

DISSERTATION

Kariesinfiltration von White-Spot-Läsionen während der Multibracket-
Behandlung

Caries infiltration of white spot lesions during multibracket treatment

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Yamen Khashash
aus Aleppo, Syrien

Erstbetreuung: PD Dr. Gerd Göstemeyer

Datum der Promotion: 28.02.2025

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	ii
Abbildungsverzeichnis.....	iii
Abkürzungsverzeichnis	iv
Zusammenfassung	1
1 Einleitung.....	4
1.1 White-Spot-Läsionen	4
1.2 Prävention und Therapie von White-Spot-Läsionen	4
1.3 Forschungsstand	5
1.4 Bedeutung der Arbeit und Fragestellung	6
2 Methodik.....	8
3 Ergebnisse	15
4 Diskussion	21
4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	21
4.2 Interpretation der Ergebnisse.....	21
4.3 Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand.....	22
4.4 Stärken und Schwächen der Studie.....	24
4.5 Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung	25
5 Schlussfolgerungen.....	26
6 Literaturverzeichnis	27
Eidesstattliche Versicherung	31
Anteilerklärung an der erfolgten Publikation.....	32
Auszug aus der Journal Summary List.....	33
Druckexemplar der Publikation	38
Lebenslauf.....	48
Komplette Publikationsliste	49
Danksagung	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der L [*] -, a [*] -, b [*] - und ΔE -Werte der verschiedenen Aufnahmen der zehn Versuchszähne	09
Tabelle 2: Demographische und klinische Merkmale der beiden Gruppen zu Studienbeginn	15
Tabelle 3: Verteilung und Veränderung der ICDAS-Werte in beiden Gruppen	16
Tabelle 4: Entwicklung der Mundhygiene-Indizes in beiden Gruppen	16
Tabelle 5: Vergleich der L [*] -, a [*] -, b [*] - und ΔE -Werte zwischen den beiden Gruppen	17
Tabelle 6: Veränderung der ΔE -Werte zwischen WSL und angrenzendem gesunden Schmelz in der Infiltrationsgruppe	19
Tabelle 7: Veränderung der ΔE -Werte zwischen WSL und angrenzendem gesunden Schmelz in der Fluoridgruppe	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufnahmen von zwei in Kunststoffblöcken fixierten Versuchszähnen mit grauen Referenzkarten	10
Abbildung 2: Aufnahmen von zwei Probanden aus beiden Gruppen vor der Behandlung (T0), 1 Tag nach der Behandlung (T1) und 6 Monate später (T5) sowie die beiden Schwarz-Weiß-Masken, die den betroffenen Zahnschmelz (M1) und den gesunden Zahnschmelz (M2) darstellen	14
Abbildung 3: Entwicklung der mittleren ΔE -Werte der beiden Gruppen zu Behandlungsbeginn (T0), 1 Tag nach der Behandlung (T1), 1 Woche (T2), 1 Monat (T3), 3 Monate (T4) und 6 Monate später (T5)	18
Abbildung 4: Vergleich der Helligkeit (ΔL^*) und Veränderungen der Rot-Grün (Δa^*) und Blau-Gelb (Δb^*) Farbskala der White-Spot-Läsionen (WSL) und des angrenzenden gesunden Schmelzes (AGS) für beide Gruppen	20

Abkürzungsverzeichnis

a*	Farbkoordinaten auf die grün-rot Achse
Abb.	Abbildung
AGS	Angrenzender gesunder Schmelz
b*	Farbkoordinaten auf die blau-gelb Achse
CI	Konfidenzintervall
CIE	Internationale Beleuchtungskommission
CIELAB	L*a*b* Farbraum
DSLR-Kamera	Spiegelreflexkamera
ICDAS	International Caries Detection Assessment System
ISO	Internationale Organisation für Normung
G1	Gruppe 1
G2	Gruppe 2
HCL	Salzsäure
L*	Helligkeitswert
M1	Schwarz-Weiß-Maske/gesunder Zahnschmelz
M2	Schwarz-Weiß-Maske/betroffener Zahnschmelz
MBA	Multibracket-Apparatur
MBT	Multibracket-Therapie
MW	Mittelwert
ppm	Teile pro Million/parts per million
PSI	Parodontaler Screening Index
RGB	Rot grün blau
SBI	Sulkus Blutung Index
SD	Standardabweichung

T0	vor der Behandlung
T1	1 Tag nach der Behandlung
T2	1 Woche nach der Behandlung
T3	1 Monat nach der Behandlung
T4	3 Monate nach der Behandlung
T5	6 Monate nach der Behandlung
VPI	Visible Plaque Index
WSL	White-Spot-Läsion(en)
ΔE	Farbunterschied

Zusammenfassung

Ziel: Ziel dieser Studie war es, die Wirksamkeit der Kariesinfiltration von White-Spot-Läsionen (WSL) während einer Multibracket-Behandlung im Vergleich zur Fluoridlackapplikation zu untersuchen.

Material und Methode: Im Rahmen einer randomisiert-kontrollierten klinischen Studie wurden die Kariesinfiltration mit "Icon vestibulär" (Gruppe 1: G1) und die Fluoridierung mit "Flairesse" (Gruppe 2: G2) zur Therapie von WSL um Brackets miteinander verglichen. In die Studie eingeschlossen wurden Patient:innen mit vollständig durchgebrochenen und nicht restaurierten bleibenden Eck- und Schneidezähnen, mindestens einer WSL mit einem ICDAS-Wert von 1 bis 2 im labialen Bereich der Zähne, die sich in laufender Behandlung mit einer Metall-Multibracket-Apparatur befanden. Standardisierte digitale Bilder der Läsionen wurden zu sechs verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen: vor der Behandlung (T0), 1 Tag (T1), 1 Woche (T2), 1 Monat (T3), 3 Monate (T4) und 6 Monate (T5) nach der Behandlung. Der Farbunterschied (ΔE) zwischen dem angrenzenden gesunden Schmelz und der behandelten WSL wurde mithilfe der Template-Matching-Technik und einer Matlab-Routine auf der Grundlage des CIELAB-Farbraums berechnet. Eine Kariesklassifizierung mittels ICDAS sowie eine Erhebung von Gingival- (SBI), Mundhygiene- (VPI) und Parodontalstatus (PSI) wurde zu T0 und T5 durchgeführt. Der t-Test für unabhängige Stichproben wurde für den Vergleich zwischen den Gruppen und der t-Test für gepaarte Stichproben für den Vergleich innerhalb der Gruppen verwendet.

Ergebnisse: Insgesamt wurden 116 Zähne von 36 Probanden analysiert. Es wurde bei T0 kein signifikanter Farbunterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt ($T0_{G1} 8,81 \pm 2,17$ vs. $T0_{G2} 8,74 \pm 3,21$), $P = 0,89$. Nach der Behandlung war ΔE in der Infiltrationsgruppe ($T1_{G1} 5,01 \pm 1,45$) kleiner als in der Fluoridgruppe ($T1_{G2} 8,48 \pm 3,16$), $P < 0,001$. Dieses Ergebnis blieb über den gesamten Untersuchungszeitraum von sechs Monaten stabil ($T5_{G1} 5,19 \pm 1,60$ vs. $T5_{G2} 8,46 \pm 3,52$), $P < 0,001$. Die Kariesinfiltration verbesserte das ästhetische Erscheinungsbild der demineralisierten Bereiche in G1 signifikant ($P < 0,001$). Der mittlere ICDAS-Wert war bei T5 in der Infiltrationsgruppe mit 0,40 signifikant niedriger als in der Fluoridgruppe mit 1,61 ($P < 0,001$). Es gab keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Mundhygiene zwischen den beiden Gruppen zu T0 und T5, basierend auf den erhobenen Indizes.

Schlussfolgerungen: Im Vergleich zur topischen Fluoridierung ist die Kariesinfiltration wirksamer bei der ästhetischen Behandlung und Progressionshemmung von WSL. Das ästhetische Ergebnis der Infiltration war auch nach 6 Monaten zufriedenstellend. Die Kariesinfiltration kann dazu beitragen, einen vorzeitigen Abbruch einer kieferorthopädischen Behandlung mit Multibracket-Apparaturen zu verhindern.

Abstract

Aim: The aim of this study was to investigate the efficacy of caries infiltration of white spot lesions (WSL) during multibracket treatment in comparison with fluoride varnish application.

Materials and Methods: This randomized controlled clinical trial compared resin infiltration with 'Icon vestibular' (group 1: G1) and fluoridation with 'Flairesse' (group 2: G2) for the treatment of WSLs around brackets. The study included patients with fully erupted and unrestored permanent canines and incisors, at least one WSL with an ICDAS score of 1 to 2 in the labial region of the teeth, who were undergoing ongoing treatment with a metal multibracket appliance. Standardized digital images of the lesions were taken at six different time points: before treatment (T0), 1 day (T1), 1 week (T2), 1 month (T3), 3 months (T4) and 6 months (T5) after treatment. The color difference (ΔE) between the adjacent healthy enamel and the treated WSL was calculated using the template matching technique and a Matlab routine based on the CIELAB color space. A caries classification using ICDAS and a survey of gingival (PSI), oral hygiene (VPI) and periodontal status (PSI) was performed at T0 and T5. The independent samples t-test was used to compare between groups and the paired samples t-test was used to compare within groups.

Results: A total of 116 teeth from 36 patients were analyzed. No significant color difference was found between the two groups at T0 (T0_{G1} 8.81 \pm 2.17 vs T0_{G2} 8.74 \pm 3.21), $P = 0.89$. After treatment, the ΔE was smaller in the infiltration group (T1_{G1} 5.01 \pm 1.45) than in the fluoride group (T1_{G2} 8.48 \pm 3.16), $P < 0.001$. This remained true six months after treatment (T5_{G1} 5.19 \pm 1.60 vs T5_{G2} 8.46 \pm 3.52), $P < 0.001$. Caries infiltration improved

the aesthetic appearance of the demineralized areas in G1 ($P < 0.001$). No clinically relevant changes in the adjacent healthy enamel were observed in either group. The mean ICDAS value at T5 was significantly lower in the infiltration group (0.40) than in the fluoride group (1.61) ($P < 0.001$). There were no significant differences in oral hygiene between the two groups at T0 and T5 based on the indices collected.

Conclusions: Compared with topical fluoridation, infiltration treatment is more effective in improving the esthetic treatment and inhibiting the progression of WSL. The esthetic outcome of the infiltration treatment was satisfactory at 6 months. Infiltration treatment may help to prevent premature discontinuation of orthodontic treatment with multibracket appliances.

1 Einleitung

Es kommt gehäuft vor, dass die festsitzende kieferorthopädische Behandlung frühzeitig abgebrochen werden muss, weil sich White-Spot-Läsionen (WSL) um die Multibracket-Apparatur (MBA) herum entwickeln. Dies liegt vor allem daran, dass bei einer derartigen Behandlung iatrogene Plaque-Retentionsstellen entstehen, die zu einer verstärkten Ansammlung von pathogenen Biofilmen um die MBA führen [1]. Die Prävention von WSL während der Multibracket-Behandlung ist daher ein wichtiges Anliegen von Kieferorthopäd:innen [2], da zwischen 40 % und 80 % der kieferorthopädischen Patient:innen während der ersten sechs Monate der Behandlung WSL entwickeln können [3, 4].

1.1 White-Spot-Läsionen

WSL sind die ersten klinisch sichtbaren Zeichen von Karies [5], der häufigsten chronischen Krankheit weltweit [6]. WSL sind kariesbedingte Demineralisationen des Zahnschmelzes, die sich vor allem aufgrund langer ungestörter Biofilmbildung und inadäquater Ernährung entwickeln [7]. Sie verursachen eine Abnahme der Mineraleichte und der mechanischen Eigenschaften des betroffenen Schmelzes sowie Veränderungen der molekularen Zusammensetzung und der Oberflächenmikrostruktur [8]. Darüber hinaus verändern WSL die optischen Eigenschaften des Schmelzes. Nach der Demineralisierung wird der Schmelz porös und undurchsichtig. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die Schmelzkristallite in der Läsion von Wasser statt von mineralreichem Schmelz umgeben sind. Der höhere Wassergehalt in Läsionen führt zu Unterschieden bei den lichtbrechenden Eigenschaften, die sich in kürzeren Photonenwegen, geringerer Absorption und geringerer Transparenz niederschlagen. Die erhöhte Porosität des Zahnschmelzes und die resultierende Diskrepanz des Brechungsindex führen zu einer Lichtstreuung im demineralisierten Zahnschmelz. Dadurch entsteht ein kreideweißes Aussehen, das sich von gesundem Zahnschmelz unterscheidet [9].

1.2 Prävention und Therapie von White-Spot-Läsionen

Die Prävention von WSL zielt in erster Linie auf häusliche Maßnahmen, wie die Demonstration der Anwendung von Hilfsmitteln wie Zahnseide und Interdentalbürsten und die Aufklärung über zahngesunde Ernährung ab. Daneben werden fluoridhaltige Produkte in ihren verschiedenen Darreichungsformen für die Prävention und Behandlung von WSL

eingesetzt [10, 11]. Sie vermindern die Kariesbildung durch Förderung der Remineralisation und Hemmung der Demineralisation sowie der bakteriellen Enzyme, die für die Säureproduktion verantwortlich sind. Bei der Verabreichung von Fluorid wird zwischen häuslicher und professioneller Anwendung unterschieden. Zur häuslichen Anwendung gehören fluoridhaltige Zahnpasta, Zahngels und Mundspüllösungen. Professionelle Anwendungen umfassen Fluoridlack, Fluoridgel und Fluoridschaum [12].

Darüber hinaus können WSL mit einem niedrig viskosen, lichthärtenden Kunststoff (Infiltrant) wirksam behandelt werden [13]. Diese so genannte Kariesinfiltration hemmt ein weiteres Fortschreiten der Schmelzläsionen und kann zu einer Verbesserung der ästhetischen Erscheinung der WSL führen: aufgrund des ähnlichen Brechungsindex von infiltriertem und gesundem Schmelz erscheinen infiltrierte Läsionen ähnlich wie gesunde Zahnhartsubstanz.

Weitere ästhetische Maßnahmen zur Behandlung von WSL sind Mikroabrasion, professionelles Bleaching und direkte oder indirekte Restaurationen [14]. Mikroabrasion und professionelles Bleaching sind weniger invasiv und eignen sich eher für kleinere Läsionen. Direkte oder indirekte Restaurationen für größere Läsionen. Der therapeutische Effekt des Bleachings und der Mikroabrasion beschränkt sich auf die Verbesserung des Erscheinungsbildes.

1.3 Forschungsstand

Derzeit gibt es weder ein einheitliches Konzept noch Leitlinien für die ästhetische Behandlung von WSL. Die beste derzeit verfügbare Evidenz bezieht sich auf die Fluoridapplikation zur Prävention von WSL [2]. Demnach ist Fluorid wirksam bei der Prävention von WSL während einer Multibracket-Therapie (MBT) [15]. Die Erfolgsraten dieser Maßnahmen sind jedoch sehr unterschiedlich [16]. Die Fluoridapplikation zeigt außerdem einen begrenzten Erfolg bei der Verbesserung des ästhetischen Erscheinungsbildes [17]. Die Kariesinfiltration von WSL nach Entfernung der MBA zeigt klinisch gute Ergebnisse in Bezug auf Ästhetik und Kariesmanagement [13, 18, 19]. Frühere Studien konnten eine ausreichende Farbstabilität und gute Farbassimilation von infiltrierte WSL an den angrenzenden gesunden Schmelz (AGS) nachweisen [18, 19]. Der Farbunterschied zwischen WSL und AGS war nach sechs Monaten in der Infiltrationsgruppe signifikant geringer als in der Fluoridgruppe (ΔE : 5,64 vs. 7,59) [20]. Auch 24 Monate nach der Behandlung war die Farbanpassung der infiltrierte WSL an den umgebenden Schmelz

stabil [18]. In bisherigen Studien wurde die Kariesinfiltration primär nach Entfernung der MBA durchgeführt. Nach derzeitigem Kenntnisstand gibt es nur eine Arbeit, die sich mit der frühzeitigen Behandlung von WSL während einer kieferorthopädischen Behandlung mit Kariesinfiltration befasst [21]. In dieser Studie wurde auch die Kariesinfiltration mit der Fluoridapplikation verglichen und festgestellt, dass die ΔE -Werte in der Infiltrationsgruppe signifikant abnahmen, während sie in der Fluoridgruppe konstant blieben. Die Teilnehmerzahl war mit 57 Zähnen bei 15 Patienten relativ gering und zudem lagen zum Zeitpunkt der Planung der vorliegenden Studie nur Daten für einen sehr kurzen Beobachtungszeitraum vor [22]. Somit besteht weiterhin Bedarf an klinischer Evidenz zum Erfolg der Kariesinfiltration von WSL während der MBT.

1.4 Bedeutung der Arbeit und Fragestellung

Es gibt Hinweise darauf, dass bessere ästhetische Ergebnisse erzielt werden, wenn die WSL so bald wie möglich nach der Entfernung der MBA infiltriert werden [20]. Nach Entfernung der MBA kommt es zu einer Inaktivierung der zuvor aktiven Kariesläsionen. Aktive Läsionen sind einer Kariesinfiltration besser zugänglich: Mikroporen von aktiven WSL haben ein größeres Porenvolumen als remineralisierte Läsionen. Durch den größeren Porendurchmesser wird eine bessere Penetration des Infiltranten ermöglicht [23]. Ein Ansatz zur Verbesserung des ästhetischen Ergebnisses könnte daher die Kariesinfiltration der WSL noch während der Multibracket-Behandlung sein. Die Durchführbarkeit dieses Ansatzes wurde zwar in einer Studie nachgewiesen [21], es liegen jedoch zu wenig klinischen Daten über den kurz- bzw. langfristigen Erfolg vor.

Das Ziel der vorliegenden multizentrischen, zweiarmigen, randomisiert-kontrollierten klinischen Studie war es, die Behandlung von WSL mittels Kariesinfiltration mit der regelmäßigen Applikation eines 5%igen Fluoridlackes während der MBT hinsichtlich ihres ästhetischen und Kariesshemmenden Effektes zu vergleichen. Dazu wurde der Farbunterschied (ΔE) zwischen dem benachbarten gesunden Schmelz und der WSL zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen. Die ICDAS-Werte wurden bestimmt und der Sulkus-Blutungs-Index (SBI), der Visible Plaque Index (VPI) sowie der Parodontaler Screening-Index (PSI) erhoben.

Dabei wurden folgende Nullhypothesen getestet:

Primäre Nullhypothese:

- Es besteht kein signifikanter Farbunterschied (ΔE) zwischen der Infiltrationsgruppe und der Fluoridgruppe sechs Monate nach der Intervention.

Sekundäre Nullhypothesen:

- Beide Behandlungsmethoden führen zu einer vergleichbaren Arretierung der Karies und einer Farbassimilation zu den angrenzenden Schmelzbereichen.
- Die Mundhygiene der Studienteilnehmer:innen verbessert sich während der Studie in beiden Gruppen gleich.

2 Methodik

Die vorliegende Studie wurde beim Deutschen Register Klinischer Studien registriert (DRKS-ID: DRKS00027344). Außerdem wurde sie gemäß den Richtlinien der Deklaration von Helsinki durchgeführt [24] und von der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin genehmigt (EA2/289/20). Vor Aufnahme in die Studie erhielten alle Patient:innen bzw. deren Erziehungsberechtigte ein Informationsblatt zur Studie und unterzeichneten eine Einverständniserklärung.

Vor Beginn des klinischen Teils der Studie wurde eine Voruntersuchung an zehn frisch extrahierten bleibenden Prämolaren, Front- und Eckzähnen mit intakter Krone durchgeführt. Ziel dieses Vortests war es, den Einfluss der Zahnhydratation während der Behandlung, der Anwendung von Icon auf den angrenzenden, nicht betroffenen Flächen und den Einfluss des Umgebungslichts auf die Messungen zu untersuchen.

Die Zähne wurden apikal in Kunststoffblöcken fixiert, um die Positionierung der Zähne zu erleichtern (Abb. 1). Zudem wurden die Zähne mit einer 2%igen Glutaraldehydlösung desinfiziert und in einer 0,9%igen Natriumchloridlösung aufbewahrt.

Reflektierte, kreuzpolarisierte Fotoaufnahmen der Versuchsobjekte wurden zu Beginn bei unterschiedlicher Umgebungsbeleuchtung aufgenommen: einmal bei eingeschaltetem Raum- und Dentaleinheitslicht und einmal bei ausgeschaltetem Raum- und Dentaleinheitslicht. Weitere Fotodokumentationen wurden nach dreimaliger Applikation von Icon und nach zehnminütiger Trockenlegung der Zähne angefertigt.

Die digitalen Fotos wurden kalibriert, beschnitten und überlagert. Um mögliche Veränderungen zu verfolgen, wurden die Aufnahmen systematisch mit der Template-Matching-Technik [25] in MATLAB (R2022a, MathWorks, Deutschland) verglichen.

Tabelle 1 zeigt die L^* -, a^* -, b^* - und ΔE -Werte der verschiedenen Aufnahmen der zehn Versuchszähne. Der Mittelwert der Farbunterschiede zwischen B (Aufnahme mit eingeschalteter Beleuchtung) und L (Aufnahme mit ausgeschalteter Beleuchtung) betrug $\Delta E_{B-L} = 0,205 \pm 0,078$, zwischen B und I (nach ICON-Applikation) $\Delta E_{B-I} = 0,174 \pm 0,095$ und zwischen B und D (nach Dehydration) $\Delta E_{B-D} = 2,147 \pm 0,857$. Die Wahrnehmungsschwelle von $\Delta E = 1$ [26] wurde bei ΔE_{B-D} überschritten, während dies bei ΔE_{B-L} und ΔE_{B-I} nicht der Fall war. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Veränderung der Umgebungsbe-

leuchtung und die ICON-Applikation keine sichtbaren Veränderungen verursachte, während die Dehydrierung des Zahnschmelzes zu sichtbaren Farbunterschieden führte. Diese stehen im Einklang mit früheren Studien [20, 27-29].

Tabelle 1: Darstellung der L^{*}-, a^{*}-, b^{*}- und ΔE -Werte der verschiedenen Aufnahmen der zehn Versuchszähne (*eigene Darstellung*)

Messung	N	L [*]	a [*]	b [*]	ΔE	N	L [*]	a [*]	b [*]	ΔE
B	1	68,84	-2,25	8,36		6	54,74	-0,41	7,63	
L		68,63	-2,50	8,33	0,36		54,98	-0,47	7,61	0,25
I		68,59	-2,27	8,33	0,20		54,71	-0,40	7,60	0,04
D		72,10	-1,09	9,63	1,75		58,28	1,25	8,55	2,91
B	2	61,81	0,81	12,16		7	58,66	-2,41	4,60	
L		61,73	0,99	11,98	0,28		58,63	-2,36	4,82	0,20
I		61,74	0,99	12,01	0,27		58,69	-2,47	4,59	0,08
D		64,04	2,05	11,82	2,60		66,51	-0,84	5,92	3,23
B	3	62,06	-0,94	7,02		8	60,48	-2,42	8,49	
L		62,24	-0,91	7,04	0,16		60,48	-2,52	8,35	0,18
I		62,05	-1,01	6,88	0,16		60,40	-2,67	8,26	0,39
D		64,46	0,28	7,79	2,14		65,55	-0,47	7,28	3,51
B	4	68,24	-2,64	9,77		9	65,64	-2,25	9,02	
L		68,26	-2,70	9,87	0,10		65,79	-2,27	8,91	0,15
I		68,11	-2,71	9,88	0,15		65,63	-2,32	8,93	0,12
D		69,21	-0,81	10,34	0,72		72,55	-0,38	12,77	1,44
B	5	62,66	-0,69	8,59		10	60,16	-2,50	7,71	
L		62,89	-0,71	8,83	0,27		60,07	-2,48	7,81	0,11
I		62,56	-0,75	8,69	0,14		60,05	-2,58	7,90	0,19
D		71,20	1,29	12,37	1,91		70,33	-0,56	10,57	1,27

N: Nummer des Versuchszahns, L^{*}: Helligkeitswert, a^{*}: Farbkoordinate zwischen Grün und Rot, b^{*}: Farbkoordinate zwischen Blau und Gelb, ΔE : Farbunterschied, B: Baseline (Aufnahme mit eingeschalteter Beleuchtung), L: Aufnahme mit ausgeschalteter Beleuchtung, I: nach ICON Applikation, D: nach Dehydration.

Einschlusskriterien:

- Patient:innen unter 17 Jahre
- Die bleibenden Front- und Eckzähne sind im Ober- und Unterkiefer vollständig durchgebrochen
- Die zu behandelnden Zähne sind nicht restauriert

- Mindestens eine WSL mit einem ICDAS-Wert von 1 bis 2 [30] in den labialen Bereichen der bleibenden Front- und Eckzähne
- Patient:innen befinden sich in kieferorthopädischer Behandlung mit einer MBA

Ausschlusskriterien:

- Patient:innen über 17 Jahre
- Kavitierte Läsionen
- Patient:innen mit gefüllten oder restaurierten Front- und Eckzähnen
- Patient:innen mit Schmelzanomalien wie Fluorose, MIH
- Allergien gegen die verwendeten Materiale

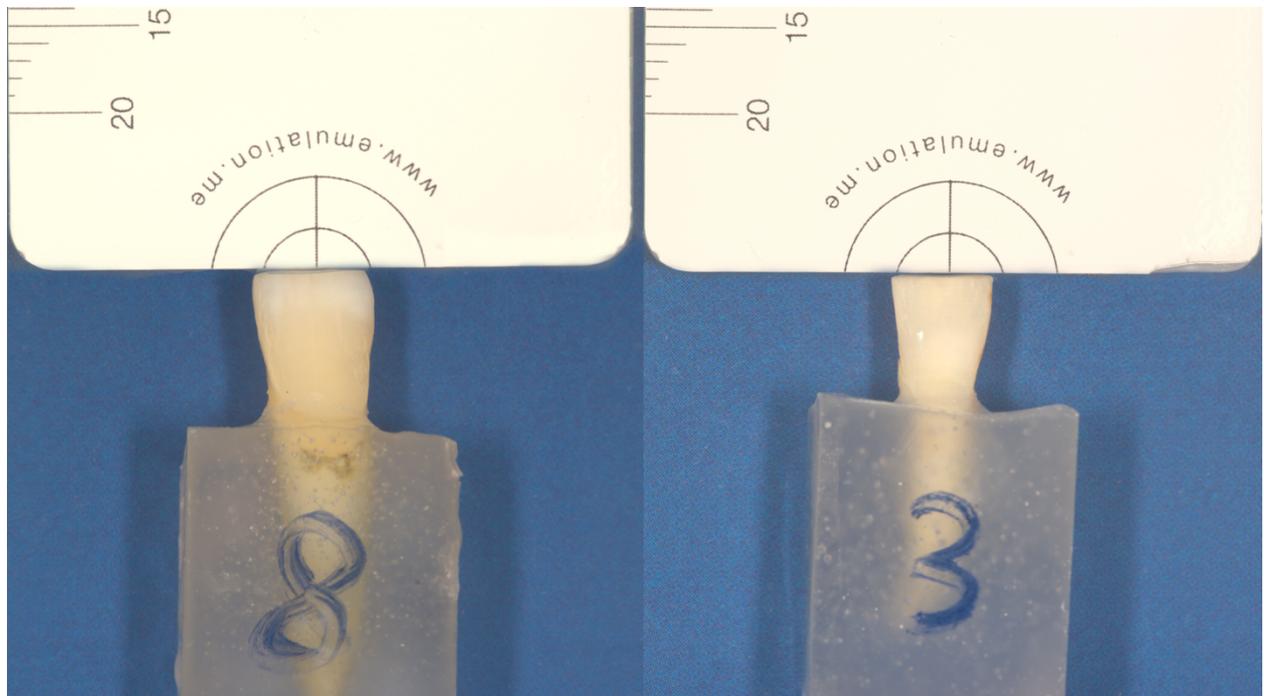


Abbildung 1: Aufnahmen von zwei in Kunststoffblöcken fixierten Versuchszähnen mit grauen Referenzkarten. (eigene Darstellung)

Primärer Endpunkt:

- Farbunterschied (ΔE) zwischen benachbarten gesunden Schmelz und der WSL nach 6 Monaten.

Sekundäre Endpunkte:

- Farbunterschied (ΔE) vor der Behandlung, nach 1 Tag, 1 Woche, 1 Monat und 3 Monaten nach der Behandlung.

- Karieszuwachs oder Kariesprogression im Verlauf der Behandlung gemessen an ICDAS.
- Veränderung der Mundhygiene und des Parodontalzustandes über die Zeit sowie Unterschiede zwischen beiden Gruppen: Ermittlung mithilfe des Sulkus-Blutungs-Index (SBI), des Visibel Plaque Index (VPI) und des Parodontalen Screening-Index (PSI).

Die Studienteilnehmer:innen und Behandler:innen waren bis zur Behandlung verblindet. Die Auswerter:innen und der Statistiker blieben jedoch verblindet. Sie hatten keinen Zugang zur Randomisierungsliste und erhielten zur Auswertung Aufnahmen, die nur mit einer Probandennummer gekennzeichnet waren.

Eine Fallzahlberechnung wurde vor Beginn der Studie mit dem Programm ClinCalc auf der Grundlage von Ergebnissen aus einer früheren Studie durchgeführt [20], in der die Wirksamkeit der Kariesinfiltration von WSL auf der Grundlage von Farbunterschieden im CIELAB-Farbraum berechnet wurde. Bei einer angenommenen Standardabweichung von 3, einer Effektgröße von 3,61 und einem zweiseitigen Test mit einem Alpha-Fehler von 0,05, waren 18 Patient:innen in jeder Gruppe erforderlich, um eine Power von 95 % zu erreichen. Insgesamt wurden 38 Patient:innen ausgewählt, aufgrund des Risikos, dass Patient:innen die Studie abbrechen oder nicht zu den Kontrollterminen erscheinen.

Für die Randomisierung wurden opake Umschläge vorbereitet, die eine eindeutige Gruppenzuweisung basierend auf einer computergenerierten Zufallssequenz (generiert mit dem Programm: Research Randomizer) enthielten. Diese wurden vor Beginn der Rekrutierung von einem von der Studie unabhängigen Assistenten erstellt, dem Einzelheiten zu den Teilnehmer:innen und den Untersucher:innen nicht bekannt waren. Die Umschläge wurden an einem für die Studienzahnärzt:innen unzugänglichen Ort aufbewahrt. Am Tag der Behandlung zogen die Patient:innen im Beisein einer zahnmedizinischen Fachangestellten einen Umschlag, der versiegelte Umschlag wurde geöffnet, um die zugewiesene Intervention (Kariesinfiltration oder Fluoridlackapplikation) zu enthüllen. Nach der Zuweisung bereitete die zahnmedizinische Fachangestellte die Instrumente für die zugewiesene Behandlung vor und erst dann wurde der Zahnarzt/die Zahnärztin in den Raum gebeten.

Um ein besseres Arbeitsfeld zu schaffen, wurden die Drähte der kieferorthopädischen Apparaturen entfernt. Danach wurde die Mundhygiene anhand des Sulkus-Blutungs-Index (SBI) [31] und des Visibel Plaque Index (VPI) [32] bewertet. Der SBI wurde im ersten und dritten Quadranten vestibulär und im zweiten und vierten Quadranten oral gemessen, während der VPI im zweiten und vierten Quadranten vestibulär und im ersten und dritten Quadranten oral gemessen wurde. Darüber hinaus wurde der parodontale Zustand der Teilnehmer:innen anhand des Parodontalen Screening-Index (PSI) [33] beurteilt. Diese Indizes wurden vor der Vorbereitung der Zähne für die Behandlung (T0) und beim letzten Untersuchungsintervall (6 Monate, T5) erhoben. Anschließend wurden die Zähne mit einer fluoridfreien Prophylaxepaste (Cleanic; KerrHawe, Bioggio, Schweiz) gereinigt.

Alle Probanden erhielten in mündlicher Form Mundhygieneinstruktionen für die häusliche Pflege sowie Informationen über den Einfluss der Ernährungsgewohnheiten auf die Mundgesundheit. Es wurde empfohlen, die Zähne dreimal täglich nach der Bass-Technik mit einer fluoridhaltigen Zahnpasta (1450 ppm) zu putzen. Außerdem wurde empfohlen, die Zahnzwischenräume mit Zahnseide und die Räume unter den Drahtbögen mit Interdentalbürsten zu reinigen. Die richtige Putztechnik, die Verwendung von Zahnseide und die Reinigung unter den Drahtbögen mit Interdentalbürsten wurden an einem Kunststoffmodell demonstriert. Weiterhin wurde empfohlen, den häufigen Verzehr von zuckerhaltigen Speisen und Getränken zu vermeiden und auf klebrige Speisen und zuckerhaltige Zwischenmahlzeiten zu verzichten.

In der Infiltrationsgruppe wurden die Zähne zum Schutz des Weichgewebes und zur Schaffung eines trockenen Arbeitsfeldes mit einem lichthärtenden, flüssigen Kofferdam (Opaldam, Ultradent) isoliert. Die Kariesinfiltration wurde gemäß den Herstelleranweisungen mit bis zu 3 Ätzzvorgängen durchgeführt (Icon Infiltrant, DMG, Hamburg, Deutschland). Zunächst wurde die Oberfläche der Läsion mit einem 15%igen HCl-Gel (Icon-Etch, DMG, Hamburg, Deutschland) geätzt. Nach 120 Sekunden wurde das Ätzelgel 30 Sekunden lang abgespült und mit ölfreier Luft getrocknet. Anschließend wurde die Läsion mit Ethanol (Icon-Dry, DMG, Hamburg, Deutschland) getrocknet, um das Wasser in den Mikroporen zu entfernen und eine ausreichende Penetration des Infiltranten in die Tiefe der Läsion zu gewährleisten. Der Infiltrant wurde für 180 Sekunden auf die WSL aufgetragen. Anschließend wurde überschüssiges Material entfernt und die infiltrierte Läsion 60 Sekunden lang mit einer Polymerisationslampe ausgehärtet, die so nah wie möglich an die Läsion gehalten wurde. Der Infiltrant wurde ein zweites Mal für 60 Sekunden appliziert,

der Überschuss wurde entfernt und ein weiteres Mal für 60 Sekunden ausgehärtet. Schließlich wurden die Zähne mit Polierbürsten (Occlubrush, Kerr, Orange, USA) poliert. In der Fluoridgruppe wurde ein 5%iger Fluoridlack (Flairesse, DMG Hamburg, Deutschland) verwendet. Die Zähne wurden mit Watterollen isoliert, eine dünne Schicht Fluoridlack wurde mit dem mitgelieferten Einwegpinsel aufgetragen und die Patient:innen wurden angewiesen, eine Stunde lang nichts zu essen oder zu trinken. Die Applikation von Fluoridlack wurde bei den Kontrollterminen kontinuierlich durchgeführt.

Die quantitative Bewertung der WSL erfolgte anhand reflektierter, kreuzpolarisierter intraoraler Fotoaufnahmen der betroffenen Zähne [34]. Um Fehler bei der fotografischen Dokumentation der Zahnfarbe zu vermeiden, die durch die Dehydrierung des Zahnschmelzes verursacht werden [27], wurden die Fotos vor der Trockenlegung der Zähne aufgenommen. Die Fotos wurden immer von dem selben Untersucher aufgenommen. Für die Kalibrierung der digitalen Fotos wurde die eLAB-Software (eLAB_prime, Freiburg, Deutschland) verwendet [35]. Alle Bilder wurden mit einer DSLR-Kamera (Nikon D3200, Nikon Corp., Japan), einem Makroobjektiv (AF-S DX Micro Nikkor 85mm f/3.5G ED VR, Nikon Corp., Japan) und einem Ringblitz (Meike 14EXT i-TTL, Meike Global, China) aufgenommen. Es wurde auch ein passender Polarisationsfilter (polar_eyes, Emulation, Freiburg, Deutschland) verwendet. Eine graue Referenzkarte (white_balance, Emulation, Freiburg, Deutschland) wurde verwendet, um sicherzustellen, dass alle Digitalfotos unter den gleichen Lichtverhältnissen aufgenommen wurden. Die Kameraeinstellungen entsprachen dem eLAB-Protokoll [36]. Es wurde eine Belichtungszeit von 1/125 Sekunde, eine Blende von f22 bei einem ISO-Wert von 100 und eine Bildqualität von RAW verwendet. Die kalibrierten Bilder wurden in Photoshop CS6 (Adobe, San Jose, USA) hochgeladen, nachdem sie als PNG-Dateien exportiert wurden. Dort wurden sie beschnitten und überlagert. Zur Messung der Farbveränderung wurden zwei Schwarz-Weiß-Masken erstellt. M1 isoliert die Bereiche des betroffenen Zahnschmelzes und M2 isoliert die des gesunden Zahnschmelzes (Abb. 2). Anschließend wurden diese Masken systematisch mit sequenziellen intraoralen Aufnahmen verglichen, die während des Behandlungszeitraums aufgenommen wurden. Die Aufnahmen begannen am Tag der Behandlung vor der Trockenlegung (T0), einen Tag nach der Behandlung (T1), eine Woche (T2), einen Monat (T3), drei Monate (T4) sowie sechs Monate später (T5) (Abb. 2).

Um mögliche Veränderungen zu verfolgen, wurde die Template-Matching-Technik [25] in MATLAB (R2022a, MathWorks, Deutschland) verwendet. Die beiden Schwarz-Weiß-

Masken wurden systematisch mit den intraoralen Aufnahmen zu den verschiedenen Zeitpunkten verglichen, um Veränderungen in den WSL zu erkennen. Die ΔE -Werte wurden auf der Grundlage des CIELAB-Farbraums berechnet. Es wurde die CIEDE2000-Farbdifferenzgleichung (ΔE) verwendet [37].

Die ICDAS-Werte wurden zu T0 und T5 erhoben.

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Programm SPSS Statistics, Version 28 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) durchgeführt. Für beide Gruppen wurden deskriptive Statistiken, einschließlich Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Für den Vergleich zwischen den beiden Gruppen wurde der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Der t-Test für gepaarte Stichproben wurde für den Vergleich innerhalb der Gruppen. Für alle statistischen Auswertungen wurde ein Signifikanzniveau von 5 % festgelegt.

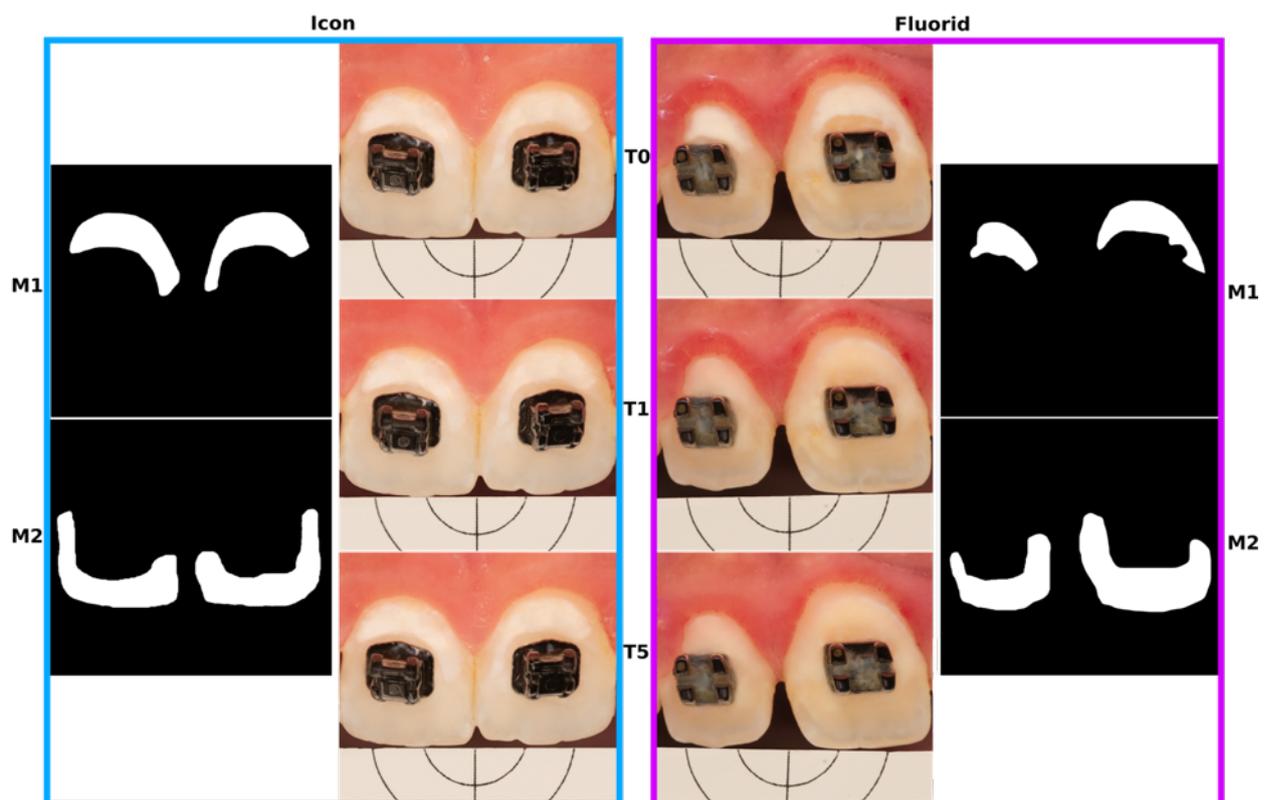


Abbildung 2: Aufnahmen von zwei Probanden aus beiden Gruppen vor der Behandlung (T0), 1 Tag nach der Behandlung (T1) und 6 Monate später (T5) sowie die beiden Schwarz-Weiß-Masken, die den betroffenen Zahnschmelz (M1) und den gesunden Zahnschmelz (M2) darstellen. (modifiziert nach Kashash et al., 2024 [38])

3 Ergebnisse

Die Teilnehmer:innen wurden zwischen September 2022 und Juli 2023 in der Abteilung für Kieferorthopädie und Orthodontie der Charité-Universitätsmedizin Berlin und in einer Privatpraxis in Berlin rekrutiert. Die Interventionen und Nachuntersuchungen fanden zwischen Oktober 2022 und Dezember 2023 statt.

Insgesamt wurden 48 Probanden auf die Erfüllung der Einschlusskriterien überprüft. Acht Probanden erfüllten die Kriterien nicht und zwei lehnten die Teilnahme ab. Somit wurden 38 Probanden rekrutiert und gleichmäßig auf die beiden Gruppen verteilt. Zwei Probanden wurden später aus der Studie ausgeschlossen, da sie nicht zu den Folgeterminen erschienen. Hundertsechzehn Zähne von 36 Probanden im Alter von 12-17 Jahren wurden analysiert (Infiltrationsgruppe: 16 Probanden/57 Zähne vs. Fluoridgruppe: 16 Probanden/59 Zähne).

Tabelle 2 zeigt die demografischen und klinischen Merkmale der beiden Gruppen zu Beginn der Studie. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Altersdurchschnitt, Geschlechtsverteilung, Lokalisation und Farbunterschied festgestellt.

Tabelle 2: Demographische und klinische Merkmale der beiden Gruppen zu Studienbeginn (*modifiziert nach Kashash et al., 2024 [38]*)

		Infiltration (N = 57)	Fluorid (N = 59)
Alter (Mittelwert)		14,4	14,1
Geschlecht	Weiblich	8	7
	Männlich	10	11
Lokalisation der Läsionen	Oberkiefer	42	47
	Unterkiefer	15	12
ΔE (Mittelwert \pm SD)		8,81 \pm 2,17	8,74 \pm 3,21

N: Anzahl der Zähne, ΔE : Farbunterschied zwischen gesundem und demineralisiertem Schmelz, SD: Standardabweichung

Zu T0 lag der mittlere ICDAS-Wert der behandelten Läsionen in der Infiltrationsgruppe bei 1,89, vergleichbar mit 1,83 in der Fluoridgruppe. Sechs Monate später lag dieser Wert in der Infiltrationsgruppe mit 0,40 signifikant niedriger als in der Fluoridgruppe mit einem Wert von 1,61 ($P < 0,001$). Tabelle 3 zeigt die Verteilung und Veränderung der ICDAS-Werte zwischen den beiden Gruppen zu T0 und T5.

Tabelle 3: Verteilung und Veränderung der ICDAS-Werte in beiden Gruppen (*eigene Darstellung*)

Zeitpunkt	ICDAS Wert	Infiltration	Prozent	Fluorid	Prozent
T0	0	0	0,0 %	0	0,0 %
	1	6	10,5 %	10	16,9 %
	2	51	89,5 %	49	83,0 %
T5	0	35	61,4 %	1	1,7 %
	1	21	36,8 %	21	35,6 %
	2	1	1,7 %	37	62,7 %

T0: Vor der Behandlung, T5: 6 Monate nach der Behandlung

Sowohl zu Beginn als auch nach 6 Monaten gab es keine signifikanten Unterschiede in der Mundhygiene zwischen den beiden Gruppen, basierend auf den erhobenen Indizes. Innerhalb der Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede bei SBI und VPI, während die PSI-Werte eine statistisch signifikante Veränderung im Sinne einer Abnahme der Werte erfuhren (Tabelle 4).

Tabelle 4: Veränderung der Mundhygiene-Indizes in beiden Gruppen über den Untersuchungszeitraum (*eigene Darstellung*)

	SBI Mittelwert \pm SD	VPI Mittelwert \pm SD	PSI Mittelwert \pm SD
Infiltration/T0	25,4 \pm 10,5 %	42,7 \pm 16,5 %	6,5 \pm 1,0
Infiltration/T5	23,1 \pm 11,0 %	39,7 \pm 13,5 %	6,0 \pm 0,9
<i>P</i> Wert	0,246	0,52	0,02*
Fluorid/T0	27,0 \pm 14,1 %	46,7 \pm 12,0 %	6,9 \pm 1,2
Fluorid/T5	22,9 \pm 15,0 %	38,7 \pm 14,5 %	5,8 \pm 1,0
<i>P</i> Wert	0,224	0,06	<0,001*

SBI: Sulkus-Blutungs-Index, VPI: Visibel-Plaque-Index, PSI: Parodontal-Screening-Index, SD: Standardabweichung, T0: Vor der Behandlung, T5: 6 Monate nach der Behandlung. * $P < 0,05$

Tabelle 5 zeigt die Veränderungen der L^{*}-, a^{*}-, b^{*}- und ΔE -Werte zwischen den beiden Gruppen. Zu T0 wurden keine signifikanten Unterschiede in der Helligkeit (ΔL^*) und in der Rot-Grün-Farbachse (Δa^*) oder der Blau-Gelb-Farbachse (Δb^*) zwischen den beiden Gruppen beobachtet. Bei T1 zeigte der Farbunterschied zwischen AGS und WSL eine signifikante Abnahme in der Infiltrationsgruppe ΔE_{T1} : 5,01 \pm 1,45 und keine signifikante Veränderung in der Fluoridgruppe ΔE_{T1} : 8,48 \pm 3,16 mit einem statistisch signifikanten

Farbunterschied von 3,47 CIELAB-Einheiten ($P < 0,001$) zwischen den beiden Gruppen. Dies wurde auch bei T5 beobachtet, wo ein statistisch signifikanter Farbunterschied von 3,27 CIELAB-Einheiten ($P < 0,001$) zwischen der Infiltrationsgruppe ΔE_{T5} : $5,19 \pm 1,60$ und der Fluoridgruppe ΔE_{T5} : $8,46 \pm 3,52$ festgestellt werden konnte (Abb. 3).

Tabelle 5: Vergleich der L^{*}-, a^{*}-, b^{*}- und ΔE Werte zwischen den beiden Gruppen (*modifiziert nach Kashash et al., 2024 [38]*)

Zeitpunkt	Parameter	Bereich	Infiltration: MW \pm SD	Fluoride: MW \pm SD	Mittelwert Differenz	95 % CI	P Wert
T0	L [*]	WSL	76,80 \pm 7,19	76,38 \pm 8,34	0,42	-2,44-3,28	0,77
	L [*]	AGS	67,02 \pm 6,01	68,37 \pm 6,28	-1,35	-3,63-0,90	0,23
	a [*]	WSL	5,25 \pm 4,16	6,05 \pm 3,19	-0,8	-2,16-0,57	0,25
	a [*]	AGS	6,18 \pm 3,65	5,98 \pm 2,88	0,2	-1,01-1,41	0,74
	b [*]	WSL	10,97 \pm 6,85	10,91 \pm 4,76	0,06	-2,12-2,24	0,95
	b [*]	AGS	14,45 \pm 7,15	14,79 \pm 6,78	-0,45	-2,90-2,22	0,79
	ΔE	WSL/AGS	8,81 \pm 2,17	8,74 \pm 3,21	0,07	-0,94-1,07	0,89
T1	L [*]	WSL	68,36 \pm 5,95	75,80 \pm 8,79	-7,44	-9,19 bis -3,67	<0,001*
	L [*]	AGS	67,06 \pm 6,06	68,58 \pm 5,99	-1,52	-3,74-0,69	0,17
	a [*]	WSL	8,82 \pm 4,86	6,62 \pm 3,35	2,2	1,06-4,13	0,001*
	a [*]	AGS	6,12 \pm 3,43	5,89 \pm 2,84	0,23	-0,93-1,39	0,69
	b [*]	WSL	16,15 \pm 7,58	11,33 \pm 4,94	4,82	2,44-7,18	<0,001*
	b [*]	AGS	14,38 \pm 6,85	14,82 \pm 6,75	-0,44	-2,93-2,06	0,73
	ΔE	WSL/AGS	5,01 \pm 1,45	8,48 \pm 3,16	-3,47	-4,38 bis -2,57	<0,001*
T5	L [*]	WSL	69,59 \pm 5,70	75,45 \pm 8,77	-5,86	-8,58 bis -3,14	<0,001*
	L [*]	AGS	66,26 \pm 10,02	68,45 \pm 6,18	-2,19	-5,30-0,93	0,16
	a [*]	WSL	8,74 \pm 4,94	6,43 \pm 3,42	2,31	0,73-3,88	0,004*
	a [*]	AGS	5,86 \pm 3,37	5,87 \pm 2,96	-0,01	-1,18-1,15	0,97
	b [*]	WSL	15,83 \pm 7,64	11,60 \pm 4,82	4,23	1,86-6,59	<0,001*
	b [*]	AGS	14,02 \pm 6,84	14,77 \pm 6,88	-0,75	-3,27-1,77	0,55
	ΔE	WSL/AGS	5,19 \pm 1,60	8,46 \pm 3,52	-3,27	-4,27 bis -2,26	<0,001*

MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung, CI: Konfidenzintervall, T0: Vor der Behandlung, L^{*}: Helligkeitswert, WSL: White-Spot-Läsion, AGS: angrenzender gesunder Schmelz, a^{*}: Farbkoordinate zwischen Grün und Rot, b^{*}: Farbkoordinate zwischen Blau und Gelb, ΔE : Farbunterschied, T1: 1 Tag nach der Behandlung, T5: 6 Monate nach der Behandlung. * $P < 0,05$

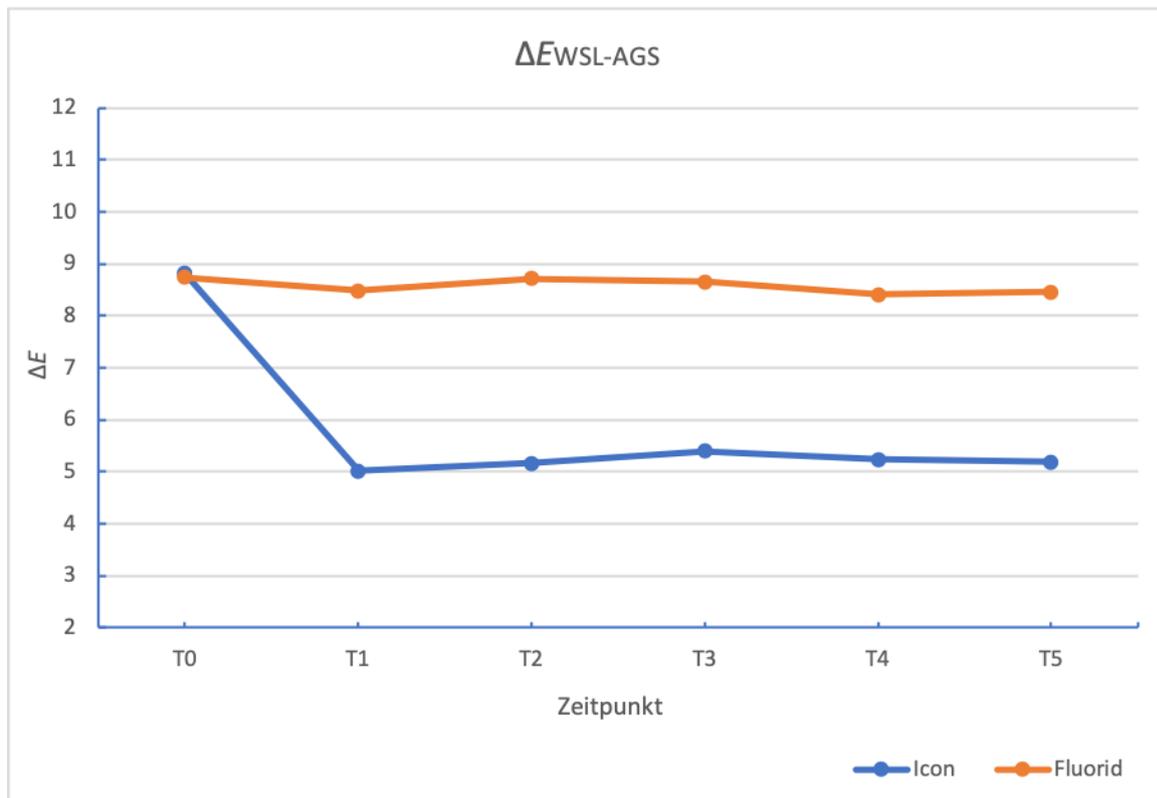


Abbildung 3: Entwicklung der mittleren ΔE -Werte der beiden Gruppen zu Behandlungsbeginn (T0), 1 Tag nach der Behandlung (T1), 1 Woche (T2), 1 Monat (T3), 3 Monate (T4) und 6 Monate später (T5). Im Gegensatz zur Fluoridgruppe veränderten sich die ΔE -Werte in der Infiltrationsgruppe signifikant im Vergleich zu den Ausgangswerten ($P < 0,001$). (eigene Darstellung)

Im angrenzenden gesunden Schmelz wurden in beiden Gruppen zu den Beobachtungszeitpunkten keine klinisch relevanten Veränderungen der Helligkeit (ΔL^*) und keine Veränderungen der Rot-Grün (Δa^*) oder Blau-Gelb (Δb^*) Farbskala beobachtet (Tabelle 5).

Die zu T1 beobachtete signifikante Abnahme der ΔE -Werte in der Infiltrationsgruppe blieb auch zu den Beobachtungszeitpunkten 1 Tag, 1 Woche, 1 Monat, 3 Monate und 6 Monate nach der Behandlung stabil. ΔE_{T1-T5} : 0,18 (Tabelle 6). In der Fluoridgruppe gab es keine signifikanten Veränderungen der ΔE -Werte zwischen AGS und WSL zu den oben genannten Beobachtungszeitpunkten (Tabelle 7).

Tabelle 6: Veränderung der ΔE -Werte zwischen WSL und angrenzendem gesunden Schmelz in der Infiltrationsgruppe (*eigene Darstellung*)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
ΔE Mittelwert \pm SD	8,81 \pm 2,17	5,01 \pm 1,45	5,16 \pm 1,55	5,40 \pm 1,57	5,23 \pm 1,51	5,19 \pm 1,60
Diff. zu T0 Mittelwert \pm SD		3,80 \pm 2,11	3,65 \pm 2,22	3,56 \pm 2,01	3,57 \pm 2,10	3,62 \pm 2,00
P Wert		<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*	<0,001*

T0: Vor der Behandlung, T1: 1 Tag nach der Behandlung, T2: 1 Woche, T3: 1 Monat, T4: 3 Monate, T5: 6 Monate, ΔE : Farbunterschied, SD: Standardabweichung. * $P < 0,05$

Abbildung 4 zeigt detaillierte Informationen über die Veränderungen der Helligkeit (ΔL^*) und der Rot-Grün (Δa^*) und Blau-Gelb (Δb^*) Farbskala der WSL und des angrenzenden gesunden Schmelzes zu den Beobachtungszeitpunkten (T0 bis T5) in beiden Gruppen. Der angrenzende gesunde Schmelz erfuhr in beiden Gruppen keine klinisch relevanten Veränderungen in Bezug auf die ΔL -, Δa - und Δb -Werte. Die Helligkeit der WSL nahm nach der Infiltration ab, während in der Fluoridgruppe keine klinisch relevanten Helligkeitsveränderungen auftraten (Abb. 4, A und B). Auch die Δa - und Δb -Werte in der Fluoridgruppe zeigten keine relevanten Veränderungen (Abb. 4, D und F). Die Farbe der WSL veränderte sich nach der Infiltration mit einem Anstieg des Δa -Wertes, was auf eine Veränderung des Rot-Grün-Anteils von grün zu mehr rot hindeutet, und einem Anstieg des Δb -Wertes (Veränderung in Richtung gelb) (Abb. 4, C und E).

Tabelle 7: Veränderung der ΔE Werte zwischen WSL und angrenzendem gesunden Schmelz in der Fluoridgruppe (*eigene Darstellung*)

	T0	T1	T2	T3	T4	T5
ΔE Mittelwert \pm SD	8,74 \pm 3,21	8,48 \pm 3,16	8,72 \pm 3,21	8,66 \pm 3,32	8,41 \pm 3,42	8,46 \pm 3,52
Diff. zu T0 Mittelwert \pm SD		0,25 \pm 0,53	0,10 \pm 0,57	0,08 \pm 0,78	0,21 \pm 0,81	0,28 \pm 0,82
P Wert		<0,001*	0,165	0,425	0,059	0,10

T0: Vor der Behandlung, T1: 1 Tag nach der Behandlung, T2: 1 Woche, T3: 1 Monat, T4: 3 Monate, T5: 6 Monate, ΔE : Farbunterschied, SD: Standardabweichung. * $P < 0,05$

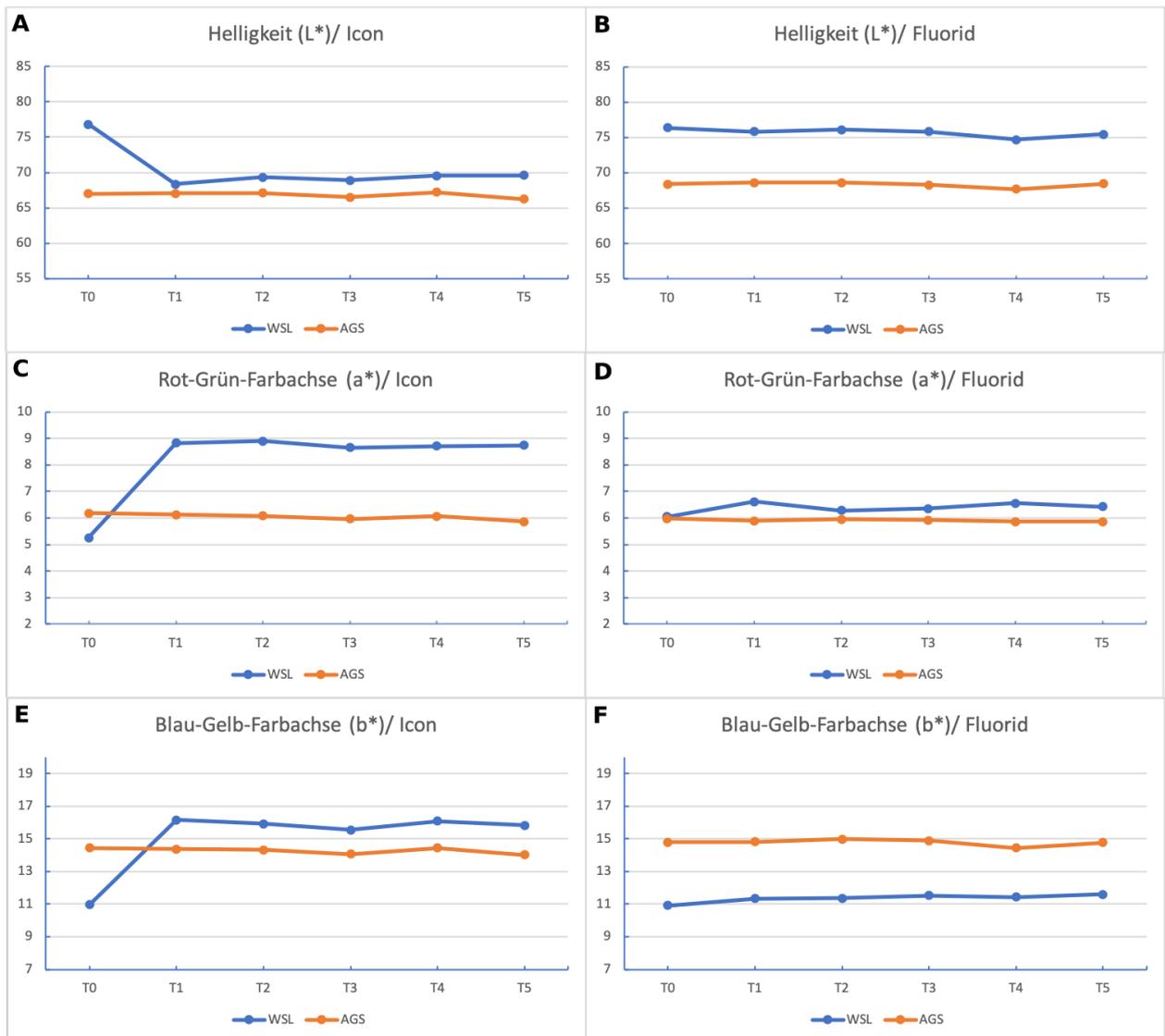


Abbildung 4: Vergleich der Helligkeit (ΔL^*) und Veränderungen der Rot-Grün (Δa^*) und Blau-Gelb (Δb^*) Farbskala der White-Spot-Läsionen (WSL) und des angrenzenden gesunden Schmelzes (AGS) zu Studienbeginn (T0), 1 Tag (T1), 1 Woche (T2), 1 Monat (T3), 3 Monate (T4) und 6 Monate nach der Behandlung (T5) für beide Gruppen. (eigene Darstellung)

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser randomisiert-kontrollierten klinischen Studie wurde die Farbänderung von WSL unter einer Kariesinfiltrationsbehandlung im Vergleich zu einer Behandlung mit Fluoridlack bei Patient:innen, die sich in einer kieferorthopädischen Behandlung mit einer MBA befanden, untersucht. Die Läsionen wurden dabei bis zu sechs Monate nach der Behandlung nachuntersucht. Die Infiltrationsgruppe zeigte nach der Behandlung eine signifikante Verringerung der Farbunterschiede zwischen WSL und AGS im Vergleich zur Fluoridgruppe. Der Farbunterschied blieb bei der sechsmonatigen Nachuntersuchung in der Infiltrationsgruppe stabil. Die Nullhypothese, dass kein signifikanter Farbunterschied zwischen der Infiltrations- und der Fluoridgruppe nach 6 Monaten bestehen würde, wurde daher verworfen.

Im angrenzenden gesunden Schmelz konnten in beiden Gruppen keine klinisch relevanten Farbveränderungen im Vergleich zum Ausgangswert festgestellt werden. Im Vergleich zur Fluoridgruppe, führte die Infiltration zu einer signifikanten Reduktion der ICDAS-Grade der Läsionen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Mundhygiene zwischen den beiden Gruppen über den gesamten Beobachtungszeitraum festgestellt. Lediglich beim PSI kam es zu einer statistisch signifikanten Verbesserung über den Untersuchungszeitraum in beiden Gruppen.

4.2 Interpretation der Ergebnisse

Die Abnahme der ΔE -Werte in der Infiltrationsgruppe nach der Behandlung deutet auf eine Farbangleichung der WSL zum angrenzenden Schmelz im Sinne einer Maskierung der Läsionen hin. Diese Veränderung blieb auch nach sechs Monaten stabil, was auf eine gute kurzfristige Farbstabilität hinweist. Die Abnahme der Helligkeitswerte (ΔL) der WSL nach der Infiltration deutet auf eine Verdunkelung der Läsionen und damit auf eine Verbesserung des Erscheinungsbildes hin. Ebenso weist der signifikante Rückgang der ICDAS-Werte in der Infiltrationsgruppe auf eine Verbesserung des Erscheinungsbildes hin.

Die nicht signifikante Veränderung der ΔE -Werte des mit Infiltranten in Kontakt gekommenen angrenzenden Schmelzes zeigt, dass die Infiltration keine klinisch messbare

Veränderung in gesunder Zahnhartsubstanz bewirkt. Die ebenfalls nicht signifikante Veränderung der ΔE - und ICDAS-Werte in der Fluoridgruppe zeigt, dass die Fluoridapplikation keine signifikante Verbesserung des klinischen Erscheinungsbildes der Läsionen nach sechs Monaten bewirkte.

Beide Interventionen hatten keinen direkten Einfluss auf die Mundhygiene (gemessen am VPI und SBI). Es kann daher angenommen werden, dass das verbesserte Erscheinungsbild in der Infiltrationsgruppe nicht zu einer besseren Motivation für eine gute häusliche Mundhygiene beitragen konnte. Die signifikante Verbesserung der PSI-Werte in beiden Gruppen zwischen Behandlungsbeginn und sechs Monate später könnte auf die regelmäßige Zahnsteinentfernung im Rahmen der Kontrolluntersuchungen zurückzuführen sein.

4.3 Einbettung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand

Frühere Studien haben gezeigt, dass WSL mittels Kariesinfiltration maskiert werden können, da der Brechungsindex von infiltriertem und gesundem Schmelz sehr ähnlich ist. Diese Farbanpassung scheint auch über längere Zeiträume stabil zu sein. Die Ergebnisse dieser Arbeit stimmen mit den früheren Studien überein [19, 20, 39, 40]. Obwohl der angrenzende Schmelz ebenfalls geätzt und das Infiltrant appliziert wurde, konnte keine klinisch relevante Veränderung des Farbunterschieds beobachtet werden. Dieses Ergebnis ist in Übereinstimmung mit früheren Studien [20, 41].

Obwohl eine entsprechende Studie mit positiven Ergebnissen vorliegt [21], ist die Anwendung der Kariesinfiltration während der kieferorthopädischen Behandlung noch nicht üblich. In früheren Studien wurde die Infiltrationsbehandlung erst nach dem Debonding durchgeführt [18, 40, 42]. Die signifikante Abnahme der ICDAS-Werte in der Infiltrationsgruppe im Vergleich zur Fluoridgruppe in der vorliegenden Studie ist wahrscheinlich auf eine Verbesserung des Erscheinungsbildes der Kariesläsion zurückzuführen, und deckt sich mit den Ergebnissen einer früheren Studie [21].

In der bisherigen Forschung zu WSL wurden in erster Linie entweder digitale Bildgebungssysteme [21, 39, 43] oder Multispektralkameras [18, 19, 40] eingesetzt. Beide Ansätze haben unterschiedliche Vor- und Nachteile. Kalibrierte Kamerasysteme wie eLAB zielen darauf ab, über die Zeit konsistente RGB-Werte zu erfassen und eine annähernd lineare Beziehung zu den CIELAB-Farbwerten mit akzeptabler Genauigkeit herzustellen.

Auf der anderen Seite kombinieren Multispektralkameras die Vorteile bildgebender Systeme mit pixelweisen spektralen Reflexionsmessungen [44]. In der vorliegenden Arbeit sollte die gesamte WSL vermessen werden, weshalb eine digitale Spiegelreflexkamera eingesetzt wurde. Multispektralkameras sind auf Einzelpunktmessungen innerhalb eines fixen Beobachtungsfensters beschränkt, was sie für die diskrete Beurteilung einer ganzen WSL, die oft als unregelmäßig geformte Flecken auftritt, ungeeignet macht.

Die einzige andere verfügbare Studie, die über die Kariesinfiltration von WSL während einer kieferorthopädischen Behandlung berichtete, stellte ebenfalls fest, dass die ΔE -Werte in der Infiltrationsgruppe signifikant abnahmen, während sie in der Fluoridgruppe konstant blieben. Ein direkter Vergleich dieser Ergebnisse mit denen unserer Untersuchung ist jedoch nicht möglich, da wir in der vorliegenden Arbeit die Farbveränderungen der gesamten WSL berechnet wurden, während in der vorgenannten Studie die Farbveränderungen an den stärksten Stellen innerhalb der Läsion berechnet wurden [21]. Des Weiteren wurden in der anderen Studie Laserfluoreszenz-Messungen mit DIAGNOdent durchgeführt. Dieser Ansatz wurde in dieser Studie nicht verwendet, da es Belege dafür gibt, dass zahnärztliche Materialien wie der Infiltrant Laserfluoreszenz-Messungen beeinträchtigen können [45]. Darüber hinaus gibt es widersprüchliche Daten über die Zuverlässigkeit von Laserfluoreszenzmessungen zur Beurteilung von Demineralisation [46].

Obwohl nach Entfernung der MBA eine Inaktivierung der zuvor aktiven Läsionen zu erwarten ist [47], bleiben die WSL ein ästhetisches Problem. Eine weit verbreitete Behandlungsmethode von WSL ist die lokale Fluoridierung [48], die das ästhetische Problem jedoch nicht zufriedenstellend löst.

Mangelhafte Mundhygiene, die zu Biofilmmakkumulation führt, insbesondere um die Brackets herum, eine Ernährung, in der häufig und in größeren Mengen niedermolekulare Kohlenhydrate zugeführt werden, sind die Hauptfaktoren für die Entstehung von WSL [49, 50]. Obwohl frühere Studien gezeigt haben, dass Mundhygieneinstruktionen die Mundhygiene kurzfristig signifikant verbessern können [51], zeigen andere Daten, dass die Häufigkeit des Auftretens von WSL und des vorzeitigen Abbruchs der kieferorthopädischen Behandlung am effektivsten durch Patientenselektion zugunsten von Patient:innen mit ohnehin geringem Kariesrisiko reduziert werden kann. Der erzielte Effekt ist dabei signifikant größer als die Wirkung sämtlicher Prophylaxemaßnahmen [52]. Der Erfolg der Kariesinfiltration ist insgesamt weniger abhängig von der Compliance der Patient:innen. Somit bietet diese Maßnahme eine Möglichkeit, auch bei Patient:innen mit geringer Compliance das Risiko eines vorzeitigen Abbruchs der kieferorthopädischen Behandlung und

damit ein unzureichendes kieferorthopädisches Ergebnis zu reduzieren. Die Beobachtung, dass es in der in der vorliegenden Arbeit trotz Prophylaxemaßnahmen und Mundhygieneinstruktion nicht zu einer signifikanten Veränderung der Mundhygiene nach sechs Monaten kam, zeigt einmal mehr, dass entsprechende Instruktionen nicht immer zu einer Verhaltensänderung der Patient:innen führt.

4.4 Stärken und Schwächen der Studie

Das vorgestellte kalibrierte bildgebende System ermöglicht eine Beurteilung der gesamten WSL. Eine weitere Stärke der Studie ist die Vermeidung von Bias bei der Auswertung, einerseits durch die Verblindung der Auswerter:innen und andererseits durch die Automatisierung der Auswertung mittels eines Matlab-Algorithmus.

Eine Schwäche dieser Studie besteht darin, dass der als Referenz verwendete Bereich des gesunden Zahnschmelzes inzisal lag, was zu einem primären Farbunterschied zwischen den verglichenen Bereichen führte [53]. Aufgrund der Natur der Studie war es nicht möglich, einen Bereich zu wählen, der näher an der WSL liegt, wie z. B. die intakte Zahnoberfläche unter den Brackets. Darüber hinaus stellt das Fehlen einer Vergleichsgruppe, bei der die Läsionen infiltriert wurden, nachdem die Brackets entfernt wurden, eine Einschränkung dar. So lässt sich nicht beurteilen, inwieweit die Infiltration mit noch vorhandenen Brackets einen Vorteil gegenüber der Behandlung nach Entfernung der Brackets darstellt. Ein Vorteil kann jedoch darin gesehen werden, dass durch die frühere Infiltration ein Abbruch der kieferorthopädischen Behandlung und damit ein unbefriedigendes Ergebnis vermieden werden konnte.

Eine weitere Einschränkung der Studie ist die relativ geringe Teilnehmerzahl, die das Risiko unzureichender Repräsentativität oder Verzerrungen mit sich bringt. Eine Herausforderung für eine größere Teilnehmerzahl ist die primär geringe Anzahl verfügbarer Patient:innen, da es das Ziel der Kieferorthopäd:innen ist, alle präventiven Maßnahmen zu nutzen, um das Auftreten von WSL von vornherein zu vermeiden. Dies kann überwunden werden, indem eine größere Anzahl von Kliniken/Praxen für die Rekrutierung herangezogen wird.

Vor Studienbeginn wurde eine Fallzahlberechnung durchgeführt, um die Anzahl der Teilnehmer zu ermitteln, die erforderlich ist, um einen signifikanten Unterschied zwischen den Teilnehmer:innen feststellen zu können. Entsprechend wurden ausreichend Teilneh-

mer:innen rekrutiert. Aufgrund des starken Effekts der Infiltration im Vergleich zur Kontrollgruppe konnte trotz der geringen Teilnehmerzahl ein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Eine weitere Limitation ist die mangelnde Verblindung der Behandler:innen durch eine Plazebo-Behandlung. Ein solches Studiendesign hätte wahrscheinlich nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt, da in der vorliegenden Arbeit der Farbunterschied standardisiert ermittelt wurde und keine Patientenangaben erfasst wurden.

Ebenfalls limitierend ist das Fehlen einer unbehandelten Kontrollgruppe. Dies war aus ethischen Gründen nicht möglich. Außerdem fehlen Daten zum Effekt der Infiltration nach Entfernung der MBA, um das Behandlungsergebnis im Bereich der Brackets besser beurteilen zu können. So kann nicht beurteilt werden, ob die Infiltration in den Bereichen in unmittelbarer Nähe der Brackets ausreichend war. Eine Kontrolluntersuchung der Studienteilnehmer:innen nach Abnahme der MBA ist geplant.

4.5 Implikationen für Praxis und zukünftige Forschung

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Kariesinfiltration von WSL bei Patient:innen während einer kieferorthopädischen Behandlung mit MBA wirksam ist. Insbesondere Patient:innen, bei denen verhaltenslenkende Maßnahmen nicht zu einer Reduktion der Kariesaktivität führen, würden von der Kariesinfiltration profitieren, indem ein vorzeitiger Abbruch der kieferorthopädischen Behandlung und damit eine Beeinträchtigung des kieferorthopädischen Ergebnisses vermieden wird. Um den Langzeiterfolg dieser Maßnahme zu evaluieren, ist jedoch eine längerfristige Nachbeobachtung erforderlich. Ebenso ist eine Bewertung nach Entfernung der MBA notwendig, um die ästhetische Gesamtverbesserung, insbesondere in den Bereichen um die Brackets herum, zu beurteilen.

Es ist derzeit unklar, inwieweit sich das ästhetische Ergebnis einer Kariesinfiltration, die während der kieferorthopädischen Behandlung durchgeführt wird von einer Behandlung nach Entfernung der MBA unterscheidet. In zukünftigen Studien sollte daher der Effekt der Kariesinfiltration von WSL bei Patient:innen mit MBA und Patient:innen nach Entfernung der MBA verglichen werden. Dadurch kann der Nutzen eines solchen Ansatzes für den Einsatz in der Praxis beurteilt werden.

5 Schlussfolgerungen

Schlussfolgernd kann man sagen, dass die Kariesinfiltration eine geeignete Behandlungsmethode ist, um WSL angrenzend an Brackets während einer kieferorthopädischen Behandlung zu maskieren. Dieses Behandlungsergebnis blieb auch über einen Zeitraum von sechs Monaten stabil. Durch die Fluoridierung wurde keine relevante ästhetische Veränderung der WSL erzielt.

Die Kariesinfiltration kann als Compliance unabhängige Therapie dazu beitragen, einen vorzeitigen Abbruch einer kieferorthopädischen Behandlung mit MBA zu verhindern. Eine kritische Evaluation der Mundhygiene und des Kariesrisikos vor Beginn einer kieferorthopädischen Behandlung, die Abwägung der Behandlungsnotwendigkeit und des -risikos sowie die Patientenselektion sind für die Prävention von WSL weiterhin essenziell.

6 Literaturverzeichnis

1. Benson P, (2011) One-third of orthodontic patients receiving fixed appliances in a US graduate clinic have new iatrogenic demineralized white lesions at the end of treatment. *J Evid Based Dent Pract* 11:105-6. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2011.03.012>
2. Weyland MI, Jost-Brinkmann PG, and Bartzela T, (2022) Management of white spot lesions induced during orthodontic treatment with multibracket appliance: a national-based survey. *Clin Oral Investig* 26:4871-83. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04454-5>
3. Lucchese A and Gherlone E, (2012) Prevalence of white-spot lesions before and during orthodontic treatment with fixed appliances. *European Journal of Orthodontics* 35:664-8. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjs070>
4. Sharab L, Loss C, Jensen D, Kluemper GT, Alotaibi M, and Nagaoka H, (2023) Prevalence of white spot lesions and gingival index during orthodontic treatment in an academic setting. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 163:835-842. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.08.023>
5. Featherstone JD, (2008) Dental caries: a dynamic disease process. *Aust Dent J* 53:286-91. 10.1111/j.1834-7819.2008.00064.x
6. Kassebaum NJ, Bernabé E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJ, and Marcenes W, (2015) Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression. *J Dent Res* 94:650-8. <https://doi.org/10.1177/0022034515573272>
7. Guzmán-Armstrong S, Chalmers J, and Warren JJ, (2010) Ask us. White spot lesions: prevention and treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:690-6. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.07.007>
8. Sadyrin E, Swain M, Mitrin B, Rzhepakovsky I, Nikolaev A, Irkha V, Yogina D, Lyanguzov N, Maksyukov S, and Aizikovitch S, (2020) Characterization of Enamel and Dentine about a White Spot Lesion: Mechanical Properties, Mineral Density, Microstructure and Molecular Composition. *Nanomaterials* 10:1889. <https://doi.org/10.3390/nano10091889>
9. Klimm W, (1997) *Kariologie, Leitfaden für Studierende und Zahnärzte*. München : Carl Hanser Verlag. 340 p.
10. Dénes J and Gábris K, (1991) Results of a 3-year oral hygiene programme, including amine fluoride products, in patients treated with fixed orthodontic appliances. *European Journal of Orthodontics* 13:129-33. <https://doi.org/10.1093/ejo/13.2.129>
11. Demito CF, Vivaldi-Rodrigues G, Ramos AL, and Bowman SJ, (2004) The efficacy of a fluoride varnish in reducing enamel demineralization adjacent to orthodontic brackets: an in vitro study. *Orthod Craniofac Res* 7:205-10. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2004.00305.x>
12. Derks A, Katsaros C, Frencken JE, Van't Hof M, and Kuijpers-Jagtman A, (2004) Caries-inhibiting effect of preventive measures during orthodontic treatment with fixed appliances: a systematic review. *Caries research* 38:413-20. <https://doi.org/10.1159/000079621>
13. Sonesson M, Bergstrand F, Gizani S, and Twetman S, (2017) Management of post-orthodontic white spot lesions: an updated systematic review. *Eur J Orthod* 39:116-21. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjw023>
14. Heymann GC and Grauer D, (2013) A contemporary review of white spot lesions in orthodontics. *J Esthet Restor Dent* 25:85-95. <https://doi.org/10.1111/jerd.12013>

15. Benson PE, Parkin N, Dyer F, Millett DT, and Germain P, (2019) Fluorides for preventing early tooth decay (demineralised lesions) during fixed brace treatment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003809.pub4>
16. Bergstrand F and Twetman S, (2011) A review on prevention and treatment of post-orthodontic white spot lesions - evidence-based methods and emerging technologies. *Open Dent J* 5:158-62. <https://doi.org/10.2174/1874210601105010158>
17. Bailey D, Adams G, Tsao C, Hyslop A, Escobar K, Manton D, Reynolds E, and Morgan M, (2009) Regression of post-orthodontic lesions by a remineralizing cream. *Journal of dental research* 88:1148-53. <https://doi.org/10.1177/0022034509347168>
18. Knösel M, Eckstein A, and Helms H-J, (2018) Long-term follow-up of camouflage effects following resin infiltration of post orthodontic white-spot lesions in vivo. *The Angle Orthodontist* 89:33-9. <https://doi.org/10.2319/052118-383.1>
19. Mazur M, Westland S, Ndokaj A, Nardi GM, Guerra F, and Ottolenghi L, (2022) In-vivo colour stability of enamel after ICON® treatment at 6 years of follow-up: A prospective single center study. *Journal of Dentistry* 122:103943. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103943>
20. Knösel M, Eckstein A, and Helms H-J, (2013) Durability of esthetic improvement following Icon resin infiltration of multibracket-induced white spot lesions compared with no therapy over 6 months: A single-center, split-mouth, randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 144:86-96. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.02.029>
21. Wierichs RJ, Selzner H, Bourouni S, Kalimeri E, Seremidi K, Meyer-Lückel H, and Kloukos D, (2023) Masking-efficacy and caries arrestment after resin infiltration or fluoridation of initial caries lesions in adolescents during orthodontic treatment—A randomised controlled trial. *Journal of Dentistry* 138:104713. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104713>
22. Wierichs RJ, Bourouni S, Kalimeri E, Gkourtsogianni S, Meyer-Lueckel H, and Kloukos D, (2022) Short-term efficacy of caries resin infiltration during treatment with orthodontic fixed appliances. A randomized controlled trial. *European Journal of Orthodontics* 45:115-121. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjac040>
23. Kidd EA and Fejerskov O, (2004) What constitutes dental caries? Histopathology of carious enamel and dentin related to the action of cariogenic biofilms. *J Dent Res* 83 Spec No C:C35-8. <https://doi.org/10.1177/154405910408301s07>
24. Doppelfeld E. *Die Deklaration von Helsinki 2008. in Die Implementierung der GCP-Richtlinie und ihre Ausstrahlungswirkungen.* 2011. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13177-6_2.
25. Hashemi NS, Aghdam RB, Ghiasi ASB, and Fatemi P, (2016) Template Matching Advances and Applications in Image Analysis. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1610.07231>
26. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, and Feilzer AJ, (2014) Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *Journal of Dentistry* 42:637-44. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.11.017>
27. Burki Z, Watkins S, Wilson R, and Fenlon M, (2013) A randomised controlled trial to investigate the effects of dehydration on tooth colour. *Journal of Dentistry* 41:250-257. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.11.009>

28. Hatırlı H, Karaarslan EŞ, Yaşa B, Kılıç E, and Yaylacı A, (2021) Clinical effects of dehydration on tooth color: How much and how long? *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 33:364-70. <https://doi.org/10.1111/jerd.12612>
29. Ruiz-López J, Pulgar R, Lucena C, Pelaez-Cruz P, Cardona JC, Perez MM, and Ghinea R, (2021) Impact of short-term dental dehydration on in-vivo dental color and whiteness. *J Dent* 105:103560. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103560>
30. Shivakumar K, Prasad S, and Chandu G, (2009) International Caries Detection and Assessment System: A new paradigm in detection of dental caries. *J Conserv Dent* 12:10-16. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.53335>
31. Mühlemann HR and Son S, (1971) Gingival sulcus bleeding--a leading symptom in initial gingivitis. *Helv Odontol Acta* 15:107-113.
32. Ainamo J and Bay I, (1975) Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *Int Dent J* 25:229-235.
33. Bengel W, (2002) Früherkennung parodontaler Erkrankungen: Der Parodontale Screening Index (PSI) [Early detection of periodontal diseases: The Periodontal Screening Index (PSI)]. *Quintessenz Team-Journal* 32:19-23.
34. Wander PA and Gordon PD, *Dental photography*. 1987, London: British Dental Association.
35. Hein S, Modrić D, Westland S, and Tomeček M, (2021) Objective shade matching, communication, and reproduction by combining dental photography and numeric shade quantification. *J Esthet Restor Dent* 33:107-17. <https://doi.org/10.1111/jerd.12641>
36. Hein S and Zangl M, (2016) The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth. *Int J Esthet Dent* 11:246-259. <https://www.4pointsdental.com/s/4pts-resources-IJEDe.pdf>
37. *BS ISO/CIE 11664-6:2014: Colorimetry. CIEDE2000 Colour-difference formula*. 2014, British Standards Institute.
38. Kashash Y, Hein S, Göstemeyer G, Aslanalp P, Weyland MI, and Bartzela T, (2024) Resin infiltration versus fluoride varnish for visual improvement of white spot lesions during multibracket treatment. A randomized-controlled clinical trial. *Clinical Oral Investigations* 28:308. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05695-2>
39. Senestraro SV, Crowe JJ, Wang M, Vo A, Huang G, Ferracane J, and Covell DA, (2013) Minimally invasive resin infiltration of arrested white-spot lesions: A randomized clinical trial. *JADA* 144:997-1005. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2013.0225>
40. Gu X, Yang L, Yang D, Gao Y, Duan X, Zhu X, Yuan H, and Li J, (2019) Esthetic improvements of postorthodontic white-spot lesions treated with resin infiltration and microabrasion: A split-mouth, randomized clinical trial. *Angle Orthod* 89:372-7. <https://doi.org/10.2319/041218-274.1>
41. Meyer-Lueckel H, Paris S, and Kielbassa A, (2007) Surface layer erosion of natural caries lesions with phosphoric and hydrochloric acid gels in preparation for resin infiltration. *Caries Res* 41:223-30. <https://doi.org/10.1159/000099323>
42. Eckstein A, Helms HJ, and Knosel M, (2015) Camouflage effects following resin infiltration of postorthodontic white-spot lesions in vivo: One-year follow-up. *Angle Orthod* 85:374-380. <https://doi.org/10.2319/050914-334.1>
43. Kobbe C, Fritz U, Wierichs RJ, and Meyer-Lueckel H, (2019) Evaluation of the value of re-wetting prior to resin infiltration of post-orthodontic caries lesions. *J Dent* 91:103243. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103243>

44. Li Q, He X, Wang Y, Liu H, Xu D, and Guo F, (2013) Review of spectral imaging technology in biomedical engineering: achievements and challenges. *J. Biomed. Opt.* 18:1-28. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.18.10.100901>
45. Hitij T and Fidler A, (2008) Effect of dental material fluorescence on DIAGNOdent readings. *Acta Odontologica Scandinavica* 66:13-7. <https://doi.org/10.1080/00016350701810641>
46. Macey R, Walsh T, Riley P, Glenny AM, Worthington HV, Fee PA, Clarkson JE, and Ricketts D, (2020) Fluorescence devices for the detection of dental caries. *Cochrane Database Syst Rev* 12: Cd013811. <https://doi.org/10.1002/14651858.Cd013811>
47. Bock NC, von Bremen J, Klaus K, Schulz-Weidner N, Ganss C, and Ruf S, (2023) White spot lesions after fixed appliance treatment—Can we expect spontaneous long-term (≥ 15 years) improvement? *Eur J Orthod* 46. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjad070>
48. Khoroushi M and Kachuie M, (2017) Prevention and treatment of white spot lesions in orthodontic patients. *Contemp Clin Dent* 8:11-9. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_216_17
49. Silverstone LM, Hicks MJ, and Featherstone MJ, (1988) Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. II. Surface morphology of sound enamel and carieslike lesions of enamel. *Quintessence Int* (Berlin, Germany: 1985) 19:773-85.
50. Silverstone L, Hicks M, and Featherstone M, (1988) Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. Part I. The dynamic nature of enamel caries. *Quintessence Int* (Berlin, Germany: 1985) 19:683-711.
51. Kumar SR, Narayanan MA, and Jayanthi D, (2016) Comparison of oral hygiene status before and after health education among 12–18-year-old patients. *J. Indian Assoc. Public Health Dent* 14:121-5. <https://doi.org/10.4103/2319-5932.183813>
52. Zimmer B, (1999) Systematic decalcification prophylaxis during treatment with fixed appliances. *J Orofac Orthop* 60:205-14. <https://doi.org/10.1007/BF01365267>
53. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, and Groh CL, (1997) Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater* 13:179-85. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(97\)80121-2](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(97)80121-2)

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Yamen Kashash, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

[Kariesinfiltration von White-Spot-Läsionen während der Multibracket-Behandlung/

Caries infiltration of white spot lesions during multibracket treatment] selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Erstbetreuer, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Yamen Kashash hatte folgenden Anteil an der Publikation:

Kashash Y, Hein S, Göstemeyer G, Aslanalp P, Weyland MI, Bartzela T, Resin infiltration versus fluoride varnish for visual improvement of white spot lesions during multibracket treatment. A randomized-controlled clinical trial. Clin Oral Investig. 2024; 28:308.

Beitrag im Einzelnen:

- Erstautorenschaft
- Weiterentwicklung der Fragestellung sowie der Methodik mit den Co-Autor:innen
- Bearbeitung des Ethikantrags
- Rekrutierung der Patient:innen
- Datenerhebung
- Durchführung der Fotodokumentation
- Durchführung der Behandlung
- Kalibrierung und Überlagerung der intraoralen Fotoaufnahmen sowie Erstellung der beiden Schwarz-Weiß-Masken
- Datenauswertung mittels SPSS
- Verfassung des zur Publikation führenden Manuskripts einschließlich aller Abbildungen und Tabellen
- Beitrag zur kritischen Bewertung der Ergebnisse
- Einreichung und Revision des Manuskripts

Korrigierend, unterstützend und beratend waren Frau Prof. Dr. Dr. Theodosia Bartzela, Herr PD Dr. Gerd Göstemeyer und Herr Prof. Dr. Paul-Georg Jost-Brinkmann tätig.

Unterschrift, Datum und Stempel des erstbetreuenden Hochschullehrers

Unterschrift des Doktoranden

Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected SJR Year: 2023**
 Subject Area: **Dentistry**
 Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 133 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites (3years)	Impact Factor	SJR	H Index
1	Periodontology 2000	3214	18,31	4,744	151
2	International journal of oral science	1784	10,47	2,596	64
3	Journal of Clinical Periodontology	3347	6,52	2,249	177
4	Journal of Dental Research	4192	6,44	1,909	211
5	Japanese Dental Science Review	619	6,18	1,287	39
6	International Endodontic Journal	2866	5,60	2,155	147
7	Journal of Dentistry	3597	5,36	1,313	139
8	Clinical Oral Implants Research	2137	5,13	1,865	184
9	Journal of Periodontology	2671	4,84	1,362	178
10	Dental Materials	3245	4,82	1,186	179
11	Clinical Implant Dentistry and Related Research	1087	4,20	1,302	100
12	Journal of Prosthodontics	2000	4,17	1,475	80
13	Journal of Esthetic and Restorative Dentistry	1474	4,05	1,086	72
14	Oral Diseases	3019	3,99	0,895	104
15	Journal of Oral Microbiology	702	3,88	0,919	57
16	Journal of Periodontal Research	1291	3,77	0,895	97
17	Progress in Orthodontics	648	3,73	1,392	47
18	Molecular Oral Microbiology	303	3,65	0,841	90
19	International Dental Journal	940	3,62	0,803	76
20	Clinical Oral Investigations	6497	3,58	0,942	101
21	Journal of Endodontics	2666	3,58	1,356	180
22	Journal of Oral Rehabilitation	1565	3,53	0,958	109
23	Journal of Prosthetic Dentistry	4644	3,38	1,177	149
24	Orthodontics and Craniofacial Research	766	3,35	0,967	68
25	Journal of Prosthodontic Research	1009	3,30	1,135	55
26	JDR Clinical and Translational Research	457	3,23	0,905	25
27	Journal of Oral Pathology and Medicine	1144	3,22	0,716	95
28	European Journal of Orthodontics	802	2,99	0,940	100
29	Dentomaxillofacial Radiology	850	2,95	0,816	84

30	Journal of Dental Sciences	1745	2,90	0,758	31
31	Angle Orthodontist	1135	2,85	1,446	105
32	Journal of Oral Biosciences	469	2,83	0,564	26
33	Dental and Medical Problems	562	2,80	0,596	18
34	BMC Oral Health	5244	2,72	0,737	73
35	Community Dentistry and Oral Epidemiology	669	2,72	0,896	113
36	Dentistry Journal	1478	2,72	0,553	34
37	International Journal of Oral Implantology	218	2,71	0,894	58
38	Journal of Advanced Prosthodontics	426	2,70	0,940	45
39	European Journal of Dental Education	868	2,69	0,633	53
40	International Journal of Paediatric Dentistry	852	2,65	0,885	76
41	Caries Research	510	2,62	0,881	112
42	Head and Face Medicine	419	2,60	0,758	47
43	Korean Journal of Orthodontics	309	2,56	0,685	33
44	Journal of Evidence-Based Dental Practice	524	2,53	1,023	42
45	Dental Traumatology	966	2,42	1,032	93
46	Gerodontology	374	2,42	0,609	66
47	Archives of Oral Biology	1754	2,39	0,562	104
48	European archives of paediatric dentistry	765	2,34	0,729	51
49	Journal of the World Federation of Orthodontists	260	2,31	0,621	16
50	Odontology / the Society of the Nippon Dental University	715	2,25	0,637	46
51	Oral Oncology	3530	2,25	1,257	137
52	International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery	1731	2,24	0,875	115
53	Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery	1087	2,19	1,031	91
54	Journal of Oral Science	516	2,17	0,492	60
55	Clinical and Experimental Dental Research	918	2,15	0,541	23
56	European journal of paediatric dentistry	468	2,13	0,825	43
57	Medicina Oral, Patologia Oral y Cirugia Bucal	727	2,13	0,630	72
58	Oral Radiology	517	2,13	0,602	23

59	International Journal of Dental Hygiene	427	2,12	0,583	47
60	Journal of Applied Oral Science	637	2,12	0,688	59
61	Dental Materials Journal	1078	2,08	0,589	70
62	International Journal of Prosthodontics	601	2,08	0,746	106
63	BDJ Open	197	2,06	0,518	13
64	Australian Endodontic Journal	542	2,02	0,647	42
65	Acta Odontologica Scandinavica	545	2,01	0,569	77
66	International Orthodontics	422	1,99	0,478	21
67	Journal of Periodontal and Implant Science	286	1,96	0,539	35
68	International Journal of Dentistry	1135	1,93	0,492	50
69	European Journal of Oral Sciences	436	1,92	0,517	102
70	Australian Dental Journal	414	1,89	0,597	86
71	Cranio - Journal of Craniomandibular Practice	619	1,89	0,618	52
72	Saudi Dental Journal	733	1,88	0,520	37
73	Journal of Adhesive Dentistry	458	1,86	0,793	76
74	Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry	314	1,85	0,490	30
75	Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology	1338	1,82	0,557	139
76	American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	2087	1,80	1,283	147
77	Journal of Oral and Maxillofacial Surgery	2106	1,80	0,684	140
78	Operations Research for Health Care	91	1,80	0,469	37
79	Journal of the American Dental Association	966	1,78	0,572	135
80	Journal of Oral and Facial Pain and Headache	270	1,73	0,690	49
81	International Journal of Oral and Maxillofacial Implants	903	1,71	0,702	155
82	European Endodontic Journal	280	1,70	0,566	12
83	Journal of Orofacial Orthopedics	313	1,68	0,658	52
84	Imaging Science in Dentistry	313	1,67	0,477	33
85	Seminars in Orthodontics	145	1,67	0,413	49
86	Journal of Public Health Dentistry	427	1,66	0,392	72
87	Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery	972	1,65	0,488	28

88	International Journal of Computerized Dentistry	247	1,63	0,678	38
89	European journal of prosthodontics and restorative dentistry, The	147	1,57	0,550	32
90	Journal of Dental Education	1427	1,57	0,539	81
91	Oral health & preventive dentistry	443	1,56	0,420	42
92	Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry	416	1,55	0,411	31
93	British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery	1321	1,54	0,572	87
94	Cleft Palate-Craniofacial Journal	1073	1,51	0,574	91
95	Journal of Clinical Pediatric Dentistry	308	1,47	0,371	50
96	Acta Stomatologica Croatica	168	1,43	0,392	18
97	Oral and Maxillofacial Surgery	356	1,41	0,491	40
98	Journal of Lasers in Medical Sciences	484	1,40	0,380	32
99	Operative Dentistry	649	1,35	0,617	93
100	Quintessence International	402	1,31	0,487	80
101	Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America	309	1,29	0,519	52
102	International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry	583	1,25	0,616	96
103	Journal of Orthodontics	217	1,21	0,421	55
104	Special Care in Dentistry	373	1,15	0,366	49
105	Journal of Oral Implantology	280	1,14	0,360	61
106	American Journal of Dentistry	230	1,09	0,360	83
107	Turkish Journal of Orthodontics	117	1,06	0,383	11
108	Community Dental Health	168	1,03	0,390	54
109	Journal of Indian Prosthodontic Society, The	243	1,02	0,386	32
110	Clinical advances in periodontics	111	0,95	0,318	8
111	Journal of Maxillofacial and Oral Surgery	506	0,94	0,317	33
112	Pediatric Dental Journal	77	0,88	0,260	13
113	Contemporary Clinical Dentistry	221	0,87	0,275	37
114	Case Reports in Dentistry	311	0,78	0,246	18
115	Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons	223	0,78	0,361	18
116	Dental Hypotheses	70	0,73	0,135	15

117	British Dental Journal	1611	0,65	0,602	95
118	Journal of International Oral Health	169	0,63	0,197	13
119	Open Dentistry Journal	283	0,55	0,186	37
120	Giornale Italiano di Endodonzia	52	0,53	0,201	15
121	Australasian Orthodontic Journal	57	0,49	0,533	28
122	Fluoride - Quarterly Reports	45	0,49	0,178	51
123	Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology	171	0,45	0,194	15
124	Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentaria e Cirurgia Maxilofacial	33	0,43	0,151	12
125	Journal of the Canadian Dental Association	65	0,40	0,251	69
126	Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology	128	0,39	0,183	13
127	Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clinica Integrada	236	0,39	0,209	15
128	Journal of Hard Tissue Biology	58	0,37	0,163	17
129	Journal of Osseointegration	36	0,30	0,170	11
130	Khyber Medical University Journal	36	0,17	0,127	4
131	Archives of Orofacial Sciences	17	0,16	0,117	5
132	Dental Cadmos	51	0,13	0,128	11
133	Implantologie	6	0,03	0,104	7

Druckexemplar der Publikation

Clinical Oral Investigations (2024) 28:308
https://doi.org/10.1007/s00784-024-05695-2

RESEARCH



Resin infiltration versus fluoride varnish for visual improvement of white spot lesions during multibracket treatment. A randomized-controlled clinical trial

Yamen Kashash¹ · Sascha Hein² · Gerd Göstemeyer³ · Pervin Aslanalp¹ · Manon Isabelle Weyland⁴ · Theodosia Bartzela⁴

Received: 12 February 2024 / Accepted: 24 April 2024
© The Author(s) 2024

Abstract

Aims This study aimed to evaluate the visual improvement of resin infiltration of white spot lesions (WSL) during orthodontic treatment with the multibracket appliance (MBA) compared to fluoride varnish.

Methods Patients aged 12–17 years with at least one WSL with an International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) score of 1–2 during an active MBA treatment were included and randomized to receive either resin infiltration (Icon) or fluoride application (Flairesse). Standardized digital images were obtained before, one-day, one-week, one-month, three-months and six-months after treatment using a DSLR camera and a matching polarization filter. A grey reference card was used for color standardization. A Matlab routine was used to measure the color difference between adjacent healthy enamel and treated WSL. The independent-samples t-test was used for intergroup and paired-samples t-test for intragroup comparison.

Results Images of 116 teeth from 36 patients were analyzed. The ΔE for the “Icon” treated WSL was smaller ($T1_{\text{ICON}} = 5.0 \pm 1.4$) than in the fluoride group ($T1_{\text{Fluoride}} = 8.4 \pm 3.2$). Caries infiltration significantly improved the aesthetic appearance of WSL ($p < 0.001$), which remained satisfactory at six months ($T5_{\text{ICON}} = 5.2 \pm 1.6$).

Conclusion WSL infiltration management during orthodontic treatment was superior to topical fluoridation in not only arresting the enamel lesions but also significantly improving the aesthetic appearance of demineralized regions around the brackets.

Clinical relevance WSL treatment in orthodontic patients is usually initiated after debonding. Research has shown that the earlier WSL is treated, the better the aesthetic outcome. There is limited data on the efficacy of resin infiltration of WSL during orthodontic treatment.

Keywords White spot lesions · Demineralization · Resin infiltration · Orthodontics · Fluoride · Multibracket appliance

✉ Theodosia Bartzela
theodosia.bartzela@ukdd.de

Yamen Kashash
yamen.kashash@charite.de

¹ Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Aßmannshäuser Straße 4-6, 14197 Berlin, Germany

² School of Design, University of Leeds, Woodhouse Lane, Leeds LS2 9JT, England

³ Department of Conservative, Preventive and Pediatric Dentistry, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Aßmannshäuser Straße 4-6, 14197 Berlin, Germany

⁴ Department of Orthodontics, University Hospital Carl Gustav Carus Dresden, Technische Universität Dresden, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden, Germany

Introduction

Multibracket appliance (MBA) has been established as a standard orthodontic treatment. One side effect of this treatment is that iatrogenic plaque retention sites are created, leading to increased accumulation of pathogenic biofilms in the area adjacent to the appliances [1]. In addition to plaque-induced gingivitis [2], this can lead to carious white spot lesions (WSL). The prevention of WSL during orthodontic treatment with MBA is of paramount importance to orthodontists [3], as up to 40% of orthodontic patients, or even twice as many (79.3%) as recently reported in an academic setting, may develop WSL during the first six months of treatment [4, 5]. This is acknowledged as a significant

concern in orthodontics and requires preventive measures to reduce the risk.

WSL exhibit a decrease in mineral density and mechanical properties of the affected enamel, along with changes in molecular composition and surface microstructure [6]. Compared to healthy enamel, the whiter appearance results from strong light scattering within the lesion. This is essentially because the mineral particles in the lesion are surrounded by water instead of mineral-rich enamel. The higher water content in lesions creates significant differences, resulting in shorter photon paths, reduced absorption, and lower transparency. This increased light absorption is mainly due to the increased variation in refractive index between the lesion substance and its surroundings [7].

Fluoride-containing products in their various administration forms are widely used to prevent and treat WSL [8, 9] with varying success rates [10]. In addition to fluoride treatment, resin infiltration is an effective and valid method for treating WSL. This approach not only enhances the tooth's aesthetics but also helps arrest the early stages of tooth decay [11, 12].

One of the advantages of resin infiltration is that, due to the similar refractive index of the infiltrated and healthy enamel areas, the resin appears as a hard tooth substance, blending seamlessly with the natural tooth structure. Clinical evidence suggests that resin infiltration of WSL results in improved appearance and preservation of tooth structure, making it a desirable treatment option for WSL [11–16]. The mean color difference between WSL and sound adjacent enamel (SAE) at six months was significantly smaller in the resin infiltration group than in the fluoride group (5.64 vs. 7.59 ΔE) [13]. Moreover, the color assimilation of the infiltrated WSL to the SAE remained stable even 24 months after treatment [14]. Evidence further indicates that the best aesthetic outcome is achieved by treating the WSL as soon as possible after brackets debonding [13]. One approach to further improve the aesthetic outcome of the resin infiltration technique might be to treat the WSL prior to bracket removal. However, the feasibility of this approach has not been adequately investigated and warrants further research to determine its efficacy and practicality.

The present randomized-controlled clinical trial aimed to investigate the efficacy and durability of the aesthetic outcomes, measured by changes in color and lightness of WSL, after resin infiltration compared to fluoride varnish application during fixed orthodontic treatment. The study tested the null hypothesis of no significant color difference (WSL vs. SAE) between the resin infiltration and fluoride varnish groups six months after intervention.

Material and methods

This trial was registered at the German Clinical Trials Register (DRKS-ID: DRKS00027344). Reporting of this trial follows the CONSORT 2010 statement [17]. The

study protocol was approved by the Ethics Committee at the Charité-University Berlin (EA2/289/20), and informed consent was obtained from all patients or legal guardians before enrollment. This is a multicenter, two-arm, randomized-controlled trial with a parallel group design.

Patients younger than 17 years of age undergoing orthodontic treatment with metal MBA were eligible for inclusion. All patients had to have fully erupted and unrestored permanent maxillary and mandibular canines and incisors and at least one WSL graded 1 to 2 according to the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) [18] on the labial surface of the previously mentioned teeth. Exclusion criteria included cavitated lesions, filled or restored teeth, enamel abnormalities, and deciduous teeth. The primary endpoint was set at six months from baseline.

Sample sizes were determined using estimates from prior studies assessing the effectiveness of resin infiltration of WSL, relying on color differences computed from the CIELAB color space [13]. Assuming a standard deviation of 3, an effect size of 3.61, and a two-tailed test with an alpha error of 0.05, 16 patients were required in each group to provide 90% statistical power. To account for potential patient dropouts and non-compliance with the study protocol, a total of 38 patients were recruited into the trial.

Prior to the trial, opaque envelopes were prepared containing unique participant allocation assignments based on a computer-generated random sequence. This allocation sequence was generated before the trial by an independent assistant. The assignment details were unknown to the operators or the coordinator. The sealed envelopes were securely stored in a location inaccessible to the researchers. On the day of treatment, the patient drew an envelope in the presence of a dental assistant. The sealed envelope was then opened to reveal the intervention allocation (resin infiltration or fluoride varnish application). Afterward, the dental assistant prepared the instruments for the allocated treatment, and the dentist was invited into the treatment room.

Blinding of operators was not possible due to the nature of the treatment. Study participants were blinded until the allocation. Nonetheless, the outcome assessors and the statistician were kept blinded, as they did not have access to the randomization list and were presented with images for evaluation marked solely with subject numbers.

First, orthodontic wires and auxiliaries were removed for better access to the working field, and the affected teeth were cleaned with a fluoride-free prophylaxis paste (Cleanic, KerrHawe, Bioggio, Switzerland). The teeth were isolated with a light-curing liquid rubber dam (Opaldam, Ultradent, Cologne, Germany) to protect the soft tissues from the chemicals used and create a dry working field. Caries infiltration was carried out strictly

according to the manufacturer's instructions, with up to three etching procedures (Icon Infiltrant, DMG, Hamburg, Germany). The surface of the lesion was etched by applying a 15% HCl gel (Icon-Etch, DMG, Hamburg, Germany) for 120 s. Subsequently, the HCl gel was rinsed for 30 s and dried with oil-free air. The lesion was then dried with ethanol (Icon-Dry, DMG, Hamburg, Germany) to remove water within the micropores and to ensure adequate penetration of the infiltrant into the depth of the lesion. The infiltrant was then applied to the WSL for 180 s. Excess material was removed, and the infiltrant was light cured for 60 s using an LED light held as close as possible to the restoration. The infiltrant was applied a second time for 60 s, and the excess was removed before curing for a final time for 60 s. Finally, polishing brushes were applied with light pressure (Occlubrush, Kerr, Orange, USA). A 5% fluoride varnish (Flairesse, DMG, Hamburg, Germany) was used in the control group. Following the removal of the orthodontic wires and auxiliaries, the teeth were isolated with cotton rolls. A thin layer of fluoride varnish was applied with the disposable brush applicator, and the patients were instructed not to eat or drink for one hour. This varnish was continuously used in the control group twice a month.

The final color stability of the treated WSL was assessed through reflected, cross-polarized dental photographic documentation [19]. Tooth color was recorded before exposure to air, as dehydration of teeth has been shown to result in a statistically significant increase in whiteness after two minutes [20].

The images were captured using a Nikon D3200 digital camera equipped with a macro lens (AF-S DX Micro Nikkor 85mm f/3.5G ED VR, Nikon Corp., Japan), and a ring flash (Meike 14EXT i-TTL, Meike Global, China) with a matching polarizing filter (polar_eyes, Emulation, Freiburg, Germany) attached to it. All photographs were taken under consistent ambient light conditions using the same camera setup, adhering to the eLAB protocol [21]. This protocol specifies an exposure time of 1/125 s, an aperture of $f/22$, an ISO setting of 100, and RAW image quality. All photos were captured by the same investigator.

Subsequently, the images underwent automatic calibration in the eLAB_prime software (Emulation, Freiburg, Germany) and were then exported as PNG files to Photoshop CS6 (Adobe, San Jose, USA) for cropping and superimposition. To evaluate color stability, the template matching technique [22] was employed in MATLAB (R2022a, MathWorks, Germany).

Initially, two black and white masks, referred to as M1 and M2 (Fig. 1), were generated to isolate regions of interest representing WSL and SAE, respectively. The CIEDE2000 color difference equation (ΔE_{00}) [23] was utilized to systematically compare these templates with intraoral images taken

at different stages, including the day of treatment (T0), one day (T1), one week (T2), one month (T3), three months (T4) and six months later (T5), as depicted in Fig. 2. In addition, the ICDAS score was recorded at T0 and T5.

Oral hygiene was evaluated based on the sulcus bleeding index (SBI) [24] and the accumulation of plaque using the visible plaque index (VPI) [25]. Furthermore, the periodontal assessment of participants' conditions were made using the periodontal Screening Index (PSI) [26]. Assessment was performed before preparing the teeth for treatment (T0) and six months later (T5).

Statistical analysis

Statistical analysis of the data obtained was performed using IBM SPSS Statistics version 28 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Descriptive statistics, including mean values, standard deviations, and minimum and maximum values, were calculated for both groups. The independent-samples t-test was employed to compare between the two groups, while the paired-samples t-test was utilized to compare within the groups. The significance level was set at $\alpha=0.05$ for all statistical tests.

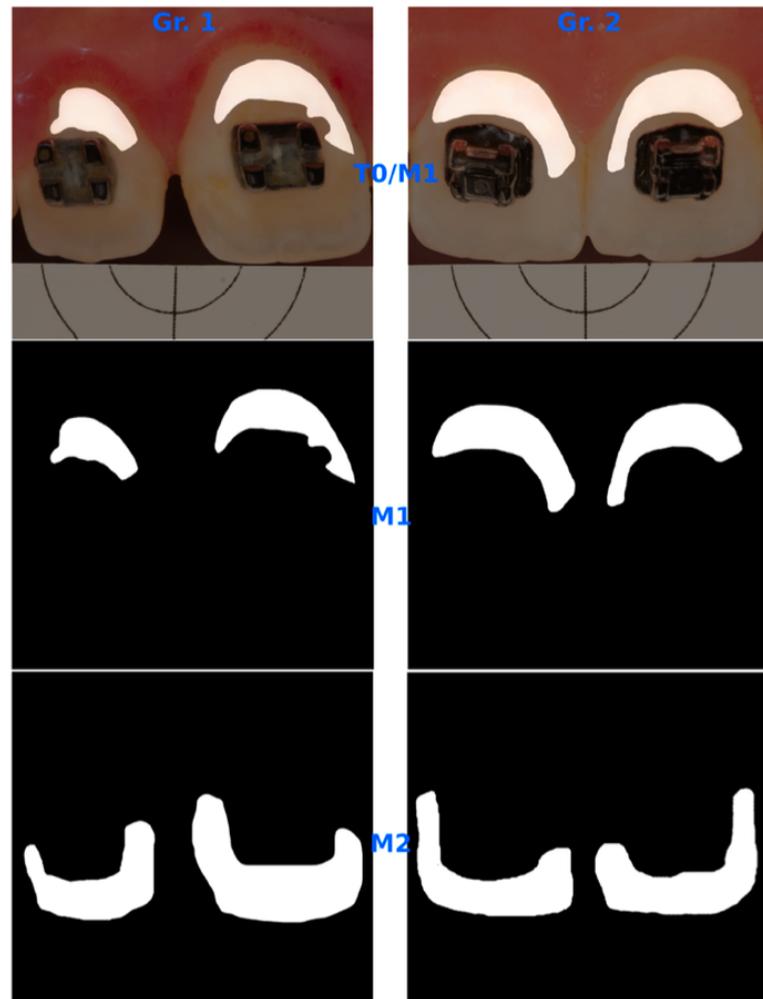
Results

Eligible participants were recruited from September 2022 to July 2023 at the Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Charité-Universitätsmedizin Berlin, and one private practice in Berlin. Interventions and follow-up visits took place from October 2022 to December 2023. Recruitment was stopped in July 2023 as the number of allocated participants ($N=38$) reached the calculated sample size.

Figure 3 shows a flowchart of the participant. Thirty-eight participants were recruited. Two participants were excluded from the study after failing to attend all follow-up appointments. Thirty-six subjects aged 12–17 years (116 teeth) were equally distributed to each group (fluoride-group: 59 teeth, Icon-group: 57 teeth).

At baseline, there were no significant differences in the demographic and clinical characteristics between the two groups, as indicated by the values presented in Table 1 (Icon ΔE_{T0} : 8.81 ± 2.17 vs. Fluoride ΔE_{T0} : 8.74 ± 3.21). At T1, the color difference between SAE and WSL showed a significant reduction in the resin infiltration group ΔE_{T1} : 5.01 ± 1.45 . These changes remained stable after six months, ΔE_{T5} : 5.19 ± 1.60 (Table 2). In the fluoride varnish group, there were no significant differences in ΔE values between baseline and one day after treatment, ΔE_{T0-T1} : 0.25 ± 0.53 , which remained stable throughout the observation period of one week, one month, three months,

Fig. 1 Images of the two black and white masks; M1 and M2, representing affected and sound enamel, respectively. Gr. 1: Icon-group, Gr. 2: Fluoride-group, T0: baseline



and six months after treatment (Table 2). At T5, a statistically significant color difference of 3.27 CIELAB units ($P < 0.001$) was observed between the infiltration group ΔE_{T5} : 5.19 ± 1.60 and the fluoride group ΔE_{T5} : 8.46 ± 3.52 (Fig. 4).

No clinically relevant changes were observed in the SAE in terms of changes in lightness (ΔL^*) and changes in the red-green (Δa^*) or blue-yellow (Δb^*) color axes (Table 3).

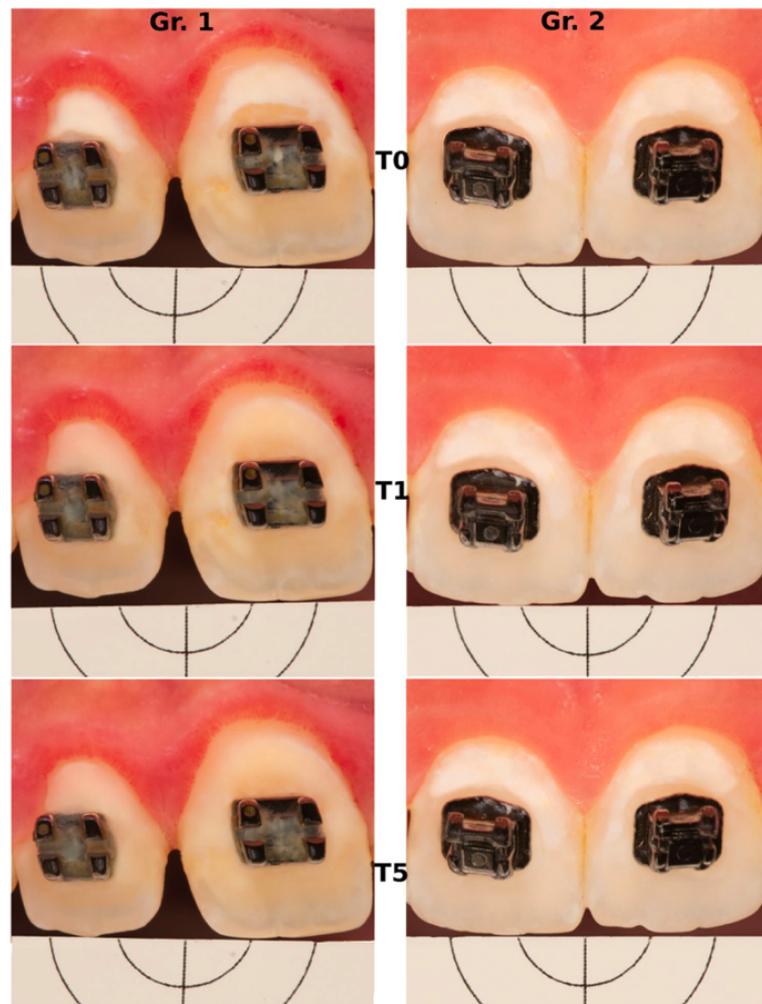
At T5, the mean ICDAS score in the resin group was 0.40, significantly lower than the fluoride group score of 1.61 ($p < 0.001$). There were no significant differences in

oral hygiene between the two groups at baseline and six months, based on the indices assessed (PSI, SBI, VPI).

Discussion

This clinical trial evaluated the short-term in vivo color stability of resin infiltration treatment in patients receiving orthodontic treatment with MBA compared to treatment with fluoride varnish. Color stability was assessed six months after treatment of WSL on 116 permanent teeth in 36 patients. Following the treatment, the resin infiltration group

Fig. 2 Images of two subjects. Gr. 1: Icon-group, Gr. 2: Fluoride-group, T0: baseline, T1: 1st day of observation, T5: 6 months later



exhibited a significant reduction in the color differences between WSL and SAE compared to the fluoride group. The color difference remained consistent at the six-month follow-up in the infiltration group, indicating excellent short-term color stability. The null hypothesis of no significant color difference $\Delta E_{\text{WSL-SAE}}$ between the infiltration and fluoride groups after six months was rejected. Our results are consistent with previous studies [12, 13, 15, 16].

Even though the SAE was also infiltrated, there were no clinically relevant color changes. This finding is in agreement with previous studies [13, 27]. The use of resin infiltration to arrest and mask WSL has been reported in several in vitro and in vivo studies. However, this type of

microinvasive WSL treatment during orthodontic treatment, although recently widely reported [28], is still not employed in everyday dental practice. In this study, patients were admitted immediately after initial diagnosis, which may be advantageous in preventing further progression of the lesions by waiting until after debonding to initiate treatment, as was done in previous studies [14, 15, 29].

Inadequate oral hygiene leading to biofilm accumulation, especially around brackets, a diet rich in refined carbohydrates, and frequent carbohydrate intake are the main factors in the development of WSL [30, 31]. This highlights the role of oral hygiene instruction, nutritional counselling and regular dental check-ups during orthodontic treatment in

Fig. 3 Flowchart of the participant. *N* number of subjects, *n* number of teeth, *T1* 1st day of observation, *T2* 1 week later, *T3* 1 month later, *T4* 3 months later

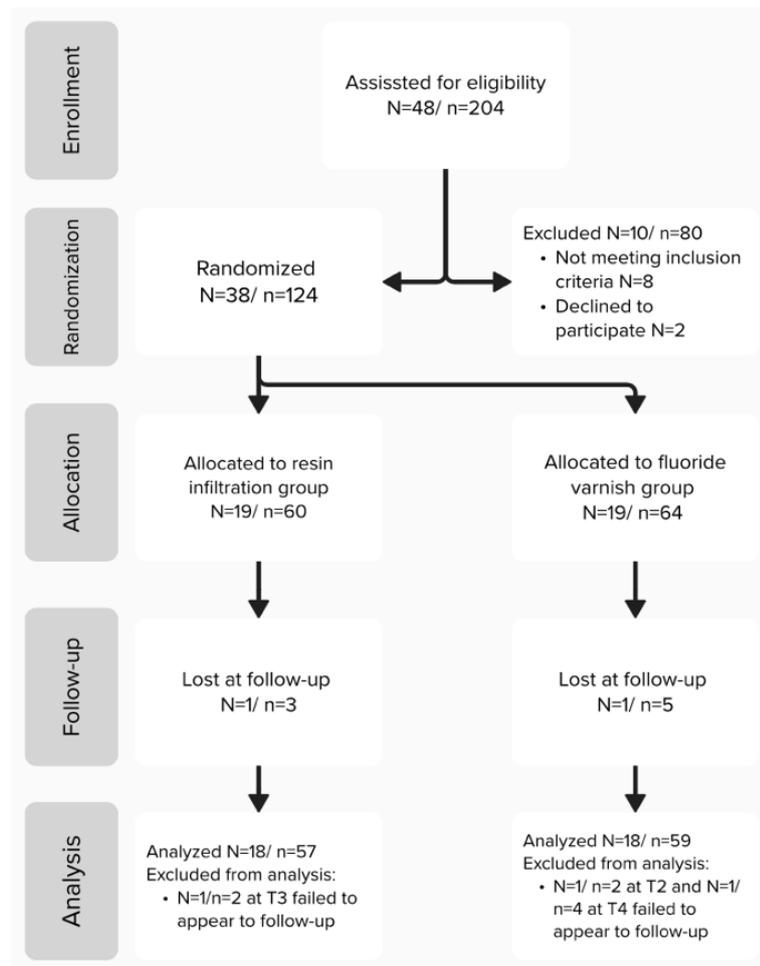


Table 1 Demographic and clinical characteristics between the two groups at baseline

		Icon (<i>n</i> = 57)	Fluoride (<i>n</i> = 59)
Age mean		14.4	14.1
Gender	Female	8	7
	Male	10	11
Localization	Upper	42	47
	Lower	15	12
ΔE mean \pm SD		8.81 \pm 2.17	8.74 \pm 3.21
ICDAS mean		1.89	1.83

n number of teeth, ΔE color difference, ICDAS International Caries Detection and Assessment System.

preventing WSL and minimizing their incidence. Although some spontaneous improvement can be expected after the removal of MBA [32], WSL still pose an aesthetic concern. A widespread practice is the treatment of WSL that occur during orthodontic treatment by local fluoridation [33]; this approach fails to address the aesthetic problem and subjects the decalcified areas to abrasion during brushing, leading to further loss of tooth structure [34].

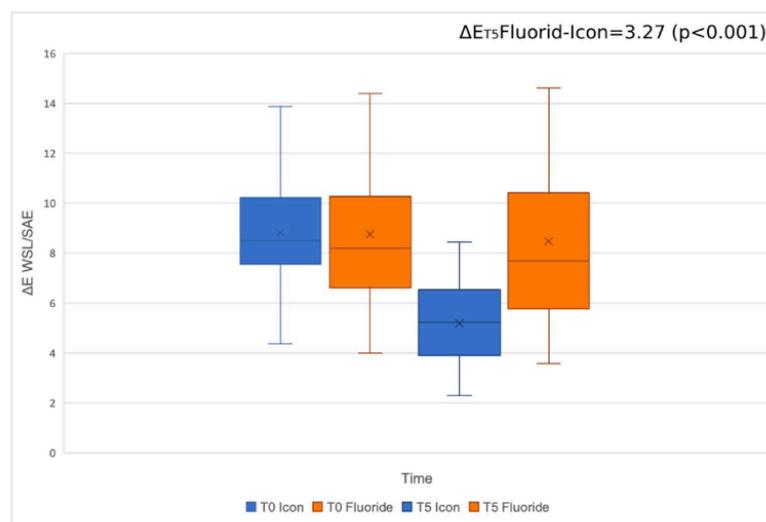
One approach to further improve the aesthetic outcome of the resin infiltration and stop the progression of WSL during orthodontic treatment with MBA could be infiltrant implementation prior to bracket removal. Evidence suggests that the earlier the treatment is initiated, the better the aesthetic outcomes [13, 35]. The present findings demonstrate that

Table 2 Development of ΔE_{00} values between white spot lesion and sound adjacent enamel in both groups

Group	Time	n	ΔE_{00} mean	SD	Time	ΔE_{00} mean	SD	P value
Icon	T0	59	8.81	2.17				
	T1	59	5.01	1.45	T0-T1	3.80	2.11	<0.001*
	T2	57	5.16	1.55	T0-T2	3.65	2.22	<0.001*
	T3	59	5.40	1.57	T0-T3	3.56	2.01	<0.001*
	T4	55	5.23	1.51	T0-T4	3.57	2.10	<0.001*
	T5	59	5.19	1.60	T0-T5	3.62	2.00	<0.001*
Fluoride	T0	57	8.74	3.21				
	T1	57	8.48	3.16	T0-T1	0.25	0.53	<0.001*
	T2	57	8.72	3.21	T0-T2	0.10	0.57	0.165
	T3	55	8.66	3.32	T0-T3	0.08	0.78	0.425
	T4	57	8.41	3.42	T0-T4	0.21	0.81	0.059
	T5	57	8.46	3.52	T0-T5	0.28	0.82	0.10

T0 Baseline, T1 1 day, T2 1 week, T3 1 month, T4 3 months, T5 6 months, n number of teeth, ΔE_{00} color difference. *P<0.05.

Fig. 4 Summarized ΔE of white spot lesion (WSL) and sound adjacent enamel (SAE) before treatment (T0) and after six months (T5). In contrast to the resin infiltration group, no significant changes were observed in the fluoride varnish group



resin infiltration can be effectively used as a minimally invasive treatment of WSL during orthodontic treatment with MBA. Furthermore, the early resin infiltration intervention would prevent the premature forced interruption of the orthodontic treatment, leading to compromised orthodontic outcomes. Long-term follow-up is required to confirm the results, as well as post-debonding evaluation to assess the overall aesthetic improvement and the implementability of such an approach in a protocol for the prevention and treatment of WSL.

Quantification techniques for analyzing WSL in dentistry encompass a variety of instruments, with colorimeters, spectrophotometers, and digital imaging systems

being the most prominent [36]. Due to its convenience, the contact photo spectrometer, exemplified by devices like the Vita Easy Shade, has gained popularity in dental research. However, it is limited to single-spot measurements within a fixed observation window, rendering it unsuitable for the discrete assessment of WSL, which often appear as irregularly shaped patches requiring differentiation from their surroundings.

Prior research related to WSL has primarily employed either digital imaging systems [12, 28, 37] or multispectral cameras [13, 15, 16]. Each approach offers distinct advantages and disadvantages. Calibrated camera systems like eLAB aim to capture consistent red, green, and blue

Table 3 Intergroup comparisons of L*, a*, b*, and ΔE_{00} values at baseline, one day and six months after treatment in both groups

Time	Parameter	Area	Icon: Mean \pm SD	Fluoride: Mean \pm SD	Mean diff	95% CI	P value	
T0	L*	WSL	76.80 \pm 7.19	76.38 \pm 8.34	0.42	-2.44–3.28	0.77	
	L*	SAE	67.02 \pm 6.01	68.37 \pm 6.28	-1.35	-3.63–0.90	0.23	
	a*	WSL	5.25 \pm 4.16	6.05 \pm 3.19	-0.8	-2.16–0.57	0.25	
	a*	SAE	6.18 \pm 3.65	5.98 \pm 2.88	0.2	-1.01–1.41	0.74	
	b*	WSL	10.97 \pm 6.85	10.91 \pm 4.76	0.06	-2.12–2.24	0.95	
	b*	SAE	14.45 \pm 7.15	14.79 \pm 6.78	-0.45	-2.90–2.22	0.79	
	ΔE	WSL/SAE	8.81 \pm 2.17	8.74 \pm 3.21	0.07	-0.94–1.07	0.89	
	T1	L*	WSL	68.36 \pm 5.95	75.80 \pm 8.79	-7.44	-9.19 to -3.67	<0.001*
L*		SAE	67.06 \pm 6.06	68.58 \pm 5.99	-1.52	-3.74–0.69	0.17	
a*		WSL	8.82 \pm 4.86	6.62 \pm 3.35	2.2	1.06–4.13	0.001*	
a*		SAE	6.12 \pm 3.43	5.89 \pm 2.84	0.23	-0.93–1.39	0.69	
b*		WSL	16.15 \pm 7.58	11.33 \pm 4.94	4.82	2.44–7.18	<0.001*	
b*		SAE	14.38 \pm 6.85	14.82 \pm 6.75	-0.44	-2.93–2.06	0.73	
ΔE		WSL/SAE	5.01 \pm 1.45	8.48 \pm 3.16	-3.47	-4.38 to -2.57	<0.001*	
ΔE T0 vs. T1		WSL/SAE	3.80 \pm 2.11	0.25 \pm 0.53	3.55	2.97–4.13	<0.001*	
T5		L*	WSL	69.59 \pm 5.70	75.45 \pm 8.77	-5.86	-8.58 to -3.14	<0.001*
		L*	SAE	66.26 \pm 10.02	68.45 \pm 6.18	-2.19	-5.30–0.93	0.16
	a*	WSL	8.74 \pm 4.94	6.43 \pm 3.42	2.31	0.73–3.88	0.004*	
	a*	SAE	5.86 \pm 3.37	5.87 \pm 2.96	-0.01	-1.18–1.15	0.97	
	b*	WSL	15.83 \pm 7.64	11.60 \pm 4.82	4.23	1.86–6.59	<0.001*	
	b*	SAE	14.02 \pm 6.84	14.77 \pm 6.88	-0.75	-3.27–1.77	0.55	
	ΔE	WSL/SAE	5.19 \pm 1.60	8.46 \pm 3.52	-3.27	-4.27 to -2.26	<0.001*	
	ΔE T0 vs. T5	WSL/SAE	3.62 \pm 2.00	0.28 \pm 0.82	3.34	2.76–3.90	<0.001*	

T0 Baseline, T1 1 day, T5 6 months, WSL white spot lesion, SAE sound adjacent enamel, L* Lightness value, a* color coordinate on the green-red axis, b* color coordinate on the blue-yellow axis, ΔE_{00} color difference. *P < 0.05.

(RGB) values over time and establish a reasonably linear relationship with the International Commission on Illumination (CIE) XYZ tristimulus values with acceptable accuracy [38]. They enable non-contact tooth color measurement at a relatively low cost and can be combined with editing tools and additional software. However, they necessitate strict adherence to a photographic protocol, demanding rigorous discipline that may not always align with the realities of research settings. On the other hand, multispectral cameras blend the advantages of imaging systems with pixel-wise spectral reflectance measurements [39]. Regrettably, the two devices most frequently mentioned in WSL-related research have been largely discontinued, leaving a void in this particular measurement modality. As a result, researchers face challenges in finding suitable instruments for the comprehensive assessment of WSL in contemporary studies.

We correlated color changes of the entire WSL using standardized digital images, whereas the other study, which reported WSL treatment during orthodontic treatment, correlated color changes at the most prominent sites within the enamel lesion [28]. Therefore, a direct comparison of the results is not possible. In addition, laser fluorescence readings were taken with DIAGNOdent. This approach was not

used in this study because it has been reported that dental materials such as infiltrants can interfere with DIAGNOdent readings, leading to incorrect interpretations. In addition, it was not always possible to measure lesions detected by visual inspection [40, 41].

A limitation of this study is that the area of SAE used as a reference was incisal, resulting in a primary color difference between the areas compared (WSL/SAE) [42]. The selection of a more adjacent area, such as the intact tooth surface under the brackets, was not possible due to the nature of the study. Although a split-mouth design is often preferred in studies of caries infiltrates following orthodontic treatment, the parallel group design was chosen for this study to avoid bias on aesthetic outcomes. In addition, for ethical reasons, it was not possible to leave the control group untreated, so both groups had to receive treatment in this trial. Furthermore, T1 was not performed on the day of treatment, but the following day to avoid color changes caused by tooth isolation and subsequent dehydration [43, 44]. A further limitation is the lack of data after debonding to evaluate the treatment outcome in the area around the bracket. Follow-up of the participants is planned after the removal of the MBA.

Conclusions

The findings suggest that:

1. Resin infiltration effectively masked the demineralization of teeth during orthodontic treatment.
2. Microinvasive WSL infiltration management during orthodontic treatment was found to be superior to topical fluoridation in enhancing the aesthetic appearance of demineralized regions around the brackets.
3. Resin infiltration did not cause clinically visible changes in the adjacent unaffected enamel.
4. The esthetic outcome of resin infiltration showed consistent durability at six months.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05695-2>.

Author contribution Y.K. contributed to the conception, design, ethics application, treatment, photographic documentation, data collection, analysis, and drafted the manuscript. S.H. contributed to the conception, design, conducted the analysis and drafted part of the manuscript. G.G. contributed to the conception, data interpretation and critically revised the manuscript. P.A. contributed to the design, treatment and data collection. M.I.W. contributed to the conception and drafted the ethics application. T.B. participated in the study's conception, design, and critically revised and edited the ethics application and manuscript. All authors read and approved the final version of the manuscript.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. No funding was received for conducting this study.

Data availability The data that support the findings of this study are openly available in figshare at <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.25584603.v1>.

Declarations

Ethics approval Ethical approval for this study was granted by the Ethics Committee 2 at Campus Virchow Clinic, Charité-University Berlin, Germany, ID: EA2/289/20. The trial was conducted in accordance with the ethical standards of the 1964 Declaration of Helsinki.

Informed consent All participants enrolled in the study received an information sheet and informed consent was obtained from all patients or legal guardians.

Competing interests The authors declare no competing interests.

Trial registration This trial was registered at the German Clinical Trials Register (DRKS-ID: DRKS00027344).

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in

the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

1. Benson P (2011) One-third of orthodontic patients receiving fixed appliances in a US graduate clinic have new iatrogenic demineralized white lesions at the end of treatment. *J Evid Based Dent Pract* 11:105–106. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2011.03.012>
2. Levin L, Samorodnitzky-Naveh GR, Machtei EE (2008) The Association of Orthodontic Treatment and Fixed Retainers With Gingival Health. *J Periodontol* 79:2087–2092. <https://doi.org/10.1902/jop.2008.080128>
3. Weyland MI, Jost-Brinkmann PG, Bartzela T (2022) Management of white spot lesions induced during orthodontic treatment with multibracket appliance: a national-based survey. *Clin Oral Investig* 26:4871–4883. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04454-5>
4. Lucchese A, Gherlone E (2012) Prevalence of white-spot lesions before and during orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod* 35:664–668. <https://doi.org/10.1093/ejo/ejs070>
5. Sharab L, Loss C, Jensen D, Kluepfer GT, Alotaibi M, Nagaoka H (2023) Prevalence of white spot lesions and gingival index during orthodontic treatment in an academic setting. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 163:835–842. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.08.023>
6. Sadyrin E, Swain M, Mitrin B, Rzhepakovsky I, Nikolaev A, Irkha V, Yogina D, Lyanguzov N, Maksyukov S, Aizikovich S (2020) Characterization of Enamel and Dentine about a White Spot Lesion: Mechanical Properties, Mineral Density. *Microstruct Molec Compos Nanomater* 10:1889. <https://doi.org/10.3390/nano10091889>
7. Angmar-Månsson B, Ten Bosch JJ (1987) Optical Methods for the Detection and Quantification of Caries. *Adv Dent Res* 1:14–20. <https://doi.org/10.1177/089593748700100106>
8. Demito CF, Vivaldi-Rodrigues G, Ramos AL, Bowman SJ (2004) The efficacy of a fluoride varnish in reducing enamel demineralization adjacent to orthodontic brackets: an in vitro study. *Orthod Craniofac Res* 7:205–210. <https://doi.org/10.1111/j.1601-6343.2004.00305.x>
9. Dénes J, Gábris K (1991) Results of a 3-year oral hygiene programme, including amine fluoride products, in patients treated with fixed orthodontic appliances. *Eur J Orthod* 13:129–133. <https://doi.org/10.1093/ejo/13.2.129>
10. Bergstrand F, Twetman S (2011) A review on prevention and treatment of post-orthodontic white spot lesions - evidence-based methods and emerging technologies. *Open Dent J* 5:158–162. <https://doi.org/10.2174/1874210601105010158>
11. Paris S, Schwendicke F, Keltch J, Dörfer C, Meyer-Lueckel H (2013) Masking of white spot lesions by resin infiltration in vitro. *J Dent* 41:e28–e34. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.04.003>
12. Senestraro SV, Crowe JJ, Wang M, Vo A, Huang G, Ferracane J, Covell DA (2013) Minimally invasive resin infiltration of arrested white-spot lesions: A randomized clinical trial. *The J Am Dental Assoc* 144:997–1005. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2013.0225>
13. Knösel M, Eckstein A, Helms H-J (2013) Durability of esthetic improvement following Icon resin infiltration of multibracket-induced white spot lesions compared with no therapy over 6 months: A single-center, split-mouth, randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 144:86–96. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.02.029>

14. Knösel M, Eckstein A, Helms H-J (2018) Long-term follow-up of camouflage effects following resin infiltration of post orthodontic white-spot lesions in vivo. *Angle Orthod* 89:33–39. <https://doi.org/10.2319/052118-383.1>
15. Gu X, Yang L, Yang D, Gao Y, Duan X, Zhu X, Yuan H, Li J (2019) Esthetic improvements of postorthodontic white-spot lesions treated with resin infiltration and microabrasion: A split-mouth, randomized clinical trial. *Angle Orthod* 89:372–377. <https://doi.org/10.2319/041218-274.1>
16. Mazur M, Westland S, Ndokaj A, Nardi GM, Guerra F, Ottolenghi L (2022) In-vivo colour stability of enamel after ICON® treatment at 6 years of follow-up: A prospective single center study. *J Dent* 122:103943. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103943>
17. Moher D, Hopewell S, Schulz KF, Montori V, Gøtzsche PC, Devereaux PJ, Elbourne D, Egger M, Altman DG (2012) CONSORT 2010 explanation and elaboration: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *Int J Surg* 10:28–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2011.10.001>
18. Shivakumar K, Prasad S, Chandu G (2009) International Caries Detection and Assessment System: A new paradigm in detection of dental caries. *J Conserv Dent* 12:10–16. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.53335>
19. Wander PA, Gordon PD (1987) Dental photography. British Dental Association, London
20. Ruiz-López J, Pulgar R, Lucena C, Pelaez-Cruz P, Cardona JC, Perez MM, Ghinea R (2021) Impact of short-term dental dehydration on in-vivo dental color and whiteness. *J Dent* 105:103560–103560. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2020.103560>
21. Hein S, Zangl M (2016) The use of a standardized gray reference card in dental photography to correct the effects of five commonly used diffusers on the color of 40 extracted human teeth. *Int J Esthet Dent* 11:246–59. (<https://www.4pointsdental.com/s/4pts-resources-IJEDe.pdf>)
22. Hashemi NS, Aghdam RB, Ghiasi ASB, and Fatemi P, (2016) Template Matching Advances and Applications in Image Analysis. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1610.07231>
23. British Standards Institute (2014) BS ISO/CIE 11664-6:2014: colorimetry. CIEDE2000 colour-difference formula
24. Mühlemann HR, Son S (1971) Gingival sulcus bleeding—a leading symptom in initial gingivitis. *Helv Odontol Acta* 15:107–113
25. Ainamo J, Bay I (1975) Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *Int Dent J* 25:229–235
26. Bengel W (2002) Früherkennung parodontaler Erkrankungen: Der Parodontale Screening Index (PSI) [Early detection of periodontal diseases: The Periodontal Screening Index (PSI)]. *Quintessenz Team-J* 32:19–23
27. Meyer-Lueckel H, Paris S, Kielbassa A (2007) Surface layer erosion of natural caries lesions with phosphoric and hydrochloric acid gels in preparation for resin infiltration. *Caries Res* 41:223–230. <https://doi.org/10.1159/000099323>
28. Wierichs RJ, Selzner H, Bourouni S, Kalimeri E, Seremidi K, Meyer-Lückel H, Kloukos D (2023) Masking-efficacy and caries arrestment after resin infiltration or fluoridation of initial caries lesions in adolescents during orthodontic treatment—A randomised controlled trial. *J Dent* 138:104713. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104713>
29. Eckstein A, Helms HJ, Knösel M (2015) Camouflage effects following resin infiltration of postorthodontic white-spot lesions in vivo: One-year follow-up. *Angle Orthod* 85:374–380. <https://doi.org/10.2319/050914-334.1>
30. Silverstone LM, Hicks MJ, Featherstone MJ (1988) Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. II. Surface morphology of sound enamel and carieslike lesions of enamel. *Quintessence Int* (Berlin, Germany: 1985) 19:773–785
31. Silverstone L, Hicks M, Featherstone M (1988) Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. Part I. The dynamic nature of enamel caries. *Quintessence Int* (Berlin, Germany: 1985) 19:683–711
32. Bock NC, von Bremen J, Klaus K, Schulz-Weidner N, Ganss C, and Ruf S, (2023) White spot lesions after fixed appliance treatment—Can we expect spontaneous long-term (≥15 years) improvement? *Eur J Orthodont* 46. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjad070>
33. Khoroushi M, Kachue M (2017) Prevention and treatment of white spot lesions in orthodontic patients. *Contemp Clin Dentist* 8:11. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_216_17
34. Wiegand A, Köwing L, Attin T (2007) Impact of brushing force on abrasion of acid-softened and sound enamel. *Arch Oral Biol* 52:1043–1047. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2007.06.004>
35. Abbas BA, Marzouk ES, Zaher AR (2018) Treatment of various degrees of white spot lesions using resin infiltration—in vitro study. *Prog Orthod* 19:27. <https://doi.org/10.1186/s40510-018-0223-3>
36. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD (2010) Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 38:e2–e16. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.07.001>
37. Kobbe C, Fritz U, Wierichs RJ, Meyer-Lueckel H (2019) Evaluation of the value of re-wetting prior to resin infiltration of post-orthodontic caries lesions. *J Dent* 91:103243. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103243>
38. Liu Z, Xiao K, Pointer MR, Liu Q, Li C, He R, Xie X (2021) Spectral Reconstruction Using an Iteratively Reweighted Regulated Model from Two Illumination Camera Responses. <https://doi.org/10.3390/s21237911>
39. Li Q, He X, Wang Y, Liu H, Xu D, Guo F (2013) Review of spectral imaging technology in biomedical engineering: achievements and challenges. *J Biomed Opt* 18:100901–100901. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.18.10.100901>
40. Markowitz K, Carey K (2018) Assessing the Appearance and Fluorescence of Resin-Infiltrated White Spot Lesions With Caries Detection Devices. *Oper Dent* 43:E10–E18. <https://doi.org/10.2341/16-153-L>
41. Hitij T, Fidler A (2008) Effect of dental material fluorescence on DIAGNOdent readings. *Acta Odontol Scand* 66:13–17. <https://doi.org/10.1080/00016350701810641>
42. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL (1997) Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater* 13:179–185. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(97\)80121-2](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(97)80121-2)
43. Russell MD, Gulfranz M, Moss BW (2000) In vivo measurement of colour changes in natural teeth. *J Oral Rehabil* 27:786–792. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2000.00610.x>
44. Hatırlı H, Karaarslan EŞ, Yaşa B, Kılıç E, Yaylacı A (2021) Clinical effects of dehydration on tooth color: How much and how long? *J Esthet Restor Dent* 33:364–370. <https://doi.org/10.1111/jerd.12612>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Komplette Publikationsliste

Publikation:

Kashash Y, Hein S, Göstemeyer G, Aslanalp P, Weyland MI, Bartzela T

Resin infiltration versus fluoride varnish for visual improvement of white spot lesions during multibracket treatment. A randomized-controlled clinical trial. Clin Oral Investig. 2024; 28:308.

Posterbeiträge:

1. Kashash Y, Hein S, Jost-Brinkmann P-G, Weyland MI, Bartzela T

Caries infiltration of white spot lesions during multibracket treatment. A randomized-controlled clinical trial

99th Congress of the European Orthodontic Society in Athens, Greece June 2024

2. Kashash Y, Hein S, Jost-Brinkmann P-G, Göstemeyer G, Bartzela T

Kariesinfiltration von White-Spot-Läsionen während der Multibracket-Behandlung. Eine randomisierte klinische Studie.

96. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie, Freiburg, September 2024

Danksagung

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. Paul-Georg Jost-Brinkmann und Frau Prof. Dr. Dr. Theodosia Bartzela für die Ermöglichung dieser wissenschaftlichen Arbeit. Besonders möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Dr. Theodosia Bartzela für ihr Vertrauen und ihre stetige Unterstützung bedanken. Weiterhin danke ich Herrn PD Dr. Gerd Göstemeyer für die Betreuung und seine kollegiale und wohlwollende Unterstützung. Herrn Dr. Konrad Neumann danke ich für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung. Ebenso gilt mein Dank Sascha Hein für die gute Zusammenarbeit.

Ganz besonderen Dank möchte ich meinen Geschwistern Firas und Kais sowie meinen Eltern für ihr Sein, ihre Unterstützung und ihre Liebe aussprechen. Abschließend danke ich meinen engen Freunden für ihre Unterstützung und ihren Rückhalt.