit 32%.

Bis auf die Studie von Lovrov et al. (14) mit 53 Patienten, wurden bei den anderen Studien mindestens 200 Patienten untersucht. Dabei beträgt die Behandlungsdauer der jungen Patienten (Durchschnittsalter unter 20 Jahre) mindestens ein Jahr.

Wissenschaftliche Erkenntnisse aus Studien zur Prävalenz vor der Aligner-Therapie liegen zurzeit nicht vor.

Tabelle 2: Literaturübersicht zur Untersuchung der Prävalenz von WSL vor der MB-Behandlung

n = Anzahl der einbezogenen Patienten

Autor (Jahr)	n	Ein-bezogene Zähne	Ausgewertete Zahn-flächen	Verwendeter Index	Prävalenz vor MB	Diagnose	Behand-lungs-dauer (Monate)	Durch-schnitts-alter (Jahre)
Akin et al. (2015)	200	16-46	4.800	Gorelick et al.	19%	Intraorale Foto-grafien		18
Enaia et al. (2011)	400	12-22	1.600	Gorelick et al.	32%	Intraorale Foto-grafien	22	13,7
Lovrov et al. (2007)	53	17-47	1.414	Gorelick et al.	3%	Intraorale Foto-grafien	12-18	13,4
Mizrahi et al. (1982)	527	15-45	10.126	Modifizierter Index von Curzor und Spector	72%	Intraorale Foto-grafien		11,8

2.3.2 Prävalenz Nachher

Nach einer MB-Behandlung stellten Lovrov et al. (14) eine Prävalenz von 26% fest. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Geiger et al. (20) mit 34%, Lucchese et al. (16) mit 40-43% und Tufekci et al. (17) mit 38% nach sechs Monaten, und mit einer Prävalenz von 46% nach 12 Monaten. Zu niedrigen Werten nach einer MB-Behandlung kommen auch Julien et al. (11) mit 23%.

Die Untersuchungen von Boersma et al. (18) hingegen zeigten bei 97% der Patienten eine WSL nach MB-Behandlung mit einer deutlich höheren Prävalenz. Bei den von ihnen untersuchten Patienten sind ca. 30% der Zahnflächen befallen. Auch Oogard et al. (26) zeigten mit 96%, Mizrahi et al. (15) mit 84% und Enaia et al. (13) mit 74% ähnlich hohe Ergebnisse.

Mittlere Prävalenzwerte nach einer MB-Therapie wurden mit 53% (6) und 62% (19) gemessen. Auch Akin et al. (12) zeigten mit 54% eine Prävalenz mit mittleren Werten.

Hinsichtlich der Anzahl der untersuchten Patienten, zeigten die Studien mit Umfängen von 53 bis 1242, große Unterschiede. Entsprechend hoch fiel die Differenz der ausgewerteten Zahnflächen aus. Hierbei schwankten die Fallzahlen von 488 bei Boersma et.al. (18) bis 5768 bei Mizrahi et al. (15). Überwiegend erfolgte die Diagnose mit intraoralen Fotographien durch visuelle Inspektion.

In Studien finden sich bisher keine Ergebnisse zur Prävalenz nach der Aligner-Therapie.

Tabelle 3: Literaturübersicht zur Untersuchung der Prävalenz von WSL nach der MB-Behandlung

n = Anzahl der einbezogenen Patienten

Autor (Jahr)	n	Ein-bezogene Zähne	Ausgewertete Zahn-flächen	Verwendeter Index	Prävalenz nach MB	Diagnose	Behand-lungs-dauer (Monate)	Durchschnitts-alter (Jahre)
Sundararaj et al. (2015)	1242				69%		mind.12	
Akin et al. (2015)	200	16-46	4.800	Gorelick et al.	54%	Intraorale Fotografie n		14
Lucchese et al. (2012)	191	16-46	4584	Gorelick et al.	40-43%	Visuelle Inspektion		
Tufekci et al. (2011)	37,35, 28	6 mal 35	6 mal 35	visuelle Einteilung nach Ausmass der Demineralisati on score 0-3	38%; 46%	visuelle Inspektion	6;12	17
Enaia et al. (2011)	400	Dez 22	1600	Gorelick et al.	74% der Patienten	Intraorale Photographi en	20	13,7
Lovrov et al.(2007)	53	17-47	1414	Gorelick et al.	26%	Intraorale Photographi en		
Boersma et al. (2005)	62	16-46	488		ca. 30% der Zahn-flächen eines Probanden 97% der Patienten	QLF und visuelle Inspektion	25,4	19,5
Pancherz und Mühlich (1997)	108	15-25	794	Modif. Gorelick	62%	Intraorale Photographi en		
Øogard et al.(1989)	51	16-46	1224	Modif. Gorelick	96%	Visuelle Inspektion		
Geiger et al. (1988)		1567			34%	Visuelle Inspektion		
Årtun und Brobakken (1986)	120	15-45	2400	Kariesindex nach Fehr,+modif. Gorelick	53%	Visuelle Inspektion		
Mizrahi et al. (1982)	269	15-45	5758	Modifizierter Index von Curzor und Spector	84%	Intraorale Photographi en		15,4

2.3.3 Inzidenz

Die Patienten, die erstmalig nach der MB-Therapie eine WSL aufwiesen, stellten bei Banks et al. (10) 74% und bei Richter et al. (8) 73% ihres Kollektivs dar. Zu etwas niedrigeren Ergebnissen kamen Enaia et al. (13) mit 61% und Hadler-Olsen et al. (7) mit 60%. In 50% der Fälle diagnostizierte Gorelick et al. (2) eine WSL.

Azeem et al. (5) beschreiben unter einer Aligner-Therapie eine Inzidenz von 28% bei den untersuchten Patienten. Bezogen auf die Zähne 16-46 waren 3% von WSL betroffen.

Lovrov et al. (14) haben in ihrer Untersuchung bei MB-Therapien eine Inzidenz von 25% gemessen und Akin et al. (12) 32%. Zu noch niedrigeren Ergebnissen kamen Pancherz und Mühlich et al. (19) mit einer Inzidenz von 17%.

Zur Indexierung ist zu sagen, dass die ausgewerteten Studien überwiegend den Index nach Gorelick et al. verwendeten.

Tabelle 4: Literaturübersicht zur Untersuchung der Inzidenz von WSL bei der Aligner- und MB-Behandlung

n = Anzahl der einbezogenen Patienten

Autor (Jahr)	n	Ein-bezog-ene Zähne	Aus-gewer-tete Zahn-flächen	Verwen-deter Index	Inzidenz	Diagnose	Behand-lungs-dauer (Monate)	Durch-schnitts-alter (Jahre)	Behand-lungs-methode
Azeem et al. (2017)	25	16-46			28% der Patienten 3% der unter-suchten Zahn-flächen	QLF	18,11		Aligner
Akin et al. (2015)	200	16-46	4.800	Gorelick et al.	32%	Intraorale Fotografien		10-18-jährige	MB
Sundararaj et al. (2015)	2041				46%		mind. 12		
Hadler-Olsen et al. (2012)	40	84?		Gorelick et al.	60%		18	13,6	MB
Enaia et al. (2011)	400	12-22	1600	Gorelick et al.	61%	Intraorale Foto-graphien			
Richter et al. (2011)	350	16-46			73%	Intraorale Foto-graphien			MB
Chapman et al. (2010)	332	14-24			36%	intraorale Foto-graphien Aus-wertung mit Computer-software	32	16,2	MB
Lovrov et al. (2007)	53	17-47	1414	Gorelick et al.	25%	Intraorale Foto-graphien	14,9+-2,3		MB
Pancherz und Mühlich (1997)	108	15-25	794	Modif. Gorelick	17%	Intraorale Foto-graphien			MB
Banks et al. (1994)	80	15-45	4728	EDI	74% der Pro-banden-anzahl	Visuelle Inspektion			MB
Gorelick (1982)	121	15-45	2211	Gorelick et al.	50%	Visuelle Inspektion			MB

2.4 Methoden in früheren Studien

Zur Untersuchung der WSL sind verschiedene Diagnoseverfahren in der Literatur beschrieben. Ist eine WSL diagnostiziert, wird sie weiter untersucht in Bezug auf ihre Intensität und ihr Ausmaß.

2.4.1 Diagnoseverfahren von WSL

Zur Diagnose von Initialläsionen wie WSL, und um ihren Schweregrad zu bestimmen, stehen verschiedene Methoden zur Auswahl. Diagnoseverfahren stellen die visuelle Inspektion, die fiberoptische Transillumination, die UV-Licht induzierte Fluoreszenz (82, 83) und die Nutzung polarisierter Lichtquellen (84) dar. Weitere Studien nutzten zur Einordnung von WSL Computeranalysen digitaler Fotografien (85) oder die QLF-Methode (Quantitative Light-induced Fluorescence) (86). Bei der Beurteilung der Ergebnisse muss die Methode zur Auswertung der WSL berücksichtigt werden.

Die in dieser Studie ausgewerteten intraoralen digitalen Fotografien sind eine schnelle und leicht umsetzbare Methode zur WSL-Evaluation. Fotografien sind einfach zu erreichende Informationen. Sie werden routinemäßig bei jedem Patienten, der sich in kieferorthopädischer Behandlung befindet, zu Behandlungsbeginn und am Abschluss der Behandlung sowie als Standard im Ablauf zur Dokumentation angefertigt. Die archivierten digitalen Fotografien sind jederzeit einsehbar und können von unbegrenzt vielen Behandlern jederzeit auf WSL beurteilt werden (23). Anhand von Farbabstufungen kann die Ausprägung der WSL eingestuft werden. Laut Akin et al. (87) ist die Auswertung von Fotografien in gleichem Maße vertrauenswürdig wie die visuelle Inspektion. Die Lichtverhältnisse, der Winkel, die Reflexion und die Bildvergrößerung können jedoch bei verschiedenen Untersuchern und auch selbst in derselben Studie zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten variieren (5, 23).

Um Variabilitäten, vorgetäuschte oder maskierte WSL zu minimieren, ist der Einsatz eines professionellen Fotografen erforderlich, der ein standardisiertes Vorgehen hat, wie in der Studie von Akin et al. (87). Dabei wurde das Vorgehen standardisiert: die Lichtverhältnisse, der Winkel, die Reflexion und die Bildvergrößerung.

Dabei ist zu beachten, dass auf mit Blitzlicht aufgenommenen Fotografien, durch die Reflexion des Blitzes die Prävalenz von WSL tendenziell zu hoch eingeschätzt wird. Um das zu vermeiden muss die Fotografie aus einem bestimmten Winkel aufgenommen werden. Dieser Winkel unterliegt einer Varianz und ist von Untersucher

zu Untersucher, und zwischen den einzelnen Aufnahmen eines Untersuchers, auch wenn nur minimal, doch unterschiedlich (84). Dieser Aspekt ist beim Vergleich verschiedener Studien, die Fotografien zur Auswertung nutzen, zu berücksichtigen.

Die visuelle Detektion von WSL während einer laufenden kieferorthopädischen Behandlung beinhaltet einige Herausforderungen und erfordert ein gründliches Vorgehen. Die Zahnkrone muss frei sein von Plaque und bedarf somit einer Reinigung. Es darf kein geschwollenes entzündetes Zahnfleisch vorliegen und luftgetrocknete Zahnoberflächen werden gefordert (17). Nachteilig sind die fehlende Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und die Subjektivität zu sehen. Da die Auswertung durch den Untersucher vorgenommen wird, und nicht beispielsweise durch ein Computerprogramm. Diese Punkte erschweren die Vergleichbarkeit (16).

In früheren Studien wurde als Methode um WSL zu erkennen, die QLF-Methode angewandt. Diese Methode erkennt WSL noch bevor diese mit dem Auge sichtbar sind (5). Die QLF-Methode macht sich die unterschiedliche Fluoreszenz und Lichtstreuung von gesunder Zahnhartsubstanz im Vergleich zu kariös veränderter Zahnhartsubstanz zu Nutze. Bei kariöser Zerstörung der Zahnhartgewebe kommt es zu einem Mineralverlust und damit zu einem Verlust an Fluoreszenz. Mit einer speziellen Software kann der Fluoreszenzverlust quantitativ gemessen werden (88). Boersma et al. (18) nutzten die QLF-Methode um WSL zu evaluieren. Durch ihr Vorgehen entdeckten sie höhere Prävalenzen von WSL, als nur durch eine visuelle Untersuchung. Heymann et al. (22) erkannten die für Forschungszwecke angewendete QLF-Methode, als hoch sensitive Methode an. Jedoch schätzten sie die Anwendung zur routinemäßigen WSL-Diagnostik als unpraktisch ein. Die QLF-Methode findet wegen der genannten Vorteile als quantitative und sehr gründliche Methode ihre Verwendung.

Tabelle 5: Diagnoseverfahren von WSL

Diagnoseverfahren von WSL
Visuelle Inspektion (17)
Fiberoptische Transillumination (85)
UV-Licht induzierte Fluoreszenz (84,85)
Polarisierte Lichtquellen (86)
Computeranalyse von digitalen Fotografien (87)
QLF-Methode (18)
Intraorale Fotografien (8)

2.4.2 Indexierung von kariösen Läsionen

Aufgrund der statistischen Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Studien werden von verschiedenen Autoren Indizes zur Bewertung von kariösen Läsionen entwickelt. Sagarika et al. (89) sehen die starre Einteilung von WSL in eine Skalierung kritisch, da Karies als ein fließender Prozess anzusehen ist, bei dem sich Stadien der Demineralisation mit Stadien der Remineralisation abwechseln. Jedoch ermöglicht eine standardisierte Einteilung erst reproduzierbare Ergebnisse und eine Vergleichbarkeit.

Zur Untersuchung und um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, indexieren viele Studien daher das Auftreten von WSL.

Die Einteilung der WSL erfolgte in dieser Studie mit dem EDI nach Banks & Richmond (1994) (10). Dieser beinhaltet die Beurteilung der Intensität nach Schweregrad 0,1,2 oder 3, nach Unterteilung der vestibulären Zahnfläche in 4 Quadranten. Da diese Gradeinteilung weniger verbreitet ist, erschwert sie den Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (14). Andere Studien hingegen nutzten die einfache semiquantitative Einteilung nach Gorelick (2) zur Beurteilung der WSL Inzidenz. Bei dieser Einteilung wird die vestibuläre Zahnfläche als eine Einheit betrachtet und beim Vorliegen einer WSL in Kategorie 2 bis 4 eingeordnet. Die Untersuchung der Zahnflächen erfolgt nach Lufttrocknung der Zähne. Bei Kategorie 1 liegt nach der Einteilung nach Gorelick keine WSL vor.

Curzon et al. (90) nutzten bereits 1977 eine Einteilung von 0 bis 3 zur Einteilung der Opazität des Zahnschmelzes. Mizrahi et al. (15) nutzten eine ähnliche Einteilung wie Curzon et al.

Artun et al. (6) verwendeten den Index Gorelick et al. für ihre Auswertungen der Ausdehnung der WSL. Artun et al. (6) nutzten zusätzlich, um auch den Schweregrad der WSL einzuordnen, den Index nach Fehr. Der Index nach Fehr beurteilt die Opazität der WSL.

Die bisherigen zur Einteilung genutzten Indizes beurteilen meist den Befall der Oberfläche. Deshalb legten Torlakovic et al. (91) nahe, dass die Demineralisationstiefe eine entscheidende Aussagekraft hat und mitberücksichtigt werden sollte.

Tabelle 6: Einteilung der WSL

Einteilung der WSL	
EDI	Intensität 0-3
Gorelick	semiquantitative Einteilung 1-4
Index nach Fehr	Opazität der WSL, Demineralisationstiefe

2.4.3 Auswertungsparameter

Bei der Analyse der Prävalenz und Inzidenz von WSL stellt sich die Frage, was die Ergebnisse beeinflusst. Somit erfolgt eine nähere Analyse der Variablen, die in die Studie miteinbezogen werden und eine mögliche Beeinflussung ausüben.

2.4.3.1 Verteilung nach Geschlecht

Mizrahi et al. (15) und Ogaard et al. (26) stellten, sowohl vor als auch nach der MB-Behandlung, keine signifikanten Unterschiede in der Geschlechterverteilung der Jugendlichen fest. Julien et al. (11), Geiger et al. (78) und Akin et al. (5) fanden ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in der Geschlechterverteilung.

Mizrahi et al. (15) beobachteten die Entwicklung eines höheren Schweregrads bei vorliegenden WSL unter einer MB-Behandlung in der Jungengruppe und begründeten dieses Ergebnis mit der durchschnittlich schlechteren Mundhygiene der Jungen. Auch in der Studie von Enaia et al. (13) zeigten männliche Probanden ausgeprägtere WSL als die weiblichen Probanden.

Lucchese et al. (16) fanden nach sechsmonatiger MB-Behandlung keine signifikanten Unterschiede im Auftreten von WSL bei den weiblichen und männlichen Jugendlichen. Erst nach zwölfmonatiger Behandlung stellten die Autoren einen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern fest. 55% männliche und 44% weibliche Patienten weisen WSL auf. Boersma et al. (18) konnten diese Ergebnisse mit ihrer Studie (40% Jungen, 22% Mädchen) bestätigen.

Chapman et al. (9) verzeichneten eine Inzidenz von 46% bei den männlichen Probanden. Bei den weiblichen Probanden hingegen waren es nur 29%. Weiterhin beobachteten sie im Einklang mit der Beobachtung von Mizrahi et al. (15), höhere Schweregrade der WSL bei den männlichen Patienten. Auch sie begründeten diesen

Zusammenhang mit dem höheren Interesse der weiblichen Patienten an Zahnpflege und Mundhygiene. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Enaia et al. (13). Sie beobachteten mehr Verbesserungen der WSL bei den Mädchen, da sie von den weniger ausgeprägten WSL betroffen waren als die Jungen.

Gorelick et al. (2) hingegen fanden eine höhere Prävalenz bei weiblichen Probanden 54% zu 44%.

2.4.3.2 Verteilung nach Zahngruppen und Zahnflächen

Einige Studien zeigen eine signifikant höhere Prävalenz der lateralen Inzisivi im Oberkiefer und der Prämolaren im Unterkiefer (6, 10) für WSL. Nach den Ergebnissen von Goerlick et al. (2), weist der seitliche Inzisivus im Oberkiefer die höchste Inzidenz auf.

Der häufige Befall der seitlichen Inzisivi erklärt sich möglicherweise aufgrund der kleineren Fläche (6), da sich an diesen Stellen häufig Plaque ansammelt. Dabei ist der gingivale Bereich am häufigsten betroffen (2, 6, 10). Die übliche Stelle für das Auftreten von WSL stellt die Zahnfläche gingival der Brackets dar (92). Als Erklärung wird der kleine Abstand vom Bracket zur Gingiva, der Plaqueansammlung begünstigt, genannt (6). Banks et al. (10) bestätigten diesen Befund. In ihrer Studie sind WSL zu 60% gingival, zu 25% mesial und zu 15% distal zu finden.

Das häufigste Vorkommen von WSL messen die Autoren an den Oberkieferfrontzähnen, wohingegen die Oberkieferseitenzähne nur selten von WSL betroffen sind. Die Unterkiefermolaren und –prämolaren weisen eine hohe Prävalenz auf.

Diese Beobachtung bestätigten Geiger et al. (93). Auch Banks et al. (10) und Artun et al. (6) fanden die ausgeprägtesten WSL im Oberkiefer am seitlichen Inzisivus und am Eckzahn und im Unterkiefer am Eckzahn und an den Prämolaren.

Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu Boersma et al. (18). Sie stellten eine niedrigere Prävalenz von Kariesvorstufen an den Inzisiven und Eckzähnen im Vergleich zu den Molaren und Prämolaren fest. Dementsprechend zeigten Ogaard et al. (26) mit ihren Ergebnissen, dass die ersten Molaren die am häufigsten betroffenen Zähne sind. Sie beobachteten jedoch in beiden Kiefern jeweils auch einen häufigeren Befall der seitlichen Inzisiven gegenüber den mittleren Inzisiven.

In der Studie von Geiger et al. (93) zeigte sich in der Verteilung von WSL im Oberkiefer zu 17,5% an den seitlichen Schneidezähnen und zu 12% an den Eckzähnen WSL. Im

Unterkiefer wies der erste Prämolare mit 14% und der erste Molar im Unterkiefer mit 10% am häufigsten einen Befall auf. Das verdeutlicht den vermehrten Befall der Oberkieferfront im Vergleich zum vermehrten Befall der Seitenzähne im Unterkiefer.

Chapman et al. (9) beschrieb 2010 die abnehmende Abfolge der Inzidenz der acht Oberkieferzähne, beginnend vom seitlichen Schneidezahn mit 34%, dem Eckzahn mit 31%, die Prämolaren mit 28%, und zum mittleren Schneidezahn mit 17%.

Lucchese (16) unterstützte mit seinen Ergebnissen Chapman et al. Nach kieferorthopädischer Behandlung weist der erste Molar im Unterkiefer eine Prävalenz von 30% auf, gefolgt vom seitlichen Schneidezahn im Oberkiefer mit 29% und dem zweiten Prämolare im Unterkiefer mit 20%. In der Kontrollgruppe wies der erste Molar im Unterkiefer eine Prävalenz von 8% auf, gefolgt vom zweiten Prämolaren im Ober- und Unterkiefer mit 3% und dem seitlichen Schneidezahn im Oberkiefer mit 3%.

Untersucht man die Kiefer einzeln für sich, zeigen sich folgende Werte. Im Unterkiefer folgt auf den ersten Molaren der zweite Prämolare, gefolgt vom ersten Prämolaren und dem seitlichen Schneidezahn und anschließend dem mittleren Schneidezahn.

Unterkieferzähne weisen mit absteigender Prävalenz beginnend mit dem ersten Molar gefolgt vom zweiten Prämolare, ersten Prämolare, dem Eckzahn, seitlichem Schneidezahn und mittleren Schneidezahn WSL auf. Im Oberkiefer zeigt sich am seitlichen Schneidezahn und am Eckzahn eine hohe Prävalenz, gefolgt vom mittleren Schneidezahn, dem zweiten Prämolaren, ersten Molar und dem ersten Prämolaren.

Gorelick et al. (2) unterstützte mit seinen Ergebnissen diese Studie. Im Oberkiefer ist der seitliche Schneidezahn und im Unterkiefer der erste Molar am häufigsten betroffen. Im Oberkiefer folgt auf den seitlichen Schneidezahn der Eckzahn, dann der mittlere Schneidezahn, der zweite Prämolare, der erste Molar und der erste Prämolare in absteigender Reihenfolge.

2.4.3.3 Verteilung nach dem Zeitpunkt des Auftretens

Um die Prävalenz und Inzidenz von WSL bei kieferorthopädischen Behandlungen zu untersuchen werden je Studie Zeitpunkte festgelegt. Wichtig ist es zu wissen, ob schon vor der Therapie die WSL bestanden. Mit dem Wissen kann ein Zusammenhang zur kieferorthopädischen Behandlung gestellt werden. Weiterhin bedarf es einer Untersuchung, inwiefern die Dauer der Behandlung eine Auswirkung für das Auftreten von WSL hat.

Lucchese et al. (16) untersuchten die Probanden nach 12 Monaten und fanden eine Prävalenz von 40-43%. Tufekci et al. (17) überprüften die Probanden bereits nach sechs Monaten und fanden eine kaum niedrigere Prävalenz von 38%, und eine kaum höhere Prävalenz von 46% nach 12 Monaten.

Boersma et al. (18) stellten nach Abschluss der MB-Behandlung mit einem Untersuchungszeitraum von 24 Monaten weit höhere Prävalenzen von 97% fest, mit einer oder mehreren Läsionen.

Bereits vier Wochen nach Beginn der kieferorthopädischen Behandlung mit MB konnten in verschiedenen Studien WSL verzeichnet werden (12, 16, 26, 94). Lucchese et al. (16) konnten keine signifikanten Unterschiede im Auftreten von WSL im Bezug zu der MB-Behandlungsdauer vorweisen. Bereits nach sechs Monaten Behandlungszeit zeigten sich signifikante WSL mit 40%. Nach zwölf Monaten stieg die Prävalenz auf 43% an. Auch Akin et al. (12) konnten keinen Zusammenhang zwischen andauernder Behandlung und dem Auftreten von WSL feststellen. Ebenso zeigte sich bei Tufekci et al. (17) kein signifikanter Anstieg der WSL bei der Untersuchung nach sechsmonatiger und zwölfmonatiger Therapie.

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen sahen Geiger et al. (93) einen Zusammenhang in der Dauer der MB-Behandlung mit einem zunehmenden Auftreten von WSL. Die Behandlungsdauer zeigt Auswirkungen auf die Entwicklung von WSL. Das Risiko an WSL zu erkranken nimmt zu. Auch Khalaf et al. (95) zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der andauernden Behandlungsdauer und dem ansteigenden Auftreten von WSL. Beträgt die Behandlungszeit zwischen 24 und 36 Monaten, so zeigt die Studie von Julien et al. (11), dass die Probanden signifikant weniger WSL aufwiesen, als nach einer länger als 36 Monate andauernden Behandlung.

Azeem et al. (5) untersuchten die Prävalenz von WSL während der Aligner-Therapie. Sie stellen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Behandlungsdauer und dem Auftreten von WSL im Frontzahnbereich im Oberkiefer fest.

2.5 Forschungslücke in der Literatur

Aus der oben ausgeführten Literatur ergibt sich, dass eine Forschungslücke besteht, welche kieferorthopädische Therapieform bei Jugendlichen das Auftreten von WSL als unerwünschte Begleiterscheinung besser verhindert. Deshalb ist es das Ziel dieser Studie, die beiden meist verbreiteten Behandlungsformen bei Jugendlichen, Aligner- und MB-Therapie, bezüglich Prävalenz und Inzidenz vor und nach der Therapie vergleichend zu untersuchen.

3. Material und Methoden

3.1 Material

In dieser retrospektiven Studie wurden 489 intraorale Digitalfotos auf WSL hin untersucht. Alle Fotos stammen von Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg - Universität Mainz.

Mit einer digitalen Spiegelreflexkamera mit einem RGB- CCD- Sensor (Nikon D80, Nikon Corporation, Chiyoda, Tokio, Japan) wurden zum Zeitpunkt T0 und T1 drei standardisierte intraorale Aufnahmen gemacht. Dazu zählen eine frontale, eine rechts- und eine linkslaterale Aufnahme. In dieser Studie werden die auf den Fotos sichtbaren Labialflächen der Frontzähne, der Eckzähne und der Prämolaren des Ober- und Unterkiefers bewertet (Abb. 2,3 und 4).



Abbildung 2: Zahnschema (frontale Sicht)



Abbildung 3: Situation vor der Behandlung T0



Abbildung 4: Situation nach der Behandlung T1

Die folgende Tabelle (Tab.7) enthält Informationen und Vergleichszahlen der Probanden zwischen Aligner- und MB-Therapie zu den beiden Zeitpunkten vor Beginn der Behandlung (T0) und am Ende der Behandlung (T1).

Tabelle 7: Anzahl der ausgewerteten Zahnflächen

	Ausgewertete Zahnaußenfläche n pro Proband	Aligner-Therapie Anzahl der Probanden: n = 42	MB-Therapie Anzahl der Probanden: n = 121
Zeitpunkt T0	20 (jede dieser Flächen aufgeteilt in 4 Regionen: distal, gingival, mesial, okklusal)	3.360 ausgewertete Zahnflächen (= 20 x 4 x 42)	9.680 ausgewertete Zahnflächen (= 20 x 4 x 121)
Zeitpunkt T1	20 (jede dieser Flächen aufgeteilt in 4 Regionen: distal, gingival, mesial, okklusal)	3.360 ausgewertete Zahnflächen (= 20 x 4 x 42)	9.680 ausgewertete Zahnflächen (= 20 x 4 x 121)
		Gesamt:6.720 ausgewertete Zahnflächen	Gesamt:19.360 ausgewertete Zahnflächen

In dieser Studie wurden Digitalfotos von 42 jugendlichen Probanden vor und nach der Behandlung mit der Aligner-Therapie ausgewertet. Die Studienteilnehmer unterteilten sich in 18 weibliche und 24 männliche jugendliche Probanden. Zu Beginn der Behandlung beträgt das Durchschnittsalter der Probanden $14,0 \pm 1,8$ Jahre (range: 12-17 Jahre).

Die durchschnittliche Anzahl der Aligner betrug im Oberkiefer $43,4 \pm 11,1$ (range: 14-69 Aligner) und im Unterkiefer $42,7 \pm 11$ (range: 14-66 Aligner). Während der Behandlung wurden nach Behandlungsbedarf zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedliche Attachment-Typen ausgetauscht.

Zu den untersuchten Zahnflächen zählen die labialen Zahnflächen der Zähne 15 bis 45. Insgesamt wurden somit 20 Zahnaußenflächen je Proband untersucht. Die Aligner-Gruppe umfasste 6.720 untersuchte Zahnflächen, da jede Zahnaußenfläche in vier Regionen aufgeteilt wurde.

Um in diese Studie eingeschlossen zu werden, durfte keine vorangegangene Therapie mit einer Multibracket-Apparatur stattgefunden haben. Das Alter der Probanden bei Einschluss in diese Studie war zwischen 12 und 17 Jahren festgelegt. Weder vor noch nach der Therapie mit Aligner durften die zu beurteilenden Zähne Kronen oder Veneers, Füllungen oder strukturelle Schmelzveränderungen vorweisen. Die Behandlungsdauer musste mindestens ein Jahr betragen. Vollständige Dokumentationsunterlagen, das heißt intraorale Fotos von vor (T0) und nach (T1) der Aligner-Therapie mussten vorliegen, um in die Studie eingeschlossen zu werden. Des weiteren war eine schriftliche Einverständniserklärung, ein Vorhandensein von Minimum 16 natürlichen Zähnen, einschließlich 8 Frontzähnen, und ein guter Allgemeinzustand Voraussetzung. Mit den Probanden wurde vereinbart, dass sie an keinen weiteren klinischen Studien während der Dauer dieser Studie teilnehmen. Die Probanden willigten ein, keine zusätzlichen professionellen Zahnreinigungen durchführen zu lassen und für die vorgesehenen klinischen Besuche wiederzukommen und dem Studienablauf zu folgen. Weiterhin sind die bisherigen manuellen oder elektrischen Putzgewohnheiten beizubehalten. Die Studienteilnehmer erhielten standardisierte Mundhygieneinstruktionen. Die Probanden wurden dazu angehalten, sich 2- 3 Mal täglich die Zähne mit einer Zahn- und Interdentalebürste und einer fluoridhaltigen Zahnpasta zu putzen. Des weiteren wurde die tägliche Nutzung von Mundspüllösungen angeraten. Die Probanden wurden instruiert einmal pro Woche ein hochfluoridhaltiges Gel (Elmex Gel, GABA International, Therwil, Schweiz) nach dem abendlichen Zähneputzen anzuwenden.

Die Vergleichsgruppe stellten Probanden unter MB-Therapie aus einem Behandlungszeitraum von 2000 bis 2010 dar. Zu ihnen gehörten 121 Probanden. Von ihnen sind 63 männliche und 58 weibliche Patienten, die in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg - Universität Mainz eine MB-Behandlung hatten. Die MB-Behandlung erfolgte bei den Probanden im Ober- und Unterkiefer mit konventionellen Metall-Brackets (Mini-Sprint, 0.22 Slot, Roth Prescription, Forestadent, Pforzheim, Deutschland). Zu Beginn der Behandlung betrug das Durchschnittsalter der Probanden 12,5 Jahre (+/- 2,2). Der jüngste Patient ist 7,7 Jahre alt und der älteste 17,9 Jahre. Die Probanden durften nicht älter als 18 Jahre alt sein. Die Behandlungszeit betrug im Durchschnitt 3,1 Jahre (+/- 1,4), die kürzeste Behandlung dauert 0,9 Jahre und die längste Behandlung nahm 8,3 Jahre in Anspruch.

Die untersuchten Zähne 15 bis 45 wurden auf der labialen Zahnfläche auf WSL hin untersucht. Insgesamt beträgt die Anzahl der in die Untersuchung einbezogenen Zahnflächen 9.680. Diese wurden vor und nach der MB-Behandlung auf WSL hin untersucht. Die Digitalfotografien wurden von frontal, links-lateral und rechts-lateral standardisiert angefertigt.

Tabelle 8: Anzahl der Probanden, Zahnflächen und Messungen

	Probanden		Zahnaußenflächen	Messungen
Aligner	n = 42		840	T0 und T1
	m = 24	w = 18		
Multi-Bracket (MB)	n = 121		2420	T0 und T1
	m = 63	w = 58		

Insgesamt umfasste die Untersuchung 163 Probanden, die mit MB und Aligner behandelt wurden. Insgesamt wurden 6.520 Zahnaußenflächen von beiden Therapiegruppen zu beiden Untersuchungszeitpunkten ausgewertet.

Von dieser Studie ausgeschlossen wurden Probanden, bei denen schwere parodontale Erkrankungen bestehen, charakterisiert durch eitriges Exsudat, Zahnbeweglichkeit, und/oder Zurückziehen der Gingiva (Rezession), oder wenn sich der Proband in einer laufenden Parodontitisbehandlung befand. Ein weiteres Ausschlusskriterium waren Allergien zu Färbemitteln oder Farbstoffen, die in

kosmetischen Produkten sowie in Nahrungsmitteln verwendet werden. Weiterhin durften nicht mehr als drei kariöse Defekte vorliegen, die behandelt werden müssen. Es mussten mehr als zwei Wochen seit einer möglichen Antibiotikaeinnahme vergangen sein. Die Probanden durften keinen Herzschrittmacher tragen und eine Schwangerschaft sollte ausgeschlossen sein. Zwei Wochen vor Studienbeginn durfte keine professionelle Zahnreinigung durchgeführt worden sein.

3.2 Methode

Die Zahnaußenfläche wurden retrospektiv anhand von Digitalfotos ausgewertet. Bei Vorhandensein von WSL wurde die Intensität mit dem EDI evaluiert und deren Ausdehnung mit dem Fadenkreuz als Auswertungshilfe erfasst.

3.2.1 Maßzahlen der Prävalenz und Inzidenz

Da Karies eine Volkskrankheit darstellt wurde in dieser Studie ein epidemiologisches Design angewandt. Dabei sind Prävalenz (Krankenstand bzw. Anteil der Betroffenen) und Inzidenz (Neuerkrankungswahrscheinlichkeit) die entscheidenden Grundbegriffe aus der Epidemiologie, also der Wissenschaft der Gesundheit großer Bevölkerungsgruppen. Die vorliegende Doktorarbeit untersuchte die Häufigkeit und das Neuauftreten von Kariesinitialläsionen bei Jugendlichen in Deutschland während kieferorthopädischer Behandlungen.

Die Prävalenz ist eine Maßzahl, die den Anteil der Kranken an der untersuchten Gesamtheit ausdrückt. In der vorliegenden Arbeit wird mit Prävalenz der Anteil der Probanden mit WSL gemessen.

Die Inzidenz ist eine Maßzahl, mit der die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Krankheit gemessen wird. In der vorliegenden Untersuchung wird damit das Risiko beschrieben, von Karies betroffen zu werden.

Grundsätzlich können die Prävalenz und Inzidenz in Prozent oder binär ausgedrückt werden. In dieser Studie wurden der Berechnung des Auftretens von WSL folgende Einteilungen zu Grunde gelegt:

Tabelle 9: Berechnung des Auftretens von WSL

		Nach der Behandlung		
		WSL = ja	WSL = nein	
Vor der Behandlung	WSL = ja	a	b	a + b
	WSL = nein	c	d	c + d
				a+b+c+d

Daraus ergeben sich die folgenden Formeln:

Prävalenz vorher

$$= \frac{a + b}{a+b+c+d}$$

Prävalenz nachher

$$= \frac{a + c}{a+b+c+d}$$

Inzidenz

$$= \frac{c}{c+d}$$

„Heilungswahrscheinlichkeit“

$$= \frac{b}{a+b}$$

Diese Arbeit benutzt eine binäre Codierung mit „Ja“ (Auftreten = 1) oder „Nein“ (Auftreten = 0).

3.2.2 Fotografien der Zahnflächen

Für diese Studie wurden von den 163 Probanden (42 Aligner-Therapie, 121 MB-Therapie) insgesamt 489 Fotografien (126 Aligner-Therapie, 363 MB-Therapie) erstellt. Diese zeigen 26.080 Zahnflächen (6.720 Aligner-Therapie, 19.360 MB-Therapie). Die Auswertung der Fotos erfolgte unter Anwendung des EDI mit Einteilung des Schweregrades von 0 bis 3 je Zahnfläche.

Mit einer digitalen Spiegelreflexkamera mit einem RGB- CCD- Sensor (Nikon D80, Nikon Corporation, Chiyoda, Tokio, Japan) wurden zum Zeitpunkt T0 und T1 drei standardisierte intraorale Aufnahmen gemacht. Dazu zählen eine frontale, eine rechts- und eine linkslaterale Aufnahme. In dieser Studie wurden die auf den Fotos sichtbaren Labialflächen der Frontzähne, der Eckzähne und der Prämolaren des Ober- und Unterkiefers bewertet. Die Molaren waren in der Auswertung nicht miteinbezogen. Das ist begründet mit der Bildqualität. Weiterhin dienen die Molaren bei der MB-Therapie der Befähigung. Die Molarenbänder umfassen die Zahnkrone und machen eine Analyse der labialen Zahnfläche unmöglich. Außerdem umfasst das Band zum größten Teil die Zahnkrone und lässt kaum noch freie Zahnfläche sichtbar.

Die Auswertung der intraoralen Aufnahmen erfolgte an einem Computer (Acer Aspire 6920G, Acer Inc, Taipeh, Taiwan) mit einem kalibrierten PnP- Monitor und NVIDIA GeForce 9500M GS mit 1366x768 Pixel (Farbtiefe 32 Bit) in einem abgedunkelten Raum. Die Bilder wurden in folgender Art und Weise beurteilt: Die Bilder wurden mit „Windows Fotogalerie“ (Microsoft Corporation, Redmond, USA) geöffnet und die Bilder digital an die Auswerthilfe angepasst. Grundsätzlich wurde zuerst die Ausdehnung in % ermittelt, und anschließend die Intensität der WSL. Der erste Schritt stellte die Auswertung der Fotografien vor Behandlungsbeginn dar. Die frontale Aufnahme diente zur Bewertung der Zähne 11 und 12. Die seitlichen Aufnahmen wurden zur Beurteilung des Eckzahnes und der beiden Prämolaren verwendet. Als einheitliche Vorgehensweise wurde eine Reihenfolge zur Auswertung festgelegt. Begonnen wurde stets gingival und über mesial und distal wurde die okklusale Labialfläche abschließend betrachtet (Abb.9).

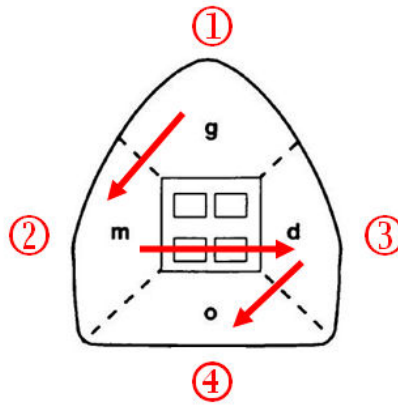


Abbildung 5: Reihenfolge der Auswertung am Beispiel des Zahnes 21

3.2.3 Bewertung der Intensität von WSL

Zur Beurteilung und Einteilung der Intensität der auftretenden White-Spot-Läsionen zum Zeitpunkt T0 und T1 wurde der Enamel-Decalcification-Index (EDI) nach Banks & Richmond (1994) verwendet. Die Läsionen wurden anhand ihres Schweregrades in Grad 0,1,2 oder 3 eingeteilt. Die labiale Zahnfläche wurde in vier Flächen eingeteilt (Abb.5). Jede Fläche (gingival, mesial, distal und okklusal) wurde einzeln bewertet und einem Wert von 0-3 zugeordnet. Insgesamt wurden n=3.260 Zahnflächen ausgewertet.

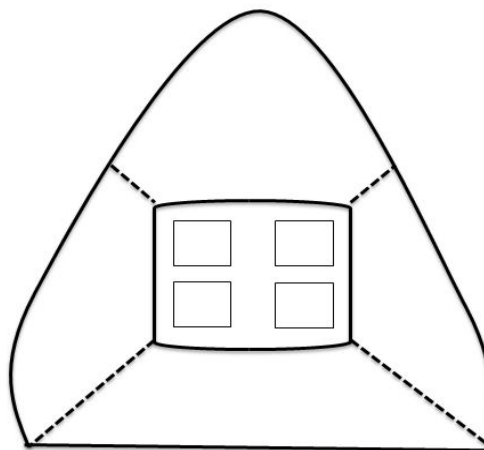
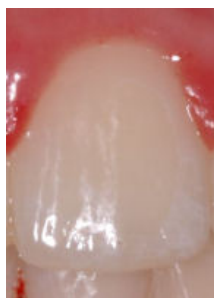


Abbildung 6: Enamel Decalcification Index (10)

Durch die klinische Betrachtung der Fotografien wurde über das Vorliegen einer WSL und deren Intensität entschieden. Grad 0 lag vor, wenn keine Demineralisationen beobachtet werden konnten. Grad 1 beschreibt eine milde, weniger als 50% der beurteilten Fläche umfassende WSL. Grad 2 beschreibt die nächste Stufe in der Intensität. Mit über 50%igem Auftreten auf der beurteilten Fläche handelt es sich um eine moderate bis schwere Demineralisation. Die stärkste Intensität einer WSL beschreibt Grad 3. Die Demineralisation ist soweit fortgeschritten, dass die gesamte in Betracht gezogene Fläche betroffen ist. Alternativ können Schmelzeinbrüche vorliegen (Abb.6).



Grad 0
• Zahnoberfläche ohne Demineralisation

Grad 1
• klinisch sichtbare Demineralisation <50% der Fläche

Grad 2
• moderate bis ernste Demineralisation >50% der Fläche

Grad 3
• die gesamte Fläche betreffende Demineralisation oder Karies im Sinne von Oberflächeneinbrüchen

Abbildung 7: Gradeinteilung von 0 bis 3 des EDI nach Banks & Richmond (1994) (10)

3.2.4 Bewertung des Ausmaßes von WSL

Zur Bewertung der Ausdehnung der Demineralisation wurde eine Auswertungshilfe (Abb.7) kreiert. Das Fadenkreuz spiegelt die Einteilung der labialen Zahnflächen entsprechend dem EDI-Index wider. Auf der Zielscheibe steht jedes Kreissegment für 20%, als prozentuale Einteilung der untersuchten Zahnfläche. Diese Auswerthilfe wird auf transparente Polyesterfolie der Größe A4 (LabelOcean GmbH, Bad Zwischenhahn, Deutschland) gedruckt. Zur Anpassung auf die Zahngröße wird die Folie zentral auf den Zahn ausgerichtet (Abb.8) und danach am Bildschirm fixiert.

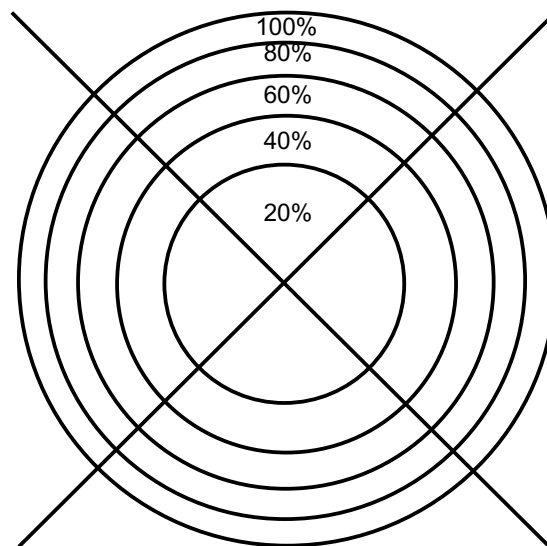


Abbildung 8: Auswertungshilfe

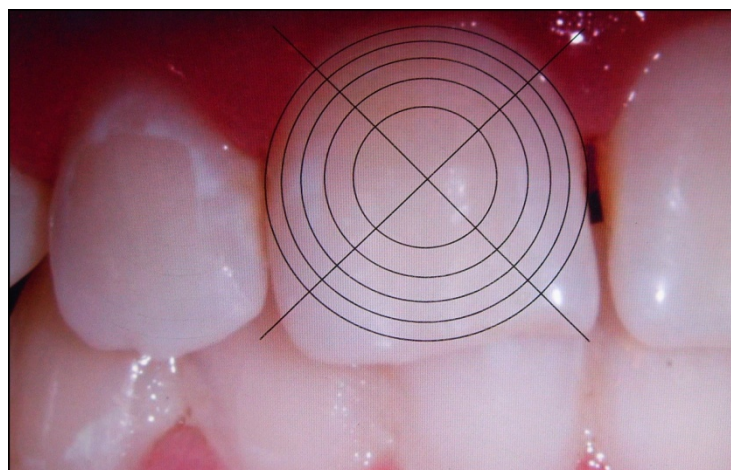


Abbildung 9: Auswertung mit der an den Zahn angepassten Polyesterfolie

3.2.5 Berücksichtigung der verschiedenen Attachmenttypen

In der Auswertung wurde Rücksicht genommen auf die verschiedenen Attachmenttypen, die bei der Behandlung je nach Indikation eingesetzt werden. Attachments stellen Plaqueretentionsstellen dar (96). Somit stellte sich die Frage, ob und in welchem Ausmaß sie WSL begünstigen.

Es wurde unterschieden in der Verwendung von rechteckig horizontal und rechteckig horizontal abgeschrägten Attachments. Weiterhin zwischen rechteckig vertikal, rechteckig vertikal abgeschrägt und ellipsoidalen Attachments. Ebenso fanden die optimized Attachments und Rotations-Attachments je nach Therapiebedarf ihre Anwendung. Zur Berechnung der logistischen Regression wurden die Attachments in Gruppen zusammengefasst. Es wurden folgende Attachment-Gruppen gebildet: Rechteckig, Ellipsoidal, Optimized und Rotation.

Es wurde eine 0/1-Kodierung gewählt, so dass, wenn ein Attachment eines bestimmten Typs verwendet wurde, eine 1 gesetzt wird, andernfalls eine 0. So ist es auch möglich, Kombinationen von Attachments zu berücksichtigen.

3.2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde in Zusammenarbeit mit dem IMBEI Mainz mit Häufigkeitstabellen, Kreuztabellen und logistischer Regression durchgeführt. Nach Plausibilitätsprüfung der Daten wurde mit den Programmen IBM SPSS Statistics 22 für Windows (IBM Corporation, Armonk, USA) und SAS 9.4. (SAS Institute, Cary, USA) gearbeitet.

Um eine zusammengefasste Beurteilung über das Vorliegen einer WSL pro Zahn zu erhalten, wurden die Werte der Indices für die Intensität binär umkodiert. Wenn mindestens eine Fläche (distal, gingival, mesial oder okklusal) eines Zahnes einen EDI-Wert > 0 hatte, wurde bei diesem Zahn eine WSL angenommen und mit 1 kodiert. Hatten alle Flächen eines Zahnes den EDI-Wert 0, so wurde keine WSL angenommen und dieser Zahn mit 0 kodiert.

Durch Auszählen der Häufigkeit von WSL kann die Prävalenz ermittelt werden.

Kreuztabellen wurden erstellt, um die Häufigkeit des Auftretens einer WSL pro Zahnfläche vor und nach der Behandlung in Bezug zur Verteilung der Indices (EDI, Ausmaß-Index) zu setzen.

Weiterhin wurde die Inzidenz nach der Aligner- und MB-Behandlung mithilfe von Kreuztabellen und der Formel $\text{Inzidenz} = (\text{Anzahl vorher keine WSL} \& \text{Anzahl nachher WSL}) / \text{Anzahl vorher keine WSL}$ ermittelt.

Die Auswertung der Daten mit dem Regressionsmodell wurde durch die Verwendung eines GEE-Modells mit binomialverteilter Zielgröße durchgeführt. Dabei wurde ein Logit-Link verwendet. Dies stellt eine Verallgemeinerung des logistischen Regressionsmodells dar, bei der die Abhängigkeit zwischen den Beobachtungen Berücksichtigung findet. Gerechnet wurde mit der SAS Prozedur PROC GENMOD (SAS Version 9.4).

Diese Arbeit hat explorativen Charakter, daher sind p-Werte nur deskriptiv zu interpretieren. Jedoch werden – gängigem Sprachgebrauch folgend – Effekte mit einem $p\text{-Wert} \leq 0.05$ als signifikant bezeichnet, was hier jedoch nur orientierend zu betrachten ist. Eine Adjustierung für multiples Testen wurde dementsprechend nicht vorgenommen.

4. Ergebnisse

4.1 Übersicht und Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Arbeit dargestellt. Diese Dissertation beantwortet die Frage, wie sich das Auftreten von Prävalenz und Inzidenz bei den Behandlungsformen, Aligner- und MB-Therapie, im Vergleich verhält.

In der folgenden Tabelle (Tab.9) sind die Ergebnisse dieser Dissertation in einem Überblick dargestellt. Alle Ergebnisse, die nicht als „x“ gekennzeichnet sind, sind statistisch signifikant.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse

x=nicht signifikant

□ = ein rechteckiges Attachment steht für ein häufigeres Auftreten von WSL verglichen mit einer Behandlung ohne Attachments

		Aligner	MB	Diskussion
Prävalenz	T0	17%	69%	5.2.1
	T1	52%	98%	5.2.1
	Differenz	35% Anstieg	29% Anstieg	5.2.1
	Geschlecht	x	m>w	5.2.3.1
	OK/UK	OK>UK	x	5.2.3.2
	SZ/EZ/PM	PM>SZ	PM>SZ, PM>EZ	5.2.3.3
	Zahnflächen	x	o,m,d>g	5.2.3.3
	Alter	x	x	5.2.3.4
	Attachments	□>kein Attachment	x	5.2.3.5
Inzidenz	WSL	43%	29%	5.2.2
	Geschlecht	x	m>w	5.2.3.1
	OK/UK	OK>UK	x	5.2.3.2
	SZ/EZ/PM	PM>SZ, EZ>SZ	PM>SZ, PM>EZ	5.2.3.3
	Zahnflächen	x	d>g, d>m	5.2.3.3
	Alter	x	x	5.2.3.4
	Attachments	□>kein Attachment	x	5.2.3.5

Insgesamt wurden 42 Probanden auf WSL im Zusammenhang mit der kieferorthopädischen Aligner-Therapie untersucht und mit den Ergebnissen der Untersuchung auf WSL bei 121 Probanden einer MB-Therapie verglichen. Zunächst erfolgten die Berechnung der Prävalenz und Inzidenz bei der Aligner-Therapie. Dabei wurde in der Untersuchung nach Ober- und Unterkiefer unterschieden. Die Intensität und das Ausmaß wurden mit der EDI-Index errechnet. Während der Aligner-Therapie wurden je nach Indikation Attachments angewandt, welche zusätzliche Retentionsstellen darstellen und in die Untersuchung miteinbezogen wurden. Anschließend wurden die Daten zur Aligner-Therapie mit der MB-Gruppe verglichen.

4.2 Untersuchung der WSL-Prävalenz bei der Aligner-Therapie

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Untersuchung in Bezug auf die Intensität und das Ausmaß der WSL-Prävalenz getrennt für Ober- und Unterkiefer dargestellt.

4.2.1 Verteilung der WSL-Prävalenz im Oberkiefer

Abbildung 10 zeigt aufgeteilt auf die untersuchten Zähne im Oberkiefer die prozentualen Angaben entsprechend des Auftretens einer WSL.

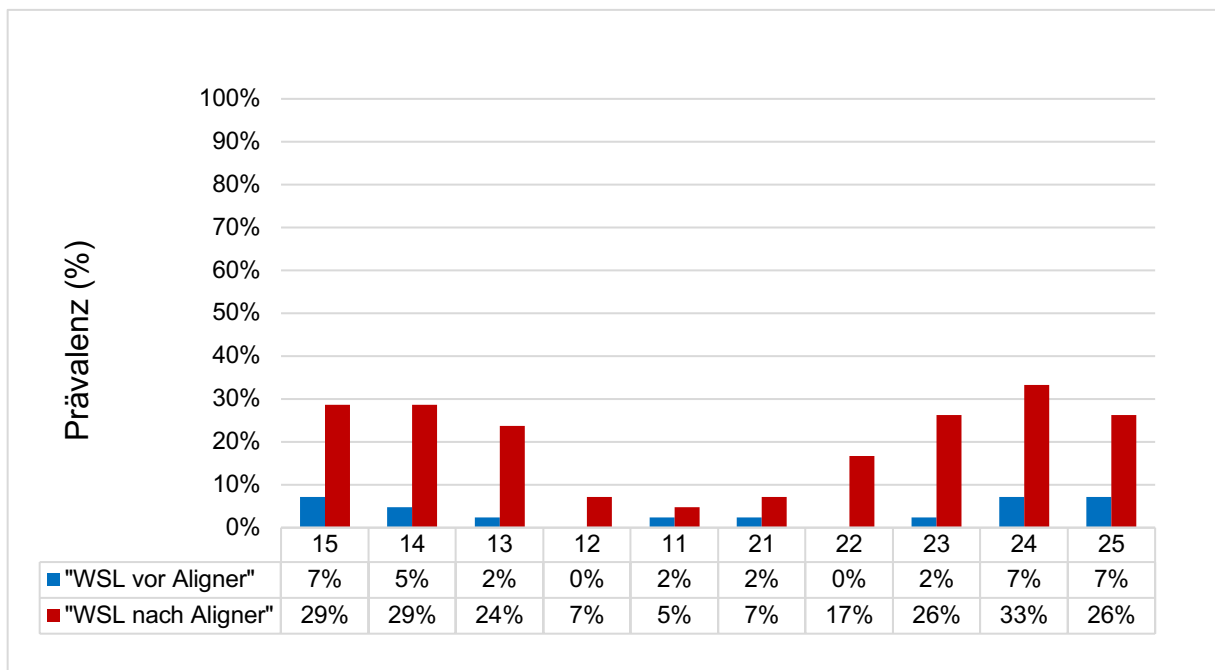


Abbildung 10: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Oberkiefer vor (blau) und nach (rot) der Aligner-Therapie

Vor der Behandlung mit Aligner sind im Oberkiefer die beiden Prämolaren auf der rechten und linken Seite häufiger von WSL betroffen als die Front- und Eckzähne im Oberkiefer. Der zweite Prämolare im ersten Quadranten und die beiden Prämolaren im zweiten Quadranten sind mit jeweils 3 Zähnen (7%) am stärksten von WSL betroffen, gefolgt vom ersten Prämolaren rechts mit 2 Zähnen (5%). Die Eckzähne aus beiden Quadranten sowie die beiden mittleren Inzisivi sind alle je einmal betroffen. Die seitlichen Inzisivi sind nicht erkrankt.

Bei der Betrachtung der Seitenzähne im Oberkiefer nach der Aligner-Therapie wird deutlich, dass beiderseits die Eckzähne und die Prämolaren häufiger erkrankt sind als die Frontzähne. Der rechte erste Prämolare ist im Vergleich zum rechten zweiten Prämolaren gleich häufig betroffen $n=12$ (29%), obwohl vor der Behandlung der rechte zweite Prämolare stärker betroffen ist. Der erste linke Prämolare ist bei 14 Patienten (33,3%) betroffen, und damit häufiger als die Prämolaren im ersten Quadranten. Der linke Eckzahn und der zweite Prämolare links folgten beide mit jeweils 11 Fällen (26%) hinter den beiden Prämolaren im ersten Quadranten. Somit ist der linke Eckzahn öfter an WSL erkrankt als der rechte Eckzahn $n=10$ (24%). Der seitliche Inzisivus links weist mit 7 Fällen (17%) einen häufigen Befall vor. Gefolgt vom seitlichen Inzisivus rechts und dem linken mittleren Inzisivus mit ebenfalls je 3 betroffenen Zähnen (7%). Von allen Frontzähnen im Oberkiefer ist der rechte mittlere Inzisivus am wenigsten betroffen, nämlich nur zweimal. Im Vergleich zum Befall der Frontzähne vor der Behandlung weist besonders der linke seitliche Inzisivus einen häufigen Befall mit $n=7$ (17%) vor.

4.2.2 Verteilung der WSL-Prävalenz im Unterkiefer

Abbildung 11 zeigt aufgeteilt auf die untersuchten Zähne im Unterkiefer die prozentualen Angaben entsprechend des Auftretens einer WSL.

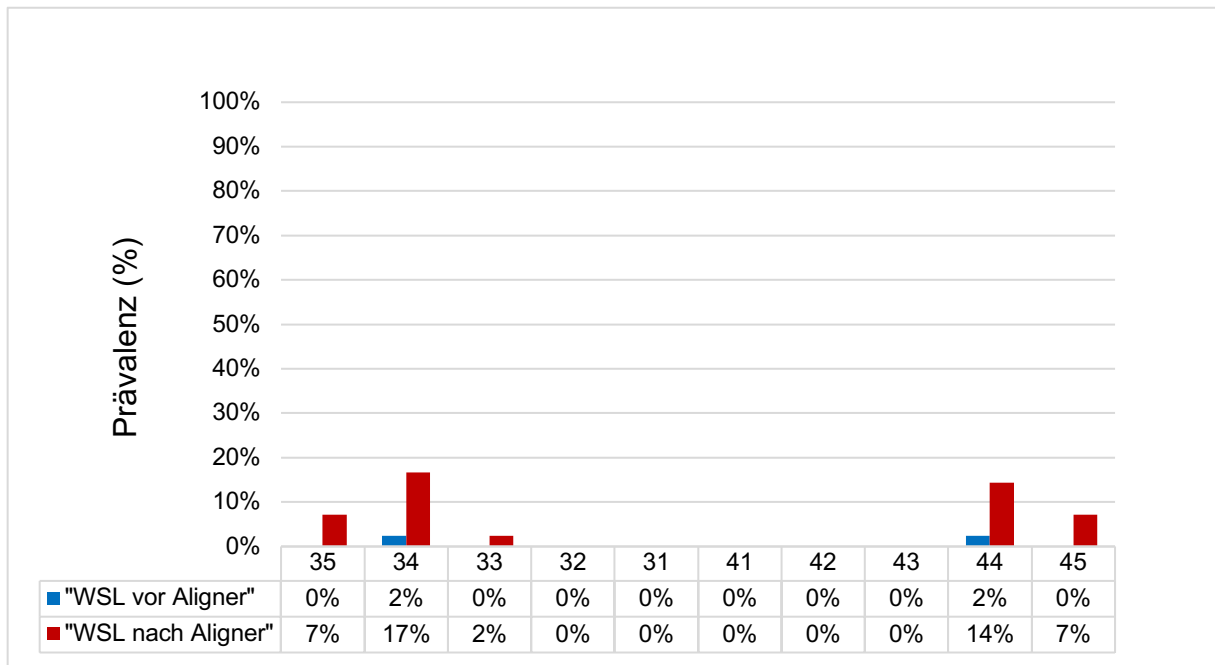


Abbildung 11: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Unterkiefer vor (blau) und nach (rot) der Aligner-Therapie

Im Unterkiefer sind vor der Behandlung nur wenige erkrankte Fälle zu verzeichnen. Die einzigen Zähne, welche eine WSL aufweisen, sind die ersten Prämolaren im ersten und zweiten Quadranten mit jeweils n=1 (2%).

Nach der Aligner-Therapie weisen der linke Eckzahn mit einem Behandlungsfall n=1 (2%) und die Seitenzähne beiderseits WSL auf. Dabei treten die beiden ersten Prämolaren sowohl im dritten Quadranten mit 7 Fällen (17%) als auch im vierten Quadranten mit n=6 (14%) deutlich hervor. Die zweiten Prämolaren links sind mit 3 Fällen gleich häufig erkrankt wie der zweite Prämolare rechts (7%).

Sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer zeigt sich eine höhere Anfälligkeit der Prämolaren für WSL gegenüber den Eck- und Schneidezähnen.

Zudem wird deutlich, dass der Oberkiefer im Vergleich zum Unterkiefer eine höhere Prävalenz aufweist.

4.2.3 Verteilung der WSL-Prävalenz nach Intensität und Ausmaß

Das Balkendiagramm (Abb.12) zeigt die prozentuale Verteilung der Intensität (EDI=0-3) bei der Beurteilung von WSL vor und nach der Aligner-Therapie.

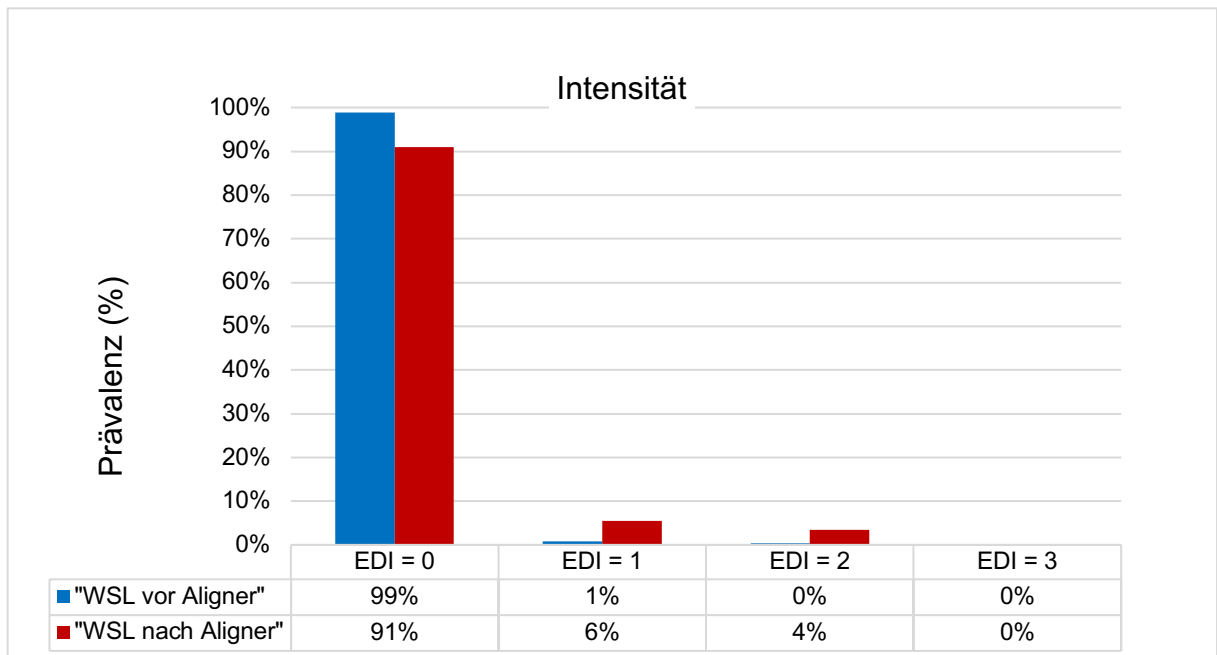


Abbildung 12: Balkendiagramm zur Darstellung der Intensität der WSL-Prävalenz der beobachteten Zahnflächen vor (blau) und nach (rot) der Aligner-Therapie

n=3.321 (99%) aller Zahnflächen weisen vor und n=3.055 (91%) der Zahnflächen weisen nach der Behandlung keine WSL auf. Vor der Aligner-Therapie wurde ein EDI-Grad 1 bei n=27 (1%) der Zahnflächen festgestellt. Nach der Behandlung stieg die Anzahl der betroffenen Zahnflächen auf n=185 (6%) an. Einen EDI-Grad von 2 betrafen n=11 (0,3%) der Zahnflächen vor der Behandlung und n=119 (4%) nach Ende der Behandlung. Vor Beginn der Aligner-Therapie wurde bei n=39 (1%) der Zahnflächen ein EDI- Grad zwischen 1-3 ermittelt, nach Abschluss der Behandlung waren es n=305 (9%). Die Prävalenz der Intensität der WSL nahm sowohl vor als auch nach der Aligner-Therapie mit steigendem EDI-Grad ab.

Das Balkendiagramm (Abb.13) zeigt die prozentuale Verteilung des Ausmaßes bei der Beurteilung von WSL vor und nach der Aligner-Therapie.

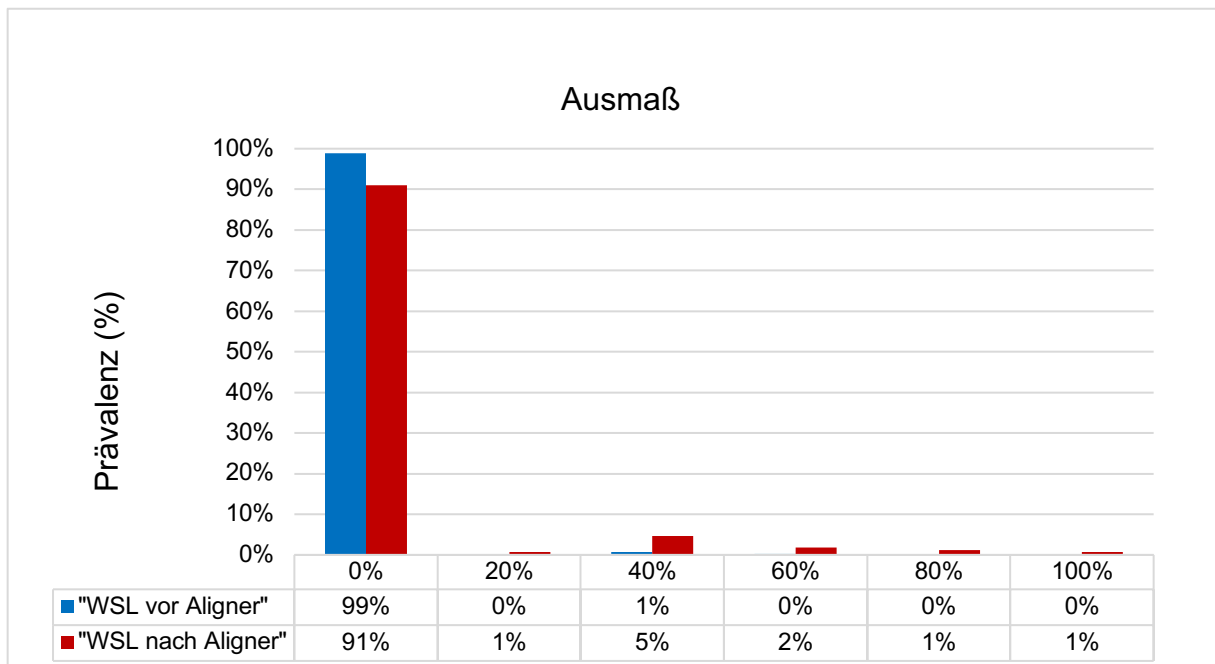


Abbildung 13: Balkendiagramm zur Darstellung des Ausmaßes der WSL-Prävalenz der beobachteten Zahnflächen vor (blau) und nach der Therapie (rot) mit Aligner

Vor der Aligner-Therapie waren 3.321 (99%) der betrachteten Zahnflächen frei von WSL. N=39 (1%) der Zahnflächen weisen WSL mit einem Ausmaß von $\geq 20\%$ auf.

Nach Abschluss der Aligner-Therapie können bei n=3.055 (91%) der Zahnflächen keine WSL festgestellt werden. N=305 (9%) der Zahnflächen zeigten WSL mit einem Ausmaß von $\geq 20\%$.

Nach der Aligner-Therapie wird eine Zunahme des Ausmaßes in den Bereichen zwischen 20-100% deutlich, vor allem aber bei einem Ausmaß von 40% zeigt sich ein Anstieg von 25 (1%) auf 155 (5%) Fälle.

4.3 Untersuchung der WSL-Inzidenz bei der Aligner-Therapie

Die folgende Untersuchung (Abb.14) stellt die Flächen mit inzidenter WSL dar. In die Ergebnisse sind die neu von WSL betroffenen Flächen miteinbezogen, die vor der Studie keine WSL hatten. Dabei erfolgt die Analyse der inzidenten WSL nach Intensität und Ausmaß.

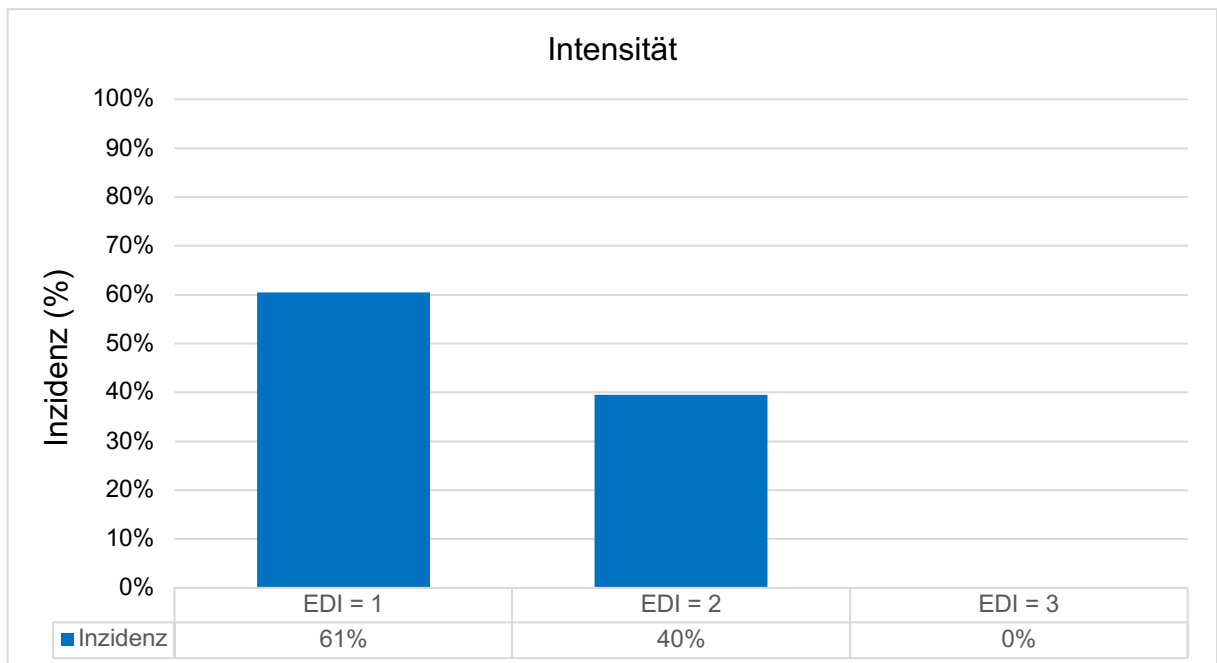


Abbildung 14: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Flächen mit inzidenter WSL nach Intensität (EDI)

Nach der Aligner-Therapie liegt bei 160 (61%) Probanden eine WSL an mindestens einem Zahn von weniger als 50% der Zahnoberfläche (EDI=1) vor. Der Anteil der Erkrankten mit einem EDI Grad 2 beträgt n=106 (40%). Somit können die Ausprägungen der Demineralisation nur Grad 1 und 2 zugeordnet werden. Eine Demineralisation von 100% der Zahnoberfläche liegt nicht vor (Abb.14).

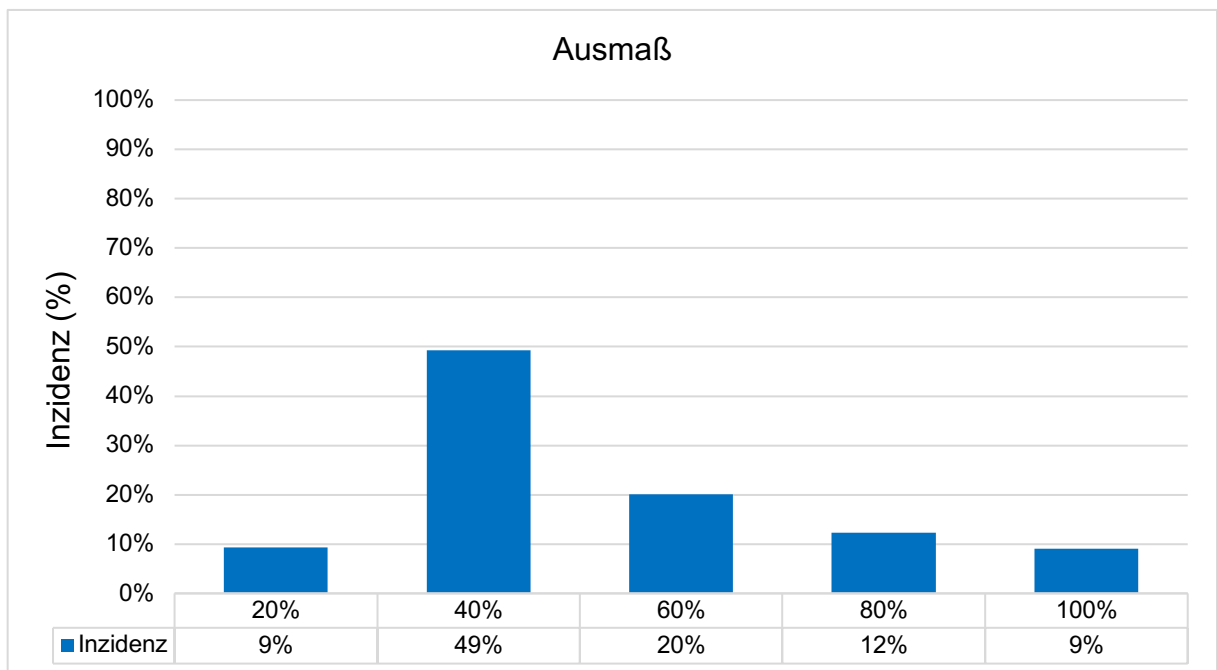


Abbildung 15: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Flächen mit inzidenter WSL nach Ausmaß (%)

n=25 (9%) der neu betroffenen Zahnflächen weisen eine Schmelzdemineralisation von 20% der Zahnoberfläche vor. Bei dem größten Anteil der neuerkrankten Flächen n=132 (50%) wird eine Schmelzdemineralisation von 40% der Oberfläche festgestellt. Ein 60%iges Demineralisationsausmaß wird bei n=54 (20%) der neuerkrankten Flächen verzeichnet. Mit einem Anteil von n=33 (12%) liegen Schmelzdemineralisationen von 80% vor. Bei einem Demineralisationsausmaß von 100% wird die geringste Häufigkeit n=22 (9%) beobachtet (Abb.15).

4.4 Untersuchung der WSL-Prävalenz und -Inzidenz bei der Aligner- und MB-Therapie

Die Ergebnisse dieser Studie werden mit Ergebnissen durchgeführter Studien zu WSL bei MB-Apparaturen verglichen. Ein Proband wurde als erkrankt bezeichnet, sobald mindestens ein Zahn auf einer der vier eingeteilten Zahnflächen (Abb. 5) eine WSL aufwies. Bei der Untersuchung der Prävalenz geht es darum, ob der Proband mindestens einen an WSL erkrankten Zahn hat. Wie viele Zähne und wie stark diese betroffen sind spielt bei der Prävalenz keine Rolle.

Tabelle 11: Prävalenz zum Zeitpunkt T0 und T1, Beobachtungseinheit Patient

	Prävalenz T0	Prävalenz T1	Differenz
Aligner	n=7 (17%)	n=22 (52%)	+35%
Multi- Bracket (MB)	n=84 (69%)	n=118 (98%)	+29%

Für die Aligner-Gruppe wurden digitale Fotografien von insgesamt 42 Probanden ausgewertet. Vor der Aligner-Therapie zum Zeitpunkt T0 wiesen insgesamt 7 Probanden (17%) mindestens eine WSL auf. Nach der Aligner-Therapie zum Zeitpunkt T1 war bei insgesamt 22 der Probanden (52%) eine WSL nachweisbar. Es handelt sich damit um einen Anstieg um 35%.

Bei der MB-Therapie mit insgesamt 121 Probanden betrug die Prävalenz von WSL zum Zeitpunkt T0 n=84 (69%). Nach der MB-Therapie zum Zeitpunkt T1 hatten 118 der jugendlichen Probanden WSL (98%), ein Anstieg um 29%. Somit hatte fast jeder Proband nach der MB-Therapie WSL. Im Vergleich dazu hatten nach der Aligner-Therapie knapp die Hälfte der Probanden (52%) WSL (Tab.10).

Bei der Untersuchung der Inzidenz zeigt sich folgendes Ergebnis (Tab.11).

Tabelle 12: Inzidenz gesamt und aufgeteilt nach Geschlecht, Beobachtungseinheit: Patient

	Inzidenz gesamt	Inzidenz männliche Jugendliche	Inzidenz weibliche Jugendliche
Aligner	n=15 (43%)	n=8 (53%)	n=7 (35%)
Multi- Bracket (MB)	(29%)	(34%)	(23%)

Die Inzidenz bei der Aligner-Therapie beträgt insgesamt n=15 (43%), wobei n=8 (53%) der männlichen Jugendlichen und n=7 (35%) der weiblichen Jugendlichen betroffen sind.

Bei der MB-Therapie betrug die Inzidenz 29%. 34% der männlichen und 23% der weiblichen Jugendlichen sind betroffen (Tab.11).

4.4.1 Verteilung der WSL-Prävalenz auf die Einzelzähne

Abbildung 16 zeigt, dass die Prävalenz von WSL in der Gruppe der mit Aligner therapierten Probanden sehr gering ausgeprägt war, was an den Werten von 0 bis 7% (Abb.16) deutlich wird.

Diesbezüglich unterscheidet sich die Vergleichsgruppe der Probanden unter MB-Therapie deutlich, da hier zu Behandlungsbeginn Prävalenzwerte von 37 bis 64% gemessen wurden.

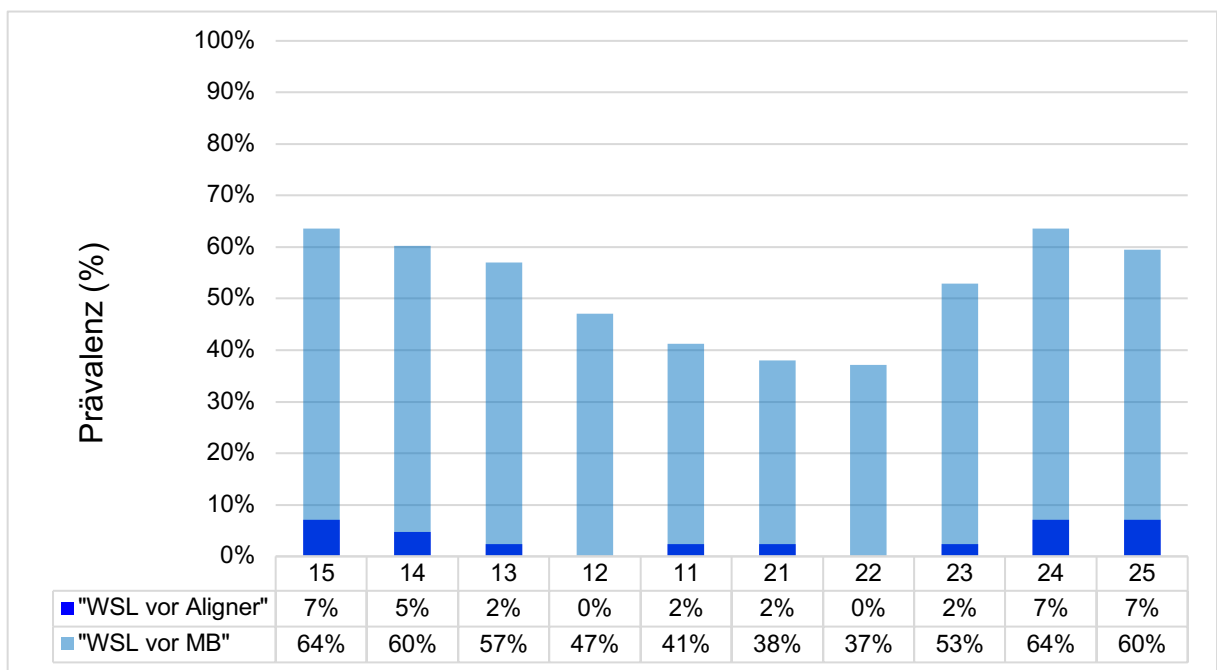


Abbildung 16: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Oberkiefer vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau)

Vor beiden kieferorthopädischen Therapiemöglichkeiten konnte beobachtet werden, dass die beiden Prämolaren häufiger betroffen sind als die Front- und Eckzähne.

Die seitlichen Inzisivi wiesen vor der Aligner-Therapie keine WSL auf, vor der MB-Therapie ist der rechte seitliche Inzisivus mit n=57 (47%) häufiger betroffen als der mittlere Inzisivus auf der linken Seite mit n=45 (37%).

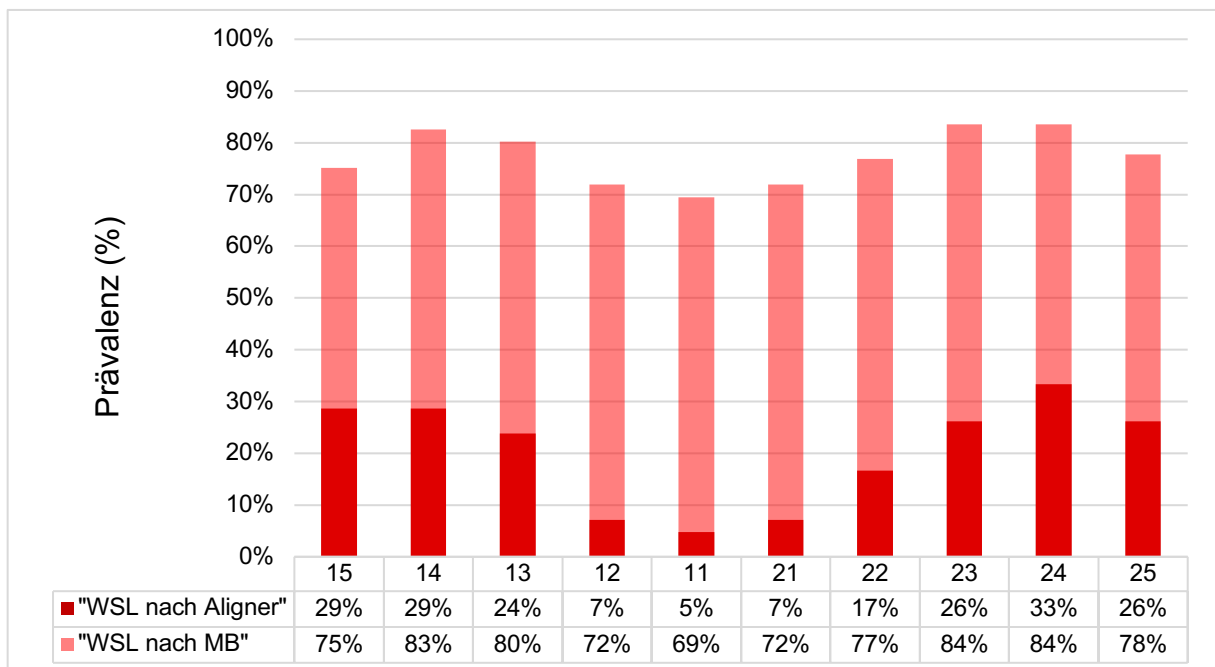


Abbildung 17: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Oberkiefer nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot)

Bei Betrachtung der Seitenzähne nach der MB-Behandlung ist der rechte erste Prämolare im Oberkiefer (MB n=100 (83%)) häufiger betroffen als der zweite rechte Prämolare (MB n=91 (75%)). Auch der linke obere Eckzahn ist häufiger betroffen (MB n=101, (84%)) als der linke zweite obere Prämolare (MB n=94 (78%)). Nach der Aligner-Behandlung sind sowohl die rechten Prämolaren gleich häufig betroffen (Aligner n=35 (29%)), als auch der linke Eckzahn und der linke zweite Prämolare (Aligner n=32 (26%)).

Nach beiden kieferorthopädischen Therapien ist der linke erste Prämolare (MB n=101 (84%), Aligner n=14 (33%)) öfters an WSL erkrankt, als der zweite linke Prämolare (MB n=94 (78%), Aligner n=11 (26%)).

Bei Betrachtung der WSL an den Frontzähnen war der linke Eckzahn sowohl nach der MB-Therapie als auch nach der Aligner-Behandlung am häufigsten betroffen.

Nach beiden kieferorthopädischen Behandlungen war der rechte seitliche Inzisivus (MB n=87 (72%), Aligner n=3 (7%)) gegenüber dem linken mittleren Inzisivus (MB n=87 (72%), Aligner n=3 (7%)) gleich häufig betroffen. Ebenso war der linke mittlere Inzisivus in beiden Fällen (MB n=87 (72%), Aligner n=3 (7%)) häufiger an WSL erkrankt als der mittlere rechte Inzisivus (MB n=84 (70%), Aligner n=2 (5%)).

Der mittlere rechte Inzisivus war nach beiden kieferorthopädischen Behandlungsmöglichkeiten am wenigsten von WSL betroffen.

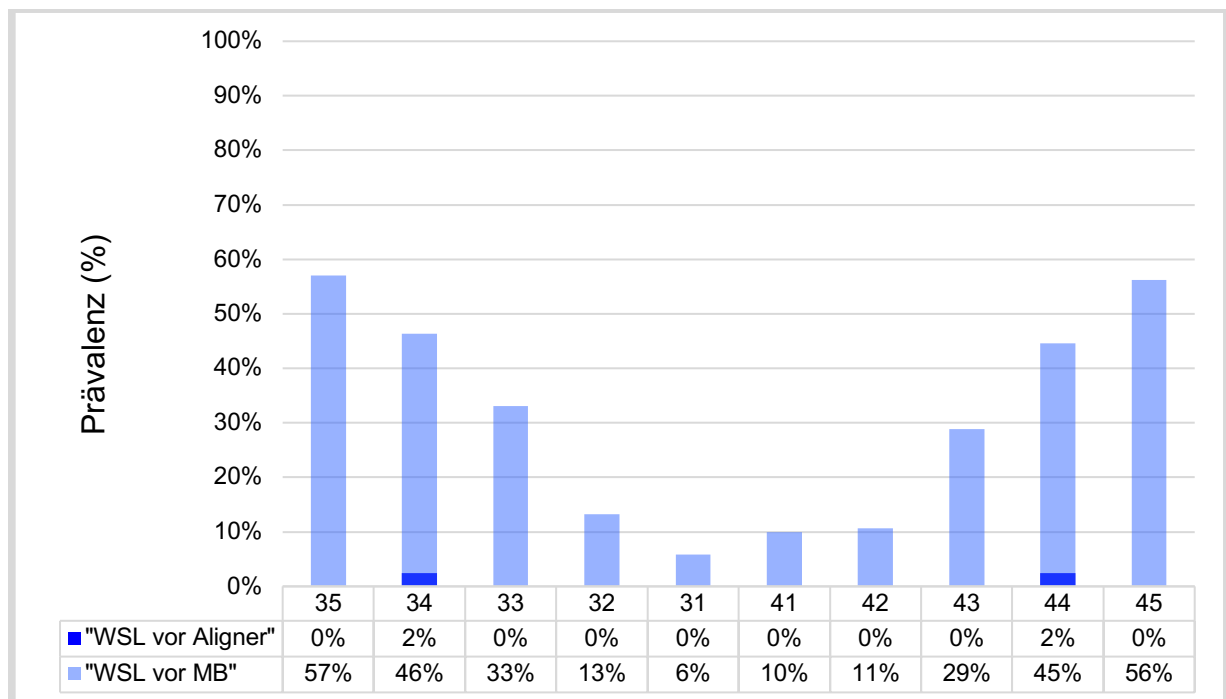


Abbildung 18: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Unterkiefer vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau)

Wie im Oberkiefer so zeigen sich auch im Unterkieferseitenzahnbereich vor der MB-Behandlung häufiger WSL als im Frontzahnbereich. Der Vergleich zur Prävalenz vor der Aligner-Therapie zeigt auf, dass vor der Behandlung nur der erste Prämolare in beiden Quadranten mit jeweils $n=1$ (2%) betroffen ist.

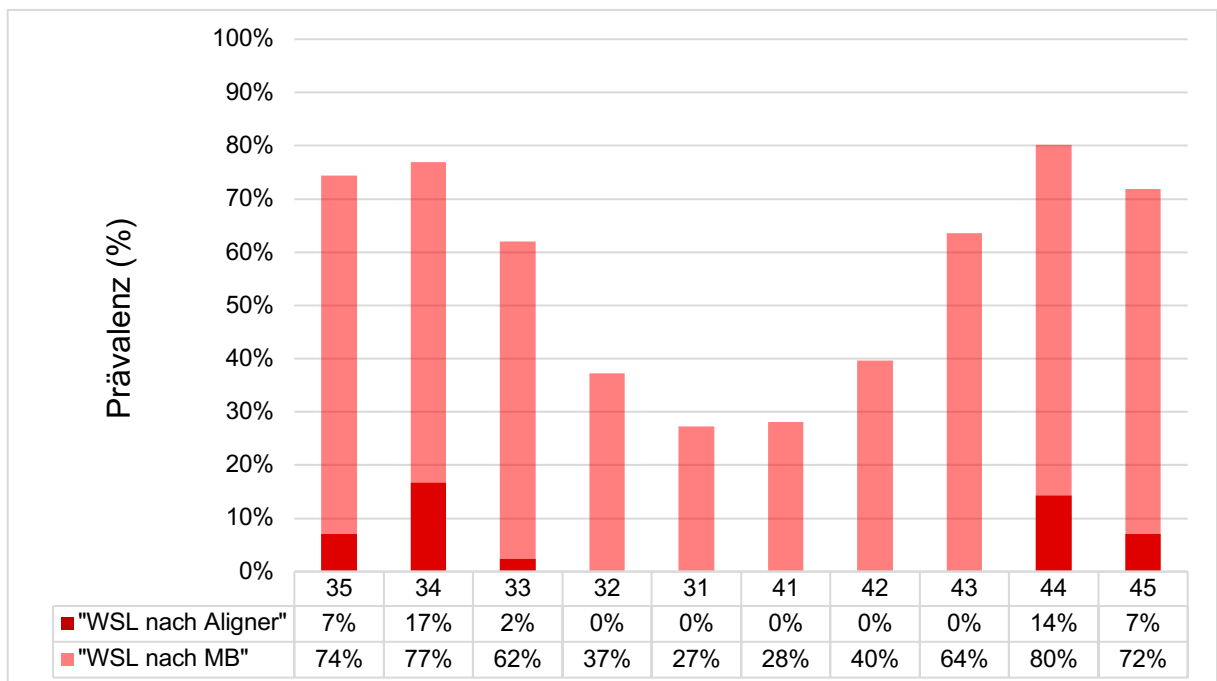


Abbildung 19: Balkendiagramm zur Darstellung der Prävalenz der WSL der Zähne im Unterkiefer nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot)

Nach der kieferorthopädischen Behandlung weisen die ersten Prämolaren aus beiden Quadranten häufiger WSL auf als die zweiten Prämolaren im Unterkiefer. Im Frontzahnbereich erkrankte nach der Aligner-Therapie nur der linke untere Eckzahn. Bei den restlichen Frontzähnen konnten keine WSL beobachtet werden, im Gegensatz zur MB-Behandlung.

4.4.2 Verteilung der WSL-Prävalenz nach Intensität und Ausmaß

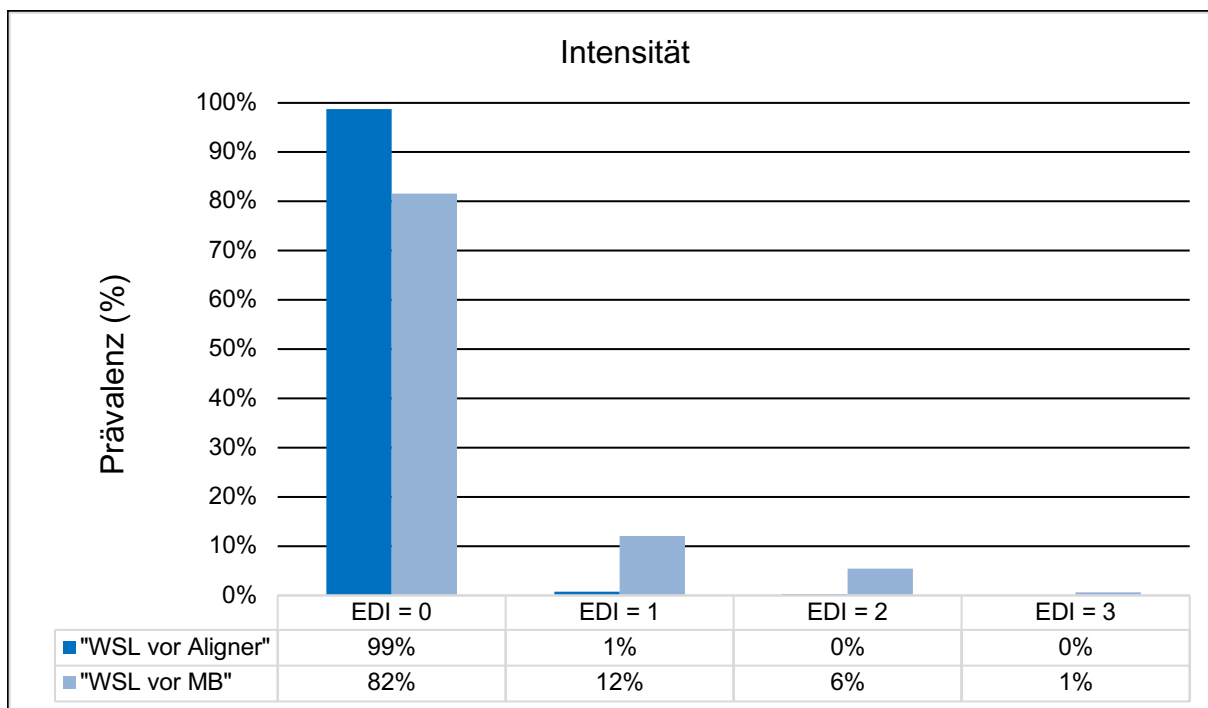


Abbildung 20: Balkendiagramm zur Darstellung der Intensität der WSL der Zahnflächen vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau)

Vor der Aligner-Therapie weisen n=3.321 (99%) aller Zahnflächen keine WSL auf. Vor der MB-Therapie sind es immerhin noch n=7.938 (82%) der Zahnflächen. Die Prävalenz der Intensität der WSL nimmt mit steigendem EDI-Grad nach beiden kieferorthopädischen Therapien ab. Grad 3 liegt vor der Aligner-Therapie nicht vor. Vor der Aligner-Therapie können n=39 (1%) der Zahnflächen einem EDI-Grad von 1 bis 3 zugeordnet werden.

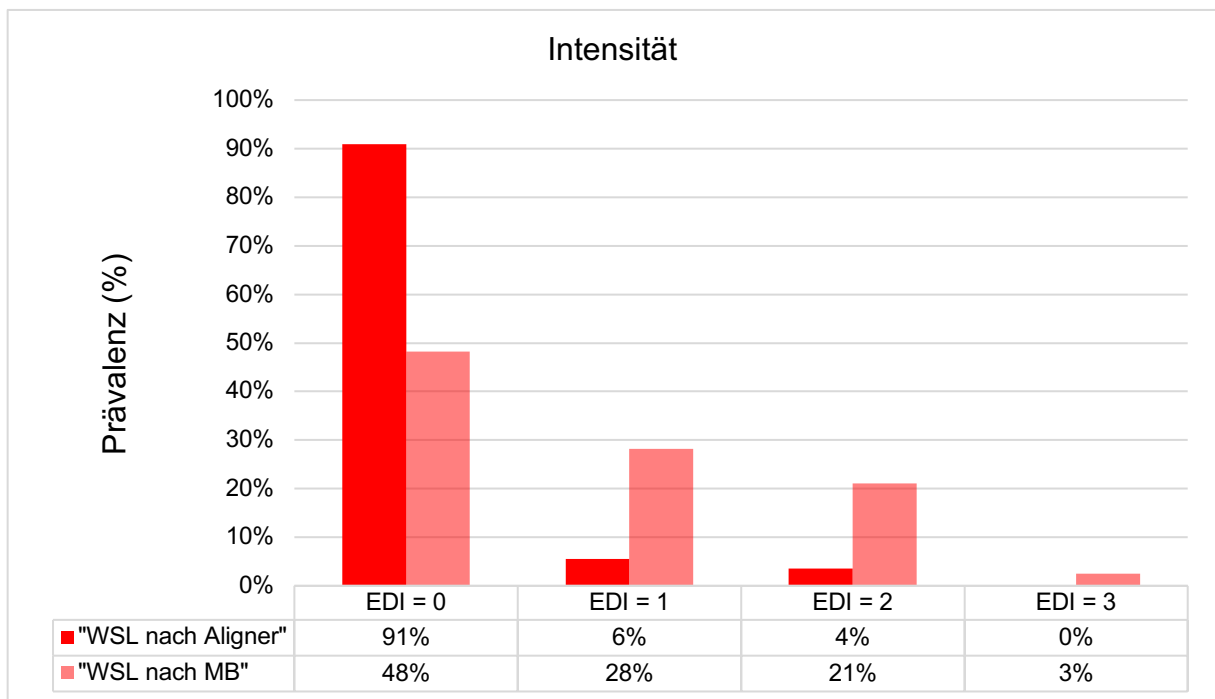


Abbildung 21: Balkendiagramm zur Darstellung der Intensität der WSL der Zahnflächen nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot)

Nach der Aligner-Therapie weisen $n=3.055$ (91%) der Zahnflächen einen EDI-Grad von 0 auf. Nach der MB-Therapie sind es $n=4.646$ (48%) der Zahnflächen. Auch bei der Untersuchung nach der Therapie konnte mit steigendem EDI-Grad eine Abnahme der Prävalenz der entsprechenden Intensität der WSL beobachtet werden. Ein EDI-Grad 1 lag bei $n=185$ (6%) der Zahnflächen nach der Aligner-Therapie vor, und bei $n=2.730$ (28%) nach der MB-Therapie. Nach der Aligner-Therapie wurde ein EDI-Grad von 2 bei $n=119$ (4%), und nach der MB-Therapie bei $n=2.033$ (21%) der Zahnflächen festgestellt. Nach der Aligner-Therapie können $n=305$ (9%) der Zahnflächen einem EDI-Grad 1 bis 3 zugeordnet werden.

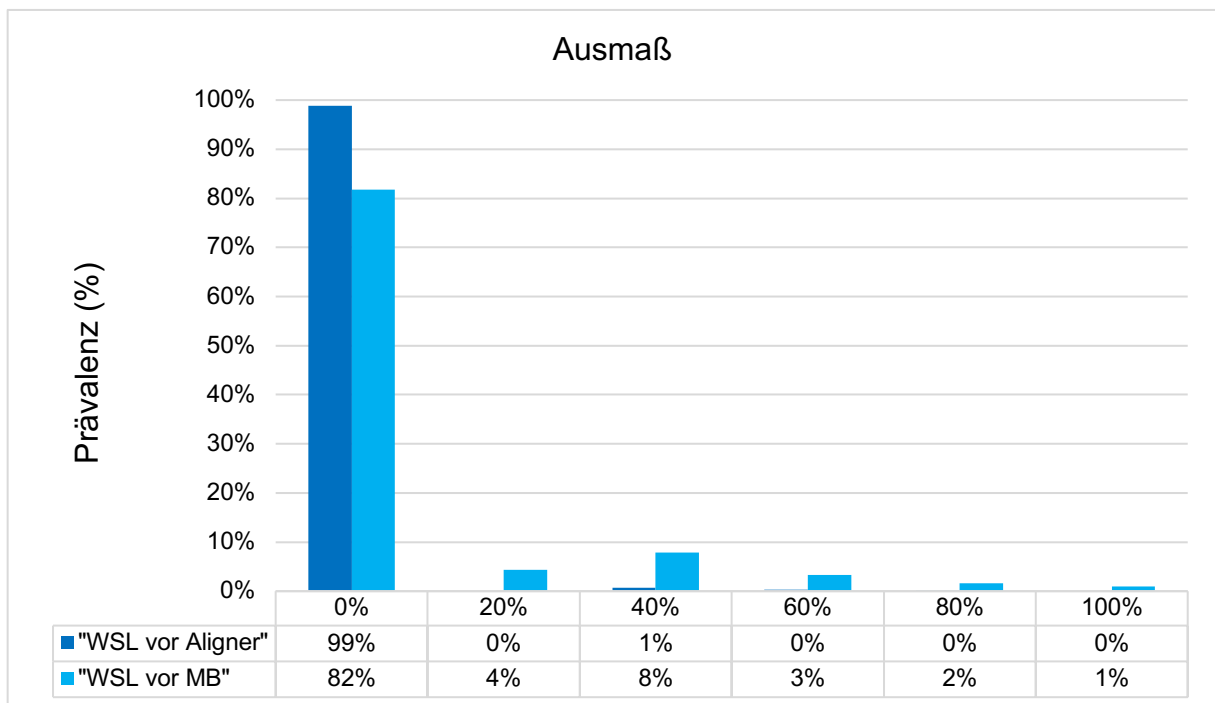


Abbildung 22: Balkendiagramm zur Darstellung des Ausmaßes der WSL der Zahnflächen vor der Aligner- (dunkelblau) und vor der MB-Therapie (hellblau)

Vor der Aligner-Therapie können bei $n=3.321$ (99%) aller Zahnflächen keine WSL festgestellt werden. Vor der MB-Behandlung sind es $n=7.938$ (82%). Weiterhin liegen bei einem Ausmaß von 20% $n=25$ und 100% $n=26$ vor der Aligner-Therapie kaum WSL vor. Vor der MB-Therapie haben $n=426$ (4%) der Zahnflächen ein Ausmaß von 20% und $n=87$ (0,9%) der Zahnflächen ein Ausmaß von 100%. Die Prävalenz des Ausmaßes der WSL nahm ab 40% über 60% bis 80% (Aligner $n=25$, $n=9$, $n=5$; MB $n=765$ (8%), $n=319$ (3%), $n=155$ (2%)) in beiden untersuchten Therapiemethoden ab.

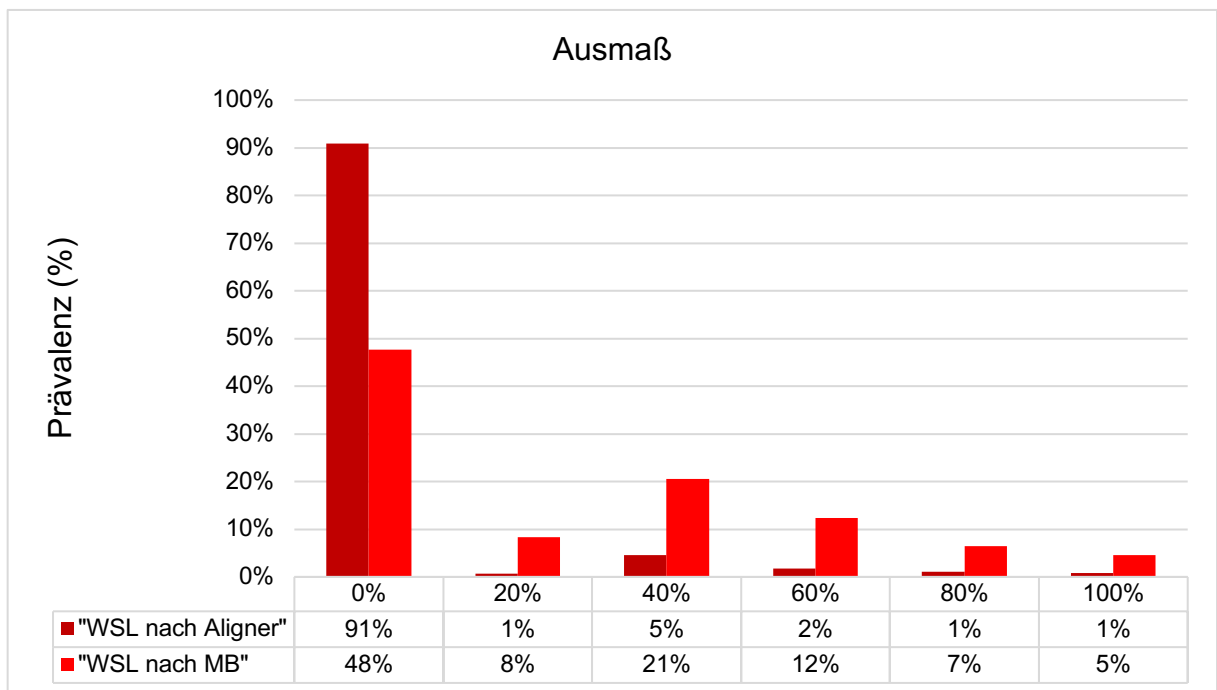


Abbildung 23: Balkendiagramm zur Darstellung des Ausmaßes der WSL der Zahnflächen nach der Aligner- (dunkelrot) und nach der MB-Therapie (hellrot)

n=3.055 (91%) aller Zahnflächen weisen nach der Aligner-Therapie keine WSL auf. Nach der MB-Therapie ist das bei n=4.588 (48%) der Zahnflächen der Fall. Von 20% auf 40% stieg die Prävalenz (Aligner n=25 (1%), n=155 (5%); MB n=813 (8%), n=1.984 (21%) an. Ab einem Ausmaß von 40% (Aligner n=155 (5%); MB n=1.984 (21%)) nimmt die Prävalenz über 60% und 80% bis zu einem Ausmaß von 100% (Aligner n=26 (0,8%); MB n=445 (5%)) ab.

4.4.3 Untersuchung der inzidenten WSL-Verteilung nach Intensität und Ausmaß

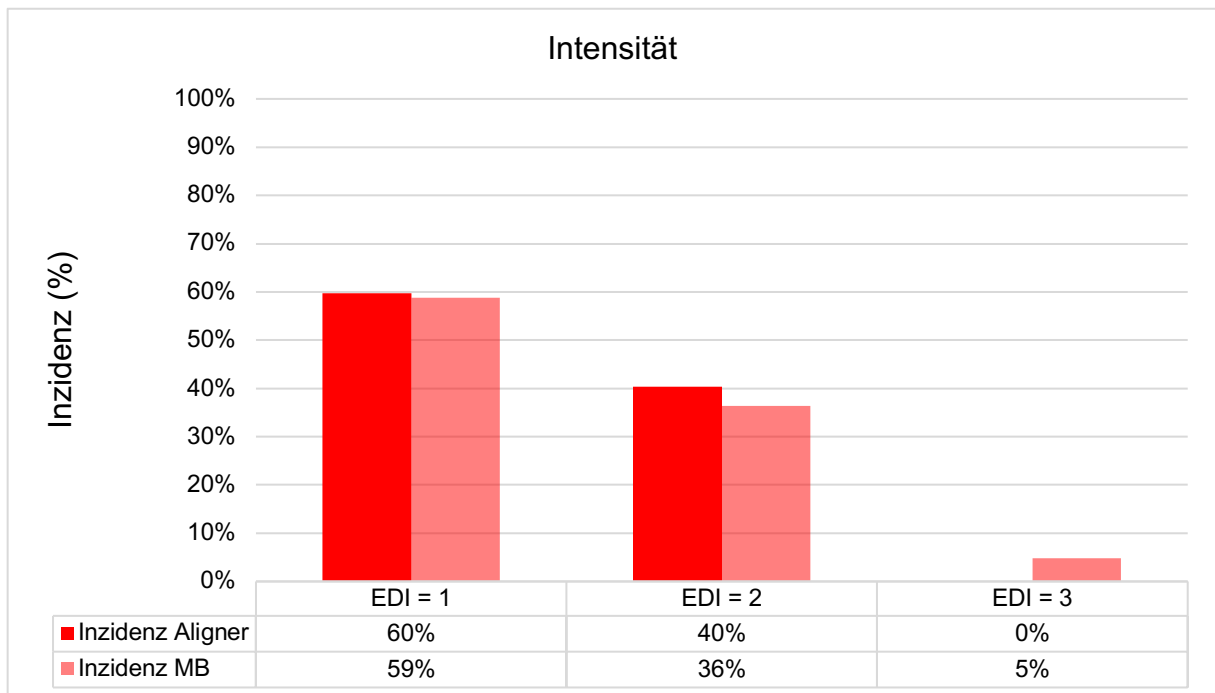


Abbildung 24: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Intensität (EDI) unter den Flächen mit inzidenter WSL

Eine Demineralisation von weniger als 50% der Zahnoberfläche (EDI=1) lag bei n=160 (60%) der neu erkrankten Zahnflächen bei der Aligner-Therapie und bei 59% der neu erkrankten Zahnflächen bei der MB-Therapie vor. Ein EDI-Grad von 2 lag bei n=106 (40%) der Neuerkrankungen der Aligner-Probanden vor, und bei 36% der Neuerkrankten der MB-Probanden.

Einem EDI-Grad von 3 kann keine Zahnflächen bei der Aligner- Therapie zugeordnet werden. Bei der MB-Therapie sind es 5% der neu erkrankten Zahnflächen.

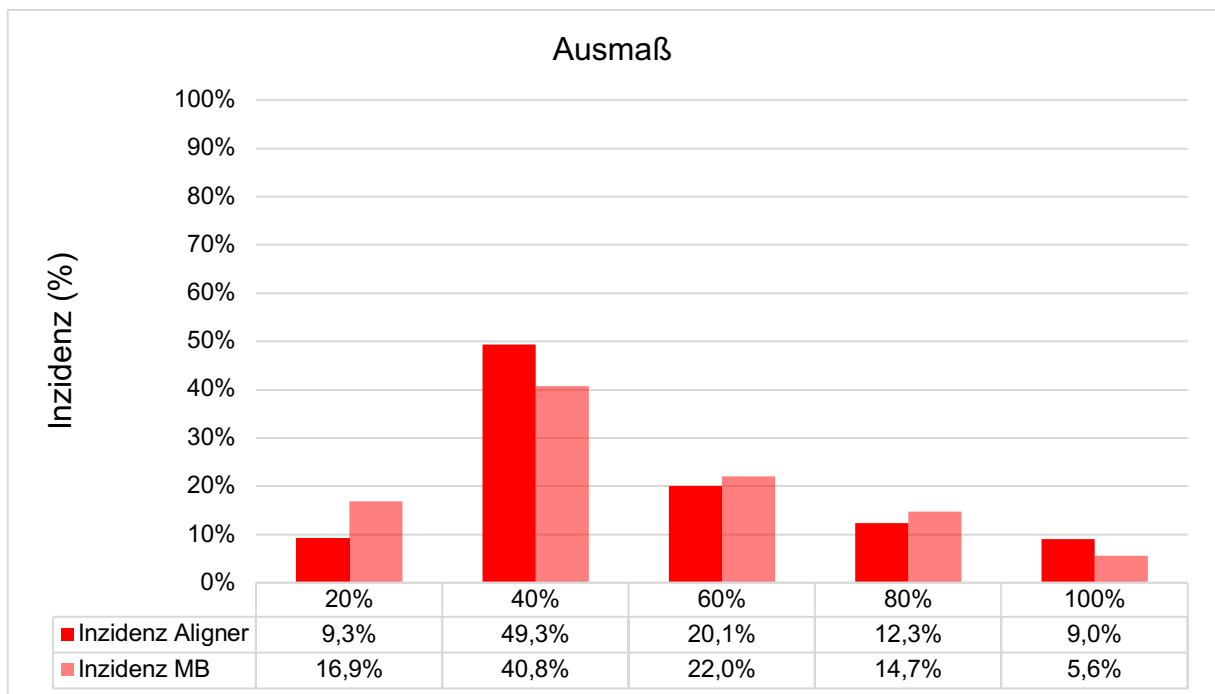


Abbildung 25: Balkendiagramm zur Darstellung der Verteilung der Inzidenz nach Ausmaß (%) unter den Flächen mit inzidenter WSL

Bei $n=25$ (9%) (Aligner) und 17% (MB) der neuerkrankten Zahnflächen wurde eine Demineralisation von 20% der Zahnfläche beobachtet. Die Mehrzahl der Neuerkrankten wies ein Demineralisationsausmaß von 40% auf (Aligner $n=132$ (50%), MB 41%). Die Inzidenz des Ausmaßes der WSL nahm von 40% an ab. Von 60% (Aligner $n=54$ (20%), MB 22%) auf 80% (Aligner $n=33$ (12%), MB 15%) nimmt die Inzidenz ab. Bei einem Ausmaß-Index von 100% beträgt die Inzidenz $n=22$ (8%) bei Aligner und 6% bei MB.

4.5 Ergebnisse der logistischen Regression bei der Aligner-Therapie

Die Auswertung der Daten mit Regressionsmodellen ist im Folgenden dargestellt. Zunächst wird die Prävalenz nach der Aligner-Therapie und dann die Inzidenz von WSL während der Aligner-Therapie analysiert.

4.5.1 WSL-Prävalenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen

Die Daten, mit denen gerechnet wurde, sind im Folgenden beschrieben. Die Fallzahlen zeigen, was gerechnet wurde und welche Punkte in die Analyse miteinbezogen wurden. Die Prävalenz ist als Zielgröße definiert, die das Vorliegen einer WSL nach der Aligner-Therapie zusammenfasst, unabhängig davon, ob vorher eine WSL vorlag oder nicht. Die Beobachtungseinheit in der Tabelle ist die Zahnfläche.

Die Zahnflächen wurden in vier Bereiche aufgeteilt und jeder Bereich auf das Vorliegen einer WSL untersucht. Insgesamt wurden 3.360 Zahnflächen zu den zwei Zeitpunkten T0 und T1 untersucht. Auf das Geschlecht verteilt sind es 1.440 Zahnflächen der männlichen Probanden und 1.920 Zahnflächen der weiblichen Probandengruppe. Durch die Untersuchung der Zahnflächen bis zum zweiten Prämolaren, sind es in Ober- und Unterkiefer je 1.680 Zahnflächen. Bei der Auswertung wurden die Zähne in die Gruppen Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren als Einflussgröße eingeteilt. Dabei wurde unterschieden ob die WSL im distalen, gingivalen, mesialen oder okklusalen Bereich der Labialfläche lagen.

In diesem Abschnitt wird die Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen auf die Prävalenz von WSL diskutiert.

Als potenzielle Einflussgrößen wurden untersucht: Geschlecht, die Zuordnung zum Ober- oder Unterkiefer, die Zuordnung zu einer Zahngruppe (Schneidezähne, Eckzähne, Prämolaren), die Zuordnung zu einem der vier Bereiche der labialen Zahnfläche, das Alter zu Behandlungsbeginn sowie die in manchen Behandlungsfällen zusätzliche Verwendung eines oder mehrerer Attachments.

Die Ergebnisse der Prävalenz nach der Aligner-Therapie sind in Bezug auf die Zahnflächen dargestellt. Anhand der Regressionskoeffizienten lässt sich ablesen, welche Variable mit dem Vorhandensein einer WSL assoziiert sind.

Die entsprechenden Aussagen sind in der folgenden Tabelle farblich hervorgehoben.

Tabelle 13: Logistische Regression (GEE-Modell) – Prävalenz der Zahnflächen nach Aligner-Therapie

Logistische Regressionstabelle							
Variable		Regressions-koeffizient	Standard-fehler	95% Konfidenzintervall		Z	Pr > Z
Intercept		-4.6458	1.0751	-6.7529	-2.5387	-4.32	<.0001
Geschlecht	m	-0.2166	0.5000	-1.1966	0.7633	-0.43	0.6648
Geschlecht	w	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Kiefer	OK	1.7768	0.3889	1.0146	2.5390	4.57	<.0001
Kiefer	UK	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Position	Eckzahn	0.9187	0.4556	0.0257	1.8116	2.02	0.0438
Position	Prämolar	1.2020	0.3842	0.4491	1.9550	3.13	0.0018
Position	Schneidezahn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Bereich	d	-0.0153	0.0596	-0.1321	0.1015	-0.26	0.7973
Bereich	g	-0.2837	0.2121	-0.6994	0.1320	-1.34	0.1810
Bereich	m	-0.0781	0.0687	-0.2128	0.0566	-1.14	0.2560
Bereich	o	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Alter zu Behandlungsbeginn		-0.0031	0.0761	-0.1522	0.1461	-0.04	0.9678
Rechteckig	1	0.9829	0.2689	0.4558	1.5100	3.65	0.0003
Rechteckig	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Ellipsoidal	1	-0.2148	0.7979	-1.7787	1.3491	-0.27	0.7878
Ellipsoidal	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Rotation	1	-0.0052	0.4719	-0.9301	0.9196	-0.01	0.9911
Rotation	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.

Vergleicht man den Unterschied des Auftretens der Prävalenz von WSL nach der Aligner-Therapie zwischen den Geschlechtern zeigt sich kein signifikanter Unterschied. Das Risiko an WSL zu erkranken ist bei den männlichen Patienten etwas niedriger als bei den weiblichen Patienten, jedoch nicht signifikant (Odds Ratio (OR)=0.81, 95% Konfidenzintervall (KI)=[0.30, 2.14], $p=0.6648$).

Das Alter zu Behandlungsbeginn hat keinen signifikanten Einfluss ($p=0.9678$).

Die Gegenüberstellung Oberkiefer gegen den Unterkiefer zeigt einen signifikanten Unterschied. Für WSL im Oberkiefer besteht ein größeres Risiko als im Unterkiefer (OR=5.91, 95% KI=[2.79, 12.67], $p<0.0001$).

Werden die einzelnen Zahngruppen gegeneinander in Bezug gesetzt, zeigt sich, dass die Prämolaren häufiger betroffen sind als die Schneidezähne und Eckzähne. Der Unterschied zwischen Prämolaren und Schneidezähnen ist signifikant (OR=3.33, 95% KI=[1.57, 7.06], $p=0.0018$). Die Eckzähne sind häufiger betroffen als die

Schneidezähne (OR=2.51, 95% KI=[1.03, 6.12], p=0.0438). Der Unterschied zwischen Eckzähnen und Prämolaren ist nicht signifikant (p=0.1649)

Die Flächen (distal, gingival, mesial, okklusal) unterscheiden sich nicht im Hinblick auf das Vorliegen von WSL.

Bei der Verwendung von rechteckigen Attachments ist die Prävalenz von WSL signifikant größer, als wenn keine rechteckigen Attachments verwendet werden (OR=2.67, 95% KI=[1.58, 4.53], p=0.0003). Weder ellipsoidale Attachments (p=0.7878) noch Rotations-Attachments (p=0.9911) zeigen einen nachweisbaren Einfluss.

Zusammenfassend stellen sich als entscheidende Einflussgrößen mit signifikant höherer Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von WSL der Oberkiefer gegenüber dem Unterkiefer dar, die Prämolaren vor den Schneidezähnen und die Verwendung der rechteckigen Attachments im Vergleich zu Behandlungsfällen in denen kein Attachment verwendet wurde.

Keinen signifikanten Unterschied in dieser Studie zeigt das Geschlecht, die Verteilung des Auftretens auf die Zahnfläche d,g,m,o und das Alter zu Therapiebeginn.

4.5.2 WSL-Inzidenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen

Tabelle 21 zeigt die Inzidenz, ob eine WSL nach der Therapie vorliegt, wenn vor der Aligner-Therapie keine WSL vorlag. Als Beobachtungseinheit dienen die einzelnen Zahnflächen. Die Analyse und Aufteilung erfolgten analog dem Vorgehen bei der Untersuchung der Prävalenz nach der Aligner-Therapie. Es werden die gleichen Einflussgrößen betrachtet wie bei der Untersuchung der Prävalenz nach der Aligner-Therapie (siehe Kapitel 4.5.1, Tabelle 20). Die entsprechenden Aussagen sind in der folgenden Tabelle hervorgehoben.

Tabelle 14: Logistische Regression (GEE-Modell) – Inzidenz der Zahnflächen während der Aligner-Therapie

Logistische Regressionstabelle							
Variable		Regressions-koeffizient	Standard-fehler	95% Konfidenzintervall		Z	Pr > Z
Intercept		-4.5515	1.2223	-6.9472	-2.1557	-3.72	0.0002
Geschlecht	m	-0.2565	0.5530	-1.3403	0.8273	-0.46	0.6428
Geschlecht	w	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Kiefer	OK	1.6525	0.4035	0.8617	2.4433	4.10	<.0001
Kiefer	UK	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Position	Eckzahn	0.9025	0.4595	0.0020	1.8030	1.96	0.0495
Position	Prämolar	1.1185	0.3839	0.3660	1.8709	2.91	0.0036
Position	Schneidezahn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Bereich	d	-0.0168	0.0494	-0.1136	0.0801	-0.34	0.7344
Bereich	g	-0.3284	0.2006	-0.7215	0.0647	-1.64	0.1016
Bereich	m	-0.1118	0.0632	-0.2356	0.0120	-1.77	0.0767
Bereich	o	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Alter zu Behandlungsbeginn		-0.0098	0.0879	-0.1821	0.1625	-0.11	0.9114
Rechteckig	1	1.0275	0.2811	0.4765	1.5784	3.66	0.0003
Rechteckig	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Ellipsoidal	1	-0.0285	0.7947	-1.5860	1.5290	-0.04	0.9714
Ellipsoidal	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.
Rotation	1	0.1407	0.4816	-0.8033	1.0846	0.29	0.7702
Rotation	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.	.

Die Untersuchung des Geschlechts ($p=0.6428$) zu Therapiebeginn zeigt keinen Effekt in Hinblick auf die Inzidenz. Bei der Verteilung der WSL auf den Ober- und Unterkiefer, zeigt der Oberkiefer eine signifikant größere Wahrscheinlichkeit für das Neuauftreten von WSL als der Unterkiefer ($OR=5.22$, $95\% \text{ KI}=[2.37, 11.51]$, $p<0.0001$).

Die Verteilung auf die Gruppen der Zähne zeigen Unterschiede. Prämolaren haben eine signifikant größere Wahrscheinlichkeit für WSL als die Schneidezähne ($OR = 3.06$, $95\% \text{ KI}=[1.44, 6.49]$, $p=0.0036$). Diese Ergebnisse sind ähnlich zu den Ergebnissen der Prävalenz. Die Eckzähne haben eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für das Neuauftreten von WSL als die Schneidezähne ($OR = 2.47$, $95\% \text{ KI}=[1.002, 6.07]$, $p=0.0495$). Auch das ist ähnlich zum Ergebnis bei der Prävalenz.

Die Unterscheidung an welcher Stelle der Zahnfläche (distal, gingival, mesial, okklusal) neu WSL auftreten, zeigen keine signifikanten Effekte.

Das Alter ($p=0.9114$) zu Therapiebeginn zeigt keinen Effekt in Hinblick auf die Inzidenz.

Die Verwendung rechteckiger Attachments erhöht das Risiko für das Auftreten neuer WSL ($OR=2.79$, $95\% \text{ KI}=[1.61, 4.85]$, $p=0.0003$).

Als entscheidende Einflussgrößen mit signifikant höherer Wahrscheinlichkeit stellt sich in dieser Studie der Oberkiefer vor dem Unterkiefer dar, die Prämolaren und Eckzähne vor den Schneidezähnen und die Anwendung von rechteckigen Attachments vor den Behandlungsfällen in denen kein Attachment verwendet wurde. Keinen signifikanten Unterschied zeigt die Verteilung auf das Geschlecht, die Verteilung auf die Zahnfläche d,g,m,o und das Alter zu Therapiebeginn.

4.6 Ergebnisse der logistischen Regression bei der MB-Therapie

Die Auswertung der Daten mit Regressionsmodellen ist im Folgenden dargestellt. Zunächst wird die Prävalenz nach der MB-Behandlung und dann die Inzidenz von WSL während der MB-Behandlung analysiert.

4.6.1 WSL-Prävalenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen

Die Untersuchung erfolgte analog der Vorgehensweise bei den Behandlungsfällen der Aligner-Therapie.

Tabelle 15: Logistische Regression – Prävalenz der Zahnflächen nach MB-Therapie

	Hypothesentest			95% Wald-Konfidenzintervall für Exp(B)	
Parameter	df	Sig.	Exp(B)	Unterer Wert	Oberer Wert
(Konstanter Term)	1	,945	,938	,153	5,764
männlich	.	.	1	.	.
weiblich	1	,049	,645	,417	,999
Zahn 11	.	.	1	.	.
Zahn 12	1	,000	1,846	1,388	2,456
Zahn 13	1	,000	1,950	1,377	2,762
Zahn 14	1	,000	2,379	1,657	3,414
Zahn 15	1	,013	1,506	1,090	2,080
Zahn 21	1	,291	1,126	,903	1,403
Zahn 22	1	,001	1,688	1,294	2,281
Zahn 23	1	,000	2,474	1,771	3,455
Zahn 24	1	,000	2,524	1,763	3,613
Zahn 25	1	,000	2,005	1,383	2,907
Zahn 31	1	,000	,213	,141	,321
Zahn 32	1	,000	,387	,265	,567
Zahn 33	1	,928	,983	,679	1,424
Zahn 34	1	,000	2,161	1,464	3,189
Zahn 35	1	,004	1,797	1,201	2,689
Zahn 41	1	,000	,226	,146	,350

Zahn 42	1	,000	,417	,285	,610
Zahn 43	1	,771	1,061	,712	1,581
Zahn 44	1	,000	2,120	1,465	3,068
Zahn 45	1	,000	2,042	1,370	3,046
Fläche o	1	,007	1,235	1,058	1,441
Fläche d	1	,000	1,372	1,218	1,547
Fläche m	1	,000	1,331	1,182	1,498
Fläche g	.	.	1	.	.

Die Untersuchung, inwiefern das Geschlecht eine Auswirkung auf das Vorkommen von WSL unter MB-Therapie hat, zeigt, dass männliche Probanden eine größere Wahrscheinlichkeit an WSL zu erkranken haben. Der Unterschied der Erkrankungswahrscheinlichkeit der männlichen und weiblichen Probanden ist signifikant. Die Verteilung der WSL auf die untersuchten Zähne zeigt, dass die Prämolaren im Oberkiefer und Unterkiefer signifikant häufiger von WSL betroffen sind. Die Flächen o, m und d sind signifikant häufiger an WSL erkrankt im Vergleich zur gingivalen Zahnfläche.

4.6.2 WSL-Inzidenz der Zahnflächen in Abhängigkeit von potentiellen Einflussgrößen

Die Inzidenz während der MB-Therapie wird auf die ausgewählten Variablen untersucht.

Tabelle 16: Logistische Regression – Inzidenz der Zahnflächen während der MB-Therapie

	Hypothesentest			95% Wald-Konfidenzintervall für Exp(B)	
Parameter	df	Sig.	Exp(B)	Unterer Wert	Oberer Wert
(Konstanter Term)	1	,430	,938	,153	5,764
männlich	.	.	1	.	.
weiblich	1	,055	,697	,483	1,007
Zahn 11	.	.	1	.	.
Zahn 12	1	,003	1,730	1,210	2,475
Zahn 13	1	,001	2,172	1,402	3,365
Zahn 14	1	,027	1,688	1,060	2,688
Zahn 15	1	,497	1,165	,749	1,814
Zahn 21	1	,100	1,287	,953	1,739
Zahn 22	1	,001	1,860	1,295	2,672
Zahn 23	1	,000	2,474	1,771	3,455
Zahn 24	1	,000	2,799	1,797	4,361
Zahn 25	1	,012	1,851	1,147	2,986
Zahn 31	1	,008	,482	,281	,826
Zahn 32	1	,336	,783	,476	1,289
Zahn 33	1	,060	1,561	,981	2,483
Zahn 34	1	,000	2,796	1,697	4,608
Zahn 35	1	,002	2,428	1,387	4,251
Zahn 41	1	,009	,469	,266	,829
Zahn 42	1	,670	,906	,575	1,426
Zahn 43	1	,001	2,313	1,437	3,721
Zahn 44	1	,000	2,568	1,589	4,152
Zahn 45	1	,000	2,725	1,552	4,787
Fläche o	1	,395	,930	,786	1,100
Fläche d	1	,022	1,157	1,021	1,310

Fläche m	1	,670	1,030	,900	1,179
Fläche g	.	.	1	.	.

Die Untersuchung der Verteilung der WSL auf das Geschlecht zeigt folgendes Ergebnis. Männliche Probanden haben eine größere Wahrscheinlichkeit an WSL zu erkranken. Der Unterschied ist signifikant.

Die Verteilung auf die untersuchten Zähne zeigt, dass die Prämolaren im Oberkiefer und Unterkiefer signifikant häufiger von WSL betroffen sind.

Die distale Zahnflächen sind signifikant häufiger von WSL betroffen im Vergleich zur gingivalen Zahnfläche. Im Vergleich zur mesialen Zahnfläche in geringerem Ausmaße signifikant.

5. Diskussion

Auf Basis der erhobenen empirischen Daten der vorliegenden retrospektiven Untersuchung wurde in dieser Arbeit die Prävalenz und Inzidenz von WSL bei der Aligner- und MB-Therapie untersucht. Dazu wurden zu zwei Zeitpunkten, jeweils zu Beginn und nach Abschluss der Therapie das Auftreten von WSL bei Aligner- und MB-Therapie gemessen. Im Folgenden werden die Methode und die Ergebnisse dieser Arbeit hinsichtlich ihrer Relevanz mit anderen Forschungsergebnissen vergleichend diskutiert.

5.1 Methodendiskussion

Die in dieser Dissertation verwendete Methodik folgt dem in der Literatur etablierten EDI nach Banks & Richmond (1994).

Um die Analyse präziser zu gestalten wurde zusätzlich zum EDI der Ausmaß-Index verwendet. Und mit Kombination dieser beiden Techniken wird erreicht, dass WSL sowohl in ihrer Intensität als auch in ihrem Ausmaß gemessen werden können und ein potentieller kariöser Befall präziser bewertet werden kann. Diese Verbesserung in der Methodik erreicht damit bessere Ergebnisse und ist für die zukünftige Forschung empfehlenswert.

5.1.1 Vergleichbarkeit der Probandengruppen

Zur Sicherung der objektiven Vergleichbarkeit der Probandengruppen von MB und Aligner, wurde in dieser Studie auf eine identische standardisierte Durchführung der Messung und Erhebung der Daten bei beiden Vergleichsgruppen geachtet.

Die Probandengruppe mit Aligner-Therapie bestand aus 42 Probanden (18 weiblich und 24 männlich). Das Vorliegen von WSL wurde zu zwei Zeitpunkten gemessen. Gestützt auf die Auswertung digitaler intraoraler Photographien konnten 840 Zähne (42 Probanden x 20 Zähne) vor und nach der Aligner-Therapie ausgewertet werden.

Als Vergleichsgruppe dienten 121 Patienten, davon 58 weibliche und 63 männliche, die mit MB-Therapie behandelt wurden. Im Untersuchungsprozess konnten 2.420 Zähne (121 Probanden x 20 Zähne) zu zwei Zeitpunkten T0 und T1 ausgewertet werden.

Als Limitation ist die vergleichsweise geringe Größe der Aligner-Stichprobe zu nennen. So umfassen die 840 Zähne der Aligner-Stichprobe nur knapp ein Drittel der Zähne aus der MB-Stichprobe. Verglichen mit Fallzahlen aus der Literatur ist die Probandengruppe unter der Aligner-Therapie in ihrer Größe ein vergleichbares Probandengut. Bei zukünftigen Forschungsprojekten mit Aligner-Therapie sind multizentrisch angelegte Studien zu bevorzugen, um mehr Probanden einschließen zu können.

Die Auswertung erfolgte jeweils mit drei Aufnahmen (von rechts-lateral, links-lateral und von frontal). Für beide Untersuchungen wurden identische Ausschlusskriterien verwendet. Da die Durchführung der Untersuchung im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung durch dieselbe Untersucherin erfolgte, konnten subjektive Beurteilungskriterien als Einflussfaktor auf die gemessenen Werte in der Aligner- und MB-Studie ausgeschlossen werden. Das Verhältnis zwischen weiblichen und männlichen Probanden war in beiden Probandengruppen weitgehend ausgeglichen.

In dieser Untersuchung wurden die Front- und Eckzähne sowie die Prämolaren in die Fotoauswertung miteinbezogen. Da die Molaren in dieser Studie mit Bändern versehen waren und somit nicht berücksichtigt wurden, kann zum Auftreten von WSL bei Molaren keine Aussage getroffen werden. Die labialen Zahnflächen stellen sich als die am einfachsten auszuwertenden und am leichtesten zugänglichen Zahnflächen für die Fotodiagnostik und visuelle Untersuchung bei der Untersuchung auf WSL dar. Weiterhin wurden in diese Untersuchung nur Probanden mit vestibulären konventionellen MB-Apparaturen eingeschlossen. Probanden mit lingualen MB-Apparaturen wurden nicht untersucht. Bei den Aligner-Probanden wurden auch die vestibulären Zahnflächen miteinbezogen, weil die Auswirkung der mit Attachments versehenen Zahnflächen auf WSL untersucht wurden. Die Bereiche um die geklebten Brackets und Attachments stellen mögliche Plaqueretentionsstellen dar und können somit zu WSL führen

5.1.2 Diagnoseverfahren und Indexierung der WSL

Die retrospektive Auswertung von Digitalfotos stellt die methodische Untersuchung in dieser Studie dar. Die für die Fotodiagnostik erforderlichen Photographien werden üblicherweise vor, während und am Ende der kieferorthopädischen Therapie erstellt. Die Fotodiagnostik stellt somit eine leicht zu erreichende Information dar, ist jederzeit einsehbar und ermöglicht eine erneute Beurteilung der abgebildeten Zahnflächen. Da die Auswertung durch den Untersucher erfolgt und nicht durch ein Computerprogramm, ist das Diagnoseverfahren mit Photographien keine objektive Untersuchung.

Ein alternatives Vorgehen ist die hoch sensitive QLF-Methode. Sie erweist sich routinemäßig als unpraktisch, da die Anwendung zeitaufwändig ist. Erschwerende Faktoren die die Untersuchung durch Fluoreszenzverlust beeinträchtigen können sind Plaque, Verfärbungen und Zahnstein. Weiterhin ist die Lokalisation der Läsionen, das einfallende Licht und die Salivation und Dehydration der zu untersuchenden Zahnfläche entscheidend in der Beeinflussung der Auswertung. Bei der Diagnosestellung von inzidenten WSL mit der QLF-Methode stellt jede beobachtete Studie höhere Ergebnisse dar. Die Studie von Ifland und Heinrich-Weltzien gibt gemessen mit der QLF-Methode eine hohe Sensitivität für die Erfassung kariöser Läsionen mit Werten zwischen 84 bis 91% wieder. Die Messung erfolgte allerdings an okklusalen Dentinläsionen.

Die Intensität der auftretenden White-Spot-Läsionen wurde in dieser Studie mit dem Enamel-Decalcification-Index (EDI) nach Banks & Richmond (1994) beurteilt. Der EDI bewertet den Schweregrad von WSL in den Stufen 0 bis 3. Zusätzlich wurde eine Beurteilung der Ausdehnung der WSL vorgenommen. Es kann somit eine schwere WSL mit Grad 3 vorliegen, jedoch kann diese sehr unterschiedlich ausgedehnt sein. Der Ausmaß-Index analysiert in 20% - Schritten die Ausdehnung einer Läsion mit einem eigens dafür designten Fadenkreuz als Auswertungshilfe. In empirischen Studien wird der EDI nur wenig verwendet, wodurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschwert wird (14). Diese Studie hat sich für den EDI als Auswertungshilfe entschieden, weil mit dem EDI in Kombination mit dem Ausmaß-Index eine leicht umsetzbare und genaue Analyse der WSL möglich ist.

Der Index von Gorelick et al. (2) aus dem Jahre 1982 wurde in dieser Studie nicht verwendet, da die Beurteilung der vestibulären Zahnflächen ohne eine Einteilung der

vestibulären Zahnfläche in vier Bereiche erfolgt und Bereiche mit geklebten Brackets oder Attachments nicht berücksichtigt werden. Weiterhin ist die Einteilung in die verschiedenen Schweregrade innerhalb der Skalierung zwischen Grad 2 und Grad 3 aufgrund der Unterscheidung in leichte und schwere WSL nicht einheitlich möglich. Grad 1 steht für keine WSL, Grad 4 steht für eine WSL mit Kavitation und ist somit durch die gute Differenzierung einheitlich durchführbar.

Bei Verwendung dieses Indexes wird keine Differenzierung getroffen hinsichtlich des Bereichs, in dem die WSL auf der vestibulären Zahnfläche auftritt. Es erfolgt eine Einteilung der Intensität der WSL ohne Berücksichtigung der Ausdehnung. Der Index von Gorelick et al. erfuhr eine Modifikation durch Artun und Brobakken 1986 (6). 1994 erfolgte die Modifikation durch Banks und Richmond (10) und Weiterentwicklung zum EDI mit der präziseren Auswertung durch Einteilung der vestibulären Fläche um das Bracket in vier Bereiche.

Zur Beurteilung und Einteilung der WSL wurde in dieser Studie nicht der Index von Fehr (1961) (6) verwendet. Der Index von Fehr beurteilt die Oberflächenbeschaffenheit der Zahnflächen und deren Opazität. Anhand der Beurteilung der Opazität wird versucht den Schweregrad der Läsion zu beurteilen. Dabei kann keine Aussagen zur Ausdehnung der WSL gemacht werden, deshalb wäre eine Möglichkeit den Index nach Fehr in Kombination mit anderen Indices zu verwenden.

5.1.3 Beobachtungseinheit Zahnflächen versus Zähne

Bei der logistischen Regression wurde die Zahnfläche als Beobachtungseinheit ausgewählt, weil die Analyse damit detailliertere Aussagen ermöglicht. Bei der Auswertung der Zähne, muss die Entscheidung getroffen werden, wie der Zahn in die Auswertung eingeht. Hat eine der vier Flächen eine WSL, wird der Zahn als von WSL betroffen gewertet. Erkrankt nun eine weitere der vier möglichen Zahnflächen eines Zahnes, muss festgelegt werden, ob der Zahn für die Bestimmung der WSL Prävalenz und Inzidenz berücksichtigt wird, da dieser Zahn schon vorher eine WSL hatte. Ebenso ist es eine Definitionssache, ob eine Verschlechterung einer bereits vorhandenen Läsion berücksichtigt wird. In der Vergleichsgruppe wurde die Methodik vorgenommen, dass ein Zahn in die Berechnung miteinbezogen wird, wenn er bei der Eingangsuntersuchung keine WSL und nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung eine WSL aufwies.

In jeder der Vergleichsgruppen wurde sichergestellt, dass die relevanten Daten für die Prävalenz und die Inzidenz, sowohl in Bezug auf Zahnflächen als auch in Bezug auf die Zähne dokumentiert wurden.

In der vergleichenden Diskussion ist darauf zu achten, dass bei einem Ergebnisvergleich die gleichen zu Grunde liegenden Beobachtungseinheiten verwendet werden.

5.2 Ergebnisdiskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Dissertation in Bezug auf die beiden Behandlungsmethoden Aligner und MB diskutiert. Die Ergebnisse dieser Dissertation bestätigen die Literatur zum Auftreten von WSL bei MB und fügen neue Erkenntnisse zur Aligner-Therapie hinzu.

5.2.1 Prävalenz von WSL bei der Aligner- und MB-Therapie

In dieser Studie wiesen vor der Aligner-Therapie insgesamt 17% der Probanden mindestens eine WSL auf. Die Prävalenz von WSL vor der Aligner-Therapie war um ein Vielfaches niedriger als bei der MB-Therapie. Vor der MB-Therapie wurden bei 69% der Probanden mindestens eine WSL diagnostiziert. Diese unerwartet starke Diskrepanz beider Gruppen erschwert die Vergleichbarkeit des Neuauftretens von WSL, da in der MB-Gruppe bereits mehr als die Hälfte der Probanden vor Behandlungsbeginn von einer WSL betroffen waren. Wenn schon WSL bei einem Probanden vorlagen und damit ein pathologischer Vorbefund vorliegt, ist die Wahrscheinlichkeit höher einzustufen für das Auftreten weiterer WSL (5).

Die stark divergierende Prävalenz zum Zeitpunkt T0 könnte dadurch zu erklären sein, dass die Aligner-Therapie eine ästhetische Behandlungsmethode darstellt, die nicht nur bei funktionell empfohlenen Behandlungen Anwendung findet, sondern häufig auch der ästhetischen Zahnkorrektur dient. Daraus kann geschlossen werden, dass die Probanden unter Aligner-Therapie, der Ästhetik und Zahnpflege ihrer Zähne eine höhere Aufmerksamkeit zumessen, als die Probanden mit MB-Therapie. Des weiteren ist die Aligner-Therapie eine reine Privatleistung, die von den Probanden selbst zu tragen ist, während die MB-Therapie häufig bei entsprechender kieferorthopädischer Indikation von der Krankenkasse zum Großteil übernommen wird. Damit könnte die Differenz in der Prävalenz der WSL vor der kieferorthopädischen Therapie erklärt werden.

Vergleicht man die Prävalenz T0 zu T1 zeigte sich unter der MB-Therapie ein Anstieg von 29%. Nach der Aligner-Therapie waren bei insgesamt 52% der Probanden eine WSL nachweisbar, woraus sich ein Anstieg um 35% ergibt. Dieser Anstieg wird von der Prävalenz T0 zu T1 bei der MB-Therapie leicht übertroffen. Das könnte mit der höheren Prävalenz zum Zeitpunkt T0 bei der MB-Therapie zu erklären sein. Bereits

bestehende WSL vor der kieferorthopädischen Therapie können auf eine schlechtere Mundhygiene des Probanden hinweisen und erhöhen die Wahrscheinlichkeit bei der kieferorthopädischen Therapie weitere WSL zu entwickeln. Probanden mit schlechter Mundhygiene wiesen zu Behandlungsbeginn signifikant mehr WSL auf als Probanden mit guter Mundhygiene (11). Damit zeigt sich, dass auch die Zahnpflege vor Beginn der kieferorthopädischen Behandlung, einen Einflussfaktor für die Entstehung von WSL darstellt. Vor diesem Hintergrund achteten Azeem und Ul Hamid (5) in ihrer Studie darauf, dass Patienten mit vorliegenden WSL vor Behandlungsbeginn von der Studie ausgeschlossen wurden, da schon vorhandene WSL ihrer Ansicht nach zu einer gesteigerten Entwicklung von weiteren WSL führt.

Die Prävalenz von WSL bei MB-Therapien wird in der Literatur mit Werten zwischen 2% und 96% angegeben (7, 13). Der Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse liegt unter anderem in der unterschiedlichen Anzahl der untersuchten Zähne. Weitere Variablen, die bei der Untersuchung kontrolliert werden sollten, sind die Behandlungsdauer, das Alter zu Behandlungsbeginn und die Frage, ob zusätzliche Fluoridapplikationen sowie standardisierte Mundhygieneinstruktionen erfolgten. Die Vergleichbarkeit der Studien wird weiterhin durch unterschiedlich große Probandengruppen und das Fehlen von Kontrollgruppen erschwert. Zudem unterscheiden sich die meisten Studien hinsichtlich der Diagnosestellung und der methodischen Auswertung.

Nach MB-Behandlung stellten Lovrov et al. (14) eine Prävalenz von 26% fest. Sie nutzten wie auch in dieser Studie Fotografien zur Untersuchung. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Geiger et al. (20) mit 34% und Lucchese (16) mit 40-43%. Lucchese et al. untersuchten die Probanden nach 12 Monaten. Sie verwendeten neuere Kompositmaterialien zur Befestigung der Brackets. Fortschreitende Technologieentwicklungen und die Nutzung unterschiedlicher Bondingmaterialien führten möglicherweise zu einer niedrigeren Prävalenz (16). Tufekci et al. (17) überprüften die Probanden bereits nach sechs Monaten und fanden eine Prävalenz von 38%, und mit einer Prävalenz von 46% nach 12 Monaten. Boersma et al. 2005 (18) stellten nach Abschluss der MB-Behandlung Prävalenzen von 97% fest, mit einer oder mehreren Läsionen. Der Grund für die höhere Prävalenz kann an der quantitativen lichtinduzierten Fluoreszenzmethode zur Erkennung von WSL liegen. Diese stellt eine sensitivere Methode dar als die visuelle Beurteilung. Weiterhin ist der

Untersuchungszeitraum mit 24 Monaten länger, als in der Studie von Lucchese et al. Die Ergebnisse von Ogard et al. (26) zeigten ähnlich hohe Ergebnisse mit 96%. Diese Ergebnisse decken sich mit denen von Mizrahi et al. (15) mit 84%.

Akin et al. (87) zeigten eine Prävalenz in ihrer Probandengruppe von 65%. Die Studie enthält allerdings keine Informationen darüber, ob regelmäßige Kontrolltermine stattfanden, den sozioökonomischen Hintergrund sowie die ethnische Herkunft der Probanden oder ob eine prophylaktische Fluoridtherapie begleitend erfolgte.

Sucht man Erklärungen für die unterschiedlichen Prävalenzwerte, dann sollte das unterschiedliche Studiendesign und die Unterschiede im analytischen Vorgehen Berücksichtigung finden.

Der Vergleich der Studien zeigt Unterschiede in der Auswahl der miteinbezogenen und untersuchten Zähne. Einige Studien untersuchten nur die Frontzähne oder lediglich die Frontzähne im Oberkiefer (13). Diese Studie zeigte bei der Aligner-Therapie eine höhere Prävalenz und Inzidenz für WSL im Oberkiefer. Somit hat die Untersuchung getrennt nach Ober- oder Unterkiefer sicherlich einen Einfluss auf die Ergebnisse gegenüber der Beurteilung beider Kiefer zusammen. Denn je weniger Zähne in die Analyse miteinfließen, desto niedriger fällt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von WSL aus.

Das gingivale Drittel der Zahnfläche muss zur Auswertung auf den Bildern sichtbar sein. Ansonsten kann der Zahn in die Auswertung nicht einbezogen werden. Gerade die gingivale Fläche ist unter MB-Therapie häufig klein von der Fläche. Die Literatur zeigte entgegen den Ergebnissen dieser Studie einen hohen Befall der gingivalen Zahnfläche mit WSL. Als Erklärung ziehen die Studien die kleine Fläche der seitlichen Inzisivi heran. Mit Befestigung des Brackets ist durch die Nähe zur Gingiva am seitlichen Inzisivus die gingivale Zahnfläche am schwierigsten zu reinigen.

Zu Variationen in der WSL Prävalenz führen die unterschiedlich großen Probandengruppen und die Methoden der Beurteilung und Evaluation der WSL.

Zu den Faktoren, welche die WSL-Prävalenz beeinflussen, gehört die Fluoridapplikation, die Mundhygiene, die Fähigkeit und Fertigkeit zur Zahnpflege vor Behandlungsbeginn und die individuelle Selbstreinigungskraft der Mundhöhle.

5.2.2 Inzidenz von WSL bei der Aligner- und MB-Therapie

Von den Probanden dieser Studie haben 43% der Jugendlichen unter der Aligner-Therapie neue WSL erworben, während bei der Vergleichsgruppe der MB-Therapie nur bei 29% der Jugendlichen WSL neu auftraten.

Da beide Probandengruppen aus dem Patientengut der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Mainz stammten, scheinen die Prozentzahlen auf den ersten Blick vergleichbar und würden für ein besseres Ergebnis der Aligner-Therapie in Bezug auf die WSL - Inzidenz sprechen. In Bezug auf die relativ niedrige Probandenzahl der Aligner-Gruppe scheint es allerdings sinnvoll, die Prozentzahl mit den in der Literatur genannten Inzidenzraten zu vergleichen. Im Vergleich mit der Untersuchung von Azeem et al. (5), die bei nur 28% der Probanden nach der Aligner-Therapie das Auftreten von mindestens einer WSL feststellten, ist die in dieser Studie gemessene WSL-Inzidenz von 43% wesentlich höher. Um diesen großen Unterschied in der Inzidenz zwischen der Studie von Azeem et al. und dieser Studie zu verstehen, wird im nächsten Schritt diskutiert ob es sinnvoll ist, die Inzidenzrate der einzelnen Zahnflächen zu betrachten.

In dieser Studie wiesen vor Beginn der Aligner-Therapie 99% der untersuchten Zahnflächen keine WSL auf, während nach Abschluss der Aligner-Therapie noch 91% der Zahnflächen frei von WSL sind.

Im Vergleich der beiden Studien ergeben sich die folgenden Zahlen für das Neuauftreten von WSL jeweils in Prozent der Probanden und in Prozent der Zahnflächen (Tab.27):

Tabelle 17: Messung von WSL-Inzidenz in Aligner-Studien

Nr.	Aligner-Inzidenz in % der Probanden	Delta Aligner-Inzidenz in % der Zahnflächen zwischen Vorher und Nachher	Aligner-Studie
1	28%	3%	Azeem und Ul Hamid (2017)
2	43%	8%	Weidenkeller (2020)

Der relativ geringe Unterschied in der Inzidenz in Bezug auf die Zahnflächen legt es nahe auch die Inzidenzrate der Zahnflächen in der MB-Vergleichsgruppe zu betrachten. Wie die folgende Tabelle (Tab.28) zeigt wurde leider in keiner der MB-Studien die Inzidenz der Zahnflächen veröffentlicht. Die WSL-Inzidenz der MB-Probanden der Vergleichsgruppe ist mit 29% im Vergleich mit der MB-Literatur eher niedrig.

Tabelle 18: Messung von WSL-Inzidenz in MB-Studien

Nr.	WSL-Inzidenz in % der Probanden	WSL-Inzidenz in % der Zahnflächen	MB-Studie
1	32%	keine Angabe	Akin et al. (2015)
2	46%	keine Angabe	Sundararai et al. (2015)
3	60%	keine Angabe	Hadler-Olsen et al. (2012)
4	61%	keine Angabe	Enaia et al. (2011)
5	73%	keine Angabe	Richter et al. (2011)
6	36%	keine Angabe	Chapman et al. (2010)
7	25%	keine Angabe	Lovrov et al. (2007)
8	17%	keine Angabe	Pancherz und Mühlich (1997)
9	74%	keine Angabe	Banks et al. (1994)
10	50%	keine Angabe	Gorelick et al. (1982)

Die Patienten, die erstmalig nach der MB-Therapie eine WSL aufwiesen, stellten bei Banks et al. (10) 74% ihres Kollektivs dar. Zu ähnlich hohen Ergebnissen kamen Enaia et al. (13) mit 61%, sie untersuchten lediglich vier Frontzähne (siehe 6.2.1) und Hadler-Olsen et al. (7) mit 60%. Richter et al. (81) zeigten eine Inzidenz von 73% auf. Sie untersuchten ebenfalls die Zähne 16 bis 46. In 50% der Fälle diagnostizierten Gorelick et al. (2) eine WSL, dabei nutzten sie den gleichen Index und verglichen kieferorthopädisch behandelte Patienten mit unbehandelten Kontrollgruppen.

Akin et al. (87) verzeichneten eine Inzidenz von 55%. Sie untersuchten 150 Patienten zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Die Ergebnisse der Inzidenz und Prävalenz sind vergleichbar mit den Ergebnissen von Enaia (13) und Gorelick (2).

Die Varianz in der Inzidenz unter der MB-Therapie könnte zurückgeführt werden auf die unterschiedlich angewandten Methoden und fehlende Standardisierungen der Untersuchungen.

Die Studien thematisieren nicht einheitlich, ob Instruktionen zur Mundhygiene und Fluoridapplikationen den Probanden nahegelegt wurden. Ebenso beeinflussen die Anzahl der untersuchten Zähne, das Alter der Patienten zu Behandlungsbeginn, die Behandlungsdauer, die Mundhygiene zu Behandlungsbeginn und ob die Probanden fluoridiertes Trinkwasser nutzten, die vorliegenden Ergebnisse (Tab.20).

Richter et al. (81) zeigten, dass auch der geographische und sozioökonomische Status der Probanden und die Durchführung der Studie in einer privaten Praxis oder in einer Zahnklinik, zur Varianz der Inzidenz beitragen können.

Die Auflistung der MB-Autoren (Teams), die die jeweiligen Faktoren in ihren Studien NICHT berücksichtigt haben zeigt beispielhaft für einige Studien die folgende Tabelle (Tab 29).

Tabelle 19: Nicht thematisierte Faktoren in MB-Studien

Nr.	Faktor	MB-Studie
1	Instruktionen zur Mundhygiene	Julien et al.
2	Instruktionen zu Fluoridapplikationen	Julien et al.
3	Sozio-ökonomische Hintergrundinformationen zu einzelnen Probanden	Richter et al.

Die Auflistung einiger MB-Autoren(teams), die die jeweiligen Parameter in ihren Studien verwendet haben ist ebenfalls aufgelistet (Tab. 20).

Tabelle 20: Unterschiedliche Parameter in MB Studien

Nr.	Parameter	MB-Studie
1	Anzahl der untersuchten Zähne	Tufekci et al., Richter et al., Akin et al., Chapman et al.
2	Alter der Patienten zu Behandlungsbeginn	Julien et al.
3	Behandlungsdauer	Tufekci et al.
4	Mundhygiene zu Behandlungsbeginn	Julien et al.
5	Nutzung von Fluorid	Artun and Brobakken, Geiger et al., Ogaard, Zachrisson and Zachrisson, Lovrov et al.

Folgende Studien beleuchteten die Ergebnisse in Bezug auf einzelne Zahngruppen. Chapman et al. (9) untersuchten nur die Oberkieferfrontzähne, und stellten eine Inzidenz von 36% fest. Somit machte die Studie von Chapman et al. keine Aussage, wie sich die Inzidenz unter Einbeziehung des Unterkiefers darstellen würde. Das gleiche gilt für die Studie von Tufekci et al. (17), sie verglichen die Inzidenz nach sechs Monaten (38%) und nach zwölf Monaten (46%) bei Patienten unter MB-Therapie. Sie verglichen anschließend die Ergebnisse mit der Kontrollgruppe, die eine Inzidenz von 11% zeigte. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Inzidenz zur Kontrollgruppe, aber kein signifikanter Unterschied bezüglich der Behandlungsdauer. Die Kontrollgruppe stellte die Patienten unmittelbar nach dem Bonding dar. Sie untersuchten nur die Zähne 13 bis 23, und nur die Zahnflächen gingival des Drahtbogens. Zusätzlich untersuchten sie nur einen ausgewählten Bereich der Zahnfläche. Die Vergleichbarkeit zu Studien, die den Unterkiefer und die gesamte vestibuläre Zahnfläche miteinbeziehen ist erschwert. Der Wert dieser Studie von Tufekci et al. liegt in dem Schwerpunkt von ihrer Untersuchung. Sie haben sich auf die Variablen konzentriert, die sich in der Literatur als besonders anfällig für WSL darstellten. Die Unterschiede zwischen der Aligner und der MB-Therapie, die sich in Bezug auf Intensität und Ausmaß der WSL auswirken könnten, sind in der folgenden Tabelle (Tab.21) aufgeführt:

Tabelle 21: Unterschiede bei Aligner- und MB-Therapie

	Aligner	MB
Behandlungsdauer dieser vorliegenden Studie	kürzer	länger
Zahl der Aligner	Ø 25	1
Befestigung der Aligner	Herausnehmbar	Festsitzend
Tragezeit (Stunden)	20-22 Stunden	24 Stunden
ungehinderte Pflegemöglichkeit ohne Apparatur (Stunden)	2-4 Stunden	0

Die Fälle der Aligner-Therapie Vergleichsgruppe dieser Studie hatten durchschnittlich eine kürzere Behandlungsdauer als die MB-Probanden. Somit war in dieser Studie im Schnitt die Apparatur unter der Aligner-Therapie einen kürzeren Zeitraum im Mund. Dahingegen wiesen die Probanden der MB-Therapie in dieser Studie im Schnitt eine längere Behandlungszeit auf. Weiterhin handelt es sich um eine festsitzende Apparatur, die einen höheren Pflegeaufwand durch den Patienten erfordert.

Ebenso erfolgt unter der Aligner-Therapie in regelmäßigen Abständen ein Wechsel auf eine neue Schiene. Das stellt einen hygienischen Vorteil dar. Die Möglichkeit die Aligner zur Reinigung zu entnehmen und der regelmäßige Wechsel schaffen Vorteile in der Mundhygiene und der Pflege der Aligner. Die untersuchten Zähne 16 bis 46 bei Azeem und UI Hamid zeigten eine Inzidenz von 3%. Obwohl die Aligner-Therapie eine uneingeschränkte gewohnte Reinigung der Zähne ermöglicht treten auch hier WSL auf. Durch eine Tragedauer von 22 Stunden sind bei eingehaltener und therapeutischer Tragezeit die Zähne nur einer Restdauer von zwei Stunden dem Speichel vollständig ausgesetzt. Somit ist die Selbstreinigungskraft der Mundhöhle eingeschränkt und es kann zur Entstehung von WSL kommen.

Somit ist die Vermutung bestätigt, dass die MB-Apparatur die Reinigung der Zähne erschwert und damit ein Auftreten von WSL gegenüber der Aligner-Therapie begünstigt.

Im Folgenden werden diese Ergebnisse auf weitere Einflussgrößen diskutiert.

5.2.3 Einflussgrößen

5.2.3.1 Verteilung der WSL nach Geschlecht

Die Prävalenz und Inzidenz in der Untersuchung auf die Geschlechterverteilung (Tab.32) bei der MB-Therapie zeigte bei den männlichen Jugendlichen signifikant höhere Prozentwerte.

Tabelle 22: Prävalenz und Inzidenz nach Geschlecht

	Aligner	MB
Prävalenz (Geschlecht)	x	m>w
Inzidenz (Geschlecht)	x	m>w

Identisch in der Prävalenz bei Mizrahi et al. und Zachrisson et al. Identisch in der Inzidenz bei Boersma et al.

Vor der MB-Therapie zeigte sich eine höhere Erkrankungsrate bei den weiblichen Probanden. Eine Erklärung dieser Beobachtung stellte durch den früheren Zahndurchbruch bei Mädchen die längere Verweildauer der bleibenden Zähne im Mund der Mädchen/ Frauen dar. Damit ergibt sich eine längere Expositionsdauer in der Mundhöhle, in der Demineralisationen auftreten können.

Im Vergleich zu den Ergebnissen bei der Aligner-Therapie zeigte sich sowohl in der Prävalenz und Inzidenz kein signifikanter Unterschied in der Geschlechterverteilung der WSL. Ebenso zeigten Oogard. et al unter der MB-Therapie keinen signifikanten Unterschied in der Geschlechterverteilung.

5.2.3.2 Verteilung der WSL nach Ober- und Unterkiefer

Diese Studie zeigte bei der Aligner-Therapie eine signifikant höhere Prävalenz und Inzidenz für die Zähne im Oberkiefer an WSL zu erkranken (Tab. 33).

Tabelle 23: Prävalenz und Inzidenz nach Ober- und Unterkiefer aufgeteilt

	Aligner	MB
Prävalenz (OK/UK)	OK>UK	x
Inzidenz (OK/UK)	OK>UK	x

Verglichen mit Studien in der Literatur zeigten schon Gorelick et al. (2) in ihrer Analyse vor der MB-Therapie die höchste Prävalenz im anterioren Oberkiefer. Dieses Ergebnis wird von Pancherz et al. (19) gestützt. Auch sie fanden bei der MB-Therapie in ihrer Studie an den vier Frontzähnen im Oberkiefer die höchste Prävalenz. Als Erklärung wird in den beiden Studien angeführt, dass es durch den früheren Zahndurchbruch der Schneidezähne und damit der längeren Verweildauer in der Mundhöhle und Expositionsdauer von kariogenen Faktoren zu einer höheren Prävalenz kommt. Julien et al. (11) kamen nach MB-Therapie zu ähnlichen Ergebnissen. Die Oberkieferzähne zeigten mit 73% einen höheren Befall von WSL im Vergleich zum Unterkiefer mit 27%. Die Prämolaren wurden in der Untersuchung von Julien et al. nicht miteinbezogen.

5.2.3.3 Verteilung der WSL nach Zahngruppen und Zahnflächen

Die Auswertung und der Vergleich der von WSL betroffenen Zahnflächen in dieser Studie zeigte im Patientengut der Universitätsmedizin eine stärkere Belastung der Prämolaren und Eckzähne mit WSL im Vergleich zu den Frontzähnen (Tab. 34).

Tabelle 24: Prävalenz und Inzidenz nach Zahngruppen und Zahnflächen

	Aligner	MB
Prävalenz (SZ/EZ/PM)	PM>SZ	PM>SZ, PM>EZ
Prävalenz (Zahnflächen)	x	o,m,d>g
Inzidenz (SZ/EZ/PM)	PM>SZ, EZ>SZ	PM>SZ, PM>EZ
Inzidenz (Zahnflächen)	x	d>g, d>m

Vor der MB- und der Aligner-Therapie dieser Studie waren der erste und zweite Prämolare stärker als der Eckzahn und der mittlere Inzisivus betroffen. Das gilt sowohl für den Ober- als auch Unterkiefer. Boersma et al. (18) stellten eine niedrigere Prävalenz von Karies an den Inzisiven und Eckzähnen im Vergleich zu den Molaren und Prämolaren fest und stützen damit die Ergebnisse dieser Studie.

Azeem et al. (5) stellten fest, dass im Oberkiefer der seitliche Inzisivus am meisten von WSL betroffen war. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit denen von Gorelick et al. (2) und Geiger et al. (93). Sie untermauern mit ihren Ergebnissen den häufigsten Befall am seitlichen Inzisivus. Im Patientengut der Universitätsmedizin Mainz überstieg die WSL Prävalenz am seitlichen Inzisivus stets das Vorkommen am mittleren Inzisivus. Der obere mittlere Inzisivus rechts war im Vergleich zu den restlichen untersuchten Zähnen jeweils stets am wenigsten betroffen. Der Befall des seitlichen Inzisivus lag unter den Werten der Prämolaren und der Eckzähne. Vor der Aligner-Therapie wiesen die Probanden im Oberkiefer am seitlichen Inzisivus keine WSL vor. Nach der Aligner-Therapie erkrankte im Frontzahnbereich nur der linke untere Eckzahn. Im Unterkiefer war vor der Aligner-Therapie nur der erste Prämolare betroffen. Die übrigen Zähne konnten keine WSL vorweisen. Von den Frontzähnen war der linke obere Eckzahn

nach beiden Therapien am häufigsten befallen. Im Unterkiefer war es der erste Prämolare, gefolgt vom zweiten Prämolaren.

Einige Studien (6, 10) zeigten eine signifikant höhere Prävalenz der lateralen Inzisivi gegenüber allen anderen Zähnen im Oberkiefer und der Prämolaren im Unterkiefer für WSL. Eine Erklärung ist die kleinere Fläche des seitlichen Inzisivus. Das Ergebnis dieser Studie mit dem stets höheren Auftreten beim mittleren Inzisivus zum seitlichen Inzisivus deckt sich aus eben diesem Grund mit den genannten Studien aus der Literatur (6, 10), da die Zahnfläche des mittleren Inzisivus im Vergleich zum seitlichen Inzisivus größer ist. Die Studie von Geiger et al. (93) hingegen verdeutlichte wiederum den vermehrten Befall der Oberkieferfront im Vergleich zum vermehrten Befall der Seitenzähne im Unterkiefer. So zeigten sich in der Verteilung von WSL im Oberkiefer diese sich zu 18% an den seitlichen Schneidezähnen und zu 12% an den Eckzähnen. Im Unterkiefer jedoch wies der erste Prämolare mit 14% und der erste Unterkiefermolar mit 10% den stärksten Befall auf.

Die Studie von Tufekci et al. (17) hingegen zeigte, dass alle Zähne gleich wahrscheinlich an WSL erkrankten. Ebenso fanden sie keinen signifikanten Unterschied in der Verteilung der WSL auf die verschiedenen Zahntypen. Bei der Beurteilung ihrer Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Untersuchungen nach 6 Monaten und 12 Monaten Tragedauer der MB-Apparatur erfolgt ist, während diese eingesetzt war. Die Apparatur auf den Zähnen kann zu einem erschwerten Identifizieren und Beurteilen der WSL führen. Die Tatsache, dass die Untersuchungen während der Behandlung stattfand, sollte dabei nicht außer Acht gelassen werden.

Von Fluorose betroffene Zähne schützten hingegen vor WSL. Das lässt sich aus Studien schlussfolgern, die an diesen Zähnen weniger Karies feststellten (11). Daraus folgt die Frage, ob dieser Aspekt in den genannten Studien jeweils berücksichtigt wird und erschwert damit auch die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Studien. Gleichzeitig dient es auch als eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse bei der Untersuchung der Verteilung von WSL auf die verschiedenen Zahntypen.

Die Abstände der Recalltermine können auch entscheidend zur Patientenmotivation bei der Ausführung der häuslichen Mundhygiene beitragen. Dadurch werden die Probanden ermutigt die häusliche Mundhygiene zu optimieren und zu einer Routine werden zu lassen (29).

5.2.3.4 Verteilung der WSL nach dem Alter

Diese Untersuchung zeigte, dass das Alter zu Behandlungsbeginn keinen Einfluss auf die Prävalenz und Inzidenz in dieser Studie hatte (Tab.35).

Tabelle 25: Prävalenz und Inzidenz nach Alter

	Aligner	MB
Prävalenz (Alter)	x	x
Inzidenz (Alter)	x	x

Die Probanden der MB-Gruppe waren durchschnittlich jünger als die Probanden der Aligner-Gruppe. Trotzdem sind die Probandengruppen dieser Studie vergleichbar, weil bei der Aligner-Therapie als Einschlusskriterium eine einjährige Behandlungszeit formuliert war. Die Probanden der Aligner-Gruppe hatten eine durchschnittliche Behandlungsdauer von 3,1 Jahren und ein Durchschnittsstartalter von zwei Jahren weniger als die MB-Gruppe. Am Ende der Behandlung waren die Probanden somit meist gleich alt und damit vergleichbar im Alter.

Akin et al (12) zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten zu Behandlungsbeginn einer MB-Therapie und dem vermehrten Auftreten von WSL. Richter et al. (8) bestätigten, dass 11- bis 14-jährige Patienten unter kieferorthopädischer Therapie ein höheres Risiko für das Auftreten von WSL vorwiesen. Auch Levine et al. (97) brachten das vorpubertäre Alter (9-12 Jahre) mit einem höheren Risiko für WSL in Verbindung. Dieser Punkt kann in der Entscheidung um den Zeitpunkt des Behandlungsbeginns eine Rolle spielen.

5.2.3.5 Attachments

Es sind aktuell keine Vergleichsstudien bekannt, die den Einfluss verschiedener Attachmentformen auf die Entstehung von WSL untersucht haben. Diese Studie konnte nachweisen, dass Zahnflächen mit rechteckigen Attachments, im Vergleich zu Zahnflächen ohne Attachment, mit höherer Wahrscheinlichkeit von WSL betroffen waren (Tab.36).

Tabelle 26: Prävalenz und Inzidenz in Bezug auf Attachments

	Aligner	MB
Prävalenz (Attachments)	☐ >kein Attachment	x
Inzidenz (Attachments)	☐ >kein Attachment	x

Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung ist die Schaffung von Retentionsstellen für Plaque durch die Verwendung von Attachments. Das wird einheitlich in der Literatur kommuniziert (5). In dieser Studie zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Verwendung unterschiedlicher Attachmentformen. Somit spielte es eine untergeordnete Rolle welche Form und Größe ein Attachment hatte. Entscheidend war das Vorhandensein eines Attachments bei der Aligner-Therapie.

6. Zusammenfassung

6.1 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

Ziel dieser Arbeit war es, die beiden meist verbreiteten kieferorthopädischen Behandlungsformen bei Jugendlichen, Aligner- und MB-Therapien zu vergleichen und dabei zu untersuchen, inwieweit sogenannte White Spot Läsionen (WSL) als Vorstufe für Karies als unerwünschte Begleiterscheinungen auftraten. Die leitende Forschungsfrage war dabei, wie sich die beiden epidemiologischen Grundkategorien Prävalenz und Inzidenz von WSL im Vergleich zwischen Aligner- und MB-Therapien zu den Zeitpunkten vor und nach der Therapie verhalten.

Die vorliegende Arbeit legt dar, dass es unter der Aligner-Therapie zu einem Neuauftreten von 43% von WSL kommt. Unter einer MB-Behandlung kam es in dieser Studie bei 29% der Patienten zum Auftreten von WSL. Die Prävalenz bei der Aligner-Therapie lag vor Behandlungsbeginn bei 17%. Vor der MB-Behandlung waren 69% der Probanden schon an WSL erkrankt. Nach der MB-Therapie hatte fast jeder Proband (98%) WSL. Nach der Aligner-Therapie waren immerhin die Hälfte der Probanden noch frei von WSL.

Bei der Untersuchung der Prävalenz und Inzidenz von WSL im Vergleich Ober- zum Unterkiefer zeigt sich eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit bei der Aligner-Therapie im Oberkiefer. Sowohl bei der Aligner- als auch bei der MB-Therapie sind die Prämolaren signifikant häufiger von WSL betroffen als die Schneidezähne.

Bei Verwendung von rechteckigen Attachments zeigte sich eine signifikant größere Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von WSL, als wenn kein Attachment bei der Aligner-Therapie verwendet wurde.

Bei der Aligner-Therapie zeigt sich kein signifikanter Unterschied in der Prävalenz und Inzidenz bei der Unterscheidung der Geschlechter, zwischen den Zahnflächen distal, gingival, mesial und okklusal und dem Alter zu Behandlungsbeginn.

Die Prävalenz nach der MB-Therapie und die Inzidenz zeigen in der Geschlechterverteilung einen signifikant größeren Wert bei männlichen Probanden. Weiterhin stellt die distale Zahnfläche ein signifikantes höheres Risiko für das Auftreten von WSL nach der MB-Therapie dar.

6.2 Limitationen

Diese Studie ist demographisch und geographisch limitiert auf den monozentrischen Einzugsraum der Poliklinik für Kieferorthopädie der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Die untersuchten Zähne stellen die Frontzähne und Prämolaren dar. Molaren werden nicht in die Untersuchung miteinbezogen. Weiterhin wurden nur die Außenflächen der Zähne auf WSL hin untersucht. Die Untersuchung und Bewertung der Innen- oder Kauflächen erfolgte nicht, wie beispielsweise in der Studie von Mizrahi et al.(15), welche neben den vestibulären auch die lingualen Zahnflächen in die Untersuchung miteinbezogen haben. Dies erfolgt, weil die Brackets in der Untersuchung auf den labialen Zahnflächen befestigt werden und auch benötigte Attachments bei der Aligner-Therapie auf die vestibulären Zahnflächen befestigt werden. Damit sind diese Zahnflächen für diese Studie interessant, um die Auswirkung von Plaqueretentionsstellen auf die Kariesentstehung zu untersuchen. Eine Untersuchung mit lingual befestigten Brackets erfolgte nicht.

Die Erscheinung der WSL sind weiße Veränderungen der Schmelzoberfläche. Da sich die Fluorose auch weiß darstellt, ist es möglich, dass es zu einer Verwechslung von WSL mit Fluoroseflecken kommen kann. Das würde die Werte der Untersuchung von T0 betreffen, weil die Fluorose bei der Schmelzbildung entsteht und diese im Alter der Probanden von dieser Studie schon abgeschlossen ist.

Als Limitation dieser vorliegenden Studie ist ebenfalls die vergleichsweise geringe Größe der Aligner-Stichprobe zu nennen. So umfassen die 3.360 Zahnflächen der Aligner-Stichprobe nur knapp ein Drittel der Anzahl der Zahnflächen aus der MB-Stichprobe mit 9.680 untersuchten Zahnflächen. Verglichen mit Fallzahlen aus der Literatur ist die Probandengruppe unter der Aligner-Therapie in ihrer Größe ein vergleichbares Probandengut.

6.3 Empfehlungen für die kieferorthopädische Praxis

Die Berücksichtigung der Risikofaktoren wie mangelnde Zahnhygiene muss ins Licht gerückt werden. Die Bedeutung der Reinigung der Apparaturen ist wichtig, um die Bakterienzahl zu minimieren und letztlich WSL zu vermeiden.

Hervorzuheben ist, dass eine Aligner-Therapie neben den ästhetischen Gründen auch zur Vermeidung von Karies wichtig ist. Für die Aligner-Methode kann im Hinblick auf WSL, aufgrund des niedrigeren Vorkommens von WSL eine klare Empfehlung ausgesprochen werden. Je nach Indikation und Behandlungsmöglichkeit, wenn die Fehlstellungskorrektur mit Alignern umsetzbar ist, sollte der Patient um die Behandlungsmöglichkeit mit Alignern wissen. Zusätzlich liegt die Empfehlung auf Mundhygieneinstruktionen. Diese sollten fester Bestandteil einer kieferorthopädischen Behandlung sein, um der individuellen täglichen Mundhygiene die hohe Stellung beizumessen und dem Patienten diese bewusst zu machen. Besonders Rücksicht auf Mundhygieneempfehlungen und Kontrollen der Umsetzung sollten bei männlichen Jugendlichen erfolgen.

6.4 Empfehlungen für künftige Studien

Empfehlungen für weitere Forschung lassen sich gliedern in inhaltliche, methodische und therapeutische Gesichtspunkte.

In Bezug auf die Methodik werden weitere größere Untersuchungen mit höheren Fallzahlen empfohlen, da das Auftreten von WSL eine bestehende Begleiterscheinung darstellt. Weiterhin ist abzuklären, wie stark signifikant die Ergebnisse sind. Da die Invisalign®-Methode, die bekannteste Aligner-Methode darstellt, ist meine Empfehlung in Bezug auf kieferorthopädische Behandlungen die Invisalign®-Therapie, um größere Fallzahlen zu erzielen. Es besteht auch die Möglichkeit sich mit anderen Polikliniken zu vernetzen, um Daten zusammenfassen zu können, und dadurch höhere Fallzahlen zu erzielen (multizentrische Studien). Weiterhin sollte die Verwendung von Attachments bei der Aligner-Therapie in weiteren Studien untersucht werden, um deren Rolle und Auswirkung auf WSL näher zu beleuchten und die Ergebnisse dieser Studie durch weitere Studien zu stützen.

Die Ergebnisse der DMS V wurden 2016 veröffentlicht. So stellt sich die Frage, ob eine weitere Verbesserung in Bezug auf die Kariessituation eingetreten ist, die Entwicklung von WSL weitergegangen ist oder abgebrochen ist. Weiterhin ist es möglich, dass die

Wahl der Kamera und damit die Qualität der Fotos bei Studien mit einem späteren Untersuchungszeitpunkt zu besseren Fotos für die Auswertung kommt.

Die standardisierte Auswertung ist eine reproduzierbare Darstellung der Ausdehnung von WSL und führt zu reproduzierbaren Ergebnissen. Die Analyse erfolgt mit drei Fotos aus verschiedenen Angulationen. Damit sind die oralen Zahnflächen ausreichend abgebildet. Und die Auswahl der untersuchten Zähne ist durch die Bebänderung der Molaren bei der MB-Therapie begründet. Um eine Vergleichbarkeit zur Aligner-Therapie zu schaffen wird auf die Untersuchung der Molaren auf WSL verzichtet.

Die vorliegende Studie ist vorwiegend deskriptiv, da die Gründe des Auftretens von WSL nicht genauer untersucht werden, sondern das Auftreten bei zwei verschiedenen kieferorthopädischen Behandlungsarten verglichen wird. Eine Analyse der Umsetzung der Mundhygiene und der Untersuchung der Fluoridapplikation beispielsweise durch eine Befragung der Probanden könnte die Ergebnisse dieser Studie verfeinern. Außerdem könnte ein Studiendesign mit zusätzlichen regelmäßigen Instruktionen zur Mundhygiene für die Probanden verwendet werden.

Diese Studie zeigt, dass eine Behandlung mit Alignern in der Vermeidung von Karies gegenüber der MB-Behandlung Vorteile hat. Die Bedeutung dieser Arbeit liegt darin, dass zum ersten Mal eine Gegenüberstellung und ein Vergleich gezogen wird vom Auftreten von WSL bei Aligner- zum Auftreten bei MB-Therapie.

7. Literaturverzeichnis

1. Jordan RA, Bodechtel C, Hertrampf K, Hoffmann T, Kocher T, Nitschke I, et al. The Fifth German Oral Health Study (Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V) - rationale, design, and methods. *BMC oral health*. 2014;14:161.
2. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod*. 1982;81(2):93-8.
3. Millett DT, Glenny AM, Mattick RC, Hickman J, Mandall NA. Adhesives for fixed orthodontic bands. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2016;10:Cd004485.
4. Krey KF, Hirsch C. Frequency of orthodontic treatment in German children and adolescents: influence of age, gender, and socio-economic status. *European journal of orthodontics*. 2012;34(2):152-7.
5. Azeem M, Ul Hamid W. Incidence of white spot lesions during orthodontic clear aligner therapy. *J World Fed Orthod*. 2017;6(3):127-30.
6. Artun J, Brobakken BO. Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. *Eur J Orthod*. 1986;8(4):229-34.
7. Hadler-Olsen S, Sandvik K, El-Agroudi MA, Ogaard B. The incidence of caries and white spot lesions in orthodontically treated adolescents with a comprehensive caries prophylactic regimen--a prospective study. *Eur J Orthod*. 2012;34(5):633-9.
8. Richter AE, Arruda AO, Peters MC, Sohn W. Incidence of caries lesions among patients treated with comprehensive orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;139(5):657-64.
9. Chapman JA, Roberts WE, Eckert GJ, Kula KS, Gonzalez-Cabezas C. Risk factors for incidence and severity of white spot lesions during treatment with fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;138(2):188-94.
10. Banks PA, Richmond S. Enamel sealants: a clinical evaluation of their value during fixed appliance therapy. *Eur J Orthod*. 1994;16(1):19-25.
11. Julien KC, Buschang PH, Campbell PM. Prevalence of white spot lesion formation during orthodontic treatment. *Angle Orthod*. 2013;83(4):641-7.
12. Akin M, Tezcan M, Ileri Z, Ayhan F. Incidence of white spot lesions among patients treated with self- and conventional ligation systems. *Clinical oral investigations*. 2015;19(6):1501-6.
13. Enaia M, Bock N, Ruf S. White-spot lesions during multibracket appliance treatment: A challenge for clinical excellence. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;140(1):e17-24.
14. Lovrov S, Hertrich K, Hirschfelder U. Enamel Demineralization during Fixed Orthodontic Treatment - Incidence and Correlation to Various Oral-hygiene Parameters. *J Orofac Orthop*. 2007;68(5):353-63.
15. Mizrahi E. Enamel demineralization following orthodontic treatment. *Am J Orthod*. 1982;82(1):62-7.
16. Lucchese A, Gherlone E. Prevalence of white-spot lesions before and during orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod*. 2013;35(5):664-8.
17. Tufekci E, Dixon JS, Gunsolley JC, Lindauer SJ. Prevalence of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances. *Angle Orthod*. 2011;81(2):206-10.
18. Boersma JG, van der Veen MH, Lagerweij MD, Bokhout B, Prahl-Andersen B. Caries prevalence measured with QLF after treatment with fixed orthodontic appliances: influencing factors. *Caries Res*. 2005;39(1):41-7.
19. Pancherz H MD. Entwicklung von Karies bei kieferorthopädischer Behandlung mit festsitzenden Apparaturen-Ein Vergleich von Zähnen mit und ohne Kariesvorschädigungen. . *Kieferorthop* 1997;11:139-44.

20. Geiger AM, Gorelick L, Gwinnett AJ, Benson BJ. Reducing white spot lesions in orthodontic populations with fluoride rinsing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;101(5):403-7.
21. Hellwig E KJ, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung:Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie2013.
22. Heymann GC, Grauer D. A contemporary review of white spot lesions in orthodontics. *J Esthet Restor Dent.* 2013;25(2):85-95.
23. Benson PE, Parkin N, Dyer F, Millett DT, Furness S, Germain P. Fluorides for the prevention of early tooth decay (demineralised white lesions) during fixed brace treatment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013(12):Cd003809.
24. Knosel M, Klang E, Helms HJ, Wiechmann D. Occurrence and severity of enamel decalcification adjacent to bracket bases and sub-bracket lesions during orthodontic treatment with two different lingual appliances. *Eur J Orthod.* 2016;38(5):485-92.
25. Navazesh M, Denny P, Sobel S. Saliva: a fountain of opportunity. *Journal of the California Dental Association.* 2002;30(10):783-8.
26. Ogaard B. Prevalence of white spot lesions in 19-year-olds: a study on untreated and orthodontically treated persons 5 years after treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96(5):423-7.
27. Rosenbloom RG, Tinanoff N. Salivary Streptococcus mutans levels in patients before, during, and after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;100(1):35-7.
28. Marcotte H, Lavoie MC. Oral microbial ecology and the role of salivary immunoglobulin A. *Microbiol Mol Biol Rev.* 1998;62(1):71-109.
29. Kundu R, Tripathi AM, Jaiswal JN, Ghoshal U, Palit M, Khanduja S. Effect of fixed space maintainers and removable appliances on oral microflora in children: An in vivo study. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry.* 2016;34(1):3-9.
30. Sifakakis I, Papaioannou W, Papadimitriou A, Kloukos D, Papageorgiou SN, Eliades T. Salivary levels of cariogenic bacterial species during orthodontic treatment with thermoplastic aligners or fixed appliances: a prospective cohort study. *Progress in orthodontics.* 2018;19(1):25.
31. Maret D, Marchal-Sixou C, Vergnes JN, Hamel O, Georgelin-Gurgel M, Van Der Sluis L, et al. Effect of fixed orthodontic appliances on salivary microbial parameters at 6 months: a controlled observational study. *Journal of applied oral science : revista FOB.* 2014;22(1):38-43.
32. Batoni G, Pardini M, Giannotti A, Ota F, Giuca MR, Gabriele M, et al. Effect of removable orthodontic appliances on oral colonisation by mutans streptococci in children. *Eur J Oral Sci.* 2001;109(6):388-92.
33. Barreda GJ, Dzierewianko EA, Munoz KA, Piccoli GI. Surface wear of resin composites used for Invisalign(R) attachments. *Acta odontologica latinoamericana : AOL.* 2017;30(2):90-5.
34. Levrini L, Mangano A, Margherini S, Tenconi C, Vigetti D, Muollo R, et al. ATP Bioluminometers Analysis on the Surfaces of Removable Orthodontic Aligners after the Use of Different Cleaning Methods. *Int J Dent.* 2016;2016:5926941.
35. Melkos AB. Advances in digital technology and orthodontics: a reference to the Invisalign method. *Med Sci Monit.* 2005;11(5):Pi39-42.
36. Joffe L. Invisalign: early experiences. *J Orthod.* 2003;30(4):348-52.
37. Miethke RR, Vogt S. A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop.* 2005;66(3):219-29.

38. Cassetta M, Altieri F, Barbato E. The combined use of corticotomy and clear aligners: A case report. *Angle Orthod.* 2016;86(5):862-70.
39. Lagravere MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. *J Am Dent Assoc.* 2005;136(12):1724-9.
40. Christensen GJ. Orthodontics and the general practitioner. *J Am Dent Assoc.* 2002;133(3):369-71.
41. Beers AC, Choi W, Pavlovskaia E. Computer-assisted treatment planning and analysis. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:117-25.
42. ROBERT L. BOYD D, MED, ROSS J. MILLER D, MS, VICKI VLASKALIC B, MSD. The Invisalign System in Adult Orthodontics: Mild Crowding and Space Closure Cases. *JCO, Inc.* 2000;XXXIV:203-12.
43. ROBERT L. BOYD D, MED, ROSS J. MILLER D, MS, VICKI VLASKALIC B, MSD. The Invisalign System in Adult Orthodontics: Mild Crowding and Space Closure Cases. *JCO, Inc.* 2000;34(4):203-12.
44. Göz G. Stellungnahme der DGKFO zur Behandlung mit Alignern Stand Januar 2010. Januar 2010.
45. KESLING HD. THE PHILOSOPHY OF THE TOOTH POSITIONING APPLIANCE. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery.* 1945;31:297-304.
46. Ponitz RJ. Invisible retainers. *Am J Orthod.* 1971;59(3):266-72.
47. McNamara JA, Kramer KL, Juenker JP. Invisible retainers. *J Clin Orthod.* 1985;19(8):570-8.
48. Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *J Clin Orthod.* 1993;27(1):37-45.
49. Rinchuse DJ, Rinchuse DJ. Active tooth movement with Essix-based appliances. *J Clin Orthod.* 1997;31(2):109-12.
50. Meier B, Wiemer KB, Miethke RR. Invisalign--patient profiling. Analysis of a prospective survey. *J Orofac Orthop.* 2003;64(5):352-8.
51. Vlaskalic V, Boyd RL. Clinical evolution of the Invisalign appliance. *J Calif Dent Assoc.* 2002;30(10):769-76.
52. Zawawi KH. Orthodontic treatment of a mandibular incisor extraction case with invisalign. *Case Rep Dent.* 2014;2014:657657.
53. Wong BH. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121(5):540-1.
54. Abbate GM, Caria MP, Montanari P, Mannu C, Orru G, Caprioglio A, et al. Periodontal health in teenagers treated with removable aligners and fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop.* 2015;76(3):240-50.
55. Houle JP, Piedade L, Todescan R, Jr., Pinheiro FH. The predictability of transverse changes with Invisalign. *The Angle orthodontist.* 2017;87(1):19-24.
56. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145(6):728-36.
57. Boyd RL. Periodontal and restorative considerations with clear aligner treatment to establish a more favorable restorative environment. *Compend Contin Educ Dent.* 2009;30(5):280-2, 4, 6-8 passim.
58. Boyd RL, Oh H, Fallah M, Vlaskalic V. An update on present and future considerations of aligners. *J Calif Dent Assoc.* 2006;34(10):793-805.

59. Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, Bachar E, Tsur B, Chaushu S, et al. The impact of personality on adult patients' adjustability to orthodontic appliances. *Angle Orthod.* 2013;83(1):76-82.
60. Ercoli F, Tepedino M, Parziale V, Luzi C. A comparative study of two different clear aligner systems. *Prog Orthod.* 2014;15(1):31.
61. Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017;62 Suppl 1:58-62.
62. Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rozsa N, Lee HF, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthod.* 2015;85(6):934-40.
63. Khan W. [New concepts in aligner therapy with the orthocaps system]. *Orthod Fr.* 2014;85(3):253-64.
64. Technology A. 2019 [Available from: <https://www.invisalign.de/de/what-is-invisalign/Pages/Teen-Braces.aspx>].
65. Schott TC, Göz G. Color fading of the blue compliance indicator encapsulated in removable clear Invisalign Teen® aligners. *The Angle orthodontist.* 2011;81(2):185-91.
66. AG n. nivellipso 2016-2019 [Available from: <https://www.nivellipso.com/for-orthodontists/company/about-nivellmedical/>].
67. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Periodontal health during clear aligners treatment: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2015;37(5):539-43.
68. Levrini L, Mangano A, Montanari P, Margherini S, Caprioglio A, Abbate GM. Periodontal health status in patients treated with the Invisalign((R)) system and fixed orthodontic appliances: A 3 months clinical and microbiological evaluation. *Eur J Dent.* 2015;9(3):404-10.
69. Schaefer I, Braumann B. Halitosis, oral health and quality of life during treatment with Invisalign((R)) and the effect of a low-dose chlorhexidine solution. *J Orofac Orthop.* 2010;71(6):430-41.
70. Miethke RR, Brauner K. 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 Kieferorthopadie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft fur Kieferorthopadie.* 2007;68(3):223-31.
71. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthod.* 2013;83(1):146-51.
72. Diedrich DP. "Microbial colonization and various cleaning pro- cedures for orthodontic appliances," *Fortschr Kieferorthop.* 1989;50(3):231-9.
73. L. Levrini FN, S. Margherini, C. Tenconi, and M. Raspanti. Scanning electron microscopy analysis of the growth of dental plaque on the surfaces of removable orthodontic aligners a er the use of di erent cleaning methods. *Journal of Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry.* 2015;15(7):125-31.
74. Ali O, Makou M, Papadopoulos T, Eliades G. Laboratory evaluation of modern plastic brackets. *European journal of orthodontics.* 2012;34(5):595-602.
75. : HENRYSCHEIN DENTAL; [Available from: https://www.henryschein-dental.de/dental/praxis-welt/therapie/kfo/bracketsysteme/aesthetische-brackets.aspx?hssc=1#Tab_75DC3C6D-B1B8-4304-82F7-A83AB251F4A7].
76. Martelli K, Freitas KM, Negreiros PO, Janson G, Cançado RH, Valarelli FP, et al. Comparison of torque expression in esthetic brackets. *Journal of clinical and experimental dentistry.* 2019;11(9):e783-e9.
77. Chenin DA, Trosien AH, Fong PF, Miller RA, Lee RS. Orthodontic treatment with a series of removable appliances. *J Am Dent Assoc.* 2003;134(9):1232-9.

78. Bauer W DP. Motivation und Erfolgsbeurteilung erwachsener Patienten zur kieferorthopädischen Behandlung – Interpretation einer Befragung. *Fortschr Kieferorthop.* 1990;51(180-8).
79. Ebert KP. Probleme und Ziele kieferorthopädischer Behandlung aus Patientensicht (Interpretation einer Befragung). 1977;38(452).
80. Amy E. Richter aAOA, b Mathilde C. Peters,c and Woosung Sohnd. Incidence of caries lesions among patients treated with comprehensive orthodontics. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 2011;139(5):657-64.
81. Ribeiro AA, Almeida LF, Martins LP, Martins RP. Assessing adhesive remnant removal and enamel damage with ultraviolet light: An in-vitro study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 2017;151(2):292-6.
82. Sundstrom F, Fredriksson K, Montan S, Hafstrom-Bjorkman U, Strom J. Laser-induced fluorescence from sound and carious tooth substance: spectroscopic studies. *Swedish dental journal.* 1985;9(2):71-80.
83. Benson PE, Ali Shah A, Robert Willmot D. Polarized versus nonpolarized digital images for the measurement of demineralization surrounding orthodontic brackets. *The Angle orthodontist.* 2008;78(2):288-93.
84. Simon JC, Lucas SA, Staninec M, Tom H, Chan KH, Darling CL, et al. Near-IR transillumination and reflectance imaging at 1,300 nm and 1,500-1,700 nm for in vivo caries detection. *Lasers Surg Med.* 2016;48(9):828-36.
85. van der Kaaij NC, van der Veen MH, van der Kaaij MA, ten Cate JM. A prospective, randomized placebo-controlled clinical trial on the effects of a fluoride rinse on white spot lesion development and bleeding in orthodontic patients. *European journal of oral sciences.* 2015;123(3):186-93.
86. Mehmet Akin D, PhD;1* Mucella Tazcan, DDS;2 Zehra Ileri, DDS, PhD;1 and Faruk Ayhan Basciftci, DDS, PhD3. Incidence of White Spot Lesion During Fixed Orthodontic Treatment. *Turkish J Orthod.* 2013;26, No 2:98-102.
87. S. Ifland JK, R. Heinrich-Weltzien. Die quantitative lichtindu-zierte Fluoreszenz (QLF) Eine nichtinvasive Methode zur Kariesdiagnostik. *Das Deutsche Zahnärzteblatt.* 2004;113(06):254-8.
88. Nandikolla Sagarika1 SS, SC Loganathan1, Velayutham Gopikrishna1. 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* . 2012;15(2):104-8.
89. Curzon ME, Spector PC. Enamel mottling in a high strontium area of the U.S.A. *Community dentistry and oral epidemiology.* 1977;5(5):243-7.
90. Torlakovic L, Olsen I, Petzold C, Tiainen H, Ogaard B. Clinical color intensity of white spot lesions might be a better predictor of enamel demineralization depth than traditional clinical grading. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 2012;142(2):191-8.
91. Gwinnett AJ, Ceen RF. Plaque distribution on bonded brackets: a scanning microscope study. *American journal of orthodontics.* 1979;75(6):667-77.

92. Geiger AM, Gorelick L, Gwinnett AJ, Griswold PG. The effect of a fluoride program on white spot formation during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988;93(1):29-37.
93. Ogaard B, Rolla G, Arends J. Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 1. Lesion development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988;94(1):68-73.
94. 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):e4.
95. Low B, Lee W, Seneviratne CJ, Samaranayake LP, Hagg U. Ultrastructure and morphology of biofilms on thermoplastic orthodontic appliances in 'fast' and 'slow' plaque formers. *European journal of orthodontics*. 2011;33(5):577-83.
96. Levine RS, Beal JF, Fleming CM. A photographically recorded assessment of enamel hypoplasia in fluoridated and non-fluoridated areas in England. *British dental journal*. 1989;166(7):249-52.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich für die Unterstützung an meiner wissenschaftlichen Arbeit bedanken. Danke für die Einführung und Hilfestellung bei der Erarbeitung, Entdeckung und Beschäftigung mit Wissenschaft und Forschung in unserem Fachgebiet, der Zahnmedizin. Meiner Doktormutter..., Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg - Universität Mainz gilt mein besonderer Dank. Ich danke Ihr für die Überlassung des Themas und die wertvolle Einführung ins wissenschaftliche Arbeiten. Ihre Unterstützung, Begleitung und Hilfe haben zum guten Gelingen meiner Arbeit beigetragen.

Ebenso gilt mein Dank...für die Begutachtung der vorliegenden Arbeit.

...danke ich für die statistische Begleitung.

Die vorhergehende Untersuchung unter der MB-Therapie und Auswertung der Fotos erfolgte durch ... Ich danke auch ihr.

Meiner Familie danke ich für ihre immerwährende Unterstützung und ihren Rückhalt.

