

Aus der Abteilung für Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie,
Charité-Centrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Medizinischen
Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Die kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen und
ihre Auswirkung auf das Parodontium dieser Zähne - eine
systematische Übersichtsarbeit

Orthodontic treatment of anterior crowding and its effect on the
incisors' periodontium - a systematic review

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Magdalena Schöne

aus Vechta

Datum der Promotion: 03.03.2023

Vorwort

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden veröffentlicht bei: Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie - Jahrestagung 2022/ 22.09.2022 (Schöne und Radlanski 2022)

Inhaltsverzeichnis

Abstrakt	IV
Abstract	VI
1. Einleitung	1
2. Material und Methodik	14
2.1. Zielsetzung der Übersichtsarbeit	14
2.2. Inklusions- und Exklusionskriterien	14
2.3. Definition der Fragestellung	15
2.4. Suchstrategie der Onlinedatenbanksuche	15
Tabelle 1: Blöcke, Suchbegriffe und Operatoren für die Datenbankrecherche	15
Tabelle 2: Probesuchdurchlauf der Blöcke, Suchbegriffe und Operatoren vom 26.02.2020	16
2.4.1. Recherche in „MEDLINE“, „Embase Classic“ und „Embase“, „Web of Science“, „Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL)“	16
2.4.2. Besonderheiten der Suche mit „Google Scholar“	17
2.4.3. Rahmenbedingungen der Onlinesuche	18
2.5. Manuelle Literaturrecherche	19
2.6. Verwaltung der Referenzen	19
2.7. Flussdiagramm der Literaturrecherche	20
2.7.1. Identifikation und Screening der Studien nach Moher et al. (2009: 3)	20
2.7.2. Prüfung der Eignung der Studien nach Moher et al. (2009: 3) und Durchsuchen der Literaturlisten (Higgins et al. 2021, Kapitel 4.3.5)	20
Abbildung 1: „PRISMA 2009 Flow Diagram (modifiziert von der Autorin)“ (Moher et al. 2009: 3)	22
2.8. Gründe für den Ausschluss von Studien im Rahmen der Volltextanalyse	23
2.9. Tabellarische Darstellung der Exklusionsgründe für Referenzen nach Volltextsichtung	25
Tabelle 3 (fortlaufend): Gründe für die Exklusion von Referenzen nach Volltextsichtung	25
3. Ergebnisse	35
3.1. Diskussion ausgewählter Studien im Kolloquium	35
Tabelle 4 (fortlaufend): Studien, die im Kolloquium diskutiert wurden	35
Abbildung 2: fehlerhafte Tabelle der Publikation von (Sirri et al. 2020)	49

Abbildung 3: korrekte Tabelle gemäß E-Mail-Korrespondenz mit Mohammad Hajeer	49
3.2. Inklusion von Studien in die Ergebnissynthese	53
3.2.1. Ergebnisse bezüglich Wurzelresorptionen nach Bansal et al. (2019)	53
3.2.2. Ergebnisse bezüglich des marginalen alveolären Knochenlevels nach Bansal et al. (2019)	54
3.2.3. Ergebnisse bezüglich der Taschensondierungstiefen nach Sirri et al. (2020)	54
3.2.4. Ergebnisse bezüglich der Gingivalindizes nach Sirri et al. (2020)	55
3.2.5. Ergebnisse bezüglich der Breite der keratinisierten Gingiva nach Sirri et al. (2020)	55
3.3. Studienregistereinträge noch nicht veröffentlichter Studien	56
Tabelle 5 (fortlaufend): Studienregistereinträge noch nicht veröffentlichter Studien	56
4. Diskussion	60
4.1. Zusammenfassung der Studienergebnisse	60
4.2. Schwächen der in die Ergebnissynthese inkludierten Studien	61
4.2.1. Fehlende unbehandelte Kontrollgruppe	61
4.2.2. Parodontale Strukturen nicht als Primärergebnisse untersucht	62
4.2.3. Kürze der Untersuchungszeiträume	62
4.2.4. Richtung der Zahnbewegung nicht definiert	62
4.2.5. Parameter der röntgenologischen Untersuchung	67
4.3. Weitere Reviews mit thematischen Überschneidungen	69
4.4. Zukünftig wünschenswertes Studiendesign	72
4.5. Resümee	74
5. Literaturverzeichnis	76
6. Eidesstattliche Versicherung	100
7. Lebenslauf	101
8. Publikationsliste	102
9. Danksagung	103
10. Bescheinigung Statistik	104

Abstrakt

Ziel: Durchführung einer systematischen Literaturrecherche und Erstellung einer Übersichtsarbeit bezüglich des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstands zur Auswirkung einer kieferorthopädischen Therapie von Frontzahnengständen auf das Parodontium dieser Zähne bei Patient*innen mit einer vollständigen permanenten Dentition. Material und Methodik: Inklusionskriterien: Prospektive, kontrollierte, klinische Studien in deutscher oder englischer Sprache mit mindestens 10 Proband*innen pro Studiengruppe mit Fronzahnengständen im permanenten Gebiss; Durchführung einer kieferorthopädischen Therapie; Untersuchung parodontaler Veränderungen im Bereich der Inzisiven. Exklusionskriterien: Zahnextraktionen; fehlende Zähne; kein vollständiges permanentes Gebiss bis einschließlich der Sechsjahrmolaren; inhomogene Studiengruppen mit Patient*innen im Wechsel- oder Milchgebiss; Tierstudien; mangelhafte Beschreibung des Studiendesigns. Die Recherche umfasste Suchen in Onlinedatenbanken („MEDLINE“; „Embase“; „Web of Science“; „Google Scholar“; „Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL)“), eine manuelle Literaturrecherche in Journals („Periodontology 2000“, „American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics“) sowie eine Querverweissuche in den Literaturverzeichnissen der im Kolloquium diskutierten Studien. Von 21578 gefundenen Referenzen verblieben nach Duplikatentfernung 12135. Nach Sichtung der Abstracts sowie Volltextanalyse 226 eventuell relevanter Studien wurde die finale Inklusion von Studien in die Ergebnissynthese dieses Reviews im Diskurs¹ entschieden. Ergebnisse: 23 Referenzen wurden im Kolloquium diskutiert. Davon wurden 12 unveröffentlichte Registereinträge vorläufig bewertet. 2 der 11 bereits veröffentlichten Studien wurden in die qualitative Synthese inkludiert. Beide Studien weisen jedoch Eigenschaften auf, die die abschließende Beantwortung der Fragestellung dieses Reviews anhand ihrer Ergebnisse unmöglich machen: Fehlende unbehandelte Kontrollgruppe; Kürze der Untersuchungszeiträume; undefinierte Richtung der Zahnbewegung; Veränderungen der parodontalen Strukturen lediglich als Sekundärergebnisse untersucht. Schlussfolgerung: Von mehr als 12000 gefundenen Studien beantwortet nach Anlegung strenger Kriterien schließlich keine, welchen Langzeiteffekt die kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen im permanenten Gebiss auf das Parodontium dieser Zähne hat.

¹ mit Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski

Deshalb sind kieferorthopädisch tätige Kolleg*innen aktuell weiterhin darauf angewiesen aus ihrem biologischen und parodontologischen Grundwissen heraus deduktiv zu schließen, ob und wann es zum Erhalt der parodontalen Strukturen des Frontzahnbereichs notwendig ist, die Entwicklung von Zahnengständen zu vermeiden, zu therapieren und darauffolgend zu retinieren. Zur Beantwortung der Fragestellung bedarf es mehr prospektiver, kontrollierter, klinischer Studien mit größeren Gruppen und längerer Nachuntersuchungszeiträume.

Abstract

Objectives: Implementation of a systematic literature research and generation of a systematic review of the current scientific knowledge on the effect of orthodontic treatment of anterior crowding on the incisors' periodontium in patients with a complete permanent dentition. Materials and methods: Inclusion criteria: prospective, controlled, clinical trials with a minimum of 10 study participants per group with incisor crowding in the permanent dentition; examination of the treatment effect on the incisors' periodontium; written in German or English. Exclusion criteria: tooth extractions; missing teeth; no complete permanent dentition including the first molars; inhomogeneous trial groups with subjects in the mixed or deciduous dentition; animal studies; insufficient description of the study design. The research was done via online databases ("MEDLINE"; "Embase"; "Web of Science"; "Google Scholar"; "Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL)"). A manual literature research was carried out in scientific journals ("Periodontology 2000"; "American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics"). Cross-referencing was done by searching through the reference-lists of all trials that were discussed about in the colloquium. All in all, 21578 references were found, of which 12135 references were left after removing duplicates. After scanning of the abstracts and full-text-analysis of 226 possibly relevant references, final decision on inclusion of study results in the synthesis of this review was made in a scientific discourse². Results: 23 references were disputed in the colloquium. Of these, 12 trial registry records were evaluated preliminarily. Two of the 11 published studies were included for qualitative synthesis. Yet, both studies exhibit some characteristics, that make it impossible to give a final answer to the initial question of this review, based on their results: lacking untreated control group; brevity of the evaluation period; undefined direction of the tooth movements; periodontal parameters, being only secondary examination parameters. Conclusions: After the application of strict criteria, it became apparent, that none of more than 12000 evaluated studies could give a scientifically profound answer to the research question of this review. For this reason, orthodontists are currently still dependent on using their basic biological and periodontological expertise to deductively conclude whether and when it is necessary to avoid the development of incisor crowding, to orthodontically treat this tooth malposition and to

² with Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski

retain the treatment results in order to preserve the periodontal structures of the anterior tooth area. To answer the research question of this review, more prospective, controlled, clinical trials with bigger group sizes and longer evaluation periods need to be conducted.

1. Einleitung

Seit langer Zeit wird die menschliche Zahnstellung von einer Vielzahl von Naturwissenschaftler*innen untersucht und über ihr Zusammenspiel mit dem gesamten stomatognathen System diskutiert. Bereits in den hippokratischen Schriften wird ein Zusammenhang zwischen transversaler Enge des Gaumens und Unregelmäßigkeiten von Zähnen beschrieben (Smith 1994: 219).

Nahezu zwei Jahrtausende später, im Jahre 1796, untersuchte auch Johann Wolfgang von Goethe (1982) im Rahmen seiner naturwissenschaftlichen Forschungstätigkeit das Entstehen von Körperformen und beschäftigte sich intensiv mit der Auffassung und Bedeutung von Morphologie. Seine auf den Formenunterschieden verschiedener Lebewesen begründete Lehre der idealistischen Morphologie stellt als frühe Evolutionstheorie keine naturwissenschaftliche Erklärung der anatomischen Formgebung im heutigen Sinne dar, zeigt jedoch, dass über die Entstehung anatomischer Form- und Positionsunterschiede bereits im 18. Jahrhundert sinniert wurde. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts publizierte Goethe die Ergebnisse seiner Untersuchungen des menschlichen Gaumens aus dem Jahre 1784 und die damit verbundene Entdeckung des Zwischenkieferknochens und somit auch der anatomischen Entstehungsregion der Frontzähne des Oberkiefers. Diese Entdeckung hatte er Herder bereits im März 1784 in einem Brief mit den Worten: *„Ich habe gefunden – weder Gold noch Silber, aber was mir eine unsägliche Freude macht, [...] das os intermaxillare am Menschen!“* (Goethe 1877: 130) mitgeteilt. Eine funktionelle Betrachtung der strukturellen Entwicklung des Frontzahnbereichs oder von Zahnfehlstellungen und damit verbundener parodontaler Strukturen findet sich in den goetheschen Schriften jedoch nicht.

Fast 150 Jahre später, im Jahre 1941, beschrieb Charles Tweed (1941: 52), dass er bei Patient*innen mit bialveolären Protrusionsstellungen von Zähnen häufig Rezidive und einen damit nicht selten verbundenen Rückgang von Hart- und Weichgewebe beobachtet habe. Darauffolgend fand Hans Georg Sergl (1970) fast 30 Jahre später hingegen keinen Zusammenhang zwischen Frontzahnengständen und entzündlichen Veränderungen der Gingiva oder erhöhten Sondierungstiefen der Zahnfleischtaschen im Bereich der Frontzähne. Allerdings gab Sergl an, dass die Proband*innen in seiner Studie zu 80% aus Student*innen bestanden hätten und das Ergebnis durch eine überdurchschnittlich gute Mundhygiene verzerrt worden sein könnte. Auch Geiger et al. (1974; 1976)

untersuchten in den 1970er Jahren die Korrelation von parodontalen Erkrankungen, Zahnstellungen und Okklusion. Bei 516 erwachsenen Patient*innen, bei denen keine vorherige parodontale oder kieferorthopädische Therapie durchgeführt worden war, setzten sie unterschiedliche Okklusionsparameter und parodontale Befunde zueinander in Relation. Im Rahmen der Publikation von 1974 fanden sie keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Engständen der Inzisiven und parodontalen Erkrankungen (Geiger et al. 1974: 44). Im Zuge ihrer Studie von 1976 fanden sie zwar ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen reduziertem Parodontalgewebe und Fronzahninklination, jedoch einen signifikanten Zusammenhang zwischen Retroinklination der unteren Inzisiven mit einem „*incisor mandibular plane angle*“ (Tweed 1966: 31-82, zitiert nach Tweed 1969: 653) von unter 85° und dem Vorkommen labialer Rezessionen (Geiger und Wasserman 1976: 105).

Bei Studienteilnehmer*innen mit insgesamt geringem Plaquevorkommen, bis maximal ein Drittel der Zahnoberfläche bedeckend, fanden Griffiths und Addy (1981) eine signifikante Korrelation zwischen Kontaktpunktabweichungen in den anterioren Kiefersegmenten und dortiger Plaqueakkumulation. Unabhängig von der Zahnstellung, habe im unteren anterioren Kiefersegment stets mehr Plaqueakkumulation vorgelegen, als im maxillären anterioren Bereich. Des Weiteren beschrieben Hörup et al. (1987) sechs Jahre darauffolgend, dass bei 499 untersuchten erwachsenen Patient*innen ein signifikanter Zusammenhang zwischen Zahnengständen und gingivaler Entzündung bestanden habe. Dagegen fanden Artun et al. (1987) im Zuge einer retrospektiven Studie mit 400 Patient*innen, nachuntersucht mindestens 16 Jahre nach kieferorthopädischer Therapie, wiederum keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Wurzelproximität von Zähnen und erhöhten Entzündungsindizes oder verringertem interdentalen Knochenangebot. Ein Jahr später beschrieben Heins et. al (1988) ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen einem interradiikulären Zahnengstand und Knochenabbau bei Parodontitispatient*innen, hingegen aber eine signifikante Korrelation zwischen vergrößerten interradiikulären Abständen und weiter apikal liegenden krestalen interdentalen Knochenbereichen im Rahmen ihrer Untersuchungen vorgefunden zu haben. Bezüglich des Effektes von Zahnbewegungen auf das Parodontium veröffentlichten Melsen et al. (1988) im selben Jahr die Ergebnisse einer histologischen Tierstudie an Affen. Im Zuge dieser waren intrusive Zahnbewegungen mit parodontalhygienischer Intervention kombiniert worden. Die Autor*innen fanden heraus, dass orthodontische Zahnintrusionen die Entstehung von neuem parodontalen

Attachment verstärken können und dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen Hygienemaßnahmen, Intrusionsbewegungen und dem Entstehen neuen Attachments besteht. Im darauffolgenden Jahr veröffentlichten Jensen und Solow (1989) eine Studie, im Rahmen derer 27 erwachsene Parodontitispatient*innen bezüglich des knöchernen alveolären Levels zwischen mandibulären Frontzähnen untersucht wurden. Im Rahmen eines „split-mouth“-Designs wurde die vertikale interdendale Knochenhöhe zwischen Zähnen gemessen, die einen Engstand von über 2 mm aufwiesen und mit kontralateralen Zähnen, welche weniger als 2 mm Engstand aufwiesen, verglichen. Es bestand hier nun ein statistisch höchstsignifikanter Zusammenhang zwischen Frontzahnengständen und reduziertem vertikalen Knochenlevel von durchschnittlich -1,7 mm bei einem Signifikanzlevel von $p < 0.001$.

In den 1990er Jahren veröffentlichte Margaret Richardson (1995a; b; 1996; 1997; 1998; 1999) eine Reihe von Untersuchungen zur Entstehung tertiärer Zahnengstände im Unterkiefer. So fand Richardson (1995a) im Rahmen einer Nachuntersuchung von 50 im Unterkiefer kieferorthopädisch unbehandelten Patient*innen, welche bereits bei der Erstuntersuchung eine permanente Dentition bis einschließlich der zweiten Molaren aufwiesen, 5 Jahre nach dieser, im Rahmen der Zweituntersuchung, eine Progredienz unterer Zahnengstände um durchschnittlich 2,63 mm bei männlichen und 2,06 mm bei weiblichen Patient*innen. Es fand sich keine signifikante Korrelation zwischen Verstärkung der unteren Engstände und Änderung der transversalen Breite der Zahnbögen oder Kieferbasen. Die Breite der Zahnbögen war als Abstand der unteren Eckzahnspitzen auf Gipsmodellen, die mandibuläre Breite als Abstand der Antegonia auf frontalen kephalometrischen Röntgenaufnahmen gemessen worden.

Die im voranstehenden Abschnitt dieser Einleitung genannten Veröffentlichungen haben mit vielen weiteren Publikationen aus vergangener und aktueller Zeit gemeinsam, dass primär das Auftreten und die Progredienz von Frontzahnengständen untersucht wurden, während keine genaue Untersuchung der Veränderungen des knöchernen und faserigen Bindegewebes oder Mikromilieus der Alveolen beschrieben wurde.

Ihlow et al. (2004) demonstrierten zu Beginn des neuen Jahrtausends anhand eines biomechanischen Modells die Komplexität von Kontaktpunktabweichungen der Frontzähne und in Folge derer die Entstehung einer progredienten Instabilität des anterioren Zahnbogens, denn der Zahnbogen stelle „eine Reihenschaltung von labilen dimeren Gelenkketten dar“ (Ihlow et al. 2004: 8). Beim Auftreten einer nach mesial

gerichteten Kraft im Zahnbogen entstehe eine Kompression der beidseitig konvexen Approximalfächen. Dadurch komme es zu einer Veränderung der Zahnstellung in Form der Entstehung eines Engstandes, da die instabil aufeinandertreffenden Gelenkflächen voneinander ab- und aneinander vorbeigleiten (Ihlow et al. 2004: 5-6).

Im selben Jahr veröffentlichten Stauer und Landmesser (2004) ihre im Rahmen von Momentaufnahmen gewonnenen Daten bezüglich des Zusammenhangs zwischen Frontzahnengständen und Sulkusblutungsindizes, Taschensondierungstiefen sowie dem Vorkommen gingivaler Rezessionen. Sie untersuchten 125 volljährige Patient*innen mit Unterkieferfrontzahnengständen ab 0,5 mm. Als Einschlusskriterien waren außerdem eine vollständige Dentition im mandibulären Front-, Eckzahnbereich, eine stabil abgestützte Verzahnung im Seitenzahnbereich sowie ein guter Mundhygienezustand im Bereich der mandibulären Inzisiven definiert worden. Es fand sich bezüglich der Ausprägung der Frontzahnengstände ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen Patient*innen, bei denen keine durch Taschensondierung provozierte Sulkusblutung verzeichnet wurde und Patient*innen, bei denen eine Blutung nach Sondierung auftrat. Patient*innen mit geringeren Frontzahnengständen wiesen demnach einen geringeren Wert für den Sulkusblutungsindex auf als Patient*innen mit ausgeprägteren Engständen. Im Mittel habe die Ausprägung der Frontzahnengstände bei Patient*innen ohne Auftreten einer Sulkusblutung nach Sondierung 1,7 +/- 0,7 mm und bei Patient*innen mit Auftreten einer gingivalen Blutung nach Taschensondierung 3,7 +/- 2,2 mm betragen. Beim direkten Vergleich zwischen 31 Patient*innen, die geringe Frontzahnengstände von 0,5 mm bis 2 mm vorwiesen und 30 Patient*innen, bei denen ausgeprägte Engstände von über 5 mm vorlagen, habe sich jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich des Auftretens von gingivalen Sulkusblutungen nach Taschensondierung ergeben. Im Rahmen dieses Untergruppenvergleichs traten Taschensondierungstiefen von über 3,5 mm hingegen hochsignifikant häufiger bei Patient*innen mit Frontzahnengständen von über 5 mm als bei Patient*innen mit Engständen zwischen 0,5 mm und 2 mm auf. Gingivarezessionen von über 3,5 mm traten sogar höchstsignifikant häufiger bei Patient*innen mit Frontzahnengständen von über 5 mm als bei Patient*innen mit Engständen zwischen 0,5 mm und 2 mm auf .

Abu Alhaja und Al-Wahadni (2006) beschrieben zwei Jahre später hingegen, dass sie im Rahmen einer Untersuchung des Unterkieferfrontzahnbereichs von 80 Schüler*innen keine signifikante Korrelation zwischen Frontzahnengständen und vergrößerten

Taschensondierungstiefen, erhöhten Gingivalindizes oder verringertem alveolären Knochenlevel vorgefunden haben.

Im selben Jahr veröffentlichten Ngom et al. (2006) ebenfalls die Ergebnisse einer Studie bezüglich des Zusammenhangs zwischen anterioren Zahnengständen und parodontalen Befunden. Sie untersuchten 101 Zahnmedizinstudent*innen und -lehrende, welche eine vollständige Dentition im Bereich der anterioren Sechstanten, eine gute Mundhygiene sowie keine Mundatmung aufwiesen, außerdem Nichtraucher, nicht schwanger und nicht an Diabetes erkrankt waren. Während im Oberkiefer keine Korrelation zwischen Frontzahnengständen und veränderten parodontalen Werten vorgefunden wurde, beschrieben die Autor*innen dieser Studie hingegen wiederum eine signifikante Korrelation zwischen mandibulären Frontzahnengständen und parodontalen Parametern. Diese sei für mandibuläre Frontzahnengstände und erhöhte Gingivalindizes höchstsignifikant, für erhöhte gingivale Blutungsindizes hochsignifikant und für klinischen Attachmentverlust und erhöhte Taschensondierungstiefen signifikant gewesen.

Etwa zur selben Zeit widmeten sich die Forschenden Erkan, Pikdoken und Usumez (2007; 2009) der Untersuchung des Effekts einer kieferorthopädischen Frontzahnintrusion oder -extrusion auf das Parodontium. Im Rahmen ihrer im Jahre 2007 veröffentlichten Studie untersuchten sie 16 jugendliche Patient*innen, bei denen die unteren Frontzähne durch Segmentbogentechnik intrudiert wurden und verglichen parodontale Messwerte vor und nach der Therapie. Sie observierten eine signifikante Verkürzung der klinischen Kronenlänge sowie eine signifikante Verkürzung des Abstandes der Inzisalkanten von der mukogingivalen Grenze, während die Gingivalindizes, die Taschensondierungstiefen, die Werte für gingivale Blutung nach Sondierung, die klinischen Attachmentlevel, die Breite der keratinisierten Gingiva und die Breite der befestigten Gingiva sich vor und nach der Therapie nicht signifikant unterschieden. Zwei Jahre später veröffentlichten sie im Rahmen eines ähnlichen Studienaufbaus mit 10 Patient*innen gewonnene Daten, bei denen die unteren Frontzähne durch Segmentbogentechnik extrudiert worden waren. Während abermals keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten der Gingivalindizes, der gingivalen Blutung nach Sondierung sowie der klinischen Attachmentlevel vor und nach der Therapie gefunden wurden, observierten sie eine signifikante Verringerung der Taschensondierungstiefen, eine signifikante Verbreiterung der keratinisierten und der befestigten Gingiva, sowie eine signifikante Vergrößerung des Abstandes der Inzisalkanten von der mukogingivalen Grenze. Die Autor*innen kommen,

basierend auf ihren Studienergebnissen, zu dem Schluss, dass die parodontalen Strukturen der induzierten Zahnbewegung teilweise folgen.

Im selben Zeitraum veröffentlichten Thornberg et al. (2009) ihre Ergebnisse der Untersuchung von 190 jugendlichen Patient*innen bezüglich des subgingivalen Vorkommens parodontaler Pathogene vor, während und nach einer Behandlung mit festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen. Während 6 Monate nach Einsetzen der Apparaturen eine statistisch signifikante Erhöhung der Pathogenlevel für *Prevotella intermedia*, *Tannerella forsythia*, *Eikenella corrodens*, *Fusobacterium nucleatum*, *Treponema denticola* sowie *Campylobacter rectus* im Vergleich zu den Werten vor der Therapie observiert wurde, beschreiben die Autor*innen, dass 12 Monate nach Einsetzen der kieferorthopädischen Apparaturen die vorgefundenen Pathogenlevel für *Eikenella corrodens*, *Fusobacterium nucleatum*, *Treponema denticola* sowie *Campylobacter rectus* statistisch signifikant geringer als vor der Therapie gewesen seien. Die Autor*innen stellen auf Basis ihrer Ergebnisse die Hypothese auf, dass eine kieferorthopädische Therapie mit festsitzenden Apparaturen möglicherweise protektive Effekte bezüglich der Vermehrung von Parodontalpathogenen habe.

Etwas später veröffentlichten Gauthier et al. (2011) ihre Untersuchungsergebnisse bezüglich der Auswirkungen einer Therapie mittels chirurgisch unterstützter Gaumennahterweiterung auf das Parodontium von 14 Patient*innen. Untersucht wurden neben Taschensondierungstiefen, Breite der keratinisierten Gingiva, Attachmentlevel, gingivalen Rezessionen, Zahnbeweglichkeit, Blutung nach Sondierung und Furkationsbefunden auch die knöchernen maxillären alveolären Verhältnisse mittels dreidimensionaler Volumetomographie vor der Behandlung und 6 Monate nach aktiver Expansion. Es wurde keine signifikante Veränderung des Attachmentlevels im Bereich der mittleren Schneidezähne beobachtet. Auch die Breite der befestigten Gingiva sowie die Höhe des krestalen interdentalen Knochenlevels zwischen den zentralen Inzisiven habe sich nicht signifikant verändert, während die Zahnbeweglichkeit sich in regio der Zähne 11 und 21 signifikant verstärkte. Auffällig erscheint, dass bei 11 von 14 Patient*innen die Interdentalpapille zwischen den Zähnen 11 und 21 sechs Monate nach Operation und Expansion nicht mehr vorhanden gewesen sei.

Ein Jahr später veröffentlichten Uysal et al. (2012) die Ergebnisse einer Studie, im Rahmen derer sie 125 dreidimensionale volumetomographische Aufnahmen von Patient*innen mit milden, mittleren oder ausgeprägten Frontzahnengständen gemäß dem

"Irregularitätsindex [Übersetzung durch die Autorin]" (Little 1975: 554) ausgewertet und bezüglich der vorliegenden knöchernen Strukturen verglichen haben. Für männliche Patienten wurde zwischen solchen mit geringen, mittleren und ausgeprägten Frontzahnengständen kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Höhe und Dicke der mandibulären Symphyse sowie der Höhe und Breite des spongiösen Alveolarknochens vorgefunden. Bei weiblichen Patientinnen observierten die Autor*innen hingegen einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen mit verschiedenen Ausprägungsgraden von Frontzahnengständen. Hier zeigte sich, dass Patientinnen mit ausgeprägten Frontzahnengständen im Vergleich zu Patientinnen mit milden Frontzahnengständen eine statistisch signifikant geringere Höhe des spongiösen Alveolarknochens sowie eine statistisch signifikant schmalere vestibuläre spongiöse Knochenschicht im Bereich der mandibulären Inzisiven aufwiesen.

Jäger (2015) untersuchte im Rahmen seiner Dissertationsarbeit retrospektiv prä- und posttherapeutische dentale volumetomographische Aufnahmen von 43 Patient*innen im Alter zwischen 13 Jahren und 5 Monaten bis 56 Jahren und 9 Monaten. Als Einschlusskriterien waren unter anderem das Vorliegen einer prätherapeutischen Aufnahme ohne vorherige kieferorthopädische Behandlungsmaßnahme, das Vorliegen einer posttherapeutischen Aufnahme nach der kieferorthopädischen Behandlung einschließlich mindestens 3 Monaten Retentionsphase, eine kieferorthopädische Behandlungsdauer von mindestens 12 Monaten mittels Multibracketapparat sowie initial das Vorliegen keiner oder lediglich leichter Engstände definiert worden. Die Auflösung der Röntgenaufnahmen musste bei einer Voxelgröße von 0,25 mm³ oder kleiner liegen. Zur Messung der alveolären Knochenverhältnisse wurden die Zähne reproduzierbar in der jeweiligen axialen, koronalen oder sagittalen Ansicht positioniert. Die vertikale marginale Knochenhöhe, gemessen als Abstand zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem krestalen alveolären Knochenrand im Sagittalschnitt, sei im Ober- und Unterkieferfrontzahnbereich auf den posttherapeutischen Aufnahmen im Vergleich zu den prätherapeutischen Aufnahmen sowohl bukkal als auch oral höchstsignifikant geringer gewesen. Auch die vestibuloorale marginale Knochenbreite, gemessen 5 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze im Sagittalschnitt, habe sich über den Therapiezeitraum im Ober- und Unterkieferfrontzahnbereich sowohl bukkal als auch oral höchstsignifikant verringert. Die vestibuloorale marginale Knochenbreite, gemessen 10 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze im Sagittalschnitt, habe sich über den Therapiezeitraum im Ober- und Unterkieferfrontzahnbereich oral höchstsignifikant,

bukkal im Oberkieferfrontzahnbereich ebenfalls höchstsignifikant, bukkal im Unterkieferfrontzahnbereich hochsignifikant verringert.

Auch Garlock et al. (2016) untersuchten den marginalen Alveolarknochen im Bereich der anterioren Mandibula auf dreidimensionalen volumetomographischen Aufnahmen von 57 Patient*innen vor und nach kieferorthopädischer Therapie mittels festsitzender Apparatur. Die röntgenologischen Messungen wurden an im Sagittal-, Koronal-, und Axialschnitt standardisierten, in jedem Schnitt mittig durch den rechten mittleren Inzisivus verlaufenden Ansichten bewertet und prä- und posttherapeutische Aufnahmen miteinander verglichen. So wurde die marginale Knochenhöhe im Sagittalschnitt als Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zu krestaler vestibulärer sowie lingualer Alveolarknochenkante im Bereich des Zahnes 41 gemessen. Im Durchschnitt observierten die Autor*innen bei Vergleich der prätherapeutischen mit den posttherapeutischen Aufnahmen auf letzteren einen Knochenabbau. Vestibulär lag der horizontale Knochenrückgang bei durchschnittlich -1,12 mm, lingual bei durchschnittlich -1,33 mm. Die Streuung der Ergebnisse war jedoch erheblich und lag bei den vestibulären Messungen zwischen 4 mm Knochenauf- und 8,8 mm Knochenabbau, bei den lingualen Messungen zwischen 5,6 mm Knochenauf- und 8,8 mm Knochenabbau.

Im selben Jahr veröffentlichte Wallner (2016) im Rahmen der "SHIP-0-Studie" durch Regressionsanalysen gewonnene Daten zum Zusammenhang zwischen Frontzahnengständen und parodontalem Attachmentverlust. Im Rahmen dieser groß angelegten Bevölkerungsstudie wurden diesbezüglich die Untersuchungsergebnisse von 2208 erwachsenen Patient*innen im Alter zwischen 20 und 59 Jahren zueinander in Relation gesetzt. Es fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Frontzahnengständen rechts im Bereich des Unterkiefers und parodontalem Attachmentverlust, bezogen auf das gesamte Gebiss, bei einem Signifikanzlevel von $p=0.017$. Es habe sich hingegen kein signifikanter Zusammenhang zwischen Frontzahnengständen und Attachmentverlust spezifisch im Frontzahnbereich gezeigt. Ausgeprägte Frontzahnengstände zwischen 3 und 5 mm korrelierten im Oberkiefer sowohl spezifisch im Frontzahnbereich als auch bezogen auf das gesamte Gebiss statistisch hochsignifikant mit erhöhten Taschensondierungstiefen.

Zwei Jahre später veröffentlichten Zoizner et al. (2018) eine retrospektive Studie, im Rahmen derer sie die vertikale marginale Knochenhöhe im Seitenzahnbereich von 34 kieferorthopädisch behandelten und 29 alters- und geschlechtsspezifisch kongruenten,

kieferorthopädisch unbehandelten Patient*innen auf Bissflügelaufnahmen verglichen haben. Der Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zur krestalen marginalen Knochenkante wurde für die kieferorthopädisch behandelten Patient*innen auf prä- und posttherapeutischen Aufnahmen gemessen, für die unbehandelte Kontrollgruppe auf zwei Aufnahmen, deren Erstellungsdatum mindestens 2 Jahre auseinander lag. Sie fanden keinen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der durchschnittlichen Veränderungen der Knochenhöhe im Seitenzahnbereich beim Vergleich der Röntgenaufnahmen der kieferorthopädisch behandelten und der kieferorthopädisch unbehandelten Patient*innen. Während sich in beiden Gruppen durchschnittlich ein vergrößerter Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zum krestalen Knochenlevel, interpretiert als Knochenabbau, auf der aktuelleren im Vergleich zur älteren Röntgenaufnahme zeigte, gaben die Autor*innen an, dass sich bei einigen Patient*innen wiederum ein verkürzter Abstand gemäß einem Knochenaufbau gezeigt habe. Die Autor*innen kommen zu dem Schluss, dass eine kieferorthopädische Zahnbewegung nicht unbedingt einen parodontalen Attachmentverlust nach sich zieht.

Ebenfalls aus den Daten der „SHIP-0-Studie“ durch Regressionsanalysen gewonnene Erkenntnisse bezüglich des Zusammenhangs zwischen Frontzahnengständen und parodontalen Parametern veröffentlichten Bernhardt et al. (2019) ein Jahr später. So wurden die Untersuchungsergebnisse von 1202 Patient*innen bezüglich des Zusammenhangs zwischen Frontzahnstellung, Taschensondierungstiefen und dem Level des parodontalen Attachments zueinander in Relation gesetzt. Frontzahnengstände lagen im untersuchten Kollektiv bei 763 Patient*innen vor. Es fand sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Frontzahnengständen oder lückenhaften Frontzahnstellungen und vergrößerten oder verkleinerten Taschensondierungstiefen. Es fand sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Frontzahnengständen und parodontalem Attachmentverlust, hingegen jedoch ein höchstsignifikanter Zusammenhang zwischen lückenhafter Zahnstellung im Frontzahnbereich und reduziertem Attachmentlevel bei einem p-Wert von 0.0009. Die Autor*innen dieser Veröffentlichung kommen zu dem Schluss, dass Frontzahnengstände als Risikofaktor für die Entwicklung von Parodontalerkrankungen in der Vergangenheit überschätzt worden sein könnten.

Im selben Jahr veröffentlichten Öz und Küçükeşmen (2019) die Ergebnisse ihrer Untersuchung von 534 jugendlichen Patient*innen im Alter zwischen 12 und 14 Jahren

bezüglich des Zusammenhangs zwischen Frontzahnengständen und Parodontalerkrankungen. Sie observierten wiederum eine signifikante Korrelation zwischen stärkeren Ausprägungsgraden von Frontzahnengständen und verstärkter gingivaler Entzündung.

Han et al. (2019) untersuchten im Rahmen einer retrospektiven Studie den Einfluss einer kieferorthopädischen Therapie mittels festsitzender Multibracketapparatur auf das Parodontium von Patient*innen in einem Alter zwischen 19 und 30 Jahren sowie auf die parodontalen Strukturen von Patient*innen in einem Alter ab 40 Jahren. Sie verglichen die auf standardisierten und größenkalibrierten periapikalen Röntgenaufnahmen observierten röntgenologischen Befunde in regio der Zähne 11 und 21 vor und nach der Behandlung bezüglich der Verteilung in den verschiedenen Altersgruppen miteinander. Alle Patient*innen seien zur ästhetischen Verbesserung des Frontzahnbereichs in kieferorthopädischer Behandlung gewesen, ob initial bei den Patient*innen Zahnengstände, Lücken oder anderweitige Fehlstellungen vorlagen, wird jedoch nicht genauer beschrieben. Während die Höhe des marginalen vertikalen Knochenlevels mesial und distal der Zähne 11 und 21 in der Gruppe der älteren Patient*innen vor und nach der Behandlung im Vergleich zur Gruppe der jüngeren Patient*innen höchstsignifikant geringer war, bestand jedoch kein signifikanter Unterschied bezüglich der Veränderung des vertikalen marginalen Knochenlevels im Verlauf der Behandlung zwischen den Altersgruppen. Bei röntgenologischem Vergleich der Höhe des krestalen Alveolarknochens vor und nach der kieferorthopädischen Therapie fiel auf, dass sich das vertikale Knochenlevel bei 100% der Patient*innen der jüngeren und bei 89,5% der Patient*innen der älteren Patientengruppe um unter 1 mm verringert habe. Bei 2,6% der älteren Patient*innen wurde sogar eine Verringerung des Knochenlevels zwischen 1 und 2 mm observiert. Bei 7,9% der älteren Patient*innen sei es hingegen zu einer Erhöhung des Knochenlevels, gemäß einem Knochenaufbau gekommen.

Ein Jahr später veröffentlichten Laursen et al. (2020) ihre Untersuchungen bezüglich des Einflusses kieferorthopädisch induzierter, nach lingual gerichteter Wurzelbewegungen im Frontzahnbereich auf initial vorhandene Rezessionen. Sie behandelten 12 erwachsene Patient*innen, welche zu Beginn der Behandlung bukkal oder lingual gingivale Rezessionen an einem einzelnen Inzisivus im Frontzahnbereich aufwiesen. Die Behandlung wurde initial mittels Segmentbogentechnik, im Verlauf der Therapie teilweise mit durchlaufenden kieferorthopädischen Bögen durchgeführt. Die Autor*innen

analysierten die Veränderungen der Rezessionstiefe und -breite anhand intraoraler Fotografien und Messungen mittels Parodontalsonden. Sie beobachteten eine Verringerung der Rezessionsausdehnung bei allen untersuchten Patient*innen. So verringerte sich im Verlauf der kieferorthopädischen Behandlung die Rezessionstiefe um durchschnittlich 23%, die Rezessionsbreite um durchschnittlich 38% und die Gesamtfläche der gingivalen Rezession um durchschnittlich 63%. Eine Veränderung der Taschensondierungstiefen sei hingegen im Verlauf der Behandlung bei keinem der Patient*innen aufgetreten. Laursen et al. berichten spezifisch über die Dimensionsverringerung gingivaler Rezessionen bei simultan im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie gleichbleibenden Taschensondierungstiefen. Dies könnte gemäß den Autor*innen beuten, dass Hart- und Weichgewebe sich, einem Attachmentgewinn gleichbedeutend, bei Anlegung bestimmter Kraftvektoren in koronale Richtung ausdehnen können.

In einer aktuellen Studie untersuchten Meyer-Marcotty et al. (2021) den kieferorthopädischen Behandlungsbedarf von 118 erwachsenen Patient*innen im Alter über 40 Jahren und setzten diesen zu ihrem parodontalen Gesundheitszustand in Relation. Die Patient*innen wurden gemäß dem vorliegenden klinischen Attachmentlevel und den Taschensondierungstiefen, gemessen zirkulär an jeweils 6 Stellen pro Zahn im Bereich der Front- und Eckzähne des Ober- und Unterkiefers, in Gruppen eingeteilt und miteinander verglichen. Bei Vergleich des in den jeweiligen Gruppen vorliegenden *"Irregularitätsindex [Übersetzung durch die Autorin]"* (Little 1975: 554) habe sich gezeigt, dass in der Gruppe der 40 Patient*innen mit klinischem Attachmentverlust von über 6 mm in mehr als 2 Approximalbereichen sowie mehr als einem Approximalbereich mit einer Taschensondierungstiefe von über 5 mm hochsignifikant höhere Werte für den *„Irregularitätsindex [Übersetzung durch die Autorin]“* (Little 1975: 554) der maxillären sowie mandibulären Frontzähne vorlagen, als bei den 39 untersuchten Patient*innen ohne moderate oder schwere parodontale Erkrankung. Die Autor*innen kommen zu dem Schluss, dass je fortgeschrittener eine Parodontalerkrankung sei, desto ausgeprägter die bei den jeweiligen Patient*innen vorliegenden Stellungsabweichungen der Frontzähne seien.

Die historisch-chronologische Aufarbeitung der Literatur dieser Einleitung zeigt, dass im Laufe der Zeit viele Korrelationen zwischen Frontzahnengständen und dem Parodontium wissenschaftlich untersucht und beschrieben worden sind. So wurden unter anderem

vorliegende Hart- und Weichgewebsverhältnisse wie gingivale Entzündungszeichen, Taschensondierungstiefen, Rezessionen, parodontale Attachmentlevel, knöcherne Verhältnisse, Zahnwurzellängen sowie mikrobiologische Gegebenheiten und ihre Wechselbeziehungen mit Stellungsanomalien der Frontzähne untersucht. Die wissenschaftlichen Studiendesigns und -ergebnisse erscheinen insgesamt recht inhomogen, oftmals sind die Ergebnisse gar widersprüchlich. So beschreiben einige Autor*innen die Korrelation von Frontzahnengständen mit einem verminderten Vorkommen von Hart- und Weichgewebe oder erhöhten gingivalen Entzündungsindizes (Hörup et al. 1987: 76; Jensen und Solow 1989: 49-50; Staufer und Landmesser 2004: 19 (Tabelle 3), 21 (Tabelle 6); Ngom et al. 2006: 238, 241 (Tabelle 7); Uysal et al. 2012: 648, 649 (Tabelle IV); Wallner 2016: 53, 56, 63; Öz und Küçükeşmen 2019: 22-23; Meyer-Marcotty et al. 2021: 6360, 6361 (Tabelle 2)). Andere Studienergebnisse ergaben wiederum keinen signifikanten Zusammenhang zwischen reduziertem Hart- oder Weichgewebsvorkommen sowie gingivalen Entzündungen und Frontzahnengständen (Sergl 1970: 145; Geiger et al. 1974: 44; Artun et al. 1987: 125, 128; Heins et al. 1988: 74-75; Richardson 1995a: 615-616; Staufer und Landmesser 2004: 21 (Tabelle 6); Abu Alhaja und Al-Wahadni 2006: 298; Uysal et al. 2012: 648 (Tabelle III); Wallner 2016: 60; Bernhardt et al. 2019: 155 (Tabelle 3), 156 (Tabelle 4)).

Bezüglich des Effektes einer kieferorthopädischen Therapie auf das Parodontium der Zähne sind im Verlaufe der Zeit ebenfalls eine Vielzahl von Studien durchgeführt worden. Anhand der oben genannten Studien wird deutlich, dass auch in diesem Untersuchungsfeld im Verlauf der Jahrzehnte widersprüchliche Ergebnisse entstanden sind. So fanden viele Autor*innen im Rahmen ihrer Studien durchschnittlich einen, im Vergleich zum prätherapeutischen Level gemessenen, relativen Knochenabbau vor (Jäger 2015: 75-79 (Tabelle 20, Tabelle 21, Tabelle 22); Garlock et al. 2016: 196; Zoizner et al. 2018: 377, 378 (Tabelle I); Han et al. 2019: 652, 653 (Tabelle IV)). Andere Studienergebnisse deuten wiederum darauf hin, dass sich die Dimension des alveolären Knochens im Zuge der kieferorthopädischen Therapie nicht verändert oder sogar vergrößert habe (Gauthier et al. 2011: 118-119). Ein Großteil der genannten Autor*innen fanden im Rahmen ihrer Studien nach kieferorthopädischer Einflussnahme sowohl Knochenab- als auch Knochenaufbau vor (Garlock et al. 2016: 196-197; Zoizner et al. 2018: 377, 378 (Tabelle I); Han et al. 2019: 652, 653 (Tabelle IV)).

Auch bezüglich möglicherweise durch kieferorthopädische Einflussnahme induzierter Weichgewebsveränderungen waren die Studienergebnisse im Verlauf der Jahre vielfältig und schwanken zwischen anaboler und kataboler Therapieeffektinterpretation (Melsen et al. 1988: 110-112; Erkan et al. 2007: 143.e11; Pikdoken et al. 2009: 432.e3; Gauthier et al. 2011: 120).

Von anabolen Hart- und Weichgewebsveränderungen im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie gingivaler Rezessionen berichten unter anderem Laursen et al. (2020: 31) sowie Jacobs et al. (2017: 4). So habe sich die Dimension gingivaler Rezessionen im Frontzahnbereich nach kieferorthopädisch induzierter Wurzelbewegung bei auf diese Art behandelten Patienten signifikant verringert.

Die wissenschaftliche Fragestellung dieser Arbeit basiert auf dem von der biologischen Evidenz der oben genannten Studienergebnisse abgeleiteten Gedanken, dass eine kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen, wie sie tagtäglich in der kieferorthopädischen Praxis durchgeführt wird, ebenfalls direkte Effekte auf den Parodontalzustand dieser Zähne haben müsste. Ziel dieser Arbeit ist es, herauszufinden, wie der wissenschaftliche Kenntnisstand und die Studienlage bezüglich dieser Fragestellung aussehen, was die Ergebnisse möglicher relevanter Studien aussagen, sowie ebendiese zusammenzutragen und einzuordnen.

2. Material und Methodik

Diese systematische Übersichtsarbeit wurde in Anlehnung an die Kriterien der Cochrane Society, des Instituts für Evidenz in der Medizin, des Instituts für Medizinische Biometrie und Statistik, der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften- Institut für Medizinisches Wissensmanagement, des Ärztlichen Zentrums für Qualität in der Medizin, der Cochrane Deutschland Stiftung (2019) sowie des „*PRISMA Statement[s]*“ (Moher et al. 2009) erstellt (Higgins et al. 2021).

2.1. Zielsetzung der Übersichtsarbeit

Zunächst wurde das Ziel der Recherche definiert, als das Finden und Zusammenführen von wissenschaftlicher Evidenz bezüglich der kieferorthopädischen Therapie von Frontzahnengständen und der Wirkung dieser Therapie auf parodontale Strukturen im permanenten Gebiss.

2.2. Inklusions- und Exklusionskriterien

Als Inklusionskriterium wurde definiert, dass ausschließlich prospektive, kontrollierte, klinische Studien mit mindestens 10 Teilnehmer*innen pro Studiengruppe, mit einem Frontzahnengstand im permanenten Gebiss, bei denen eine kieferorthopädische Behandlung durchgeführt und die parodontalen Veränderungen im Bereich der Inzisiven untersucht wurden, in die systematische Übersichtsarbeit zu inkludieren waren. Exklusionskriterien waren: Zahnextraktionen, fehlende Zähne, kein vollzähliges permanentes Gebiss bis einschließlich der Sechsjahrmolaren, inhomogene Studiengruppen mit Patient*innen im Wechsel- oder Milchgebiss, Studien ohne ausreichende Beschreibung des Studiendesigns, retrospektive Studien, Tierstudien, Finite-Elemente-Studien, Fallberichte oder Studien mit weniger als 10 Patient*innen pro Gruppe, keine aktive kieferorthopädische Therapie eines Frontzahnengstandes, ungenaue Beschreibung des Studienaufbaus oder der Studienergebnisse, Sprache nicht Deutsch oder Englisch.

2.3. Definition der Fragestellung

Zunächst wurde die Fragestellung für die systematische Literaturrecherche anhand des „*PICO-Schema[s]*“ (Deutsches Cochrane-Zentrum et al. 2013: 22) definiert. Dieses Schema setzt sich aus den Begriffen „*Population, Patient[,] Intervention[,] Comparison, Control[,] Outcome*“ (Deutsches Cochrane-Zentrum et al. 2013: 22) zusammen.

2.4. Suchstrategie der Onlinedatenbanksuche

Anhand dieser 4 Oberbegriffe wurden Themenblöcke für die Literaturrecherche gebildet und diesen jeweils spezifische Suchbegriffe zugeordnet. Block 1 wurden Suchbegriffe zugeordnet, die der Beschreibung der an der Studie teilnehmenden Patient*innen dienen. Block 2 wurden Suchbegriffe zugeordnet, die der Beschreibung der zu behandelnden Malokklusion, also des Frontzahnengstandes dienen. Block 3 wurden Suchbegriffe zugeordnet, die das Studiendesign und die Einteilung der Studiengruppen beschreiben. Block 4 wurden Suchbegriffe zugeordnet, die das Untersuchungsergebnis als Parameter im Parodontalgewebe beschreiben (Tabelle 1).

Tabelle 1: Blöcke, Suchbegriffe und Operatoren für die Datenbankrecherche

Block	Oberbegriff	Operatoren
1	Frontzahnengstand	(crowd* OR malalign*) AND (incisor* OR anterior OR tooth OR teeth)
2	Kieferorthopädische Therapie	(orthodontic* OR align* OR realign* OR level* OR braces OR appliance*)
3	Vergleichs-/ Kontrollgruppe	(control* OR compar*)
4	Parodontalgewebe	(periodont* OR bone* OR gingiv* OR attach* OR tissue* OR alveol*)

Darauffolgend wurden die Suchbegriffe in der Datenbank „MEDLINE“ via „PubMed“ im Rahmen von Probesuchen getestet und die Ergebnisse tabellarisch festgehalten, um die Wichtung der Blöcke zu definieren (Tabelle 2) (Cochrane Deutschland Stiftung et al. 2019: 33-34). Es fiel auf, dass die Suchbegriffe aus Block 3 und 4 die Anzahl der Suchergebnisse stark reduzierten, deshalb wurde der Themenblock 3 aus der Suche exkludiert, da dieser nicht so essenziell für die Spezifität der Recherche erschien, wie der

Block 4 mit Suchbegriffen, die Untersuchungsparameter im Bereich des Parodontiums beschreiben.

Tabelle 2: Probesuchdurchlauf der Blöcke, Suchbegriffe und Operatoren vom 26.02.2020

Blöcke und Kombinationen	Anzahl Ergebnisse	Zeitraumen der Ergebnisse (MM/YYYY)
1	3027	02/2020- 02/1929
1 AND 2	2049	02/2020- 02/1929
1 AND 2 AND 3	840	12/2019- 07/1972
1 AND 2 AND 3 AND 4	300	12/2019- 07/1976
1 AND 2 AND 4	735	02/2020- 02/1929

Für die Literaturrecherche in den Onlinedatenbanken wurden somit ausschließlich die Suchbegriffe aus Block 1, 2 und 4 verwendet, um die Wichtung der Recherche mehr in Richtung Vollständigkeit, als in Richtung Genauigkeit zu bewegen (Cochrane Deutschland Stiftung et al. 2019: 33-34).³

2.4.1. Recherche in „MEDLINE“, „Embase Classic“ und „Embase“, „Web of Science“, „Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL)“

Die am 26.02.2020, 07.09.2020 und 12.04.2021 aktualisierten und akkumulierten Suchergebnisse in „MEDLINE“ ergaben insgesamt 2362 Referenzen in „ALL FIELDS“. Die Stichworte, Trunkierungen und Operatoren wurden wie folgt eingegeben:

(((((crowd* OR malalign*))) AND (incisor* OR anterior OR tooth OR teeth)) AND (periodont* OR bone* OR gingiv* OR attach* OR tissue* OR alveol*)) AND (orthodontic* OR align* OR realign* OR level* OR braces OR appliance*)

Nach Entfernung von Duplikaten, ergab die Suche in „MEDLINE“ insgesamt 825 Referenzen.

Die am 26.02.2020, 07.09.2020 und 12.04.2021 aktualisierten und akkumulierten Suchergebnisse in „Embase Classic“ und „Embase“ ergaben insgesamt 3294

³ Kommentar der Autorin: Obwohl die dem Suchblock 3 als „Vergleichs-/ Kontrollgruppe“ (Tabelle 2) zugeordneten Begriffe nicht für die finale Onlinerecherche genutzt wurden, wurden in die Ergebnissynthese dieser Arbeit dennoch ausschließlich Studien mit Vergleichs- oder Kontrollgruppen inkludiert (siehe 2.2. Inklusions- und Exklusionskriterien). Der Suchblock 3 wurde aus dem finalen Suchterminus der Onlinedatenbankrecherche ausgeschlossen, um die Suche nicht zu sehr einzuzugrenzen und infolgedessen womöglich relevante Studien zu übersehen.

Referenzen in „All Fields“. Die Stichworte, Trunkierungen und Operatoren wurden wie folgt eingegeben:

((crowd* or malalign*) and (incisor* or anterior or tooth or teeth) and (periodont or periodontitis or periodontal* or bone* or gingiv* or attach* or tissue* or alveol*) and (orthodontic* or align* or realign* or level* or braces or appliance*)).af.

Nach Entfernung von Duplikaten, ergab die Suche in „Embase“ insgesamt 1157 Referenzen.

Die am 26.02.2020, 07.09.2020 und 12.04.2021 aktualisierten und akkumulierten Suchergebnisse in „Web of Science“ ergaben insgesamt 1384 Referenzen in „All Fields“. Die Stichworte, Trunkierungen und Operatoren wurden wie folgt eingegeben:

ALL=((crowd* or malalign*) and (incisor* or anterior or tooth or teeth) and (periodont* or bone* or gingiv* or attach* or tissue* or alveol*) and (orthodontic* or align* or realign* or level* or braces or appliance*))

Nach Entfernung von Duplikaten, ergab die Suche in „Web of Science“ insgesamt 492 Referenzen.

Die am 26.02.2020, 07.09.2020 und 12.04.2021 aktualisierten und akkumulierten Suchergebnisse in „Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL)“ ergaben insgesamt 349 Referenzen in „All Text“. Die Stichworte, Trunkierungen und Operatoren wurden wie folgt eingegeben:

((crowd* or malalign*) and (incisor* or anterior or tooth or teeth) and (periodont* or bone* or gingiv* or attach* or tissue* or alveol*) and (orthodontic* or align* or realign* or level* or braces or appliance*))

Nach Entfernung von Duplikaten, ergab die Suche in „Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL)“ insgesamt 129 Referenzen.

2.4.2. Besonderheiten der Suche mit „Google Scholar“

Die am 26.02.2020, 07.09.2020 und 12.04.2021 aktualisierten und akkumulierten Suchergebnisse in „Google Scholar“ ergaben insgesamt 3739 Referenzen durch die Suche mit dem Programm „Publish or Perish“ (Harzing 2007). In „Google Scholar“ wurde mit modifizierten Suchbegriffen gearbeitet, da „Google Scholar“ den Begriff „periodont*“

mit dem Trunkierungszeichen nicht als Suchterminus akzeptierte. Möglich war periodontal*, sodass Block 4 abgewandelt eingegeben wurde:

(periodont or periodontitis or periodontal* or bone* or gingiv* or attach* or tissue* or alveol*)

Recherche mit mehr Suchbegriffen waren ebenfalls nicht möglich, da „Google Scholar“ die Eingabe in der Suchleiste in diesem Fall automatisch abkürzte. Bei einem Test des modifizierten Suchblocks 4 in „MEDLINE“ wurden am 26.02.2020 724 Ergebnisse anstelle der 735 Ergebnisse mit dem nicht modifizierten Block 4 gefunden. Das ergab ein Defizit von 1,5% weniger Ergebnissen. Somit wurde davon ausgegangen, dass die Veränderungen der Suchergebnisse durch die angepassten Suchbegriffe in „Google Scholar“ als marginal zu bewerten waren. Da „Google Scholar“ kein direktes Exportieren von Ergebnislisten in „EndNote“ (The EndNote Team 2013) unterstützt, wurde die Applikation „Publish or Perish“ (Harzing 2007) genutzt. Es wurden weder Zitate noch Patente mit in die Suche einbezogen und die Häkchen in den dazugehörigen Kästchen in dem Programm entfernt. Bei „Google Scholar“ ist die Ergebnisanzeige auf 1000 Treffer pro Suche limitiert (Google 2021). Deshalb wurden die jeweiligen Suchdurchläufe zunächst für Veröffentlichung im Zeitraum der Jahre 0-1999 und anschließend für den Veröffentlichungszeitraum von 1999-2021, beziehungsweise am 12.04.2021 für die Jahre 1999-2022 durchgeführt, um die Datenmenge auf unter 1000 Referenzen zu begrenzen. Zum jeweiligen Zeitpunkt wurden beide Ergebnisse in „EndNote“ (The EndNote Team 2013) importiert und zusammengeführt. Die Stichworte, Trunkierungen und Operatoren wurden wie folgt eingegeben:

(((((crowd* OR malalign*)) AND (incisor* OR anterior OR tooth OR teeth)) AND (periodont OR periodontitis OR periodontal* OR bone* OR gingiv* OR attach* OR tissue* OR alveol*)) AND (orthodontic* OR align* OR realign* OR level* OR braces OR appliance*))

Nach Entfernung von Duplikaten, ergab die Suche in „Google Scholar“ insgesamt 2423 Referenzen.

2.4.3. Rahmenbedingungen der Onlinesuche

Eine zeitliche Begrenzung der Veröffentlichungszeiträume wurde lediglich in der Gegenwart der Studie gesetzt und die Ergebnisse während des Analyseprozesses stetig aktualisiert. Somit wurden Referenzen gesammelt, die im Zeitraum zwischen dem Jahr

1802 und dem 12.04.2021 publiziert worden sind. Insgesamt wurden in den Onlinedatenbanken 11128 Referenzen gefunden (Abbildung 1).

2.5. Manuelle Literaturrecherche

Zusätzlich zur Onlinedatenbanksuche, fand eine manuelle Literaturrecherche statt. Im Rahmen dieser wurden die „*InCites Journal Citation Reports*“ (Clarivate Analytics 2019) von 2018 in den Kategorien „*Dentistry, Oral Surgery and Medicine*“ (Clarivate Analytics 2019) durchsucht, um das jeweilige Journal mit dem höchsten „*Journal Impact Factor*“ (Clarivate Analytics 2019) in den Fachbereichen Parodontologie sowie Kieferorthopädie zu finden.

Dies waren zum einen das Journal „*Periodontology 2000*“ mit einem „*Journal Impact Factor*“ (Clarivate Analytics 2019) von 7,861 und zum anderen das Journal „*American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*“ mit einem „*Journal Impact Factor*“ (Clarivate Analytics 2019) von 1.911. Alle Referenzen dieser beiden Journals, die von Januar 2000 bis April 2021 veröffentlicht worden sind, wurden manuell durchsucht. Im Journal „*Periodontology 2000*“ wurden insgesamt 863 Referenzen, im „*American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*“ insgesamt 9236 Referenzen begutachtet, somit insgesamt 10099 Referenzen im Rahmen der manuellen Literaturrecherche.

2.6. Verwaltung der Referenzen

Die Referenzen wurden im Literaturverwaltungsprogramm „*EndNote*“ (The EndNote Team 2013) gesammelt und sortiert. Duplikate wurden über die Programmfunktion „*Find Duplicates*“ (The EndNote Team 2013) nacheinander jeweils nach den Gemeinsamkeiten Autor und Jahr, Autor und Titel sowie Jahr und Titel verglichen und markiert. Nach gesonderter Überprüfung der markierten Referenzen durch die Autorin dieser Arbeit wurden die Duplikate manuell aus den Referenzlisten entfernt. Darauffolgend wurden die Referenzen einzeln nach Autor, Jahr und Titel durch „*Find Duplicates*“ (The EndNote Team 2013) verglichen, markiert und manuell-visuell kontrolliert sowie nochmals etwaige Duplikate entfernt. Volltextartikel wurden über die jeweilige Literaturplattform gefunden, heruntergeladen und den Referenzen als Volltextanhang zugeordnet. Falls die Referenzen nicht zu finden waren, wurden die Autoren, Verlage sowie Universitäten und

wissenschaftliche Einrichtungen per E-Mail kontaktiert und um Zugang zur Publikation gebeten.

2.7. Flussdiagramm der Literaturrecherche

Die gesammelten Daten wurden gemäß dem „*PRISMA Statement*“ (Moher et al. 2009: 3) in Form eines Flussdiagramms bearbeitet (Abbildung 1).

2.7.1. Identifikation und Screening der Studien nach Moher et al. (2009: 3)

Nach Entfernung von Duplikaten verblieben 11924 Referenzen zur Sichtung. Diese wurden in „EndNote“ (The EndNote Team 2013) verwaltet, indem zunächst die Titel und darauffolgend für möglicherweise passenden Studien die Abstrakts gelesen wurden. Im Zuge dieses Vorgehens wurden 11738 Referenzen direkt exkludiert, da ohne tiefere Analyse bereits ersichtlich war, dass sie den strengen Inklusionskriterien dieses Reviews nicht entsprechen. Im nächsten Schritt wurden die Volltexte und Studienregistereinträge der übrigen 186 Quellen akquiriert (Abbildung 1).

2.7.2. Prüfung der Eignung der Studien nach Moher et al. (2009: 3) und Durchsuchen der Literaturlisten (Higgins et al. 2021, Kapitel 4.3.5)

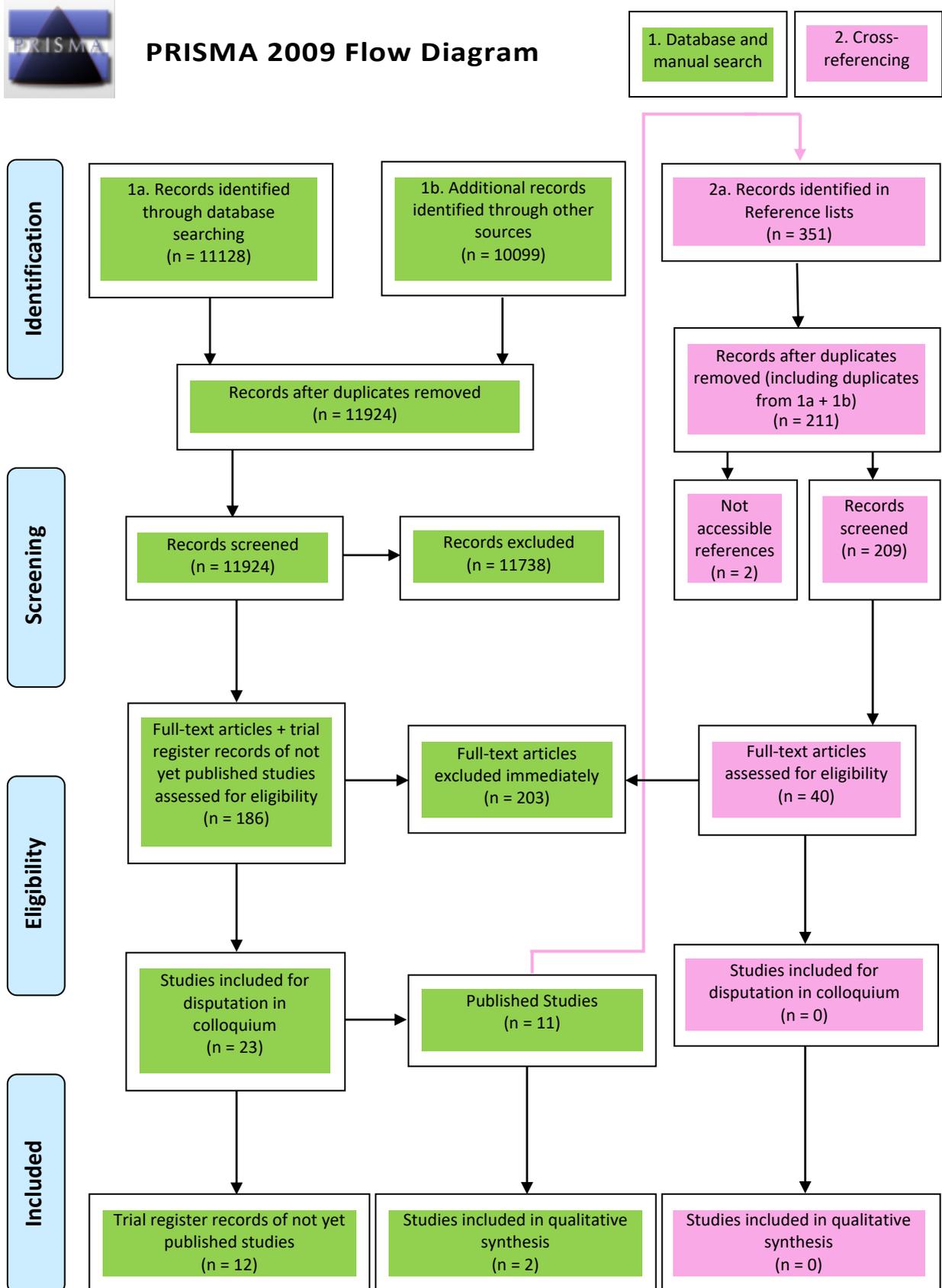
Die Volltexte wurden gemäß den Inklusionskriterien für diesen Review genau analysiert. Studien, die nach Volltextanalyse nicht direkt aus- oder eingeschlossen werden konnten, weil Diskussionsbedarf bestand, wurden im Rahmen eines Kolloquiums mit dem Betreuer dieser Dissertationsarbeit⁴ besprochen. Von den 186 analysierten Volltexten der gefundenen Referenzen wurden 23 Studien und Studienregistereinträge zur Diskussion im Kolloquium eingeschlossen. Davon waren 11 Studien bereits veröffentlicht, 12 Referenzen waren Registereinträge noch nicht veröffentlichter Studien (Tabelle 4, Tabelle 5).

Die Literaturlisten der 11 bereits veröffentlichten Studien wurden nach weiteren passenden Referenzen gemäß Higgins et al. (2021, Kapitel 4.3.5) durchsucht. Im Zuge dieser Querverweissuche wurden 351 Titel gesichtet, nach Entfernung von Duplikaten

⁴ Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski

der vorherigen Onlinedatenbankrecherchen und der manuellen Literaturrecherche blieben noch 211 Referenzen übrig. Von diesen wurden 40 Volltexte akquiriert. Zwei der 211 Referenzen aus den Literaturlisten wurden versucht zu akquirieren, welches jedoch weder durch Kontaktierung der Institutionen noch der Autoren möglich war. Dies war zum einen die Veröffentlichung des Autoren Hajji mit dem Titel: „*The influence of accelerated osteogenic response on mandibular de-crowding*“ (Shoreibah et al. 2012a: 112; Shoreibah et al. 2012b: 104; Bahammam 2016: 8) und zum anderen die Referenz des Autoren Hasan mit dem Titel: „*Orthodontic maxillary canine retraction after partial corticotomy of the buccal plate*“ (Bahammam 2016: 9). Insgesamt wurden im Rahmen der Onlinedatenbanksuche, der manuellen Literaturrecherche und der Suche in den Referenzlisten der im Kolloquium mit dem Betreuer dieser Dissertationsarbeit besprochenen Studien somit 226 Volltexte von Referenzen gesichtet (Abbildung 1).

Abbildung 1: „PRISMA 2009 Flow Diagram (modifiziert von der Autorin)“ (Moher et al. 2009: 3)
 Grün markiert: Onlinedatenbanksuche und manuelle Literaturrecherche, rosa markiert: Referenzen aus Literaturverzeichnissen der im Kolloquium mit dem Betreuer dieser Dissertationsarbeit besprochenen Studien



2.8. Gründe für den Ausschluss von Studien im Rahmen der Volltextanalyse

Aufgrund der spezifischen Inklusionskriterien für diesen systematischen Review, wurden 203 Referenzen nach der Volltextanalyse als nicht zur Beantwortung der Fragestellung geeignet klassifiziert. Die meisten Studien wurden aus multiplen Gründen ausgeschlossen, wobei jeweils die prägnantesten Gründe notiert wurden (Tabelle 3).

Studien, die weder in englischer noch in deutscher Sprache veröffentlicht wurden, wurden nicht in die Ergebnisauswertung dieser Arbeit eingeschlossen.

Fallberichte, Studien ohne Vergleichs- oder Kontrollgruppen sowie Studien, die nicht mindestens 2 Gruppen mit je 10 Teilnehmer*innen pro Gruppe mit ausgewerteten Daten zu verschiedenen Zeitpunkten aufwiesen, wurden nicht in die Ergebnisauswertung dieser Übersichtsarbeit mit einbezogen. Es wurde davon ausgegangen, dass Studiendesigns mit zu kleinen Gruppengrößen sowie unkontrollierte Studien zu einer Verzerrung der Evidenzlage führen (Hartung und Touchette 2009: 406; Brocklehurst und Hoare 2017: 725).

Ein weiterer Grund für die Ausgrenzung einer Studie aus der Ergebnissynthese dieses Reviews war ein retrospektiver, teilweise retrospektiver oder perspektivisch ungenau beschriebener Studienaufbau, denn retrospektive Studien bergen aufgrund des Studiendesigns ein erhöhtes Risiko einer Verzerrung der Studiengruppen und geschlussfolgerten -ergebnisse. Diese Verzerrung kann zum einen aufgrund von „*Selection bias*“ (Sterne et al. 2021, Kapitel 25.2.) vorkommen, denn dieser Begriff beschreibt, dass durch ergebnisorientierte Auswahl der Patient*innendaten eine Verzerrung der Ergebnisinterpretation selbst eintreten kann, weil die Patient*innen initial einseitig ausgewählt wurden und somit gemäß einem Teufelskreis die Dateninterpretation selbst beeinflussen. Zum anderen kann eine Verzerrung aufgrund von „*Information bias*“ (Sterne et al. 2021, Kapitel 25.2.) eintreten, da das Risiko bei retrospektiven Studien erhöht ist, dass bei der initialen Datenaufnahme wichtige, die Ergebnisinterpretation beeinflussende Details nicht aufgenommen wurden, welches den studierendurchführenden Wissenschaftlern im Rahmen der retrospektiven Auswertung gegebenenfalls nicht auffällt und somit zu Fehlinterpretationen führen kann.

Tierstudien, In-vitro-Studien, Finite-Elemente-Studien und weitere Studien, in denen nicht Menschen im Rahmen einer klinischen Behandlung untersucht wurden, wurden ebenfalls aus der Ergebnissynthese ausgeschlossen, da davon auszugehen ist, dass die Ergebnisse dieser Studien nicht direkt auf den Menschen übertragbar sind und zu einer Verzerrung der Datenlage führen können. Wenngleich betont werden soll, dass Ergebnisse solcher Studien als Wegweiser zu Beginn der Untersuchung einer Fragestellung unerlässlich für die Forschungsentwicklung sind. Lediglich für die abschließende Beantwortung klinischer Fragestellungen wurden diese Formen von Studien im Rahmen dieses Reviews als ungeeignet eingestuft.

Studien, in denen keine aktive kieferorthopädische Behandlung durchgeführt wurde, wurden ebenfalls exkludiert, da der Effekt der Behandlung auf die parodontalen Strukturen als Kernthema dieser Übersichtsarbeit angesehen wurde. Studiendesigns im Rahmen derer beispielsweise die Zeiträume nach einer Behandlung, oder die passive Wirkung einer Apparatur untersucht worden waren, wurden deshalb nicht in die Ergebnissynthese inkludiert.

Studien, im Rahmen derer nicht spezifisch Frontzahnengstände, sondern beispielweise Engstände anderer Zahngruppen untersucht wurden oder Studien, im Rahmen derer die Ergebnisse für den Frontzahnbereich im Ergebnisteil nicht explizit aufgeschlüsselt wurden, wurden ebenfalls nicht in die Ergebnissynthese dieses Reviews inkludiert, da der kieferorthopädische Behandlungseffekt auf ebendiese Zahnfehlstellung ebenso das Kernthema dieser Übersichtsarbeit darstellte.

Studien, im Rahmen derer nicht spezifisch parodontale Parameter im Bereich der Frontzähne, sondern zum Beispiel die Dauer der Nivellierungsphase oder die Schmerzwahrnehmung während der Behandlung untersucht wurde, wurden ebenfalls exkludiert.

Nach einer Zahnextraktion kommt es zu Knochenabbau (Van der Weijden et al. 2009: 1057). Da der Effekt von Zahnextraktionen auf den Knochen als möglicher ergebnisverzerrender Faktor in Form einer kumulativen oder polarisierenden Wirkung ausgeschlossen werden sollte, wurden Studien mit Patient*innen, bei denen Zahnextraktionen durchgeführt wurden, ebenfalls ausgeschlossen.

Studien mit Patient*innen, bei denen nicht davon ausgegangen werden konnte, dass bei ihnen aufgrund ihres jungen Alters bereits eine permanente Dentition vorlag, oder Studien die nicht zwischen Untersuchungen im permanenten oder Wechselgebiss unterschieden haben, wurden ebenfalls ausgeschlossen, da eine Verzerrung der Ergebnisse durch Ausnutzung des Platzüberschusses als „leeway“ (Nance 1947: 186) und damit verbundene Effekte auf den Knochen vermieden werden sollte. Dieser Review beschäftigt sich spezifisch mit der Engstandsauflösung im erwachsenen, permanenten Gebiss ohne Ausnutzung überschüssiger Platzverhältnisse durch Zahnextraktionen oder möglicherweise vorhandenen Platzüberschuss im Seitenzahnbereich nach Verlust der Milchzähne in den Stützzonen. Deshalb wurden Studien, im Rahmen derer Patient*innen im Alter von weniger als 12 Jahren behandelt wurden, für die nicht explizit beschrieben wurde, dass diese bereits eine permanente Dentition aufwiesen, ausgeschlossen.

2.9. Tabellarische Darstellung der Exklusionsgründe für Referenzen nach Volltextsichtung

Tabelle 3 (fortlaufend): Gründe für die Exklusion von Referenzen nach Volltextsichtung

(Abdullah et al. 2011)	Insgesamt lediglich 14 Patient*innen untersucht; keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe
(Ahn et al. 2016)	Retrospektiv
(Akgun et al. 2014)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; Messwerte nur an Prämolaren erhoben
(Al-Moghrabi et al. 2018)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; Patienten erst in Studie inkludiert, nachdem Frontzahnengstand bereits behandelt war; keine aktive kieferorthopädische Therapie (nur Retentionsphase); 44% Extraktionsfälle
(Alfawal et al. 2018)	Extraktionsfälle
(Alikhani et al. 2013)	Extraktionsfälle
(Alkan et al. 2007)	Patient*innen waren zwischen 11 und 18 Jahren alt, aber es wurde nicht spezifisch beschrieben, dass bei ihnen eine permanente Dentition vorlag
(Alvarez et al. 2021)	Retrospektiv
(Aman et al. 2018)	Retrospektiv
(Amasyali et al. 2011)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Amuk et al. 2019)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; lediglich Patient*innen mit minimalen oder keinen Engständen in Studie eingeschlossen

(Andrews 1972)	Keine aktive kieferorthopädische Therapie; 120 Gipsmodelle von Patient*innen ohne kieferorthopädische Behandlung untersucht
(Antoun et al. 2017)	Keine klinische Studie
(Artun und Osterberg 1987)	Keine aktive kieferorthopädische Behandlung- lediglich Vergleich der parodontalen Parameter im Bereich von Frontzahnengständen bei Patient*innen nach früherer kieferorthopädischer Therapie oder ohne vorherige kieferorthopädische Behandlung
(Årtun et al. 2009)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht, sondern prädisponierende Faktoren für Wurzelresorptionen
(Arzate et al. 2015)	Keine klinische Studie; es wurde keine kieferorthopädische Behandlung durchgeführt; lediglich Text zum Thema Wurzelzement
(Atik et al. 2016)	Keine parodontalen Parameter im Frontzahnbereich untersucht; Messung der transversalen Position und Inklination der ersten Molaren an Modellen und auf posterior-anterioren Röntgenbildern
(Babacan et al. 2011)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Babanouri et al. 2020)	Extraktionsfälle; keine parodontalen Parameter erhoben- nur Schmerzempfinden und Bewegungsstrecke bei Eckzahnretraktion
(Baka et al. 2013)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht, sondern Engstände im Allgemeinen
(Ballanti et al. 2010)	Patient*innen zu jung (Kinder zwischen 8 und 14 Jahren)
(Bergamo et al. 2016)	Keine aktive kieferorthopädische Therapie- lediglich 60 Tage lang Brackets mit passiv liegendem Stahlbogen in situ
(Bhasin et al. 2017)	Patient*innen zu jung (im Durchschnitt 6 Jahre alt)
(Bicakci et al. 2013)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht, sondern Protrusion der Frontzähne bei Patient*innen mit Klasse II/2-Malokklusion und Veränderung des A-Punktes im Fernröntgenseitenbild
(Booth et al. 2008)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; keine aktive kieferorthopädische Therapie, sondern Langzeituntersuchung von parodontalen Parametern und Retainern
(Borges de Castilhos et al. 2019)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Brown et al. 2015)	Keine parodontalen Parameter im Frontzahnbereich untersucht
(Brugnami et al. 2018)	In Gruppe 2 insgesamt nur 7 Patient*innen

(Burke et al. 2002)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht- Probenentnahme an Prämolaren vor und nach Einsetzen von Separiergummis
(Burke et al. 1994)	Retrospektiv; keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe; lediglich Vorkommen von schwarzen interdentalen Dreiecken nach der Behandlung untersucht
(Buschang 2006)	Patient*innen zum Teil zu jung; keine Untersuchung parodontaler Parameter, sondern Rezidivausprägung an Modellen vermessen
(Buschang et al. 2012)	Keine klinische Studie- Review zu Kortikotomien und Beschleunigung der Zahnbewegung
(Caffesse und Echeverría 2019)	Keine klinische Studie
(Calil et al. 2021)	Retrospektiv
(Cameron et al. 2002)	Patient*innen im Schnitt 10-11 Jahre alt, aber es wurde nicht spezifisch beschrieben, dass bei ihnen eine permanente Dentition vorlag
(Canan und Şenişik 2017)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht- lediglich generelle transversale Enge und Gaumennahterweiterung untersucht; Messungen wurden lediglich an Modellen vorgenommen
(Canuto et al. 2010)	Retrospektiv
(Cao et al. 2009)	Retrospektiv
(Capelli et al. 2011)	Insgesamt nur 14 Patient*innen; alle waren Extraktionsfälle
(Carvalho et al. 2018)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Casellas 2001)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; nicht ausschließlich Patient*innen mit permanenter Dentition untersucht
(Castroflorio et al. 2017)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; lediglich Messung an Molaren bis 21 Tage nach Initiierung der kieferorthopädischen Zahnbewegung
(Chaison et al. 2010)	Retrospektiv; Patient*innen zum Teil zu jung (ab 9 Jahren); es wurde nicht spezifisch beschrieben, dass bei ihnen bereits eine permanente Dentition vorlag
(Cherkezi et al. 2017)	Keine aktive kieferorthopädische Therapie- lediglich Zahnreinigung
(Chhibber et al. 2018)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht- Messung am 2. Prämolaren; Studie von „Align Technology“ gesponsert
(Chisari et al. 2014)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; 1 mm Anteriorbewegung eines Inzisivus mit Alignern
(Cook et al. 2015)	Vergleichsgruppe sind Extraktionsfälle

(Cronau et al. 2006)	Keine aktive kieferorthopädische Behandlung- lediglich Momentaufnahme zur Stressverteilung im Parodontium bei Bewegung
(CTRI/2018/05/013550)	Extraktionsfälle
(Daurova et al. 2020)	Fallbericht
(Davidovitch et al. 2005)	Gruppengröße zu klein, da Patient*innen zum Teil zu jung: 6 Patienten in Gruppe A sind jünger als 12 Jahre; nicht genau zwischen Wechselgebissphase und permanenter Dentition unterschieden
(Del Santo et al. 2002)	Fallbericht
(El-Mangoury et al. 1987)	Keine aktive kieferorthopädische Behandlung- lediglich Zahnreinigung
(Fastlich 1970)	Retrospektiv; keine aktive kieferorthopädische Therapie- lediglich Engstandprogression bei behandelten und unbehandelten Patienten untersucht
(Ferguson et al. 2007)	Keine klinische Studie- Text zu beschleunigter Zahnbewegung
(Ferguson et al. 2016a)	Keine klinische Studie- Text zu Dekortikation
(Ferguson et al. 2016b)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Flórez-Moreno et al. 2013)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; nicht spezifisch ausschließlich Patient*innen mit vollständiger permanente Dentition inkludiert, sondern Patient*innen mit mindestens 20 erhaltenen Zähnen
(Fontana et al. 2012)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Frost 1983)	Keine klinische Studie- Text zu regional beschleunigtem Metabolismus und Zahnbewegung
(Garlock et al. 2016)	Nicht genau beschrieben, ob pro- oder retrospektives Studiendesign; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; nicht spezifisch ausschließlich Patient*innen mit permanentem Gebiss untersucht, auch Patient*innen in der Wechselgebissphase; im Ergebnisteil keine Unterscheidung zwischen Patient*innen mit verschiedenen Dentitionen
(Gebistorf et al. 2018)	Retrospektiv
(Glans et al. 2003)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht, sondern Engstände im Allgemeinen
(Gong et al. 2011)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Guerrero et al. 2002)	Sprache: Spanisch
(Guerrero et al. 1997)	Insgesamt nur 10 Patient*innen; keine klare Gruppeneinteilung
(Gunyuz Toklu et al. 2015)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Guo et al. 2016)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Habersack et al. 2014)	Retrospektiv

(Hammad et al. 2017)	In Gruppe 1 nur 9 Patient*innen, in Gruppe 2 11 Patient*innen
(Han et al. 2019)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Handelman 2011)	Fallberichte; Diskussion zum Thema Gaumennahterweiterung bei erwachsenen Patient*innen
(Hinrichs 2011)	Keine klinische Studie, sondern Text zu prädisponierenden Faktoren für Parodontalerkrankungen
(Huber et al. 1987)	Insgesamt nur 14 Patient*innen untersucht; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Huser et al. 1990)	Insgesamt nur 15 Patient*innen untersucht; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Ibiapina et al. 2016)	Insgesamt nur 16 Patient*innen untersucht
(Ihlow et al. 2003)	Fallberichte; Beschreibung einer Messapparatur
(Ishibashi et al. 2006)	Tierstudie
(Janson et al. 2016)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Janson et al. 2000)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; die Hälfte der untersuchten Patient*innen sind Extraktionsfälle
(Jiang et al. 2021a)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; Extraktionsfälle (nicht zwischen Extraktionsfällen und Patient*innen ohne Zahnextraktionen unterschieden)
(Jiang et al. 2015)	Extraktionsfälle
(Jiang et al. 2021b)	Retrospektiv (Überlagerung von Modellen und CBCT-Aufnahmen zur Vorhersage von Dehiszenzen)
(Jiao et al. 2019)	7 Extraktionsfälle, 17 Patient*innen ohne Extraktionen; keine Vergleichs-/ Kontrollgruppe ohne Extraktionen
(Jing et al. 2021)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Jung et al. 2016)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht, sondern Bakterienhaftung an Brackets
(Kahl und Schwarze 1991)	Retrospektiv; keine aktive kieferorthopädische Therapie, sondern Patient*innenumfrage und Röntgendiagnostik
(Kandasamy et al. 2007)	Retrospektiv
(Karacay et al. 2007)	Insgesamt lediglich 10 Patient*innen; Extraktionsfälle
(Kawasaki et al. 2006)	Extraktionsfälle
(Kim et al. 2010)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Kloehn und Pfeifer 1974)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe; zum Teil Extraktionsfälle
(Ko-Kimura et al. 2003)	Extraktionsfälle
(Köle 1959)	Fallberichte zu chirurgischer Technik

(Kortam et al. 2019)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Koudstaal et al. 2009)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Kulakov und Bayrikov 2019)	Nicht beschrieben, dass das Vorliegen einer permanenten Dentition ein Inklusionskriterium darstellte; Bild zeigt Lücken im Oberkieferfrontzahnbereich und ist als „crowding“ (Kulakov und Bayrikov 2019: 187 (Abbildung 3)) deklariert; bei Beschreibung der Einschlusskriterien nur Patient*innen zwischen 16-25 Jahren aufgeführt- unter der Abbildung steht, dass der gezeigte Patient 29 Jahre alt sei
(Kurth und Kokich 2001)	Retrospektiv
(Landes et al. 2009)	Zum Teil retrospektiv; nicht beschrieben, dass das Vorliegen einer permanenten Dentition ein Inklusionskriterium für die Patient*innen darstellte
(Lee et al. 2007)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; wahrscheinlich retrospektiv (nicht genau beschrieben)
(Lee und Lee 2016)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Li et al. 2020a)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Li et al. 2020b)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Lisniewska-Machorowska et al. 1990)	Sprache: Polnisch
(Löe und Silness 1963)	Keine aktive kieferorthopädische Behandlung
(Lombardo et al. 2013)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Luengrojjanakul et al. 2019)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Lundström et al. 1980)	Extraktionsfälle; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Lyons und Darby 2017)	Keine klinische Studie
(Ma et al. 2018)	Insgesamt nur 12 Patient*innen untersucht; keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe
(Marcaccini et al. 2010)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe
(Marques et al. 2010)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Matthews und Tabesh 2004)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(McCulloch et al. 2000)	Keine klinische Studie, sondern Review zu Zellreaktionen im Parodontalspalt
(McGorray et al. 2012)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Mehr 2013)	Insgesamt nur 14 Patient*innen (initial war eine Gruppengröße von 18 Patient*innen pro Gruppe angesetzt gewesen); nicht spezifisch parodontale Parameter im Frontzahnbereich untersucht
(Melsen und Allais 2005)	Retrospektiv
(Midgett et al. 1981)	Tierstudie
(Mittal et al. 2011)	Keine klinische Studie, sondern Review zu kortikaler Inzision

(Morris et al. 2017)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Mosleh et al. 2015)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; zum Teil fehlen bei den Patient*innen die Eckzähne
(Nabhan et al. 2016)	Keine klinische Studie- Protokoll für eine systematische Übersichtsarbeit
(Naranjo et al. 2006)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(NCT03646942)	Nicht spezifisch parodontale Parameter im Frontzahnbereich untersucht, sondern Geschwindigkeit der Zahnbewegung und Schmerzempfinden
(Newman 1975)	Retrospektiv
(Ngan et al. 1991)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Øgaard et al. 2001)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Oltamari-Navarro et al. 2009)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Pancherz und Bjerkin 2014)	Insgesamt nur 14 Patient*innen
(Pandis et al. 2008)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Pandis et al. 2007)	Nicht spezifisch parodontale Parameter im Frontzahnbereich untersucht
(Pandis et al. 2009)	Nicht spezifisch parodontale Parameter im Frontzahnbereich untersucht, sondern Dauer der Nivellierungsphase
(Pankratova et al. 1996)	Sprache: Russisch
(Panwar et al. 2014)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Paolantonio et al. 1999)	Keine aktive kieferorthopädische Behandlung, sondern für 12 Wochen einen passiv liegenden Bogen eingesetzt
(Park 2016)	Keine klinische Studie- Artikel zum Thema kortikale Inzision
(Parker und Harris 1998)	Extraktionsfälle
(Pasnicu et al. 2001)	Sprache: Rumänisch
(Patterson et al. 1999)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Pazzini et al. 2011)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; Patient*innen zum Teil jung (ab 10 Jahren); nicht beschrieben, dass das Vorliegen einer permanenten Dentition ein Inklusionskriterium für die Patient*innen darstellte
(Pazzini et al. 2016)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Pender 1986)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; Patient*innen zum Teil zu jung (Einschlusskriterium: nicht älter als 14 Jahre); nicht beschrieben, dass das Vorliegen einer permanenten Dentition ein Inklusionskriterium für die Patient*innen darstellte
(Peng et al. 2014)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht

(Perinetti et al. 2013)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Petrick et al. 2011)	Keine aktive kieferorthopädische Therapie
(Pinto et al. 2017)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; nicht nur Patient*innen mit permanenter Dentition untersucht (5% der Patient*innen noch in der Wechselgebissphase, keine Differenzierung diesbezüglich bei der Ergebnisauswertung)
(Puşcaşu et al. 2006)	Keine zweite Messung bei unbehandelter Kontrollgruppe; keine genaue Aufschlüsselung zwischen Test- und Vergleichsgruppe
(Ramadan 2004)	Keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Raoul et al. 2009)	Insgesamt nur 10 Patient*innen
(Ren et al. 2007)	Insgesamt nur 12 Patient*innen; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Ren et al. 2002)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Rothe et al. 2006)	Retrospektiv; keine aktive kieferorthopädische Behandlung, sondern Untersuchung von Rezidiven mindestens 10 Jahre nach Ende der Retentionsphase
(Sameshima und Sinclair 2001b)	Retrospektiv; auch Extraktionsfälle nachuntersucht; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Sameshima und Sinclair 2001a)	Retrospektiv; auch Extraktionsfälle nachuntersucht; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Sawan et al. 2018)	Retrospektiv
(Sebaoun et al. 2011)	Sprache: Französisch
(Sendyk et al. 2021)	Keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe
(Sepolia et al. 2016)	Extraktionsfälle
(Sharpe et al. 1987)	Retrospektiv; auch Extraktionsfälle nachuntersucht; keine aktive kieferorthopädische Therapie, sondern Untersuchung mindestens 10 Jahre nach Ende der Retentionsphase
(Shipley et al. 2019)	Retrospektiv
(Sinclair et al. 1987)	Insgesamt nur 13 Patient*innen untersucht; keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Smale et al. 2005)	Retrospektiv
(Smuthkochorn et al. 2017)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Sparks 2001)	Keine parodontalen Parameter im Frontzahnbereich untersucht
(Stamm et al. 2005)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Strippoli et al. 2019)	Keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe, da parodontale Parameter nur in einer von zwei Gruppen untersucht wurden
(Sygouros et al. 2014)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht

(Tai et al. 2010)	Patient*innen zu jung (im Durchschnitt 7-8 Jahre alt)
(Tai und Park 2010)	Patient*innen zu jung (im Durchschnitt 7-8 Jahre alt)
(Tai et al. 2011)	Patient*innen zu jung (im Durchschnitt 7-8 Jahre alt)
(Tan und Çokakoğlu 2020)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht, sondern Engstände im Allgemeinen
(Taner et al. 2000)	Insgesamt 23 Patient*innen untersucht, davon waren die Hälfte der Patient*innen Extraktionsfälle
(Theerasopon und Charoemratote 2019)	Sprache: Thailändisch
(Thesleff 2013)	Tierstudie
(Thornberg et al. 2009)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Triaca et al. 2001)	Fallberichte zu chirurgischer Technik- insgesamt seien damit 25 Patient*innen behandelt worden; keine parodontalen Parameter im Frontzahnbereich untersucht
(Trossello und Gianelly 1979)	Keine aktive kieferorthopädische Therapie, sondern Nachuntersuchung mindestens 2 Jahre nach Therapieende
(Türkkahraman et al. 2005)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Ubolviroj et al. 2018)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Ueki et al. 2006)	Extraktionsfälle in beiden Gruppen
(Uribe et al. 2017)	Keine parodontalen Parameter im Frontzahnbereich untersucht
(Uzuner et al. 2014)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht, sondern Engstände im Allgemeinen
(Valerio et al. 2021)	Retrospektiv; keine Kontroll-/ Vergleichsgruppe
(van Gastel et al. 2011)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Villard und Patcas 2015)	Vergleichsgruppe besteht aus Extraktionsfällen
(Wang et al. 2010)	Sprache: Chinesisch
(Wang et al. 2003)	Sprache: Chinesisch
(Watted et al. 2001)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; keine aktive kieferorthopädische Therapie, sondern Messung der Zahnbeweglichkeit während der Retentionsphase
(Westerlund et al. 2017)	Mindestens 23 der 34 kieferorthopädisch behandelten Patient*innen sind Extraktionsfälle: Patient*innen wurden in 2 Gruppen eingeteilt- somit sind die Gruppengrößen ohne Extraktionsfälle zu klein; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Wilcko et al. 2008)	Retrospektiv; nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Wilcko et al. 2009)	Fallberichte und chirurgische Technik beschrieben
(Winsauer et al. 2017)	Im Rahmen der Ergebnisauswertung wurde nicht zwischen Wechselgebissphase und permanenter Dentition unterschieden

(Yavuz et al. 2018)	Eine Vergleichsgruppe zu klein (lediglich 9 Patient*innen); bei der zweiten Vergleichsgruppe wurden keine parodontalen Parameter im Frontzahnbereich untersucht
(Zabińska und Wojtowitz 1979)	Sprache: Polnisch
(Zachrisson 1972)	Nicht spezifisch Frontzahnengstand untersucht
(Zachrisson 1976)	Keine klinische Studie- Zusammenfassung von Studienergebnissen und Leitlinien daraus
(Zachrisson und Alnaes 1973)	Extraktionsfälle
(Zachrisson et al. 2007)	Retrospektiv; keine aktive kieferorthopädische Therapie-Momentaufnahme mindestens 10 Jahre nach approximaler Schmelzreduktion
(Zachrisson und Zachrisson 1972)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht; keine Unterteilung der Patient*innen nach Behandlungsindikation
(Zanatta et al. 2011)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Zhang et al. 2020)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Zhang et al. 2017)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht
(Zhang et al. 2015)	Nicht spezifisch Frontzahnengstände untersucht

3. Ergebnisse

3.1. Diskussion ausgewählter Studien im Kolloquium

Im Rahmen des Kolloquiums mit dem Betreuer dieser Dissertationsarbeit⁵ wurden 11 veröffentlichte Studien analysiert, tabellarisch bewertet und die Ergebnisse diskutiert (Tabelle 4).

Neun dieser Referenzen wurden nach Disputation im Kolloquium aus der Ergebnissynthese dieses Reviews ausgeschlossen: (Alves de Souza et al. 2008; Shoreibah et al. 2012a; Shoreibah et al. 2012b; Navarro-Palacios et al. 2014; Rody et al. 2014; Bahammam 2016; Charavet et al. 2016; Charavet et al. 2019; Vijaykumar et al. 2020).

Die Studienergebnisse von 2 Referenzen wurden in die Ergebnissynthese dieses Reviews inkludiert: (Bansal et al. 2019; Sirri et al. 2020).

*Tabelle 4 (fortlaufend): Studien, die im Kolloquium diskutiert wurden
(Die Ergebnisse dieser Studien wurden nach Disputation final in die Ergebnissynthese ein- oder ausgeschlossen.
Abkürzungen: PAAO="periodontally accelerated orthodontics"; SD=Standardabweichung; GBI=Gingivaler Blutungsindex; PD=Taschensondierungstiefe; PBI=Papillen-Blutungs-Index; SBI=Sulkus-Blutungs-Index; PI=Plaqueindex; GCF=Sulkusflüssigkeit; IQA=Interquartilsabstand; DVT=Dentale Volumentomographie; CT=Computertomographie; IL-1=Interleukin-1; IL-RA=Interleukin-1-Rezeptorantagonist; MMP-9=Matrix-Metalloproteinase 9; RANKL="Receptor Activator of NF-κB Ligand"; OPG=Osteoprotegerin; NiTi=Nickel-Titan-Legierung; kVp="kilovoltage peak"; mA=Milliampere; mm=Millimeter; (?)= Bedeutung geht nicht genau aus Studententext/ -abbildung hervor, oder Sinnhaftigkeit des Geschriebenen wird von der Autorin dieser Arbeit hinterfragt)*

Studie	1. (Alves de Souza et al. 2008)	2. (Bahammam 2016)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	ja, Untersucher für Datenerhebung verblindet	ja, Untersucher für Datenerhebung verblindet
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	ja, („split-mouth-design“)	nein
Vergleichsgruppe	nein	ja (kieferorthopädische Therapie + Kortikotomie; kieferorthopädische Therapie + Kortikotomie + Xenograft; kieferorthopädische Therapie + Kortikotomie + bioaktives Glas)
Gruppengröße	(14/14)	(11/11/11)
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: 6 Monate nach Beginn der kieferorthopädischen Therapie	T0: vor chirurgischem Eingriff; T1: Zeitpunkt des „Bracketdebonding“; T2: 9 Monate nach „Bracketdebonding“

⁵ Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski

Alter der Patient*innen	17 +/- 2,6 Jahre (lediglich SD angegeben)	18-27 Jahre
Angabe zur Dentition	keine Angabe	keine Angabe
Interessenkonflikt	keine Angabe	kein Interessenkonflikt
Röntgenologische Untersuchung	/	standardisierte periapikale Röntgenaufnahmen des Frontzahnbereichs von Eckzahn zu Eckzahn; Grauwerte für schwarz=0, weiß= 256
Untersuchung des GCF	/	
Untersuchung des Knochens	/	Knochendichte als Grauwerte auf standardisierten periapikalen Röntgenaufnahmen des Frontzahnbereichs von Eckzahn zu Eckzahn
Untersuchung der Zahnwurzeln	/	Wurzelresorptionen auf standardisierten periapikalen Röntgenaufnahmen des Frontzahnbereichs von Eckzahn zu Eckzahn
Untersuchung der Gingiva	PD; GBI	PD
Maßnahmen zusätzlich zu KFO	Prophylaxebehandlung 10 Tage vor Einsetzen der Apparatur	vor kieferorthopädischer Therapie: <i>"full mouth scaling"</i> (Bahammam 2016: 3); zusätzlich zu kieferorthopädischer Therapie: Kortikotomie; Kortikotomie + Xenograft; Kortikotomie + bioaktives Glas
Richtung der Zahnbewegung	keine Angabe	keine Angabe
Kieferorthopädische Apparatur	Multibracketapparatur	Multibracketapparatur
Exklusionskriterien für Patient*innen	Raucher; schwangere oder stillende Frauen; chronische Erkrankungen mit systematischer Medikation; parodontale Behandlung während der letzten 3 Monate vor Studienbeginn; systemischen Erkrankungen, die das Parodontium beeinflussen könnten	röntgenologischer Hinweis auf Knochenverlust; regelmäßige Medikamenteneinnahme, die den Knochenmetabolismus beeinflusst (z.B. Kortikosteroide, Bisphosphonate, nicht steroidale Analgetika); vorherige kieferorthopädische Behandlung
Inklusionskriterien für Patient*innen	guter Gesundheitszustand; keine Antibiotikaeinnahme in den letzten 3 Monaten vor und während der Studie; keine Gingivitis zu Beginn der Studie; geplante Behandlung mit Multibracketapparatur; Zähne, die anterior nicht in Reihe stehen	gute Mundhygiene und allgemeine Gesundheit; Taschentiefen nicht über 3 mm; Engstand 4-5 mm; skelettales Klasse- 1- Wachstum; günstige Neigung der Kauebene

Power-Analyse für Gruppengröße	keine Angabe	keine Angabe
Patient*innen: Vollständige permanente Dentition 16-26, 36-46	keine Angabe	keine Angabe
„Error of the method“	keine Angabe	keine Angabe
Untersucherkalibrierung	keine Angabe	ja
Diskussionspunkte Kolloquium	nicht spezifisch Frontzahnengstand, sondern " <i>misaligned teeth in the anterior quadrants</i> " (Alves de Souza et al. 2008: 507) untersucht; Alter der Patient*innen nicht genau angegeben, sondern Mittelwert + SD; im Ergebnisteil nicht zwischen Frontzahn-, Eckzahn-, Prämolaren- und Molarenbereich unterschieden; nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen	initial 33 Patient*innen eingeschlossen und auf 3 Gruppen verteilt- 4 Patient*innen während der Behandlung aus Studie ausgeschlossen; bei T2 also nur noch 27 Patient*innen eingeschlossen: keine Angabe darüber, wie viele Patient*innen zu welchem Zeitpunkt in welcher Gruppe untersucht wurden; selbe Abbildung wie (Shoreibah et al. 2012a) und (Shoreibah et al. 2012b) zum chirurgischen Vorgehen (ohne Quellenangabe); Fotos und Zahnfilme desselben Patienten/ derselben Patientin, wie (Shoreibah et al. 2012a) und (Shoreibah et al. 2012b) (ohne Quellenangabe); zweidimensionales Röntgenbild-Reproduzierbarkeit und Aussagekraft eventuell nicht ausreichend (?); nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen
Studie	3. (Bansal et al. 2019)	4. (Charavet et al. 2016)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	ja, Untersucher für Datenerhebung verblindet	zum Teil, aber nicht bezüglich der Datenerhebung (verblindeter Untersucher hat entschieden, wann die Apparatur entfernt wird)
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + Mikroosteoperforationen)	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + „Piezocision“)
Gruppengröße	(15/15)	(11/11)

		(initial (12/12): ein*e Patient*in pro Gruppe ist nicht zur CT-Aufnahme gekommen und wurde ausgeschlossen)
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: 6 Monate nach Beginn der kieferorthopädischen Therapie	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: nach kieferorthopädischer Therapie
Alter der Patient*innen	14-19 Jahre	21-39 Jahre (nur IQA angegeben)
Angabe zur Dentition	permanente Dentition	keine Angabe
Interessenkonflikt	kein Interessenkonflikt	kein Interessenkonflikt
Röntgenologische Untersuchung	DVT-Aufnahme (5x5 cm „field of view“, 90 µm Voxelgröße, 80-84 kVp, 5-8 mA, 20 Sekunden Expositionszeit)	CT-Aufnahme (0,6 mm Schichtdicke)
Untersuchung des GCF	/	/
Untersuchung des Knochens	marginale Knochenhöhe auf DVT-Aufnahmen nach 6 Monaten Therapie 33(mesial)- 43(mesial)	buccale alveoläre Knochendicke; buccolinguale Knochendicke des Alveolarkamms; Knochendehiszenzen und -fenestrationsen
Untersuchung der Zahnwurzeln	Wurzelresorptionen auf DVT-Aufnahmen nach 6 Monaten Therapie in regio 32-42	Wurzelresorptionen nach (Malmgren et al. 1982: 488) auf CT-Aufnahmen
Untersuchung der Gingiva	/	PD; PBI; gingivale Narben und deren Formen; Rezessionen als <i>"recession score"</i> (Charavet et al. 2016: 1005)
Maßnahmen zusätzlich zu KFO	zusätzlich zu kieferorthopädischer Therapie: Mikroosteoperforationen	zusätzlich zu kieferorthopädischer Therapie: „Piezocision“
Richtung der Zahnbewegung	keine Angabe	keine Angabe
Kieferorthopädische Apparatur	Multibracketapparatur	Multibracketapparatur
Exklusionskriterien für Patient*innen	Behinderung beim Kleben der Brackets; Verlust eines Brackets, das nicht spätestens innerhalb einer Woche wiederbefestigt wurde; keine mündliche oder schriftliche Zustimmung zur Studie; Milchzähne/ fehlende Zähne im Bereich des anterioren Unterkiefers; medizinische Probleme, die die Zahnbewegung beeinflussen	kontrollierte Parodontitis mit einem Attachmentverlust über 10%; gingivale Rezessionen über 2mm; Raucher*innen; veränderter Knochenmetabolismus durch Medikamente etc.; mentale oder motorische Einschränkung; Schwangerschaft
Inklusionskriterien für Patient*innen	<i>"Irregularitätsindex [Übersetzung durch die Autorin]"</i> (Little 1975: 554) zwischen 4-6 mm; Alter zwischen 14-19 Jahren; Behandlung ohne Zahnextraktionen; alle permanenten Zähne bis einschließlich der ersten Molaren im Unterkiefer vorhanden; keine Lücken im Unterkiefer;	Patient*innen, die eine kieferorthopädische Therapie im Ober- und Unterkiefer benötigen; erwachsene Patient*innen mit abgeschlossenem Wachstum nach Baccetti et al. (2002: 317); minimaler bis moderater maxillärer und mandibulärer Engstand nach Little

	gesundes Parodontium ohne Attachmentverlust über 2 mm	(1975: 554-563) unter 6; guter allgemeinanamnestischer Zustand Grad I oder II (American Society of Anaesthesiologists 2014: 1); adäquate dento-orale Gesundheit (z.B. keine Parodontitis/ Karies/ periapikalen Läsionen)
Power-Analyse für Gruppengröße	ja, für Unterschiede bezüglich der Geschwindigkeit der Zahnbewegung	ja, für Unterschiede bezüglich der Behandlungsdauer
Patient*innen: Vollständige permanente Dentition 16-26, 36-46	ja	keine Angabe
„Error of the method“	angegeben	keine Angabe
Untersucherkalibrierung	keine Angabe	ja, bezüglich der Auswertung der röntgenologischen Daten
Diskussionspunkte Kolloquium	Inklusions-/ Exklusionskriterien wiederholen sich zum Teil	Alter der Studienteilnehmer*innen nicht genau angegeben- nur IQA; nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen; "recession score" (Charavet et al. 2016: 1005) als kumulativer Wert ohne spezifische Zahnangabe
Studie	5. (Charavet et al. 2019)	6. (Navarro-Palacios et al. 2014)
Randomisierung	ja	nein
Verblindung	zum Teil, aber nicht bezüglich der Datenerhebung (verblindete*r Untersucher*in hat entschieden, wann die Apparatur entfernt wird)	nein
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + „Piezocision“)	ja (Patient*innen mit ausgeprägten Engständen; Patient*innen mit geringen Engständen)
Gruppengröße	(12/12)	(10/10)
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: nach kieferorthopädischer Therapie	T0: vor „Bracketbonding“; T1: 2 Stunden nach „Bracketbonding“/ kieferorthopädischem Therapiebeginn; T2: 7 Tage nach kieferorthopädischem Therapiebeginn; T3: 14 Tage nach kieferorthopädischem Therapiebeginn
Alter der Patient*innen	21-37 Jahre (nur IQA angegeben)	19 +/- 1,3 Jahre (nur SD angegeben)

Angabe zur Dentition	keine Angabe	keine Angabe
Interessenkonflikt	kein Interessenkonflikt	keine Angabe
Röntgenologische Untersuchung	DVT-Aufnahme (0,2 mm Voxelgröße)	/
Untersuchung des GCF		Myeloperoxidase-Enzymlevel im GCF
Untersuchung des Knochens	buccale alveoläre Knochendicke; buccolinguale Knochendicke des Alveolarkamms; Knochendehiszenzen, und -fenestrationen	/
Untersuchung der Zahnwurzeln	Wurzelresorptionen nach Malmgren et al. (1982: 488) auf DVT-Aufnahmen	/
Untersuchung der Gingiva	PD; PBI; gingivale Narben und deren Formen; Rezessionen als " <i>overall recession score</i> " (Charavet et al. 2019: 500)	/
Maßnahmen zusätzlich zu KFO	zusätzlich zu kieferorthopädischer Therapie: „Piezocision“	nein
Richtung der Zahnbewegung	keine Angabe	keine Angabe
Kieferorthopädische Apparatur	Multibracketapparatur	Multibracketapparatur
Exklusionskriterien für Patient*innen	kontrollierte Parodontitis mit einem Attachmentverlust über 10%; gingivale Rezessionen über 2mm; Raucher*innen; veränderter Knochenmetabolismus durch Medikamente etc.; mentale oder motorische Einschränkung; Schwangerschaft	antientzündliche Medikamente bis einschließlich 1 Monat vor der Therapie; Antibiotikaeinnahme während der letzten 6 Monate; parodontaler Knochenabbau auf Röntgenaufnahmen ersichtlich; supragingivale Anlagerung von Plaque
Inklusionskriterien für Patient*innen	Patient*innen, die eine kieferorthopädische Therapie im Ober- und Unterkiefer benötigen; erwachsene Patient*innen mit abgeschlossenem Wachstum nach Baccetti et al. (2002: 317); minimal bis moderater maxillärer und mandibulärer Engstand nach Little (1975: 554-563) unter 6; guter allgemeinanamnestischer Zustand Grad I oder II (American Society of Anaesthesiologists 2014: 1); adäquate dento-orale Gesundheit (z.B. keine Parodontitis/ Karies/ periapikalen Läsionen)	klinisch gesunde Patient*innen; Nichtraucher*innen; gesunde parodontale Verhältnisse mit Taschentiefen nicht über 3 mm
Power-Analyse für Gruppengröße	ja, für Unterschiede bezüglich der Behandlungsdauer	keine Angabe

Patient*innen: Vollständige permanente Dentition 16-26, 36-46	keine Angabe	keine Angabe
„Error of the method“	keine Angabe	keine Angabe
Untersucherkalibrierung	ja, bezüglich der Auswertung der röntgenologischen Daten	keine Angabe
Diskussionspunkte Kolloquium	Alter der Patient*innen nicht genau angegeben, nur IQA; nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen; Tabelle 2: Standardabweichung 16 (Eigentlich 1.6- fehlender Punkt (?)); bezüglich Wurzel- und Knochenveränderungen: innerhalb der Gruppen keine Analyse der Veränderungen vor- und nach der Behandlung angegeben; <i>„overall recession score“</i> (Charavet et al. 2019: 500) als kumulativer Wert ohne spezifische Zahnangabe	Alter der Patient*innen nicht genau angegeben, nur Mittelwert und SD; nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen
Studie	7. (Rody et al. 2014)	8. (Shoreibah et al. 2012a)
Randomisierung	nein	ja
Verblindung	nein	nein
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	ja („split-mouth-design“)	nein
Vergleichsgruppe	ja (Erwachsene; Jugendliche)	ja (kieferorthopädische Therapie + Kortikotomie; kieferorthopädische Therapie + Kortikotomie + bioaktives Glas)
Gruppengröße	(10/10)	(10/10)
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor „Bracketbonding“; T1: 3 Wochen nach Einsetzen des ersten Bogens (0.014“ NiTi); T2: 6 Wochen nach Einsetzen des ersten Bogens; T3: 6 Wochen nach Einsetzen des dritten Bogens (0.016“ x 0.022“ NiTi); T4: 2 Wochen nach Einsetzen des vierten Bogens (0.019“ x 0.025“ NiTi)	T0: vor chirurgischem Eingriff; T1 nach „Bracketdebonding“; T3: 6 Monate nach „Bracketdebonding“
Alter der Patient*innen	13-15 Jahre; 21-39 Jahre	im Durchschnitt 24,5 Jahre
Angabe zur Dentition	permanente Dentition	keine Angabe
Interessenkonflikt	keine Angabe	keine Angabe

Röntgenologische Untersuchung	/	standardisierte periapikale Röntgenaufnahmen der Zähne 33-43
Untersuchung des GCF	Vorkommen von IL-1, IL-1RA, MMP-9, RANKL, OPG im GCF	/
Untersuchung des Knochens	/	Knochendichte als Graustufen (0=schwarz, 256= weiß) auf standardisierten periapikalen Röntgenaufnahmen der Zähne 33-43
Untersuchung der Zahnwurzeln	/	Wurzelresorptionen auf standardisierten periapikalen Röntgenaufnahmen der Zähne 33-43
Untersuchung der Gingiva	/	PD
Maßnahmen zusätzlich zu KFO	2 Wochen vor Beginn der kieferorthopädischen Therapie: Zahnreinigung und parodontale Untersuchung, um parodontale Erkrankung auszuschließen	vor kieferorthopädischer Therapie: "full mouth scaling" (Shoreibah et al. 2012a: 107); zusätzlich zu kieferorthopädischer Therapie: Kortikotomie; Kortikotomie + bioaktives Glas
Richtung der Zahnbewegung	keine Angabe	keine Angabe
Kieferorthopädische Apparatur	Multibracketapparatur	Multibracketapparatur
Exklusionskriterien für Patient*innen	Zeichen für parodontale Erkrankung; kieferorthopädischer Therapieplan, der Zahnextraktionen vorsieht; Raucher*innen; anderweitige Drogeneinnahme	akute parodontale Erkrankung; vorherige kieferorthopädische Behandlung; vorherige parodontalchirurgische Behandlung; regelmäßige Medikamenteneinnahme
Inklusionskriterien für Patient*innen	gute allgemeine Gesundheit; Klasse I-Malokklusion; permanente Dentition; Frontzahnengstand mit einem "Irregularitätsindex [Übersetzung durch die Autorin]" (Little 1975: 554) von 3-6 mm im Oberkiefer	Frontzahnengstand (3- 5 mm); skelettale Kl. I; gute Mundhygiene; adäquate Gingivadicke nach De Rouck (2009: 430-431)
Power-Analyse für Gruppengröße	keine Angabe	keine Angabe
Patient*innen: Vollständige permanente Dentition 16-26, 36-46	keine Angabe	keine Angabe
„Error of the method“	keine Angabe	keine Angabe
Untersucherkalibrierung	keine Angabe	keine Angabe
Diskussionspunkte Kolloquium	nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen	Alter der Patient*innen nicht genau angegeben, sondern Mittelwert; nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der

		<p>Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen; ähnliches Studiendesign wie in (Shoreibah et al. 2012b) - Möglicherweise Überschneidungen des Patient*innenguts (?); selbe Fotos und Zahnfilme, wie in (Shoreibah et al. 2012b) und (Bahammam 2016) (ohne Quellenangabe); im Abstract steht, dass 3. Messung 6 Monate postoperativ stattfand, im Text steht, dass 3. Messung 6 Monate nach „Bracketdebonding“ stattfand- falsche Deklaration der Messzeitpunkte (?); zweidimensionales Röntgenbild- Reproduzierbarkeit und Aussagekraft möglicherweise nicht ausreichend (?); Wurzelresorptionen in Abbildung 8 dargestellt, aber als "bone density" (Shoreibah et al. 2012a: 110) deklariert- falsche Beschriftung (?); Beschreibung der PD/ Veränderung der PD unklar (?)</p>
Studie	9. (Shoreibah et al. 2012b)	10. (Sirri et al. 2020)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	nein	nein
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + Kortikotomie)	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + „Corticision“)
Gruppengröße	(10/10)	(30/30)
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor chirurgischem Eingriff; T1 nach „Bracketdebonding“; T3: 6 Monate nach „Bracketdebonding“	T0: 3 Tage vor „Bracketbonding“; T1: 7 Tage nach Nivellierungsphase und „Bracketdebonding“ bei Vorliegen eines „Irregularitätsindex [Übersetzung durch die Autorin]“ (Little 1975: 554) von unter 1 mm
Alter der Patient*innen	18,4-25,6 Jahre	18-25 Jahre
Angabe zur Dentition	keine Angabe	permanente Dentition
Interessenkonflikt	keine Angabe	kein Interessenkonflikt
Röntgenologische Untersuchung	standardisierte periapikale Röntgenaufnahmen der Zähne 33-43	periapikale Röntgenaufnahme des Frontzahnbereichs zur chirurgischen Planung

Untersuchung des GCF	/	/
Untersuchung des Knochens	Knochendichte als Graustufen (0=schwarz, 256= weiß) auf standardisierten periapikalen Röntgenaufnahmen der Zähne 33-43	/
Untersuchung der Zahnwurzeln	Wurzelresorptionen auf standardisierten periapikalen Röntgenaufnahmen der Zähne 33-43	/
Untersuchung der Gingiva	PD	GI; PD; Breite der keratinisierten Gingiva
Maßnahmen zusätzlich zu KFO	vor kieferorthopädischer Therapie: " <i>full-mouth-scaling</i> " (Shoreibah et al. 2012b: 99); zusätzlich zu kieferorthopädischer Therapie: Kortikotomie	zu Beginn der kieferorthopädischen Therapie drei vertikale, kortikale Inzisionen im Frontzahnbereich + 1 Woche 2x am Tag Spülung mit 0,12% Chlorhexidin-Lösung
Richtung der Zahnbewegung	keine Angabe	keine Angabe
Kieferorthopädische Apparatur	Multibracketapparatur	Multibracketapparatur
Exklusionskriterien für Patient*innen	akute parodontale Erkrankung; vorherige kieferorthopädische Behandlung; vorherige parodontalchirurgische Behandlung; regelmäßige Medikamenteneinnahme	systemische Erkrankungen, die die Zahnbewegung beeinflussen; schlechte Mundhygiene und Vorhandensein einer Parodontalerkrankung (PI über 1); vorherige kieferorthopädische Behandlung; ausgeprägte skelettale Abweichungen; kraniofaziale Störungen; keine Möglichkeit, Brackets an den anterioren Unterkieferzähnen zu befestigen
Inklusionskriterien für Patient*innen	Frontzahnengstand (3-5 mm); skelettale Kl. I; gute Mundhygiene; adäquate Gingivadicke nach De Rouck (2009: 430-431)	Alter zwischen 18-25 Jahren; milde bis moderate Engstände nach Little (1975) nicht mehr als 6 mm; keine Lücken im Zahnbogen; keine parodontalen Erkrankungen; permanente Okklusion-Bedeutung (?); Vorhandensein aller permanenten Zähne im Unterkieferzahnbogen bis einschließlich der zweiten Molaren
Power-Analyse für Gruppengröße	keine Angabe	ja, aber Primärergebnisse der Untersuchung sind Unterschiede bezüglich der Geschwindigkeit der Zahnbewegung
Patient*innen: Vollständige permanente Dentition 16-26, 36-46	keine Angabe	ja

„Error of the method“	keine Angabe	angegeben
Untersucherkalibrierung	keine Angabe	keine Angabe
Diskussionspunkte Kolloquium	<p>Unklar, wann Untersuchungszeitpunkte tatsächlich stattfanden, da wechselnd <i>"post-operative"</i> (Shoreibah et al. 2012b: 101) und <i>"post-treatment"</i> (Shoreibah et al. 2012b: 101) geschrieben wird. Eine Gruppe wurde jedoch laut Studienbeschreibung überhaupt nicht operiert (?); Abbildungsbeschriftungen und Textstellen passen zum Teil nicht zur Gruppeneinteilung (?); Tabelle 1: Gruppe 2 als Gruppe, die mit Knochenersatzmaterial behandelt wurde, beschrieben (?); Studiendesign, ähnlich (Shoreibah et al. 2012a); selbe Fotos und Zahnfilme, wie in (Shoreibah et al. 2012a) + (Bahammam 2016)-Fotos vom selben Patienten/ derselben Patientin (ohne Quellenangabe); zweidimensionales Röntgenbild-Reproduzierbarkeit und Aussagekraft möglicherweise nicht ausreichend (?); nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen</p>	<p>Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der zweidimensionalen Röntgenaufnahmen mit Führungsstäben zur Planung der Inzisionen fraglich (?), Spaltenüberschriften in Zeile 1 (2020: 29 (Tabelle 5)) wahrscheinlich verrutscht (?)</p>
Studie	(Vijaykumar et al. 2020)	
Randomisierung	ja	
Verblindung	ja/nein: Untersucher*in für Datenerhebung <i>„unabhängig [Übersetzung durch die Autorin]“</i> (Vijaykumar et al. 2020: 2)- Verblindung bei offensichtlichem Sitz der Apparaturen vestibulär oder lingual überhaupt möglich (?)	
Prospektives Studiendesign	ja	
Kontrollgruppe	nein	
Vergleichsgruppe	ja (Kieferorthopädische Therapie mit vestibulär sitzender Apparatur; kieferorthopädische Therapie mit lingual sitzender Apparatur)	

Gruppengröße	(10/10)
Untersuchungszeitpunkte	T0: einen Monat nach „Bracketbonding“: „after one month of bonding“ (Vijaykumar et al. 2020: 2)- Übersetzungsproblem (?); T1: nach 3 Monaten
Alter der Patient*innen	20-30 Jahre
Angabe zur Dentition	keine Angabe
Interessenkonflikt	keine Angabe
Röntgenologische Untersuchung	/
Untersuchung des GCF	/
Untersuchung des Knochens	/
Untersuchung der Zahnwurzeln	/
Untersuchung der Gingiva	GI im Unterkieferfrontzahnbereich
Maßnahmen zusätzlich zu KFO	ja, vor der kieferorthopädischen Therapie komplettes, ultraschallunterstütztes Scaling
Richtung der Zahnbewegung	keine Angabe
Kieferorthopädische Apparatur	Multibracketapparatur (Brackets vestibulär; Brackets lingual (2D-Clips)
Exklusionskriterien für Patient*innen	skelettale Klasse II/III Malokklusionen; ausgeprägte dentofaziale Anomalien; systemische oder schwächende Erkrankungen; Patient*innen, bei denen eine linguale Behandlung kontraindiziert war; schlechte Mundhygiene; parodontale Erkrankungen
Inklusionskriterien für Patient*innen	„Klasse I/II Division I/II Division II/Klasse 3-Malokklusion [Übersetzung durch die Autorin]“ (Vijaykumar et al. 2020: 2)- Bedeutung (?); Frontzahnengstand im Unterkiefer geringer als 8 mm; zwischen 20-30 Jahre alt
Power-Analyse für Gruppengröße	keine Angabe
Patient*innen: Vollständige permanente Dentition 16-26, 36-46	keine Angabe
„Error of the method“	keine Angabe
Untersucherkalibrierung	keine Angabe

Diskussionspunkte Kolloquium	<p>Übersetzungsprobleme: Bei Inklusionskriterien: "<i>Klasse I/II Division I/II Division II/Klasse 3 Malokklusion [Übersetzung durch die Autorin]</i>" (Vijaykumar et al. 2020: 2)- Bedeutung (?); erste Messung "<i>after one month of bonding</i>" (Vijaykumar et al. 2020: 2)- Bedeutung fraglich (?): erste Messung erst einen Monat nachdem die Apparaturen eingesetzt wurden (?); nicht genau beschrieben, dass die Patient*innen vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite eine vollständige permanente Dentition aufwiesen</p>
---------------------------------	--

Einer der Hauptgründe für den Ausschluss von Referenzen aus der Ergebnissynthese nach Diskussion im Kolloquium mit dem Betreuer dieser Dissertationsarbeit⁶ war, dass die Beschreibung des Studiendesigns nicht erkennen ließ, ob die vorliegende, permanente Dentition der Studienteilnehmer*innen vollständig war, oder nicht. In einigen Studien wurde das Alter der Patient*innen nicht genau angegeben: ((Alves de Souza et al. 2008; Shoreibah et al. 2012a; Navarro-Palacios et al. 2014; Charavet et al. 2016; Charavet et al. 2019). Zusätzlich wurde oftmals nicht expliziert aufgeführt, dass es sich bei der Bezahnung der Patient*innen um eine vollständige permanente Dentition mindestens vom ersten Molaren der einen, bis zum ersten Molaren der Gegenseite handelte: (Alves de Souza et al. 2008; Shoreibah et al. 2012a; Shoreibah et al. 2012b; Navarro-Palacios et al. 2014; Rody et al. 2014; Bahammam 2016; Charavet et al. 2016; Charavet et al. 2019; Vijaykumar et al. 2020). Deshalb war es nicht möglich, auszuschließen, dass eventuell fehlende Zähne einen Platzüberschuss im Zahnbogen und somit eine mögliche Verzerrung der Effekte der Frontzahnengstandauflösung zur Folge hatten. Aus diesem Grund waren im Zuge der initialen Studiensichtung bereits Studien im Rahmen derer Patient*innen untersucht wurden, die einen Platzüberschuss als „leeway“ (Nance 1947: 186) aufwiesen oder bei denen Zahnextraktion vorgenommen oder im Zuge der Therapie geplant waren, ausgeschlossen worden.

Außerdem wiesen 5 Studien Probleme mit der Methodenbeschreibung, der Übersetzung des englischen Textes oder der Studien- und Abbildungsbeschriftungen auf, sodass

⁶ Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski

durch sprachliche und methodische Defizite die Aussagekraft der Referenzen, Sorgfalt bei der Studiendurchführung, Datenerhebung und Veröffentlichung bei 4 dieser Referenzen nicht garantiert zu sein schien: (Shoreibah et al. 2012a; Shoreibah et al. 2012b; Bahammam 2016; Vijaykumar et al. 2020).

Die Studie von Sirri et al. (2020) wurde trotz fehlerhafter Beschriftung einer Tabelle in die Ergebnissynthese inkludiert, da die Bedeutung des Tabelleninhalts aus dem darauf bezogenen Text zu entnehmen war und es sich sehr wahrscheinlich um verrutschte Tabellenspalten und -zeilen handelt (Abbildung 2). In Tabelle 5 scheinen die Spalten in Zeile 1 im Bereich der Variablen eine Spalte zu weit links zu stehen, denn im Text wird die Messung der Taschensondierungstiefen für die Gruppen mit „Corticision“ mit „ $2.08 \pm 0.33 \text{ mm}$ “ (Sirri et al. 2020: 29) und ohne „Corticision“ mit „ $2.03 \pm 0.35 \text{ mm}$ “ (Sirri et al. 2020: 29) nach der Behandlung angegeben. Diese Werte würden zu Tabelle 5 passen, wenn die Überschriften eine Spalte nach rechts verschoben werden würden. Außerdem sind in den letzten Spalten für die Standardabweichung 2 Werte angegeben, was ebenfalls durch eine Verschiebung der Überschriften um eine Spalte nach rechts mehr Sinn ergeben würde. Dort würde dann lediglich ein Wert pro Zeile bezüglich der Standardabweichung stehen, passend dazu, wie es im Text beschrieben ist. Außerdem fehlt in Spalte 1 in Zeile 4 der letzte Buchstabe bei „*Gingival Inde[x]*“ (Sirri et al. 2020: 29), was ein Flüchtigkeitsfehler zu sein scheint, wenngleich kritisch zu betonen ist, dass Tabelle 5 viele solcher Fehler aufweist. Um sicherzugehen, dass die Tabelle im Rahmen der Ergebnisauswertung dieser Arbeit richtig interpretiert wurde, wurde einer der Autoren, Mohammad Hajeer, am 16.06.2021 per E-Mail kontaktiert und bezüglich der vermeintlich verrutschten Spalten der Tabelle 5 befragt. Der Autor bejahte ein Problem mit der Studienveröffentlichung und übersendete die korrekte Tabelle (Abbildung 3).

Im Abstrakt und in der Methodenbeschreibung der Studie von Bahammam (2016: 1-2) steht geschrieben, dass 33 Patient*innen auf 3 Gruppen verteilt worden seien. Im Diskussionsteil ist jedoch angegeben, dass 4 Patient*innen während der Behandlung aus der Studie ausgeschlossen wurden, sodass nach 9 Monaten noch 27 Patient*innen übrig waren (Bahammam 2016: 6). Es findet sich keine Angabe darüber, wie viele Patient*innen zu welchem Zeitpunkt und in welcher Gruppe untersucht wurden, sodass eines der Einschlusskriterien für die Ergebnissynthese dieses Reviews, dass mindestens 10 Patient*innen pro Gruppe untersucht worden sein sollen, nicht gegeben ist.

Abbildung 2: fehlerhafte Tabelle der Publikation von (Sirri et al. 2020)
(Veröffentlichung im Rahmen dieser Arbeit mit freundlicher Erlaubnis des J Clin Diagn Res)

Variables	Before treatment				After treatment				
	Control group (N=30)		Corticision group (N=30)		Control group (N=30)		Corticision group (N=30)		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Plaque index	Buccal	0.25	0.26	0.30	0.26	0.86	0.35	1.08	0.42
	Lingual	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mesial	0.45	0.29	0.63	0.38	1.36	0.52	1.63	0.39
	Distal	0.60	0.39	0.45	0.32	1.30	0.50	1.13	0.55
Probing depth	Buccal	1.38	0.26	1.45	0.31	2.03	0.35	2.08	0.33
	Lingual	1.36	0.27	1.26	0.23	1.45	0.31	1.40	0.22
	Mesial	2.31	0.27	2.25	0.16	2.45	0.31	2.31	0.17
	Distal	2.23	0.23	2.28	0.26	2.58	0.27	2.66	0.33
Gingival Inde	Buccal	0.40	0.35	0.56	0.40	0.56	0.42	0.80	0.41
	Lingual	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mesial	0.45	0.34	0.51	0.42	0.63	0.38	0.76	0.30
	Distal	0.60	0.38	0.73	0.31	0.80	0.32	0.97	0.42
WAG	Buccal	4.03	0.57	4.23	0.56	3.85	0.46	3.90	0.55

[Table/Fig-5]: Descriptive statistics of the periodontal parameters recorded before and after treatment in the corticision and control groups (Mean±SD).
N: Number of patients; WAG: Width of the attached gingiva; SD: Standard deviation. Both the probing depth and the WAG are mentioned in mm

Abbildung 3: korrekte Tabelle gemäß E-Mail-Korrespondenz mit Mohammad Hajeer (mit freundlicher Erlaubnis zur Veröffentlichung im Rahmen dieser Arbeit)

Variable	Before treatment				After treatment				
	Control group (N=30)		Corticision group (N=30)		Control group (N=30)		Corticision group (N=30)		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Plaque index	Buccal	0.25	0.26	0.30	0.26	0.86	0.35	1.08	0.42
	Lingual	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mesial	0.45	0.29	0.63	0.38	1.36	0.52	1.63	0.39
	Distal	0.60	0.39	0.45	0.32	1.30	0.50	1.13	0.55
Probing depth	Buccal	1.38	0.26	1.45	0.31	2.03	0.35	2.08	0.33
	Lingual	1.36	0.27	1.26	0.23	1.45	0.31	1.40	0.22
	Mesial	2.31	0.27	2.25	0.16	2.45	0.31	2.31	0.17
	Distal	2.23	0.23	2.28	0.26	2.58	0.27	2.66	0.33
Gingivitis index	Buccal	0.40	0.35	0.56	0.40	0.56	0.42	0.80	0.41
	Lingual	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mesial	0.45	0.34	0.51	0.42	0.63	0.38	0.76	0.30
	Distal	0.60	0.38	0.73	0.31	0.80	0.32	0.97	0.42
WAG	Buccal	4.03	0.57	4.23	0.56	3.85	0.46	3.90	0.55

[Table/Fig-5]: Descriptive statistics of the periodontal parameters recorded before and after treatment in the corticision and control groups (Mean ± SD).
N= Number of patients; WAG: Width of the attached gingiva; SD: Standard deviation. Both the probing depth and the WAG are mentioned in mm.

In einer der Studien von Shoreibah et. al. (2012a) waren vor allem methodische Schwächen der Grund für den Ausschluss aus der weiterführenden Ergebnissynthese. Im Abstrakt der Studie steht, dass die dritte Untersuchung der Patient*innen 6 Monate postoperativ stattgefunden habe, im Veröffentlichungstext steht jedoch geschrieben, dass die dritte Untersuchung der Patient*innen 6 Monate nach Entfernung der Apparatur vorgenommen worden sei. Außerdem soll in Abbildung 8 die „Veränderung der Zahnwurzellänge [Übersetzung durch die Autorin]“ (Shoreibah et al. 2012a: 110) dargestellt sein, die y-Achse ist jedoch mit „Knochendichte [Übersetzung durch die Autorin]“ (Shoreibah et al. 2012a: 110) beschriftet. Die Beschreibung der „durchschnittlichen Veränderungen der Taschensondierungstiefen [Übersetzung durch die Autorin]“ (Shoreibah et al. 2012a: 108) ist ebenfalls nicht nachzuvollziehen, da abwechselnd „durchschnittliche Taschensondierungstiefe [Übersetzung durch die Autorin]“ (Shoreibah et al. 2012a: 108-109) und „durchschnittliche Veränderung der Taschensondierungstiefe [Übersetzung durch die Autorin]“ (Shoreibah et al. 2012a: 108-109) geschrieben steht und es dem Leser deshalb nicht möglich ist, die Werte korrekt einzuordnen. Im Falle einer Messung der „Veränderung der Taschensondierungstiefe[n] [Übersetzung durch die Autorin]“ (Shoreibah et al. 2012a: 108-109) könnte theoretisch für den Zeitpunkt der ersten Untersuchung kein Wert vorliegen, welcher jedoch in Abbildung 6 angegeben ist. Falls es sich bei den Angaben in Abbildung 6 um die Messwerte der „durchschnittlichen Taschensondierungstiefe[n] [Übersetzung durch die

Autorin]“ (Shoreibah et al. 2012a: 108-109) handelt, würden die Angaben in Tabelle 1 ergeben, dass die Taschensondierungstiefen bei der dritten Messung bei einem Wert von 0 gelegen haben. Außerdem passen die Werte aus Tabelle 1 und Abbildung 6 nicht zu den dargestellten Graphen in Abbildung 5.

In der weiteren im Kolloquium diskutierten Studie von Shoreibah et. al. (2012b) ist undeutlich beschrieben, wann die Untersuchungen der Patient*innen stattfanden. Die Begriffe *“post-operative”* (Shoreibah et al. 2012b: 101-103) und *“post-treatment”* (Shoreibah et al. 2012b: 97, 99, 100-102) zur Beschreibung des Zeitpunktes der zweiten Datenerhebung werden abwechselnd benutzt. Da jedoch die Patient*innen aus einer der zwei Studiengruppen laut Studienbeschreibung gar nicht operiert wurden, erzeugt die synonyme Verwendung der zwei Begriffe Verwirrung und lässt vermuten, dass ein nicht deklarerter Bezug zur weiteren Veröffentlichung von Shoreibah et. al. (2012a) besteht. Außerdem passt die Abbildungsbeschriftung der Tabelle 1 auf Seite 101 nicht zur Gruppeneinteilung, wie sie auf Seite 98 beschreiben wurde. In Tabelle 1 wird Gruppe 2 als Gruppe beschrieben, die mit Knochenersatzmaterial behandelt wurde. Laut initialer Methodenbeschreibung soll bei Gruppe 2 jedoch die kieferorthopädische Therapie des Unterkieferfrontzahnengstandes ausschließlich mit einer festsitzenden Apparatur durchgeführt worden sein (Shoreibah et al. 2012b: 98, 101 (Tabelle 1)).

Insgesamt fällt auf, dass die Studiendesigns dreier der im Kolloquium diskutierten Studien sich sehr ähneln. Als besonders kritisch ist zu betrachten, dass Fotos und Zahnfilme desselben Patienten/ derselben Patientin in allen drei Studien auftauchen, ohne dass aufeinander oder eine andere Quelle verwiesen wird: (Shoreibah et al. 2012a: 108 (Abbildung 1-4), 111 (Abbildung 9); Shoreibah et al. 2012b: 99 (Abbildung 1-4), 100 (Abbildung 5); Bahammam 2016: 3 (Abbildung 1), 4 (Abbildung 2), 5 (Abbildung 3)).

In einer Studie von Vijaykumar et. al. (2020: 2) ist als Inklusionskriterien der Patient*innen angegeben, dass es sich um Patient*innen mit *“Klasse I/II Division I/II Division II/Klasse III Malokklusion [Übersetzung durch die Autorin]”* (Vijaykumar et al. 2020: 2) handeln soll. Die Bedeutung dieser Textzeile erscheint fraglich. Außerdem sei die erste Messung der parodontalen Parameter *“after one month of bonding”* (Vijaykumar et al. 2020: 2) durchgeführt worden. Dies scheint ein Übersetzungsproblem zu sein, denn es ist unwahrscheinlich, dass die Befestigung der Apparaturen einen Monat lang gedauert hat. Außerdem bleibt zu diskutieren, ob es für die Aussagekraft der Studie sinnvoll gewesen wäre, die erste Messung der parodontalen Parameter vor Einsetzen der Apparaturen

durchzuführen, um einen aussagekräftigen Vergleich zwischen verschiedenen Zeitpunkten herstellen zu können.

In einigen im Kolloquium diskutierten Studien wird im Rahmen der Ergebnisbeschreibung keine spezifische Datenerhebung für den Frontzahnbereich aufgeführt, sodass keine Aussage für den Effekt der kieferorthopädischen Therapie in regio der Frontzahnengstände abgeleitet werden kann: (Alves de Souza et al. 2008; Charavet et al. 2016; Charavet et al. 2019).

In der Studie von Alves de Souza et. al. (2008) wird im Ergebnisteil nicht zwischen verschiedenen Zahngruppen unterschieden. Außerdem ist im Abschnitt der Beschreibung der Inklusionskriterien nicht spezifisch von Frontzahnengständen, sondern von "*misaligned teeth in the anterior quadrants*" (Alves de Souza et al. 2008: 507) die Rede. Dies könnte neben Frontzahnengständen unter anderem auch lückige Zahnstellungen oder Zahnrotationen einschließen, sodass die Untersuchungsergebnisse sich wahrscheinlich nicht spezifisch auf Frontzahnengstände beziehen.

In den zwei im Kolloquium diskutierten Studien von Charavet et. al. (2016; 2019) werden gingivale Rezessionen als "*overall recession scores*" (Charavet et al. 2016: 1005; Charavet et al. 2019: 498) als kumulativer Wert ohne spezifische Zahnangabe angegeben, sodass ebenfalls keine spezifische Aussage für den Frontzahnbereich abgeleitet werden kann. Außerdem wird in der Studie von Charavet et. al. von 2019 in Tabelle 2 im Bereich der Datenerhebung bezüglich möglicherweise entstandener Wurzelresorptionen eine Standardabweichung von „16 [mm]“ (Charavet et al. 2019: 500) angegeben. Fraglich ist, ob dort ein Punkt zwischen den beiden Zahlen fehlt und es sich demnach um einen Flüchtigkeitsfehler handelt. Hinzukommend wird in dieser Studie kein Vergleich bezüglich Wurzel- und Knochenveränderungen innerhalb der Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten angestellt, wenngleich die Werte zwischen den Gruppen verglichen wurden. Ein Vergleich der parodontalen Veränderungen innerhalb der Gruppen zu verschiedenen Therapiezeitpunkten wäre für die Analyse der Effekte der kieferorthopädischen Therapie auf das Parodontalgewebe bedeutsam gewesen.

Ein weiterer im Kolloquium diskutierter Aspekt war, ob zweidimensionale Röntgenaufnahmen eine reproduzierbare Bewertung der Knochen- und Zahnwurzelverhältnisse im Frontzahnbereich zulassen.

Bahammam (2016) sowie Shoreibah et. al. (2012a; 2012b) haben die Knochendichte und Wurzellängen im Bereich der Unterkieferfrontzähne auf periapikalen Röntgenaufnahmen untersucht. Neben der fraglichen Reproduzierbarkeit des Abstandes und der Winkelung

des Röntgentubus bei Erstellung der Aufnahmen und damit der Variabilität des Vergrößerungsfaktors und der Reproduzierbarkeit der Messungen, sind die angegebenen Werte im Ergebnisteil der Studien von Shoreibah et. al. zusätzlich aus weiteren Gründen zu hinterfragen.

In der einen Studie von Shoreibah et. al. (2012a) stimmen die in Tabelle 2 angegebenen Werte für die durchschnittliche Veränderung der Knochendichte nicht mit dem in Abbildung 7 angegebenen Wert überein. Für Gruppe II ist in Tabelle 2 eine prozentuale Verringerung der Knochendichte von „-42.580 [±] 12.543“ (Shoreibah et al. 2012a: 109) angegeben, während in Abbildung 7 ein positiver Wert von „+42,58“ (Shoreibah et al. 2012a: 110) beschrieben wird.

In der weiteren Studie von Shoreibah et. al. (2012b) sollen in Tabelle 3 die Veränderungen der Zahnwurzellängen zu verschiedenen Zeitpunkten angegeben sein. Wenngleich die Werte für die Veränderungen der Wurzellängen in der Kontrollgruppe im Text mit einem Mittelwert von „-1,7 ± 9,5 mm“ (Shoreibah et al. 2012b: 6) angegeben werden, findet sich in der Tabelle 3 ein Mittelwert von „-10,7 ± 9,5“ (Shoreibah et al. 2012b: 6) und ein signifikanter p-Wert bezüglich des Unterschieds im Intergruppenvergleich. Fraglich ist, ob in der Tabelle die Kommastelle verrutscht ist. Dasselbe ist in Tabelle 3 in Spalte 1 zu hinterfragen, da dort ein Wert von „-13,5 ± 4,9“ (Shoreibah et al. 2012b: 6) angegeben ist, sodass die Sorgfalt bei der Datenerhebung und Veröffentlichung abermals zu hinterfragen ist. Es ist außerdem nicht klar, unter Hinzuziehung welcher Werte die signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Tabelle 3 berechnet wurden.

In der im Kolloquium besprochenen Studie von Sirri et. al. (2020) wurde die Planung der Dekortikationsstellen mit metallischen Führungsstäben auf zweidimensionalen Röntgenaufnahmen vorgenommen. Ob zweidimensionale Zahnfilme eine reproduzierbare Planung zulassen, ist aufgrund der Verzerrung und des Perspektivenwechsels durch unterschiedliche Betrachtungswinkel in Relation zur Winkelung des Röntgentubus zu bezweifeln. Wenngleich dies als kritischer Punkt des Studienaufbaus anzusehen ist, erfolgte keine Ergebnisauswertung auf Grundlage der Zahnfilme, sodass bei klinisch guter Durchführung der chirurgischen Eingriffe, unabhängig von Schwächen bezüglich der Reproduzierbarkeit der Planung der Dekortikationsstellen und deren genauer Positionierung, dennoch aussagekräftige Ergebnisse der Studie bezüglich der gingivalen Veränderungen zu erwarten waren und diese deshalb in die Ergebnissynthese dieses Reviews eingeschlossen wurden.

3.2. Inklusion von Studien in die Ergebnissynthese

Insgesamt wurden 2 Studien in die Ergebnissynthese dieser Arbeit inkludiert. 12 Registereinträge wurden lediglich vorläufig inkludiert, da die Ergebnisse der Untersuchungen zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Reviews noch nicht veröffentlicht worden waren (Tabelle 5).

Im Rahmen der Studie von Bansal et al. (2019) wurde der Zusammenhang zwischen der kieferorthopädischen Therapie eines Frontzahnengstandes und Wurzelresorptionen sowie Veränderungen des marginalen Knochenlevels untersucht. Eine der beiden Studiengruppen wurde mit einer Multibracketapparatur ohne zusätzlichen Eingriff, die andere der beiden Studiengruppen wurde zusätzlich zur kieferorthopädischen Therapie mittels Multibracketapparatur mit 6 Mikroosteoperforationen im Frontzahnbereich behandelt. Beide Gruppen wurden vor der Therapie und nach 6 Monaten Behandlungszeit röntgenologisch durch digitale volumetomographische Aufnahmen untersucht.

Im Rahmen der Studie von Sirri et al. (2020) wurde der Zusammenhang zwischen der kieferorthopädischen Therapie eines Frontzahnengstandes und den Taschensondierungstiefen, den Gingivalindizes sowie der Breite der keratinisierten Gingiva im Bereich der 6 unteren Front- und Eckzähne untersucht. Eine der beiden Studiengruppen wurde mit einer Multibracketapparatur ohne zusätzlichen Eingriff, die andere der beiden Studiengruppen wurde zusätzlich zur kieferorthopädischen Therapie mittels Multibracketapparatur mit 3 kortikalen Inzisionen im Frontzahnbereich behandelt. Die Taschensondierungstiefen, die Gingivalindizes und die Breite der keratinisierten Gingiva wurden 3 Tage vor Einsetzen der Apparatur und 7 Tage nach Abschluss der Nivellierungsphase und dem Entfernen der Apparatur, definiert als Zeitpunkt an dem ein „Irregularitätsindex [Übersetzung durch die Autorin]“ (Little 1975: 554) von 1 oder weniger vorlag, gemessen.

3.2.1. Ergebnisse bezüglich Wurzelresorptionen nach Bansal et al. (2019)

Wurzelresorptionen wurden als volumetrischer Unterschied durch Überlagerung der jeweiligen Zahnwurzeln auf zwei dreidimensionalen Röntgenaufnahmen berechnet

(Bansal et al. 2019: 3, 4 (Abbildung 3)). Im Vergleich zwischen den Gruppen hat sich kein signifikanter Unterschied bezüglich des Auftretens von Wurzelresorptionen gezeigt (Bansal et al. 2019: 5, 7 (Tabelle 6)). Ein statistischer Vergleich der Veränderungen innerhalb der Gruppen vor und nach 6 Monaten Therapie fand nicht statt. Im Bereich der untersuchten Unterkieferfrontzähne sind nach 6 Monaten Behandlungszeit zwischen „13.80 [±] 5.321 [...] mm³“ (Bansal et al. 2019: 7) und „16.87 [±] 6.368 [...] mm³“ (Bansal et al. 2019: 7) Wurzelresorptionen aufgetreten.

3.2.2. Ergebnisse bezüglich des marginalen alveolären Knochenlevels nach Bansal et al. (2019)

Die marginale alveoläre Knochenhöhe wurde auf den dreidimensionalen Röntgenaufnahmen jeweils mittig der vestibuloralen Breite eines jeden Zahnes als senkrechter Abstand zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem am weitesten koronal gelegenen Punkt des interdentalen Knochenangebots gemessen. Die Messung fand mesial der Zähne 43, 41, 31 und 33 sowie distal der Zähne 42 und 32 statt. Der Wert der zweiten orthogonalen Streckenmessung nach 6 Monaten wurde von dem initialen Messwert abgezogen, um Veränderungen der marginalen Knochenhöhe zu berechnen (Bansal et al. 2019: 3, 4 (Abbildung 4)). Im Vergleich zwischen den Gruppen hat sich kein signifikanter Unterschied bezüglich des Auftretens von alveolärem marginalen Knochenverlust gezeigt (Bansal et al. 2019: 5, 7 (Tabelle 7)). Ein statistischer Vergleich der Veränderungen innerhalb der Gruppen vor und nach der Therapie fand nicht statt. Im Bereich der untersuchten Unterkieferfrontzähne sind 6 Monate nach Therapiebeginn Verringerungen der marginalen interdentalen alveolären Knochenhöhe zwischen „0.020 [±] 0.1474 [...] mm“ (Bansal et al. 2019: 7) und „0.206 [±] 0.2763 [...] mm“ (Bansal et al. 2019: 7) aufgetreten.

3.2.3. Ergebnisse bezüglich der Taschensondierungstiefen nach Sirri et al. (2020)

Die Taschensondierungstiefen im Bereich der Unterkieferfront und -eckzähne wurden mittels einer Parodontalsonde parallel zur Zahnachse im Bereich der distobukkalen, bukkalen, mesiobukkalen und oralen Seiten der einzelnen Front- und Eckzähne gemessen und als Mittelwert mit Standardabweichung für die 4 unterschiedlichen

Flächen aller 6 untersuchten Zähne angegeben (Sirri et al. 2020: 28). Es fand sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Taschensondierungstiefen zwischen den Gruppen vor und nach der Behandlung. Innerhalb der Gruppen wurden ebenfalls keine statistisch signifikanten Veränderungen der Taschensondierungstiefen nach der Behandlung gefunden (Sirri et al. 2020: 26, 29 (Tabelle 6, Tabelle 8)). Die Taschensondierungstiefen lagen vor der Behandlung zwischen „1.26 [+/-] 0.23 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) und „2.28 [+/-] 0.26 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) und nach der Behandlung zwischen „1.40 [+/-] 0.22 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) und „2.66 [+/-] 0.33 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) (Abbildung 3).

3.2.4. Ergebnisse bezüglich der Gingivalindizes nach Sirri et al. (2020)

Die Gingivalindizes im Front- und Eckzahnbereich des Unterkiefers wurden nach Löe und Silness (1963) im Bereich der bukkalen und lingualen marginalen Gingivaregionen sowie der mesiobukkalen und distobukkalen Papillenflächen der 6 untersuchten Zähne aufgenommen und als Mittelwert mit Standardabweichung für die 4 Regionen angegeben (Sirri et al. 2020: 28). Es fand sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Gingivalindizes zwischen den Gruppen vor und nach der Behandlung. Innerhalb der Gruppen wurden ebenfalls keine statistisch signifikanten Veränderungen der Gingivalindizes nach der Behandlung gefunden (Sirri et al. 2020: 26, 29 (Tabelle 6, Tabelle 8)). Die Gingivalindizes lagen vor der Behandlung zwischen „0 [+/-] 0“ (Sirri et al. 2020: 29) und „0.73 [+/-] 0.31“ (Sirri et al. 2020: 29) und nach der Behandlung zwischen „0 [+/-] 0“ (Sirri et al. 2020: 29) und „0.97 [+/-] 0.42“ (Sirri et al. 2020: 29) (Abbildung 3).

3.2.5. Ergebnisse bezüglich der Breite der keratinisierten Gingiva nach Sirri et al. (2020)

Die Breite der keratinisierten Gingiva wurde im Bereich der Bukkalflächen der unteren Front- und Eckzähne als Breite der bukkalen keratinisierten Gingiva, abzüglich der mittels einer Parodontalsonde gemessenen Taschensondierungstiefen berechnet und als Mittelwert mit Standardabweichung für die Bukkalflächen der 6 untersuchten Zähne angegeben. Es fand sich kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Breite der keratinisierten Gingiva zwischen den Gruppen vor und nach der Behandlung. Innerhalb der Gruppen wurden ebenfalls keine statistisch signifikanten Veränderungen

der Breite der keratinisierten Gingiva nach der Behandlung gefunden (Sirri et al. 2020: 26, 29 (Tabelle 6, Tabelle 8)). Die Breite der keratinisierten Gingiva lag vor der Behandlung bei durchschnittlich „4.03 [+/-] 0.57 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) in der Gruppe, die ohne „Cortizision“ behandelt wurde und „4.23 [+/-] 0.56 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) in der Gruppe, die mit „Cortizision“ behandelt wurde. Nach der Behandlung lag die Breite der keratinisierten Gingiva bei durchschnittlich „3.85 [+/-] 0.46 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) in der Gruppe, die ohne „Cortizision“ behandelt wurde und „3.90 [+/-] 0.55 [mm]“ (Sirri et al. 2020: 29) in der Gruppe, die mit „Cortizision“ behandelt wurde (Abbildung 3).

3.3. Studienregistereinträge noch nicht veröffentlichter Studien

In Tabelle 5 findet sich eine tabellarische Darstellung der für diesen Review möglicherweise relevanten, bisher noch nicht veröffentlichten, registrierten Studien einschließlich Bewertung des Studienaufbaus und der Untersuchungsparameter gemäß den per dato vorhandenen Informationen. Die Tabelle gibt den Veröffentlichungsstatus bis zum letzten Suchdurchlauf am zum 12. April 2021 wieder. Sollten nach diesem Datum Ergebnisse der im Folgenden aufgelistete Studien publiziert worden sein, so sind diese im Rahmen dieser Dissertationsarbeit nicht berücksichtigt worden.

Tabelle 5 (fortlaufend): Studienregistereinträge noch nicht veröffentlichter Studien

Abkürzungen: PAAO="periodontally accelerated orthodontics"; DVT=Dentale Volumetomographie; PD=Taschensondierungstiefe; SBI=Sulkus-Blutungs-Index; BOP=Blutung nach Sondierung; GBI=Gingivaler Blutungsindex; GCF=Sulkusflüssigkeit

Studienregisternummer	1. (NCT03659097)	2. (NCT03967002)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	ja	keine Angabe
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + PAAO)	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + „Piezocision“)
Geplante Gruppengröße	38 Patient*innen insgesamt	22 Patient*innen insgesamt
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: Ende Nivellierungsphase	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: nach 6 Monaten; T3: nach 12 Monaten
Alter der Patient*innen	18-28 Jahre	mindestens 18 Jahre alt

Für diesen Review relevante Untersuchungsparameter	Knochendehiszenzen und -fenestrationen (auf DVT-Aufnahmen); Veränderungen der alveolären Knochenbreite (auf DVT-Aufnahmen)	SBI; PD; Veränderungen der alveolären Knochenhöhe und -dicke (auf DVT-Aufnahmen)
Anmerkungen		SBI und PD werden wahrscheinlich als addierter und dividierter Mittelwert für alle Zähne angegeben- nicht spezifisch für den Frontzahnbereich
Studienregisternummer	3. (NCT04255914)	4. (NCT04601662)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	keine Angabe	ja
Prospektives Studiendesign	ja	ja (?)
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie + Bindegewebstransplantat; Bindegewebstransplantat ohne zusätzliche kieferorthopädische Therapie)	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + „Corticion“)
Geplante Gruppengröße	(13/13)	(26/26)
Untersuchungszeitpunkte	keine Angabe	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: 12 Monate nach Beginn der kieferorthopädischen Therapie
Alter der Patient*innen	18-35 Jahre	18-24 Jahre
Für diesen Review relevante Untersuchungsparameter	Gingivale Rezessionen; BOP	Wurzellänge der Zähne 33-43 (auf DVT-Aufnahmen); Knochendehiszenzen (auf DVT-Aufnahmen)
Anmerkungen	unklar, ob neben gingivalen Rezessionen auch spezifisch Frontzahnengstände behandelt und untersucht werden	
Studienregisternummer	5. (CTRI/2021/01/030196)	6. (DRKS00023977)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	keine Angabe	keine Angabe
Prospektives Studiendesign	ja	keine Angabe
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + Minipins; kieferorthopädische Therapie + infrazygomatäre Schrauben)	ja (kieferorthopädische Therapie mit Alignern; kieferorthopädische Therapie mit Multibracketapparaturen)
Geplante Gruppengröße	42 Patient*innen insgesamt	44 Patient*innen insgesamt
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor Retraktion; T1: nach Retraktion	keine Angabe
Alter der Patient*innen	15-30 Jahre	18-35 Jahre

Für diesen Review relevante Untersuchungsparameter	Wurzellänge (auf DVT-Aufnahmen); alveoläre Knochendicke (auf DVT-Aufnahmen)	Wurzelresorptionen (auf DVT-Aufnahmen); parodontale Gesundheit; dentoalveoläre Veränderungen (auf DVT-Aufnahmen)
Anmerkungen	unklar, ob Zähne extrahiert werden; unklar, ob spezifisch Frontzahnengstände untersucht werden	
Studienregisternummer	7. (ChiCTR-INR-17011199)	8. (ChiCTR-INR-17012749)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	keine Angabe	keine Angabe
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + PAAO (modifiziert); kieferorthopädische Therapie + PAAO (modifiziert); kieferorthopädische Therapie + PAAO + "periosteum" (ChiCTR-INR-17011199))	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + PAAO; kieferorthopädische Therapie + PAAO (modifiziert))
Geplante Gruppengröße	(14/14/14/14)	(14/14/14)
Untersuchungszeitpunkte	keine Angabe	keine Angabe
Alter der Patient*innen	mindestens 18 Jahre alt	18-60 Jahre
Für diesen Review relevante Untersuchungsparameter	Bukkale alveoläre Knochenhöhe und - dicke (auf DVT-Aufnahmen); Wurzellänge (auf DVT-Aufnahmen); Schwellungen; Infektionen; gingivale Rezessionen	Bukkale alveoläre Knochenhöhe und - dicke (auf DVT-Aufnahmen); Wurzellänge (auf DVT-Aufnahmen); Schwellungen; Infektionen; gingivale Rezessionen; Breite der keratinisierten Gingiva; PD
Studienregisternummer	9. (ChiCTR1900024297)	10. (RBR-3wyrq)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	keine Angabe	ja
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	nein	ja („split-mouth-design“)
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie; kieferorthopädische Therapie + „Piezocision“)	nein
Geplante Gruppengröße	(30/30)	(15/15)
Untersuchungszeitpunkte	keine Angabe	T0: vor Einsetzen der Brackets; T1: nach „Bracketdebonding“
Alter der Patient*innen	18-40 Jahre	18-39 Jahre
Für diesen Review relevante Untersuchungsparameter	keine genaue Angabe	PD; GBI

Anmerkungen		unklar, ob spezifisch Frontzahnengstände behandelt und untersucht werden
Studienregisternummer	11. (RBR-96dpjz)	12. (RBR-9zytwf)
Randomisierung	ja	ja
Verblindung	ja	keine Angabe
Prospektives Studiendesign	ja	ja
Kontrollgruppe	nein	nein
Vergleichsgruppe	ja (kieferorthopädische Therapie mit Alignern; kieferorthopädische Therapie mit selbstligierenden Brackets)	ja (kieferorthopädische Therapie mit Alignern; kieferorthopädische Therapie mit Metallbrackets)
Geplante Gruppengröße	(16/16)	(20/20)
Untersuchungszeitpunkte	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: 24 Stunden nach Beginn der kieferorthopädischen Therapie; T2: 48 Stunden nach Beginn der kieferorthopädischen Therapie; T3: 72 Stunden nach Beginn der kieferorthopädischen Therapie; T4: nach 7 Tagen	T0: vor kieferorthopädischer Therapie; T1: 72 Stunden nach Einsetzen der Apparaturen; T3: 30 Tage nach Einsetzen der Apparaturen; T4: nach 6 Monaten kieferorthopädischer Therapie; T5: am Ende der kieferorthopädischen Therapie
Alter der Patient*innen	12-35 Jahre	15-35 Jahre
Für diesen Review relevante Untersuchungsparameter	Zytokinlevel (durch Durchflusszytometrie gemessen- unklar, ob Messung im Speichel, oder im GCF)	Wurzelresorptionen (auf periapikalen Röntgenaufnahmen bei T0, T4, T5); alveolären Knochenhöhe und -breite auf (DVT-Aufnahmen bei T0, T4, T5); Zytokinlevel im GCF bei T0, T1, T2; GBI bei T0, T4, T5; „ <i>Modified Community Periodontal Index</i> “ (RBR-9zytwf) bei T0, T4, T5; parodontales Attachmentlevel bei T0, T4, T5
Anmerkungen		Von „Align Technology“ gesponsert; Teilergebnisse (Schmerzwahrnehmung und psychologische Faktoren) bereits veröffentlicht (Casteluci et al. 2021)

4. Diskussion

4.1. Zusammenfassung der Studienergebnisse

Gemäß den Ergebnissen dieser Arbeit gibt es noch nicht genügend qualitativ hochwertige Studien dazu, welchen Einfluss eine kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen auf das Parodontium dieser Zähne hat, aber die zwei in die Ergebnissynthese dieser Arbeit inkludierten Studien zeigen folgende Tendenzen:

1. Nach 6 Monaten kieferorthopädischer Therapie wurden in beiden Studiengruppen der Studie von Bansal et al. (2019: 7 (Tabelle 6)) Wurzelresorptionen im Frontzahnbereich diagnostiziert.

2. Nach 6 Monaten kieferorthopädischer Therapie hat sich die marginale interdentale alveoläre Knochenhöhe in beiden Studiengruppen der Studie von Bansal et al. (2019: 7 (Tabelle 7)) im Durchschnitt verringert.

3. Die Messwerte der Taschensondierungstiefen blieben von Beginn der kieferorthopädischen Behandlung bis 7 Tage nach Abschluss der Nivellierungsphase in beiden Studiengruppe der Studie von Sirri et al. (2020: 26, 29 (Tabelle 6, Tabelle 8)) konstant.

4. Die Messwerte für die Gingivalindizes nach Loe und Silness (1963) blieben von Beginn der kieferorthopädischen Behandlung bis 7 Tage nach Abschluss der Nivellierungsphase in beiden Studiengruppen der Studie von Sirri et al. (2020: 26, 29 (Tabelle 6, Tabelle 8)) konstant.

5. Die Messwerte für die Breite der keratinisierten Gingiva blieben von Beginn der kieferorthopädischen Behandlung bis 7 Tage nach Abschluss der Nivellierungsphase in beiden Studiengruppen der Studie von Sirri et al. (2020: 26, 29 (Tabelle 6, Tabelle 8)) konstant.

4.2. Schwächen der in die Ergebnissynthese inkludierten Studien

4.2.1. Fehlende unbehandelte Kontrollgruppe

Bezüglich des Studienaufbaus der Studien von Bansal et al. (2019) und Sirri et al. (2020) ist anzumerken, dass in beiden Studien keine unbehandelte Kontrollgruppe untersucht wurde. Dies wäre für eine aussagekräftige Interpretation der Ergebnisse wünschenswert gewesen, da durch den direkten Vergleich der behandelten Patient*innen mit einer Gruppe unbehandelter Patienten eventuelle Verzerrungen, beispielsweise durch unterschiedliche Messergebnisse zu verschiedenen Zeitpunkten, wahrscheinlich aufgedeckt werden würden. Bei den vorliegenden Studiendesigns der beiden Studien nach Bansal et al. (2019) und Sirri et al. (2020) ist es möglich, dass Ergebnisunterschiede, die auf eventuelle Messungenauigkeiten zu verschiedenen Zeitpunkten zurückzuführen sein könnten, aufgrund der fehlenden unbehandelten Kontrollgruppe als Effekte der kieferorthopädischen Therapie fehlinterpretiert werden. Zwar ist die fehlende unbehandelte Kontrollgruppe in beiden Studien als Kritikpunkt anzumerken, nichtsdestotrotz soll im Rahmen dieses Reviews darauf hingewiesen werden, dass ein Studienaufbau mit einer unbehandelten Kontrollgruppe durchaus ethische Probleme mit sich bringen kann. Ob es vertretbar ist, im Rahmen eines randomisierten Studienaufbaus einer Gruppe von Patient*innen eine Behandlung vorzuenthalten, um sie als Patient*innen einer unbehandelten Kontrollgruppe untersuchen zu können, erscheint ethisch fraglich, da jedem*r Patienten*in das Recht auf eine optimale medizinische Versorgung zusteht.

Die Möglichkeit Patient*innen, die eine Behandlung ablehnen, als eine unbehandelte Kontrollgruppe zusammenzufassen und zu untersuchen, erscheint auf den ersten Blick als sinnvolle Lösung dieses ethischen Zwiespalts. Für die Untersuchung einiger Parameter, wie Taschensondierungstiefen, Gingival- und Parodontalindizes, Rezessionen sowie non-invasiv gemessene biochemische Parameter könnte ein solches Studiendesign sinnvoll sein, wenngleich sicherzustellen ist, dass die Gruppen nicht aufgrund persönlicher Parameter Ergebnisverzerrungen erzeugen. Es erscheint möglich, dass Patient*innen, die eine kieferorthopädische Behandlung ablehnen, ihren oralen Strukturen und ihrer Mundhygiene insgesamt weniger Aufmerksamkeit widmen, sodass einige Messungen durch eine vermeintlich schlechtere Mundhygiene dieser Patient*innen beeinflusst werden könnten.

Im Rahmen von Studiendesigns, die eine röntgenologische Untersuchung beinhalten, ist die Untersuchung einer unbehandelten Kontrollgruppe zusätzlich erschwert. Dies ist vor allem aus strahlenschutztechnischen Gründen der Fall, denn eine Indikation dafür, die Patient*innen einer unbehandelten Kontrollgruppe wiederholten Strahlenbelastungen auszusetzen, ist nur selten gegeben.

4.2.2. Parodontale Strukturen nicht als Primärergebnisse untersucht

Zusätzlich ist anzumerken, dass in beiden in die Ergebnissynthese dieses Reviews inkludierten Studien als Primärergebnis die für die Nivellierung der Zahnbögen benötigte Behandlungszeit untersucht wurde und demnach die Gruppengrößen mit jeweils 15 Patient*innen bei Bansal et al. (2019: 4) und jeweils 30 Patient*innen in der Studie von Sirri et al. (2020: 28) primär für die Untersuchung dieses Parameters ausgelegt waren. Folglich ist es als unsicher zu bewerten, ob die für die Untersuchung des Primärergebnisses berechneten Gruppengrößen für eine belastbare Interpretation der sekundären Studienergebnisse geeignet sind.

4.2.3. Kürze der Untersuchungszeiträume

Ebenso sind die Untersuchungszeiträume mit einer Länge von 6 Monaten in der Studie von Bansal et al. (2019: 3) beziehungsweise bis zum Ende der Nivellierungsphase in der Studie von Sirri et al. (2020: 27) als relativ kurz zu bewerten. Ein längerer Untersuchungszeitraum wäre zu bevorzugen, um kurzzeitig auftretende Effekte als ebendiese erkennen und benennen zu können.

4.2.4. Richtung der Zahnbewegung nicht definiert

Ein weiterer wichtiger Parameter für die Untersuchung einer kieferorthopädischen Therapie von Frontzahnengständen und ihrer Wirkung auf parodontale Strukturen ist die genaue Beschreibung der initiierten Zahnbewegung, welche weder Bansal et al. (2019) noch Sirri et al. (2020) im Rahmen ihrer Studien differenziert dargestellt haben. In beiden Studien ist aufgrund des initialen Einsatzes hochelastischer Nickel-Titanbögen und einer vestibulär eingesetzten Multibracketapparatur davon auszugehen, dass es sich um

undifferenzierte Nivellierung ohne definierte Richtung der Zahnbewegung mit ausgeprägtem protrusiven Bewegungsanteil zur Auflösung der Frontzahnengstände handelte. Um die Effekte einer kieferorthopädischen Therapie von Frontzahnengständen auf die parodontalen Strukturen vorhersagen zu können, ist es von großem Interesse zu erforschen, ob unterschiedliche Bewegungsrichtungen der Zähne verschiedene Auswirkungen auf die parodontalen Gewebe haben, sodass eine genaue Angabe der Zahnbewegung von essenziellem Wert für die Interpretation der Studienergebnisse wäre. So haben Melsen et al. (1988) im Rahmen ihrer prospektiven Tierstudie an Zähnen mit experimentell induzierten Zahnfleischtaschen und mindestens 2 mm Knochenabbau nach Einsatz eines modifizierten Widmannlappens, Scaling und der Entfernung von Granulationsgewebe intrusive Zahnbewegungen in Kombination mit dentalen Hygienemaßnahmen durchgeführt. Die Intrusionsbewegung stellte sich in Kombination mit den Hygienemaßnahmen als signifikanter Faktor für die Entstehung neuen Attachments dar. Im Verlauf einer kieferorthopädischen Therapie mittels Herbstapparatur kommt es in Folge eines Verankerungsverlustes oftmals zu einer Vestibulärbewegung und Proklination der anterioren Unterkieferzähne (Panherz und Bjerkin 2014: 313). Im Rahmen einer retrospektiven Studie von Südwater et al. (2021) wurden diese Inklinations- und Positionsänderungen der unteren Inzisiven bei 259 Patient*innen infolge einer kieferorthopädischen Therapie mittels einer Herbstapparatur in Kombination mit einer Multibracketapparatur auf Fernröntgenseitenaufnahmen durch verschiedene Messpunkte definiert und mit dem labialen Gingivaniveau, welches an Gipsmodellen nach der Retentionsphase gemessen wurde, in Relation gesetzt. Die Autoren fanden keine signifikante Korrelation zwischen der Positionsänderung der unteren Inzisiven und der Entstehung labialer gingivaler Rezessionen. Im Rahmen einer retrospektiven Studie von Bock et al. (2016) wurden die prä- und posttherapeutischen Unterlagen von 36 kieferorthopädisch behandelten Patient*innen verglichen. Achtzehn dieser Patient*innen wurden mittels einer Kombination aus Herbstapparatur und einer vollständig individuellen lingualen Multibracketapparatur, die 18 übrigen Patient*innen wurden mittels einer Kombination aus Herbstapparatur und vestibulär eingesetzter Multibracketapparatur behandelt. Veränderungen der klinischen Kronenlänge wurden anhand von prä- und posttherapeutischen intraoralen Fotos analysiert, Inklinations- und Positionsänderungen der Inzisiven durch Analyse von Fernröntgenseitenbildern. Bei den mittels Herbstapparatur und Lingualapparatur behandelten Patient*innen fand sich im Vergleich der prä- und posttherapeutischen diagnostischen Unterlagen signifikant weniger

Proklination der unteren Frontzähne und mehr körperliche Zahnbewegung. In beiden Gruppen wurden im Vergleich der prä- und posttherapeutischen intraoralen Fotos nach der Behandlung leichte gingivale Rezessionen unter 0,5 mm an Einzelzähnen gefunden. In der mittels Lingualapparatur behandelten Gruppe kamen diese bei 13 Frontzähnen, in der mittels labialer Multibracketapparatur behandelten Gruppe bei 21 Frontzähnen vor. Die durchschnittlichen Verlängerungen der klinischen Kronen der vier unteren Frontzähne lagen in der mittels Herbstapparatur und Lingualapparatur behandelten Gruppe zwischen 0,1 mm und 0,3 mm und in der mittels Herbstapparatur und vestibulärer Multibracketapparatur behandelten Gruppe zwischen -0,4 mm und 0,0 mm und waren im Intergruppenvergleich signifikant unterschiedlich für die Zähne 42, 41, 31. Die Autor*innen der Studie interpretieren die signifikanten Unterschiede bezüglich der klinischen Kronenlänge zwischen den Gruppen dahingehend, dass eine suboptimale Mundhygiene der Patient*innen der mittels Herbstapparatur und vestibulär eingesetzter Multibracketapparatur behandelten Gruppe zur Entstehung einer labial prononcierten Gingivitis und damit einer anderen Bewertung des Gingivaverlaufs auf den intraoralen Fotos geführt haben könnte. Gleichwohl indizieren die Ergebnisse dieser Studie, dass möglicherweise Frontzahnproklinationen weniger häufig zu labialen, gingivalen Rezessionen führen, als eine körperliche Vestibulärbewegung der Frontzähne. Zu dieser These passen die bereits erwähnten Studienergebnisse von Geiger und Wassermann (1976: 105), die Retroinklinationen der unteren Inzisiven, welche oftmals mit relativ labialen Wurzelpositionen korrelieren, mit vermehrten labialen Rezessionen in Verbindung gebracht haben. So haben Jacobs et al. (2017) spezifisch die Rolle der Bewegungsrichtung der Frontzahnwurzeln bezüglich der Veränderung gingivaler Rezessionen untersucht. Retrospektiv wurden die Behandlungsunterlagen von 3 Patient*innen, die zu Beginn der kieferorthopädischen Therapie Rezessionen an Einzelzähnen aufwiesen, bezüglich der gingivalen Veränderungen vor und nach der Behandlung anhand von Gipsmodellen bewertet. Die Patient*innen waren mittels einer vollständig individuellen lingualen Apparatur und Einzelzahnwurzeltorquebewegungen der von gingivalen Rezessionen betroffenen Zähne behandelt worden. Das Einbringen eines Wurzeltorques entgegengerichtet der Seite, auf der die gingivale Rezession vorlag, habe zu einer signifikanten Erhöhung des Gingivaniveaus um durchschnittlich 4,7 mm und Verringerung der Rezessionsbreite um durchschnittlich 1,1 mm im Bereich der betroffenen Zahnflächen geführt. Garlock et al. (2016) haben die Bewegung von Unterkieferfrontzähnen und damit verbundene Knochenveränderungen im Vergleich vor

und nach einer kieferorthopädischen Behandlung mit einer Multibracketapparatur auf digitalen volumetomographischen Aufnahmen analysiert. Bei den 57 nachuntersuchten Patient*innen waren die Inklinationen der mandibulären Inzisiven nach der Behandlung statistisch signifikant um durchschnittlich $2,4^\circ$ im Vergleich zum prätherapeutisch gemessenen „*incisor mandibular plane angle*“ (Tweed 1966: 31-82, zitiert nach Tweed 1969: 653) erhöht. Primär habe sich diese Inklinationsänderung aus einer Lingualbewegung der Wurzelspitzen ergeben. Die marginale Knochenhöhe der mandibulären Inzisiven, gemessen als Abstand des am weitesten koronal gelegenen Knochenpunktes von der Schmelz-Zement-Grenze, sei nach der Behandlung statistisch signifikant um im Mittel 1,12 mm auf der bukkalen Seite und 1,33 mm auf der lingualen Seite geringer gewesen. Im Rahmen der Studie wurde jedoch kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Inklinationsänderungen der Frontzähne und Verringerung der marginaler Knochenhöhe gefunden. Auch Morais et al. (2018) haben im Rahmen einer prospektiven Studie mittels dreidimensionaler volumetomographischer Aufnahmen Zahnbewegungen und damit möglicherweise korrelierende bukkale knöchernen Veränderungen untersucht. Die Aufnahmen wurden für jeden Zahn im Sagittalschnitt, mittig durch die apikale Wurzelöffnung, parallel zur Längsachse der jeweiligen Zahnwurzel verlaufend, bewertet. Von 22 Patient*innen mit Zahnengständen und mindestens 4 mm Platzmangel im Zahnbogen wurden vor deren kieferorthopädischer Behandlung mittels Multibracketapparatur und mindestens 4 Wochen nach Einsatz des 0.019“ x 0.025“ Edelstahlbogens dreidimensionale volumetomographische Aufnahmen der Kiefer erstellt und die knöchernen Strukturen miteinander verglichen. Alle Patient*innen wurden ohne Zahnextraktionen behandelt, sodass größtenteils Expansionen der Zahnbögen und Protrusionen der Zähne als Bewegungsrichtungen erwartet wurden. Die bukkale Knochendicke reduzierte sich 3 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze im Bereich der untersuchten Inzisiven signifikant. Die bukkale Knochenhöhe habe sich im Bereich der Inzisiven ebenfalls signifikant verringert (Morais et al. 2018: 751-752). Mao et al. (2020) haben im Rahmen einer retrospektiven Studie mittels dentaler Volumetomographie und einem ähnlichen Studiendesign wie das der Studie von Morais et al. (2018) die Retrusion von Frontzähnen und ihre Effekte auf den Knochenmetabolismus untersucht. Anhand der Daten von 38 Patient*innen untersuchten sie die Effekte von Wurzelapizesbewegungen und Inklinationsänderungen der Oberkieferfrontzähne in Bezug auf Knochenhöhe und vestibulorale -breite sowie gesamtes flächiges vestibuläres und orales Knochenangebot im Bereich eines

Sagittalschnittes mittig durch die apikalen Wurzelöffnungen, parallel zu den Längsachsen der Zahnwurzeln. Nach Palatinalbewegung der Wurzelapizes und Retroinklination der Frontzähne beobachteten die Autor*innen eine signifikante Reduzierung der gesamten, die Wurzel im Bereich des untersuchten Sagittalschnitts umgebenden, vestibuloralen Knochenbreite der zentralen Inzisiven im Bereich des krestalen Wurzeltritts sowie im Bereich der lateralen Inzisiven auf Höhe des mittleren und apikalen Wurzeltritts. Zwar verbreiterte sich der Knochen vestibulär im Bereich des mittleren Wurzeltritts aller Inzisiven signifikant, jedoch reduzierte sich die Knochenbreite im Bereich aller drei palatinalen Wurzeltritts ebenfalls signifikant. Bezüglich der Knochenhöhe wurde palatinal ebenfalls ein signifikanter Knochenabbau, gemessen als Abstand des krestalen alveolären Knochenpunktes im Sagittalschnitt und dessen Abstand zur Schmelz-Zement-Grenze im Bereich der untersuchten Inzisiven, vorgefunden.

Insgesamt indizieren die Ergebnisse dieser dreidimensionalen röntgenologischen Studien, dass es durch Zahnprotrusionen, Zahnbogenexpansionen sowie Zahnretrusionen und palatinale oder linguale Wurzelbewegungen von Inzisiven zu einem Knochenabbau kommen kann, wenngleich es in einigen Wurzelregionen ebenfalls anabolische Effekte auf den Knochenmetabolismus zu geben scheint. Ob die in diesen Studien verwendeten, dreidimensionalen Röntgenaufnahmen eine detaillierte Bewertung der knöchernen Strukturen und Behandlungseffekte zulassen, sollte jedoch kritisch hinterfragt werden. Es erscheint möglich, dass neu gebildeter Knochen durch verspätet auftretende Röntgenopazität aufgrund verzögert stattfindender Mineralisation des Knochens zum Zeitpunkt der zweiten Röntgenaufnahme im Rahmen der Studien röntgenologisch noch nicht sichtbar war und somit die Reduzierung des alveolären Knochenangebots möglicherweise überschätzt oder gar fehlinterpretiert wurde. Die jeweils zweite Röntgenaufnahme der Patient*innen wurde in der beschriebenen Studie von Morais et al. (2018) nach Einsetzen des ersten Edelstahlbogens der initial festgelegten Bogenreihenfolge und in den beschriebenen Studien von Garlock et al. (2016) sowie Mao et al. (2020) nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung durchgeführt, ohne dass eine Latenzzeit zwischen Abschluss der Behandlung und Röntgenuntersuchung beschrieben wurde.

Gemäß den im obigen Abschnitt genannten Studien erscheint es jedoch möglich, dass die Bewegungsrichtungen der Zahnwurzeln einen entscheidenden Modulationsfaktor des Effektes einer kieferorthopädischen Behandlung auf das Parodontium darstellen. Dieser Effekt sollte bezüglich der kieferorthopädischen Behandlung von Patient*innen mit

Frontzahnengständen in zukünftigen Studien unbedingt weiterführend systematisch untersucht werden.

In einer retrospektiven Studie haben Valerio et al. (2021) ebenfalls die Veränderungen des alveolären Knochens im Bereich der mandibulären Inzisiven einer Gruppe von 32 erwachsenen Patient*innen mit Frontzahnengständen im Unterkiefer, die ohne Zahnextraktionen aber unter Anwendung approximaler Schmelzreduktion kieferorthopädisch mit Multibracketapparaturen behandelt worden waren, mittels dreidimensionale Volumentomographie nachuntersucht. Es wurde ein signifikanter Verlust an bukkaler marginaler Knochenhöhe, gemessen als Abstand des krestalsten bukkalen Knochenpunktes zur Schmelz-Zement-Grenze im Sagittalschnitt der dreidimensionalen Röntgenaufnahmen, gefunden. Die zweite Röntgenaufnahme wurde 3 bis 6 Monate nach Ende der kieferorthopädischen Therapie erstellt. Es wurde eine Korrelation zwischen dem Auftreten vestibulärer Knochendehiszenzen und der initialen Ausprägung der Frontzahnengstände, nicht jedoch zwischen einer therapeutischen Frontzahnproklination und vestibulärem Knochenverlust vorgefunden. Die Veröffentlichung lässt die Frage aufkommen, ob eine Expansion des mandibulären Zahnbogens, in Kombination mit derer eine geringere Proklination der Frontzähne zur Erlangung des Platzgewinns für die kieferorthopädische Ausformung des Zahnbogens benötigt wird, eher zu einer Ersterung vestibulärer Knochendehiszenzen führt, als die Vergrößerung des Platzangebotes im Zahnbogen durch vermehrte Proklination der Frontzähne. Da das Ausmaß der approximalen Schmelzreduktionen entscheidend für den verbleibenden Platzbedarf im Zahnbogen sowie den Grad der Zahnbogenexpansion und der Frontzahnproklination ist, sollte die Untersuchung dieses Aspekts spezifisch in ein zukünftiges Studiendesign miteinbezogen werden. Während im Rahmen der Studie von Valerio et al. (2021) die vertikale Positionsänderung der Inzisiven auf der knöchernen Unterkieferbasis gemessen wurde, gibt es keine Angaben zu transversalen Effekten. Eine dreidimensionale Überlagerung der Zahnbögen und Kieferbasen zur Eruiierung etwaiger Veränderungen der sagittalen Kompensationskurve, transversaler Zahnbogenexpansionen sowie Inklinationsänderungen der Zähne erscheint sinnvoll, um die aufgekommene Fragestellung zu untersuchen.

4.2.5. Parameter der röntgenologischen Untersuchung

Ob die Parameter der röntgenologischen Untersuchung in der Studie nach Bansal et al. (2019) eine verlässliche Analyse der Hartgewebe zulassen, ist ebenso zu diskutieren.

Die Ermittlung der Veränderungen der Wurzellänge sowie der interdentalen alveolären Knochenhöhe wurde mittels dreidimensionaler volumetomographischer Aufnahmen durchgeführt. Das „field of view“ habe 5x5 cm, die Voxelgröße 90 µm bei einer Röhrenspannung von 80 bis 84 kVp, einer Stromstärke von 5 bis 8 mA sowie 20 Sekunden Expositionszeit betragen.

Nach Leung et al. (2010: 115) ist es wichtig, die Voxelgröße bei dentalen volumetomographischen Aufnahmen nicht zu groß wählen, sodass die Schmelz-Zement-Grenze reproduzierbar aufgefunden werden kann. Sie schlussfolgern aus den Daten ihrer Studie an trockenen menschlichen Schädeln, dass Messabweichungen ungefähr im Größenbereich eines für die Aufnahme definierten Voxels liegen. Bezüglich der Präzision der Bewertung der marginalen krestalen Knochenhöhe sei nicht nur die Voxelgröße, sondern die räumliche Auflösung der Aufnahme ausschlaggebend.

Demgemäß ermöglichen außerdem kleinere „field of views“, höhere Ampere- und Spannungszahlen sowie längere Expositionszeiten eine reproduzierbarere Lagebestimmung der krestalen interdentalen alveolären Knochenkanten (Ludlow et al. 2015: 4). Nach Brüllmann und Schulze (2015: 4, 7) führt eine Verlängerung der Expositionszeit jedoch wiederum zu einer Verschlechterung der Auflösung, da die Patient*innen sich während der Aufnahme womöglich mehr bewegen. Eine Verkleinerung der Voxelgröße könne ähnliche negative Effekte auf die Bildauflösung haben, da die Bewegungstrecke des Patient*innen während der Strahlenexposition, wenn sie über der Dimension eines einzelnen Voxels liege, ebenfalls Bewegungsverzerrungen auf der Aufnahme zur Folge habe, was bei kleinerer Voxelgröße folglich häufiger passiere. Den Autoren zur Folge liege die Genauigkeit einer Messung auf dentalen volumetomographischen Aufnahmen im Bereich von maximal einem halben Millimeter. Die Bildauflösung solcher Aufnahmen sei derer akkurat erstellter zweidimensionaler Zahnfilme demnach unterlegen. Sun et al. (2011) beschreiben eine Abhängigkeit der Genauigkeit marginaler Knochenhöhenmessungen von der vorliegenden Knochendicke im untersuchten Bereich sowie der festgelegten Voxelgröße. Sie untersuchten Schweinekiefer vor und nach Breitenreduktion des krestalen Alveolarknochens für Voxelgrößen von 400 µm sowie 250 µm. Sie kamen im Rahmen ihrer Studie zu dem Schluss, dass eine Breitenreduktion des Alveolarknochens zu einer Unterschätzung der vorliegenden Knochenhöhe führe, sobald die Breite nahe oder unter der festgelegten

Voxelgröße liegt. Wenn die krestale marginale Knochenbreite über der Voxelgröße liegt, werde die marginale Knochenhöhe auf dreidimensionalen volumetomographischen Aufnahmen eher überschätzt. Eine Reduktion der Voxelgröße könne die Genauigkeit der Höhenmessungen des krestalen Alveolarknochens verbessern. Pauwels et al. (2015: 7) beschreiben, dass poröse knöcherne Strukturen mit geringerer Dichte ausgeprägter auf Veränderungen der Voxelgröße reagieren als Knochenbereiche mit hoher Dichte. So zeigte sich Ihnen im Rahmen eines Modellversuchs bei Erhöhung der Voxelgrößen von 80 µm auf 200 µm eine Reduzierung des gemessenen Knochenvolumens im Bereich poröserer Knochenstrukturen. Bezogen auf die Ergebnisse der Studie nach Pauwels et al. erscheint der Zeitpunkt der Zweituntersuchung in der Studie nach Bansal et al. (2019) erneut erwähnenswert. Die letzte röntgenologische Untersuchung wurde noch während der kieferorthopädischen Therapie, 6 Monate nach Initiation derer, durchgeführt. Da während einer kieferorthopädischen Therapie Knochenumbauprozesse und in Folge derer Mineralisationsunterschiede der betroffenen Regionen zu erwarten sind, erscheint es wahrscheinlich, dass ebendiese Mineralisationsunterschiede zu einer veränderten volumetrischen Darstellung des Alveolarknochens auf den Röntgenaufnahmen geführt haben könnten. Folglich erscheint es ebenso möglich, dass der im Rahmen der Studie diagnostizierte krestale Knochenabbau überschätzt oder gar fehldiagnostiziert wurde.

4.3. Weitere Reviews mit thematischen Überschneidungen

Kurz nach der Jahrtausendwende arbeitete Diedrich (2000) im Rahmen einer Übersichtsarbeit die bis dahin vorhandene Evidenz zu parodontalen Effekten von Frontzahnengständen auf. Er kommt zu dem Schluss, dass eine kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen die Hygienefähigkeit sowie die Durchführung parodontal-zahnärztlicher Eingriffe in diesem Bereich begünstige. Zusätzlich merkt Diedrich an, dass eine kieferorthopädische Ausformung des Zahnbogens wahrscheinlich eine „*verbesserte Morphologie der marginalen und interdentalen Weich- und Hartgewebe*“ (Diedrich 2000: 78) nach sich zieht, wenngleich er zur Sicherung dieser These jedoch die Notwendigkeit weiterführender Forschung sieht.

Bollen et al. (2008) veröffentlichten darauffolgend eine systematische Übersichtsarbeit bezüglich des Effektes kieferorthopädischer Behandlungen auf das Parodontium. Die Arbeit bezieht sich jedoch nicht, wie diese Dissertationsarbeit, spezifisch auf Effekte bei

Patienten mit Frontzahnengständen, sondern es wurden alle passenden Studien, unabhängig von den vorliegenden initialen kieferorthopädischen Behandlungsindikationen eingeschlossen. In die Metaanalyse inkludierten die Autoren die Ergebnisse einer prospektiven, randomisierten, kontrollierten Studie, dreier prospektiver, kontrollierter Kohortenstudien sowie von 8 kontrollierten Querschnittstudien. Auffällig erscheint, dass die in dem Review von Bollen et al. (2008) in die Ergebnissynthese inkludierte prospektive, randomisierte, kontrollierte Studie im Rahmen dieser Dissertationsarbeit ausgeschlossen wurde, da keine aktive kieferorthopädische Therapie durchgeführt wurde, sondern passive Bögen eingesetzt worden waren (Paolantonio et al. 1999: 424)(Tabelle 3 (fortlaufend)). Folglich untersuchten Paolantonio et al. (1999) nicht den Effekt der kieferorthopädischen Intervention selbst, sondern lediglich die Effekte des Einbringens der Apparatur. Die Ergebnisse der übrigen inkludierten Studien präsentierten Bollen et al. (2008: 420 (Abbildung 2)) in Form eines Walddiagramms. Insgesamt sei im Rahmen der Metaanalyse bei Vergleich der behandelten Patienten mit den unbehandelten Kontrollgruppen aufgefallen, dass bei diesen nach der Behandlung um durchschnittlich 0,13 mm mehr Knochenabbau, 0,23 mm tiefere Taschensondierungstiefen, um 0,03 mm ausgeprägtere gingivale Rezessionen, erhöhte Gingivalindizes sowie geringere Werte für gingivale Blutungsindizes vorlagen. Der gemessene Attachmentverlust sei in einigen Studien in der kieferorthopädisch behandelten Gruppe und in anderen Studien in der Kontrollgruppe im Vergleich erhöht gewesen. Die Autor*innen kommen insgesamt zu dem Schluss, dass die Qualität der inkludierten Studien für eine evidenzbasierte Beantwortung der Fragestellung nicht ausgereicht habe.

Zu demselben Schluss kommen etwas später auch Joss-Vassalli et al. (2010) in ihrer systematischen Übersichtsarbeit bezüglich des Zusammenhangs zwischen Inklinationsänderungen von Frontzähnen im Rahmen kieferorthopädischer Behandlungen und dem Auftreten gingivaler Rezessionen. Sie schlossen 6 Tierstudien und 11 retrospektive klinische Studien mit menschlichen Patient*innen in die Ergebnisauswertung ihres Reviews ein. Tendenziell habe sich im Zuge der Ergebnissynthese der inkludierten Studien gezeigt, dass stärker proklinierte Zähne und Zähne, die aus dem Alveolarfortsatz herausbewegt wurden, häufiger mit der Entstehung gingivaler Rezessionen verbunden sein könnten als weniger proklinierte oder kieferorthopädisch unbehandelte Zähne. Die Autor*innen konnten die Fragestellung jedoch ebenfalls aufgrund unzureichender Studienqualität nicht abschließend

beantworten. Acht Jahre später veröffentlichten Tepedino et al. (2018) ebenfalls einen systematischen Review bezüglich der Inklination mandibulärer Frontzähne nach kieferorthopädischer Therapie und einer möglichen Korrelation mit gingivalen Rezessionen. Sie schlossen insgesamt zwei retrospektive Studien in ihre Ergebnisauswertung ein, kamen jedoch ebenfalls zu dem Schluss, dass die wissenschaftliche Evidenz für eine fundierte Aussage bezüglich eines möglichen Zusammenhangs zwischen Frontzahninklination und gingivalen Rezessionen nicht ausreicht. Rossini et al. (2015) schreiben im Rahmen der Ergebnisauswertung ihrer systematischen Übersichtsarbeit bezüglich der parodontalen Gesundheit von Patient*innen während einer kieferorthopädischen Behandlung mit „Alignern“, dass eine Behandlung mit „Invisalign“-Schienen sich gemäß den inkludierten Studien positiv auf parodontale Parameter wie Gingivalindex, Papillenblutungsindex, Blutung nach Sondierung und Taschensondierungstiefe auswirke. Das Qualitätslevel der fünf inkludierten Studien bewerten sie insgesamt als moderat.

Papageorgiou et al. (2018) inkludierten im Rahmen ihres systematischen Reviews bezüglich des Effektes einer kieferorthopädischen Behandlung auf das klinische parodontale Attachmentlevel die Ergebnisse von 9 prospektiven, nicht randomisierten Studien in ihre Metaanalyse. Insgesamt sei kein statistisch signifikanter Attachmentverlust bei kieferorthopädisch behandelten Patient*innen beobachtet worden, es habe jedoch eine schlechte bis sehr schlechte Studienqualität vorgelegen. Tendenziell haben laut Papageorgiou et al. kieferorthopädisch behandelte sowie kieferorthopädisch unbehandelte Patient*innen im Verlaufe der Zeit gleichermaßen einen geringen, nicht signifikanten Attachmentverlust erfahren. In der in den Review inkludierten Studie von Amiri-Jezeh et al. (2004) habe sich hingegen ein statistisch signifikanter Attachmentgewinn nach kieferorthopädischer Frontzahnintrusion gezeigt (Papageorgiou et al. 2018: 179).

Afzal et al. (2021) haben einen systematischen Review bezüglich des Unterschieds zwischen kieferorthopädischer Therapie allein und kieferorthopädischer Therapie mit zusätzlichem Einsatz von „Piezocision“ bei der Behandlung von Patient*innen mit Frontzahnengständen veröffentlicht. Sie inkludierten insgesamt 3 Studien im Rahmen derer die parodontale Gesundheit und die Entstehung von Wurzelresorptionen untersucht worden waren in die Ergebnissynthese ihres Reviews. Auffällig ist, dass alle drei von Afzal et al. inkludierten Studien im Rahmen dieser Dissertationsarbeit ebenfalls analysiert, jedoch aus der Ergebnissynthese exkludiert worden sind. Dies sind zu einen

die Studie von Yavuz et al. (2018), da eine der beiden Vergleichsgruppen lediglich aus 9 Patient*innen bestand und im Rahmen der Untersuchung der anderen Vergleichsgruppe keine parodontalen Parameter im Frontzahnbereich aufgenommen worden waren. Zum anderen war dies die Studie von Strippoli et al. (2019), da parodontale Parameter ebenfalls lediglich in einer von zwei Gruppen untersucht worden waren (Tabelle 3). Die Studie von Charavet et al. (2016) war im Rahmen des Kolloquiums mit dem Betreuer dieser Arbeit⁷ aus der Ergebnissynthese exkludiert worden (Tabelle 4).

Zusammenfassend wird deutlich, dass es bisher keinen systematischen Review gab, der spezifisch die Studienlage bezüglich der Entwicklung der parodontalen Verhältnisse im Bereich initialer Frontzahnengstände der vollständigen permanenten Dentition nach kieferorthopädischer Einflussnahme zusammengefasst hat. Besonderes Augenmerk wurde bei Erstellung dieses Reviews auf die Einhaltung strenger Inklusionskriterien, wie Gruppengrößen von mindestens 10 Patient*innen, kontrolliertes, prospektives Studiendesign, aktive kieferorthopädische Kraftapplikation und spezifische Untersuchung des Parodontiums im Frontzahnbereich gelegt. Trotz strenger finaler Inklusionskriterien wurden die Suchparameter initial nicht zu sehr eingegrenzt, welches zwar den Arbeitsaufwand jedoch ebenso die Bandbreite der gefundenen Referenzen erhöhte.

4.4. Zukünftig wünschenswertes Studiendesign

Zur Beantwortung der Fragestellung dieses Reviews bedarf es mehr prospektiver, randomisierter, kontrollierter, klinischer Studien mit größeren Studien- und Kontrollgruppen und längeren Untersuchungszeiträumen.

Das Studiendesign sollte deutlich genauer, als in den meisten bisher veröffentlichten Studien beschrieben werden und unter anderem Inklusionskriterien wie das Vorliegen einer vollständigen permanenten Dentition vom ersten Molaren der einen bis zum ersten Molaren der Gegenseite, Ausprägung der Frontzahnengstände, initiale parodontale Parameter, Therapieplanung und Richtung der Zahnbewegung sowie applizierte Kraftvektoren beinhalten. Außerdem erscheint es wichtig, dass die Patienten sowohl vor Initiation der Therapie als auch mindestens ein halbes Jahr nach Abschluss der kieferorthopädischen Einflussnahme nachuntersucht werden, um kurzzeitig auftretenden Effekte nicht überzubewerten.

⁷ Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski

Bezüglich der klinischen parodontalen Parameter, wie Taschensondierungstiefen oder Rezessionsausprägungen, sollten pro Untersuchungszeitpunkt mehrere standardisierte Messungen an allen Frontzähnen erfolgen und spezifisch für diese Zähne angegeben werden. Kumulative Werte erscheinen für aussagekräftige Ergebnisse nicht geeignet. Die röntgenologische Bewertung der knöchernen Verhältnisse sollte mittels dentaler Volumetomographie bei kleiner Voxelgröße und guter räumlicher Auflösung der Aufnahmen erfolgen. Insgesamt erscheint ein Studienaufbau, in dem eine dreidimensionale röntgenologische Aufnahme und Bewertung vorgesehen ist, aufgrund der geringeren Verzerrungswahrscheinlichkeit, wie beispielweise durch Tubuswinkeleffekte bei zweidimensionalen Zahnfilmen, zur Untersuchung parodontaler Strukturen, wie es auch Bansal et. al. (2019) in ihrer Studie durchgeführt haben, sinnvoll. Eine kieferorthopädisch unbehandelte Kontrollgruppe könnte im Rahmen eines solchen Studiendesigns nur dann untersucht werden, wenn wiederholte dreidimensionale Röntgenaufnahmen aufgrund anderer Indikationsstellungen ohnehin angefertigt werden sollten. Denkbar wäre dies beispielweise zur Untersuchung von Unterkieferfrontzahnengständen bei Patient*innen mit impaktierten Zähnen im Oberkiefer, die zunächst ausschließlich im Oberkiefer kieferorthopädisch behandelt werden. Es erscheint sinnvoll, dass im untersuchten Kieferbereich zusätzlich dazu, dass dort zunächst keine kieferorthopädische Behandlung eingeleitet wird, ebenfalls keine anderweitige dentoorale Behandlung durchgeführt wird, um Kriecheffekte wie beispielweise durch das „*Regional Acceleratory Phenomenon*“ (Frost 1983: 3-7) und damit möglicherweise verbundene Ergebnisverzerrungen zu vermeiden. Deshalb wäre es für einen solchen Studienaufbau optimal, wenn die Indikation zur Röntgenuntersuchung jeweils im Gegenkiefer zu dem in der Kontrollgruppe untersuchten Kiefer gestellt wird und der untersuchte Bereich zunächst keine dentoorale Behandlung erfährt. Problematisch erscheint hierbei, dass das „field of view“ im Rahmen einer Röntgenaufnahme mittels dentaler Volumetomographie größer als für die initiale Indikationsstellung nötig gewählt werden müsste, um auch die zunächst nicht kieferorthopädisch zu behandelnden Bereiche zu erfassen. Bei Erstellung einer in dieser Form reduzierten dentalen volumetomographischen Aufnahme zur Bildgebung verlagerter Zähne mit „*Reduktion des Umlaufes [oder] [...] der Milliamperezahl*“ (Schulze et al. 2013: 9) würden jedoch im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlungsplanung meist zusätzlich zu der volumetomographischen Aufnahme ebenfalls Orthopantomogramme sowie Fernröntgenseitenaufnahmen erstellt werden (Deutsche

Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V. 2022). Damit erhöht sich die Gesamtstrahlendosis, der die Patient*innen ausgesetzt werden. Wenn es jedoch im Rahmen einer dreidimensionalen Bildgebung ermöglicht werden könnte, dass durch das Herausrechnen verschiedener Schichten die Gesamtstrahlenbelastung der Patient*innen durch andernfalls ergänzend benötigte Röntgenaufnahmen, wie Fernröntgenseitenbilder oder Orthopantomogramme, reduziert würde, wäre eine Vergrößerung des „field of view“ gemäß dem Prinzip zur Dosisreduzierung als „as low as reasonably achievable“ (International Commission on Radiological Protection 1977: 3) möglicherweise zu vertreten. Dies ist in einem prospektiven Studiendesign oftmals nur fachübergreifend möglich und bedingt die enge Zusammenarbeit verschiedener Fachdisziplinen, um ein schlüssiges Behandlungs- und Studienkonzept mit abgestimmten Abständen zwischen den Röntgenaufnahmen und eine Reduzierung der Strahlendosis zu ermöglichen. Die S2k-Leitlinie empfiehlt jedoch den Einsatz der dentalen Volumentomographie zur kieferorthopädischen Behandlungsplanung aufgrund der erhöhten Strahlendosis seit 2013 nicht (Schulze et al. 2013). Welche Empfehlung im Rahmen der überarbeiteten Leitlinie, die in nächster Zeit veröffentlicht werden soll, ausgesprochen wird bleibt abzuwarten.

4.5. Resümee

Es zeigt sich also, dass von mehr als 12000 gefundenen Studien nach Anlegung strenger Kriterien schließlich keine Studie wissenschaftlich belastbar beantwortet, welchen Langzeiteffekt eine kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen im permanenten Gebiss auf das Parodontium dieser Zähne hat. Die zwei im Rahmen dieses Reviews in die Ergebnissynthese inkludierten Studien indizieren zum einen, dass sowohl Wurzelresorptionen als auch insgesamt ein marginaler interdentaler Knochenabbau im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie von Frontzahnengständen auftreten und zum anderen, dass die Taschensondierungstiefen, die Gingivalindizes sowie die Breite der keratinisierten Gingiva stabil bleiben (Bansal et al. 2019: 7 (Tabelle 6, Tabelle 7); Sirri et al. 2020: 26, 29 (Tabelle 6, Tabelle 8)). Aufgrund von Mängeln im Studiendesign dieser Studien lassen sich auf Grundlage ihrer Ergebnisse, für die im Rahmen dieses Reviews untersuchte Fragestellung jedoch keine wissenschaftlich fundierten Antworten ableiten, auf die sich das alltägliche kieferorthopädische Handeln stützen kann. Deshalb sind kieferorthopädisch tätige Kolleginnen und Kollegen aktuell weiterhin darauf angewiesen

aus ihrem biologischen und parodontologischen Grundwissen heraus deduktiv zu schließen, ob und wann es notwendig ist zum Erhalt der parodontalen Strukturen des Frontzahnbereichs ihrer Patient*innen die Entwicklung von Zahnengständen zu vermeiden oder bei bereits erfolgter Entstehung zu therapieren und darauffolgend zu retinieren.

5. Literaturverzeichnis

Abdullah, A. A. A., Wahab, R. M. A., Ariffin, S. H. Z. (2011) Pattern of Crevicular Alkaline Phosphatase During Orthodontic Tooth Movement: Leveling and Alignment Stage. *Sains Malays* 40, 1147-1151.

Abu Alhaija, E. S. J., Al-Wahadni, A. M. S. (2006) Relationship between tooth irregularity and periodontal disease in children with regular dental visits. *J Clin Pediatr Dent* 30, 296-298.

Afzal, E., Fida, M., Malik, D. S., Irfan, S., Gul, M. (2021) Comparison between conventional and piezocision-assisted orthodontics in relieving anterior crowding: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 43, 360-366.

Ahn, H.-W., Seo, D.-H., Kim, S.-H., Park, Y.-G., Chung, K.-R. N., G. (2016) Morphologic evaluation of dentoalveolar structures of mandibular anterior teeth during augmented corticotomy-assisted decompensation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 150, 659-669.

Akgun, O. M., Altug, H., Karacay, S., Polat, G. G., Duyan, S., Bedir, O. (2014) Effect of 2 elastomeric ligatures on microbial flora and periodontal status in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145, 667-671.

Al-Moghrabi, D., Johal, A., O'Rourke, N., Donos, N., Pandis, N., Gonzales-Marin, C., Fleming, P. S. (2018) Effects of fixed vs removable orthodontic retainers on stability and periodontal health: 4-year follow-up of a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 154, 167-174.e1.

Alfawal, A. M. H., Hajeer, M. Y., Ajaj, M. A., Hamadah, O., Brad, B. (2018) Evaluation of piezocision and laser-assisted flapless corticotomy in the acceleration of canine retraction: a randomized controlled trial. *Head Face Med* 14, 4.

Alikhani, M., Raptis, M., Zoldan, B., Sangsuwon, C., Lee, Y. B., Alyami, B., Corpodan, C., Barrera, L. M., Alansari, S., Khoo, E., Teixeira, C. (2013) Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 144, 639-648.

Alkan, A., Özer, M., Baş, B., Bayram, M., Çelebi, N., İnal, S., Özden, B. (2007) Mandibular symphyseal distraction osteogenesis: review of three techniques. *Int J Oral Maxillofac Surg* 36, 111-117.

Alvarez, M. A., Mejia, A., Alzate, D., Rey, D., Ioshida, M., Aristizabal, J. F., Rios, H. F., Bellaiza-Cantillo, W., Tirado, M., Ruellas, A., Cevidanes, L. (2021) Buccal bone defects and transversal tooth movement of mandibular lateral segments in patients after orthodontic treatment with and without piezocision: A case-control retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 159, e233-e243.

Alves de Souza, R., Borges de Araújo Magnani, M. B., Nouer, D. F., Oliveira da Silva, C., Klein, M. I., Sallum, E. A., Gonçalves, R. B. (2008) Periodontal and microbiologic evaluation of 2 methods

of archwire ligation: Ligature wires and elastomeric rings. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134, 506-512.

Aman, C., Azevedo, B., Bednar, E., Chandiramami, S., German, D., Nicholson, E., Nicholson, K., Scarfe, W. C. (2018) Apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners: A retrospective study using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 153, 842-851.

Amasyali, M., Enhos, S., Uysal, T., Saygun, I., Kilic, A., Bedir, O. (2011) Effect of a self-etching adhesive containing an antibacterial monomer on clinical periodontal parameters and subgingival microbiologic composition in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140, e147-e153.

American Society of Anaesthesiologists (2014) *ASA Physical Status Classification System*. Accessed 23.05.2021 <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/asa-physical-status-classification-system>.

Amiri-Jezeh, M., Marinello, C. P., Weiger, R., Wichelhaus, A. (2004) Auswirkung der kieferorthopädischen Zahnintrusion auf das Parodont Klinische Studie zur Veränderung von Attachmentlevel und Sondierungstiefe bei intrudierten Incisivi. *Swiss Dent J* 114, 805-811.

Amuk, N. G., Baysal, A., Coskun, R., Kurt, G. (2019) Effectiveness of incremental vs maximum bite advancement during Herbst appliance therapy in late adolescent and young adult patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 155, 48-56.

Andrews, L. F. (1972) The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 62, 296-309.

Antoun, J. S., Mei, L., Gibbs, K., Farella, M. (2017) Effect of orthodontic treatment on the periodontal tissues. *Periodontol 2000* 74, 140-157.

Artun, J., Kokich, V. G., Osterberg, S. K. (1987) Long-term effect of root proximity on periodontal health after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91, 125-130.

Artun, J., Osterberg, S. K. (1987) Periodontal status of secondary crowded mandibular incisors Long-term results after orthodontic treatment. *J Clin Periodontol* 14, 261-266.

Årtun, J., Van 't Hullenaar, R., Doppel, D., Kuijpers-Jagtman, A. M. (2009) Identification of orthodontic patients at risk of severe apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135, 448-455.

Arzate, H., Zeichner-David, M., Mercado-Celis, G. (2015) Cementum proteins: role in cementogenesis, biomineralization, periodontium formation and regeneration. *Periodontol 2000* 67, 211-233.

- Atik, E., Akarsu-Guven, B., Kocadereli, I., Ciger, S. (2016) Evaluation of maxillary arch dimensional and inclination changes with self-ligating and conventional brackets using broad archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 149, 830-837.
- Babacan, H., Sokucu, O., Marakoglu, İ., Ozdemir, H., Nalcaci, R. (2011) Effect of fixed appliances on oral malodor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139, 351-355.
- Babanouri, N., Ajami, S., Salehi, P. (2020) Effect of mini-screw-facilitated micro-osteoperforation on the rate of orthodontic tooth movement: a single-center, split-mouth, randomized, controlled trial. *Prog Orthod* 21, 7.
- Baccetti, T., Franchi, L., McNamara, J. A., Jr. (2002) An Improved Version of the Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Mandibular Growth. *Angle Orthod* 72, 316-323.
- Bahammam, M. A. (2016) Effectiveness of bovine-derived xenograft versus bioactive glass with periodontally accelerated osteogenic orthodontics in adults: a randomized, controlled clinical trial. *BMC Oral Health* 16, 126.
- Baka, Z. M., Basciftci, F. A., Arslan, U. (2013) Effects of 2 bracket and ligation types on plaque retention: A quantitative microbiologic analysis with real-time polymerase chain reaction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 144, 260-267.
- Ballanti, F., Lione, R., Baccetti, T., Franchi, L., Cozza, P. (2010) Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion investigated with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138, 311-317.
- Bansal, M., Sharma, R., Kumar, D., Gupta, A. (2019) Effects of mini-implant facilitated micro-osteoperforations in alleviating mandibular anterior crowding: A randomized controlled clinical trial. *J Orthod Sci* 8, 19.
- Bergamo, A. Z. N., Nelson-Filho, P., Romano, F. L., da Silva, R. A. B., Saraiva, M. C. P., da Silva, L. A. B., Matsumoto, M. A. N. (2016) Gingival crevicular fluid volume and periodontal parameters alterations after use of conventional and self-ligating brackets. *J Orthod* 43, 260-267.
- Bernhardt, O., Krey, K. F., Daboul, A., Völzke, H., Kindler, S., Kocher, T., Schwahn, C. (2019) New insights in the link between malocclusion and periodontal disease. *J Clin Periodontol* 46, 144-159.
- Bhasin, V., Singh, M., Goutam, M., Singh, S., Nigam, A. S., Joshi, A. (2017) Comparative Evaluation of Myeloperoxidase Enzymatic Activity in Gingival Crevicular Fluid of Subjects having Orthodontic Treatment by Different Aligning Arch Wires. *J Contemp Dent Pract* 18, 977-980.
- Bicakci, A. A., Cankaya, O. S., Mertoglu, S., Yilmaz, N., Altan, B. K. (2013) Does proclination of maxillary incisors really affect the sagittal position of point A? *Angle Orthod* 83, 943-947.
- Bock, N. C., Ruf, S., Wiechmann, D., Jilek, T. (2016) Herbst plus Lingual versus Herbst plus Labial: a comparison of occlusal outcome and gingival health. *Eur J Orthod* 38, 478-484.

Bollen, A. M., Cunha-Cruz, J., Bakko, D. W., Huang, G. J., Hujoel, P. P. (2008) The effects of orthodontic therapy on periodontal health A systematic review of controlled evidence. *J Am Dent Assoc* 139, 413-422.

Booth, F. A., Edelman, J. M., Proffit, W. R. (2008) Twenty-year follow-up of patients with permanently bonded mandibular canine-to-canine retainers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133, 70-76.

Borges de Castilhos, B., Machado de Souza, C., Simas Netta Fontana, M. L. S., Pereira, F. A., Tanaka, O. M., Trevilatto, P. C. (2019) Association of clinical variables and polymorphisms in RANKL, RANK, and OPG genes with external apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 155, 529-542.

Brocklehurst, P., Hoare, Z. (2017) How to design a randomised controlled trial. *Br Dent J* 222, 721-726.

Brown, M. W., Koroluk, L., Ko, C.-C., Zhang, K., Chen, M., Nguyen, T. (2015) Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 148, 1067-1074.

Brugnami, F., Caiazzo, A., Mehra, P. (2018) Can corticotomy (with or without bone grafting) expand the limits of safe orthodontic therapy? *J Oral Biol Craniofac Res* 8, 1-6.

Brüllmann, D., Schulze, R. K. W. (2015) Spatial resolution in CBCT machines for dental/maxillofacial applications—what do we know today? *Dentomaxillofac Radiol* 44, 20140204.

Burke, J. C., Evans, C. A., Crosby, T. R., Mednieks, M. I. (2002) Expression of secretory proteins in oral fluid after orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121, 310-315.

Burke, S., Burch, J. G., Tetz, J. A. (1994) Incidence and size of pretreatment overlap and posttreatment gingival embrasure space between maxillary central incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 105, 506-511.

Buschang, P. H. (2006) Maxillomandibular expansion: Short-term relapse potential and long-term stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129, S75-S79.

Buschang, P. H., Campbell, P. M., Ruso, S. (2012) Accelerating Tooth Movement With Corticotomies: Is It Possible and Desirable? *Semin Orthod* 18, 286-294.

Caffesse, R. G., Echeverría, J. J. (2019) Treatment trends in periodontics. *Periodontol 2000* 79, 7-14.

Calil, R. C., Marin Ramirez, C. M., Otazu, A., Torres, D. M., Gurgel, J. d. A., Oliveira, R. C., de Oliveira, R. C. G., Valarelli, F. P., Freitas, K. M. S. (2021) Maxillary dental and skeletal effects after treatment with self-ligating appliance and miniscrew-assisted rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 159, e93-e101.

Cameron, C. G., Franchi, L., Baccetti, T., McNamara, J. A., Jr. (2002) Long-term effects of rapid maxillary expansion: A posteroanterior cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121, 129-135.

Canan, S., Şenışık, N. E. (2017) Comparison of the treatment effects of different rapid maxillary expansion devices on the maxilla and the mandible. Part 1: Evaluation of dentoalveolar changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 151, 1125-1138.

Canuto, L. F. G., de Freitas, M. R., Janson, G., de Freitas, K. M. S., Martins, P. P. (2010) Influence of rapid palatal expansion on maxillary incisor alignment stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137, 164.e1-164.e6.

Cao, Y., Zhou, Y., Song, Y., Vanarsdall, R. L., Jr. (2009) Cephalometric study of slow maxillary expansion in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136, 348-354.

Capelli, J., Jr., Kantarci, A., Haffajee, A., Teles, R. P., Fidel, R., Jr., Figueredo, C. M. (2011) Matrix metalloproteinases and chemokines in the gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement. *Eur J Orthod* 33, 705-711.

Carvalho, C. V., Saraiva, L., Bauer, F. P. F., Kimura, R. Y., Souto, M. L. S., Bernardo, C. C., Pannuti, C. M., Romito, G. A., Pustiglioni, F. E. (2018) Orthodontic treatment in patients with aggressive periodontitis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 153, 550-557.

Casellas, C. (2001) *Skeletal And Dental Changes With The Acrylic-Splint Herbst Appliance*. Master thesis, West Virginia University, Morgantown.

Casteluci, C. E. V. F., Oltramari, P. V. P., Conti, P. C. R., Bonjardim, L. R., de Almeida-Pedrin, R. R., Fernandes, T. M. F., de Almeida, M. R., de Castro Ferreira Conti, A. C. (2021) Evaluation of pain intensity in patients treated with aligners and conventional fixed appliances: Randomized clinical trial. *Orthod Craniofac Res* 24, 268-276.

Castroflorio, T., Gambero, E. F., Caviglia, G. P., Deregibus, A. (2017) Biochemical markers of bone metabolism during early orthodontic tooth movement with aligners. *Angle Orthod* 87, 74-81.

Chaison, J. B., Chen, C. S. K., Herring, S. W., Bollen, A.-M. (2010) Bone volume, tooth volume, and incisor relapse: A 3-dimensional analysis of orthodontic stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138, 778-786.

Charavet, C., Lecloux, G., Bruwier, A., Rompen, E., Maes, N., Limme, M., Lambert, F. (2016) Localized Piezoelectric Alveolar Decortication for Orthodontic Treatment in Adults: A Randomized Controlled Trial. *J Dent Res* 95, 1003-1009.

Charavet, C., Lecloux, G., Jackers, N., Albert, A., Lambert, F. (2019) Piezocision-assisted orthodontic treatment using CAD/CAM customized orthodontic appliances: a randomized controlled trial in adults. *Eur J Orthod* 41, 495-501.

Cherkezi, S., Beraj, S., Nakova, M., Konstandinova, M., M., Z. (2017) Mandibular Crowding - A risk factor in the Initiation and Progression of Gingival Inflammation. *Arch CranOroFac Sc* 5, 1-5.

Chhibber, A., Agarwal, S., Yadav, S., Kuo, C.-L., Upadhyay, M. (2018) Which orthodontic appliance is best for oral hygiene? A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 153, 175-183.

ChiCTR1900024297. Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR). *Accelerate orthodontic tooth movement by piezocision assisted orthodontics: a randomized controlled trial.*

ChiCTR-INR-17011199. Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR). *Research on the regeneration of alveolar dehiscence and fenestration.*

ChiCTR-INR-17012749. Chinese Clinical Trial Registry (ChiCTR). *A modified surgical periodontally accelerated osteogenic orthodontics on the regeneration of alveolar dehiscence and fenestration: a randomized control study.*

Chisari, J. R., McGorray, S. P., Nair, M., Wheeler, T. T. (2014) Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145, S82-S91.

Clarivate Analytics (2019) *InCites Journal Citation Reports*. Accessed 26.02.2020 <https://jcr.clarivate.com/JCRJournalHomeAction.action?pg=JRNLHOME&categoryName=DENTISTRY%2C%20ORAL%20SURGERY%20%26%20MEDICINE&categories=FY>.

Cochrane Deutschland Stiftung, Institut für Evidenz in der Medizin, Institut für Medizinische Biometrie und Statistik Freiburg, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, Institut für Medizinisches Wissensmanagement, Ärztliches Zentrum für Qualität in der Medizin (2019) *Manual Systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien 2. Auflage (01.04.2019).*

Available from Cochrane Deutschland: <https://www.cochrane.de/de/literaturrecherche>;

AWMF: <https://www.awmf.org/leitlinien/awmf-regelwerk/II-entwicklung.html>;

ÄZQ: <https://www.aezq.de/aezq/publikationen/azq-partner#literaturrecherche>.

Cook, T., Currier, F., Kadioglu, O., Griffin, T. (2015) Comparison of the anterior alveolar bony changes of moderately crowded cases treated either with extraction or non-extraction orthodontic treatment. *Semin Orthod* 21, 283-290.

Cronau, M., Ihlow, D., Kubein-Meesenburg, D., Fanghänel, J., Dathe, H., Nägerl, H. (2006) Biomechanical features of the periodontium: an experimental pilot study in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129, 599.e13-599.e21.

CTRI/2018/05/013550. Clinical Trials Registry-India (CTRI). *A comparative evaluation of the rate of en-masse retraction in micro-osteoperforations assisted and conventional technique in adult orthodontic patients: A randomized controlled clinical trial.*

CTRI/2021/01/030196. Clinical Trials Registry-India (CTRI). *A three-dimensional comparative evaluation of root resorption of maxillary anterior teeth following en-masse retraction with and without skeletal anchorage- a randomized control trial.*

Daurova, A., Lapina, N., Bykova, N., Domenyuk, D., Melekhov, S., Risovanny, S., Antonov, D., Skorikov, V. (2020) Periodontium Inflammatory Diseases in Orthodontic Treatment with Fixed Dentures. Literature Review. *Archiv Euromedica* 10, 139-143.

Davidovitch, M., Efstathiou, S., Sarne, O., Vardimon, A. D. (2005) Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127, 483-492.

De Rouck, T., Eghbali, R., Collys, K., De Bruyn, H., Cosyn, J. (2009) The gingival biotype revisited: transparency of the periodontal probe through the gingival margin as a method to discriminate thin from thick gingiva. *J Clin Periodontol* 36, 428-433.

Del Santo, M., English, J. D., Wolford, L. M., Gandini, L. G. (2002) Midsymphyseal distraction osteogenesis for correcting transverse mandibular discrepancies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121, 629-638.

Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V. (2022) *Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie zur kieferorthopädischen Diagnostik.* Accessed 07.02.2022 https://www.dgkfo-vorstand.de/fileadmin/redaktion/dgkfo/Positionspapiere/Positionspapier_der_DGKFO_zur_kieferorthopaedischen_Diagnostik_Feb_2022.pdf.

Deutsches Cochrane-Zentrum, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften- Institut für Medizinisches Wissensmanagement, Ärztliches Zentrum für Qualität in der Medizin (2013) *Manual Systematische Literaturrecherche für die Erstellung von Leitlinien.* Accessed <http://www.cochrane.de/de/webliographie-litsuche>.

Diedrich, P. (2000) Periodontal Relevance of Anterior Crowding. *J Orofac Orthop* 61, 69-79.

DRKS00023977 A comparison between clear aligners and conventional fixed appliances - a randomized controlled trial - clear aligners vs fixed appliances. *German Clinical Trials Register (DRKS)*,*.

El-Mangoury, N. H., Gaafar, S. M., Mostafa, Y. A. (1987) Mandibular Anterior Crowding and Periodontal Disease. *Angle Orthod* 57, 33-38.

Erkan, M., Pikdoken, L., Usumez, S. (2007) Gingival response to mandibular incisor intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132, 143.e9-143.e13.

Fastlich, J. (1970) Crowding of mandibular incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 58, 156-163.

- Ferguson, D., Wilcko, W. M., Wilcko, M. T. (2007) Selective Alveolar Decortication for Rapid Surgical-Orthodontic of Skeletal Malocclusion Treatment. In: Bell, W. H. & Guerrero, C. A. (eds.) *Distraction Osteogenesis of the Facial Skeleton*. Ontario: B.C. Decker Inc.
- Ferguson, D. J., Machado, I., Wilcko, M. T., Wilcko, W. M. (2016a) Root resorption following periodontally accelerated osteogenic orthodontics. *APOS Trends Orthod* 6, 78-84.
- Ferguson, D. J., Nazarov, A. D., Makki, L., Wilcko, M. T., Wilcko, W. M. (2016b) Posttreatment and retention outcomes with and without periodontally accelerated osteogenic orthodontics assessed using ABO objective grading system. *APOS Trends Orthod* 6, 194-199.
- Flórez-Moreno, G. A., Isaza-Guzmán, D. M., Tobón-Arroyave, S. I. (2013) Time-related changes in salivary levels of the osteotropic factors sRANKL and OPG through orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 143, 92-100.
- Fontana, M. L. S. S. N., de Souza, C. M., Bernardino, J. F., Hoette, F., Hoette, M. L., Thum, L., Ozawa, T. O., Capelozza Filho, L., Olandoski, M., Trevilatto, P. C. (2012) Association analysis of clinical aspects and vitamin D receptor gene polymorphism with external apical root resorption in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142, 339-347.
- Frost, H. M. (1983) The regional acceleratory phenomenon: a review. *Henry Ford Hosp Med J* 31, 3-9.
- Garlock, D. T., Buschang, P. H., Araujo, E. A., Behrents, R. G., Kim, K. B. (2016) Evaluation of marginal alveolar bone in the anterior mandible with pretreatment and posttreatment computed tomography in nonextraction patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 149, 192-201.
- Gauthier, C., Voyer, R., Paquette, M., Rompré, P., Papadakis, A. (2011) Periodontal effects of surgically assisted rapid palatal expansion evaluated clinically and with cone-beam computerized tomography: 6-month preliminary results. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139, S117-S128.
- Gebistorf, M., Mijuskovic, M., Pandis, N., Fudalej, P. S., Katsaros, C. (2018) Gingival recession in orthodontic patients 10 to 15 years posttreatment: A retrospective cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 153, 645-655.
- Geiger, A. M., Wasserman, B. H. (1976) Relationship of Occlusion and Periodontal Disease: Part IX- Incisor Inclination and Periodontal Status. *Angle Orthod* 46, 99-110.
- Geiger, A. M., Wasserman, B. H., Turgeon, L. R. (1974) Relationship of Occlusion and Periodontal Disease Part VIII—Relationship of Crowding and Spacing to Periodontal Destruction and Gingival Inflammation. *J Periodontol* 45, 43-49.
- Glans, R., Larsson, E., Øgaard, B. (2003) Longitudinal changes in gingival condition in crowded and noncrowded dentitions subjected to fixed orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124, 679-682.

Goethe, J. W. v. (1877) Zur Osteologie und Zoologie. In: Kalischer, S. (ed.) *Goethe's Werke. Nach den vorzüglichsten Quellen revidierte Ausgabe. Dreiunddreissigster Theil. Zur Morphologie. — Zur Mineralogie und Geologie.* Berlin: Gustav Hempel.

Goethe, J. W. v. (1982) B. Zur Morphologie In: Böhler, M. (ed.) *Schriften zur Naturwissenschaft (Auswahl).* Stuttgart: Reclam.

Gong, Y., Lu, J., Ding, X. (2011) Clinical, microbiologic, and immunologic factors of orthodontic treatment-induced gingival enlargement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140, 58-64.

Google (2021) *Google Scholar Search Tips Citation Export.* Accessed 12.05.2021 <https://scholar.google.ca/intl/en/scholar/help.html#export>.

Griffiths, G. S., Addy, M. (1981) Effects of malalignment of teeth in the anterior segments on plaque accumulation. *J Clin Periodontol* 8, 481-490.

Guerrero, C., Rojas, A., Figueroa, F. (2002) Tratamiento ortodónico-quirúrgico de la deficiencia mandibular transversal por distracción osteogénica / Surgical-orthodontic approach by intraoral distraction osteogenesis to treat transverse mandibular deficiency. *Cir. plást. ibero-latinoam* 28, 201-211.

Guerrero, C. A., Bell, W. H., Contasti, G. I., Rodriguez, A. M. (1997) Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis. *Br J Oral Maxillofac Surg* 35, 383-392.

Gunyuz Toklu, M., Germec-Cakan, D., Tozlu, M. (2015) Periodontal, dentoalveolar, and skeletal effects of tooth-borne and tooth-bone-borne expansion appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 148, 97-109.

Guo, Y., He, S., Gu, T., Liu, Y., Chen, S. (2016) Genetic and clinical risk factors of root resorption associated with orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 150, 283-289.

Habersack, K., Becker, J., Ristow, O., Paulus, G. W. (2014) Dental and Skeletal Effects of Two-Piece and Three-Piece Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion With Complete Mobilization: A Retrospective Cohort Study. *J Oral Maxillofac Surg* 72, 2278-2288.

Hammad, S., Fouda, A., Giacaman, N. (2017) A Randomized Clinical Trial to Evaluate Labial Alveolar Bone Thickness and Apical Root Resorption between Two Types of Brackets Using Cone - Beam Computed Tomography. *Indian J Dent Adv* 9, 210-216.

Han, J., Hwang, S., Nguyen, T., Proffit, W. R., Soma, K., Choi, Y. J., Kim, K.-H., Chung, C. J. (2019) Periodontal and root changes after orthodontic treatment in middle-aged adults are similar to those in young adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 155, 650-655.e2.

Handelman, C. (2011) Palatal expansion in adults: The nonsurgical approach. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140, 462-468.

Hartung, D. M., Touchette, D. (2009) Overview of clinical research design. *Am J Health-Syst Pharm* 66, 398-408.

Harzing, A. W. (2007) *Publish or Perish*. Accessed 26.02.2020 <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>.

Heins, P. J., Thomas, R. G., Newton, J. W. (1988) The Relationship of Interradicular Width and Alveolar Bone Loss. *J Periodontol* 59, 73-79.

Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., Welch, V. A. (2021) *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Accessed 02.05.2021 <https://training.cochrane.org/handbook/current>.

Hinrichs, J. E. (2011) The Role of Dental Calculus and Other Local Predisposing Factors. In: Newman, M. G. (ed.) *Carranza's Clinical Periodontology*. St. Louis: Elsevier Saunders.

Hörup, N., Melsen, B., Terp, S. (1987) Relationship between malocclusion and maintenance of teeth. *Community Dent Oral Epidemiol* 15, 74-78.

Huber, S. J., Vernino, A. R., Nanda, R. S. (1987) Professional prophylaxis and its effect on the periodontium of full-banded orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91, 321-327.

Huser, M. C., Baehni, P. C., Lang, R. (1990) Effects of orthodontic bands on microbiologic and clinical parameters. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 97, 213-218.

Ibiapina, D. J., Oltramari-Navarro, P. V., Navarro, R. L., Almeida, M. R., Mendonça, D. L., Conti, A. C. C. F. (2016) Assessment of Dental Arch Changes and Buccal Bone Thickness in Patients treated with Self-ligating Brackets. *J Contemp Dent Pract* 17, 434-439.

Ihlow, D., Cronau, M., Kubein-Meesenburg, D., Heine, G., Dathe, H., Hansen, C., Nägerl, H. (2003) An Experimental Method for In Vivo Analysis of Biomechanical Asymmetries of the Periodontium. *J Orofac Orthop* 64, 321-329.

Ihlow, D., Kubein-Meesenburg, D., Fanghänel, J., Lohrmann, B., Elsner, V., Nägerl, H. (2004) Biomechanics of the Dental Arch and Incisal Crowding. *J Orofac Orthop* 65, 5-12.

International Commission on Radiological Protection (1977) ICRP Publication 26, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*.

Ishibashi, O., Niwa, S., Kadoyama, K., Inui, T. (2006) MMP-9 antisense oligodeoxynucleotide exerts an inhibitory effect on osteoclastic bone resorption by suppressing cell migration. *Life Sci* 79, 1657-1660.

Jacobs, C., Katzorke, M., Wiechmann, D., Wehrbein, H., Schwestka-Polly, R. (2017) Single tooth torque correction in the lower frontal area by a completely customized lingual appliance. *Head Face Med* 13:18, 1-6.

- Jäger, F. (2015) *Veränderungen des peridental Knochengebietes in dreidimensionalen Röntgenbildern während einer festsitzenden kieferorthopädischen Behandlung*. Doctoral thesis, Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin, Berlin.
- Janson, G., Niederberger, A., Garib, D. G., Caldas, W. (2016) Root resorption in Class II malocclusion treatment with Class II elastics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 150, 585-591.
- Janson, G. R. P., de Luca Canto, G., Martins, D. R., Henriques, J. F. C., de Freitas, M. R. (2000) A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with 3 different fixed appliance techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 118, 262-273.
- Jensen, B. L., Solow, B. (1989) Alveolar bone loss and crowding in adult periodontal patients. *Community Dent Oral Epidemiol* 17, 47-51.
- Jiang, C., Fan, C., Yu, X., Xu, T., Cai, J., Fan, X., Zhang, J. (2021a) Comparison of the efficacy of different periodic periodontal scaling protocols for oral hygiene in adolescents with fixed orthodontic appliances: A prospective cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 159, 435-442.
- Jiang, F., Liu, S. S. Y., Xia, Z., Li, S., Chen, J., Kula, K. S., Eckert, G. (2015) Hounsfield unit change in root and alveolar bone during canine retraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 147, 445-453.
- Jiang, T., Wang, J. K., Jiang, Y. Y., Hu, Z., Tang, G. H. (2021b) How well do integrated 3D models predict alveolar defects after treatment with clear aligners? *Angle Orthod* 91, 313-319.
- Jiao, J., Xin, T. Y., Shi, J., Meng, H. X. (2019) Evaluation of Periodontal Status after Orthodontic Treatment: A Pilot Study on Patients with Stage IV/Grade C periodontitis. *Chin J Dent Res* 22, 229-239.
- Jing, W.-D., Xu, L., Li, X.-T., Xu, X., Jiao, J., Hou, J.-X., Wang, X.-X. (2021) Prevalence of and risk factors for alveolar fenestration and dehiscence in the anterior teeth of Chinese patients with skeletal Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 159, 312-320.
- Joss-Vassalli, I., Grebenstein, C., Topouzelis, N., Sculean, A., Katsaros, C. (2010) Orthodontic therapy and gingival recession: a systematic review. *Orthod Craniofac Res* 13, 127-141.
- Jung, W.-S., Kim, K., Cho, S., Ahn, S.-J. (2016) Adhesion of periodontal pathogens to self-ligating orthodontic brackets: An in-vivo prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 150, 467-475.
- Kahl, B., Schwarze, C. W. (1991) Datenanalyse bei Langzeitnachuntersuchungen ehemals kieferorthopädisch behandelter Patienten. *Fortschr Kieferorthop* 52, 183-187.
- Kandasamy, S., Goonewardene, M., Tennant, M. (2007) Changes in interdental papillae heights following alignment of anterior teeth. *Aust Orthod J* 23, 16-23.

Karacay, S., Saygun, I., Bengi, O., Serdar, M. (2007) Tumor Necrosis Factor- α Levels during Two Different Canine Distalization Techniques. *The Angle orthodontist* 77, 142-147.

Kawasaki, K., Takahashi, T., Yamaguchi, M., Kasai, K. (2006) Effects of aging on RANKL and OPG levels in gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res* 9, 137-142.

Kim, K., Heimisdottir, K., Gebauer, U., Persson, G. R. (2010) Clinical and microbiological findings at sites treated with orthodontic fixed appliances in adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137, 223-228.

Kloehn, J. S., Pfeifer, J. S. (1974) The Effect of Orthodontic Treatment on the Periodontium. *Angle Orthod* 44, 127-134.

Ko-Kimura, N., Kimura-Hayashi, M., Yamaguchi, M., Ikeda, T., Meguro, D., Kanekawa, M., Kasai, K. (2003) Some factors associated with open gingival embrasures following orthodontic treatment. *Aust Orthod J* 19, 19-24.

Köle, H. (1959) Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 12, 515-529.

Kortam, S., Deguchi, T., Geuy, P., Johnston, W. M., Fields, H. W., Palomo, J. M., Kim, D.-G. (2019) Associations of pretreatment parameters with changes during orthodontic treatment. *Orthod Craniofac Res* 22(Suppl. 1), 120-126.

Koudstaal, M. J., Wolvius, E. B., Schulten, A. J., Hop, W. C., van der Wal, K. G. (2009) Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *Int J Oral Maxillofac Surg* 38, 308-315.

Kulakov, S. A., Bayrikov, I. M. (2019) The Use Of Fiberotomy In Patients With Incisor Crowding Before And After Orthodontic Treatment. *Prensa Med Argent* 105, 185-191.

Kurth, J. R., Kokich, V. G. (2001) Open gingival embrasures after orthodontic treatment in adults: Prevalence and etiology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120, 116-123.

Landes, C. A., Laudemann, K., Schubel, F., Petruchin, O., Mack, M., Kopp, S., Sader, R. A. (2009) Comparison of Tooth- and Bone-Borne Devices in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion by Three-Dimensional Computed Tomography Monitoring: Transverse Dental and Skeletal Maxillary Expansion, Segmental Inclination, Dental Tipping, and Vestibular Bone Resorption. *J Craniofac Surg* 20, 1132-1141.

Laursen, M. G., Rylev, M., Melsen, B. (2020) The role of orthodontics in the repair of gingival recessions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 157, 29-34.

Lee, J. K., Chung, K. R., Baek, S. H. (2007) Treatment Outcomes of Orthodontic Treatment, Corticotomy-Assisted Orthodontic Treatment, and Anterior Segmental Osteotomy for Bimaxillary Dentoalveolar Protrusion. *Plast Reconstr Surg* 120, 1027-1036.

- Lee, Y. J., Lee, T. Y. (2016) External root resorption during orthodontic treatment in root-filled teeth and contralateral teeth with vital pulp: A clinical study of contributing factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 149, 84-91.
- Leung, C. C., Palomo, L., Griffith, R., Hans, M. G. (2010) Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137(Suppl. 1), S109-S119.
- Li, N., Sun, W., Li, Q., Dong, W., Martin, D., Guo, J. (2020a) Skeletal effects of monocortical and bicortical mini-implant anchorage on maxillary expansion using cone-beam computed tomography in young adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 157, 651-661.
- Li, X., Xu, J., Yin, Y., Liu, T., Chang, L., Tang, Z., Chen, S. (2020b) Association between root resorption and tooth development: A quantitative clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 157, 602-610.
- Lisniewska-Machorowska, B., Ksiazek-Bak, H., Pisulska-Otremba, A. (1990) Assessment of the condition of the parodontium in children undergoing maxillary-orthopaedic treatment with reference to malocclusion, groups of teeth and duration of treatment with orthodontic devices. *Czas Stomatol* 43, 567-572.
- Little, R. M. (1975) The Irregularity Index: A quantitative score of mandibular anterior alignment. *Am J Orthod* 68, 554-563.
- Löe, H., Silness, J. (1963) Periodontal Disease in Pregnancy I. Prevalence and Severity. *Acta Odontol Scand* 21, 533-551.
- Lombardo, L., Ortan, Y. Ö., Gorgun, Ö., Panza, C., Scuzzo, G., Siciliani, G. (2013) Changes in the oral environment after placement of lingual and labial orthodontic appliances. *Prog Orthod* 14:28, 1-8.
- Ludlow, J. B., Timothy, R., Walker, C., Hunter, R., Benavides, E., Samuelson, D. B., Scheske, M. J. (2015) Effective dose of dental CBCT—a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofac Radiol* 44:20140197, 1-25.
- Luengrojjanakul, P., Tripuwabhrut, P., Kongtewelert, P., Ongchai, S., Jotikasthira, D. (2019) Comparisons of the Chondroitin Sulphate Levels and the Amount of Pain during Initial Orthodontic Leveling Phase between Passive Self-ligating and Conventional Bracket Systems. *J Thai Assoc Orthod* 9, 4-14.
- Lundström, F., Hamp, S. E., Nyman, S. (1980) Systematic plaque control in children undergoing long-term orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 2, 27-39.
- Lyons, K. M., Darby, I. (2017) Interdisciplinary periodontics: the multidisciplinary approach to the planning and treatment of complex cases. *Periodontol* 2000 74, 7-10.

- Ma, Z., Zheng, J., Yang, C., Xie, Q., Liu, X., Abdelrehem, A. (2018) A new modified bone grafting technique for periodontally accelerated osteogenic orthodontics. *Medicine (Baltimore)* 97:e12047.
- Malmgren, O., Goldson, L., Hill, C., Orwin, A., Petrini, L., Lundberg, M. (1982) Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *Am J Orthod* 82, 487-491.
- Mao, H., Yang, A., Pan, Y., Li, H., Lei, L. (2020) Displacement in root apex and changes in incisor inclination affect alveolar bone remodeling in adult bimaxillary protrusion patients: a retrospective study. *Head Face Med* 16:29, 1-12.
- Marcaccini, A. M., Amato, P. A. F., Leão, F. V., Gerlach, R. F., Ferreira, J. T. L. (2010) Myeloperoxidase activity is increased in gingival crevicular fluid and whole saliva after fixed orthodontic appliance activation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138, 613-616.
- Marques, L. S., Ramos-Jorge, M. L., Rey, A. C., Armond, M. C., de Oliveira Ruellas, A. C. (2010) Severe root resorption in orthodontic patients treated with the edgewise method: Prevalence and predictive factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137, 384-388.
- Matthews, D. C., Tabesh, M. (2004) Detection of localized tooth-related factors that predispose to periodontal infections. *Periodontol 2000* 34, 136-150.
- McCulloch, C. A. G., Lekic, P., McKee, M. D. (2000) Role of physical forces in regulating the form and function of the periodontal ligament. *Periodontol 2000* 24, 56-72.
- McGorray, S. P., Dolce, C., Kramer, S., Stewart, D., Wheeler, T. T. (2012) A randomized, placebo-controlled clinical trial on the effects of recombinant human relaxin on tooth movement and short-term stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 141, 196-203.
- Mehr, R. (2013) *Efficiency of Piezotome-Corticision Assisted Orthodontics in Alleviating Mandibular Anterior Crowding - A Randomized Controlled Clinical trial*. University of Connecticut, Farmington.
- Melsen, B., Agerbæk, N., Erikson, J., Terp, S. (1988) New attachment through periodontal treatment and orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94, 104-116.
- Melsen, B., Allais, D. (2005) Factors of importance for the development of dehiscences during labial movement of mandibular incisors: A retrospective study of adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127, 552-561.
- Meyer-Marcotty, P., Klenke, D., Knocks, L., Santander, P., Hrasky, V., Quast, A. (2021) The adult orthodontic patient over 40 years of age: association between periodontal bone loss, incisor irregularity, and increased orthodontic treatment need. *Clin Oral Investig* 25, 6357-6364.
- Midgett, R. J., Shaye, R., Fruge, J. F., Jr. (1981) The effect of altered bone metabolism on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 80, 256-262.

Mittal, S. K., Sharma, R., A., S. (2011) Piezocision Assisted Orthodontics: A new approach to accelerated orthodontic tooth movement. *Journal Of Innovative Dentistry* 1, 50-53.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., The PRISMA Group (2009) Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 6:e1000097, 1-6.

Morais, J. F., Melsen, B., de Freitas, K. M. S., Castello Branco, N., Garib, D. G., Cattaneo, P. M. (2018) Evaluation of maxillary buccal alveolar bone before and after orthodontic alignment without extractions: A cone beam computed tomographic study. *Angle Orthod* 88, 748-756.

Morris, J. W., Campbell, P. M., Tadlock, L. P., Boley, J., Buschang, P. H. (2017) Prevalence of gingival recession after orthodontic tooth movements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 151, 851-859.

Mosleh, M. I., Kaddah, M. A., Abd ElSayed, F. A., ElSayed, H. S. (2015) Comparison of transverse changes during maxillary expansion with 4-point bone-borne and tooth-borne maxillary expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 148, 599-607.

Nabhan, A. F., Abbas, N. H., Fleming, P. S., Johal, A., Sadek, M. M. *Self-ligating brackets versus conventional pre-adjusted edgewise brackets for treating malocclusion (Cochrane Database of Systematic Reviews)*.

Nance, H. N. (1947) The limitations of orthodontic treatment I. Mixed dentition diagnosis and treatment. *Am J Orthod Oral Surg* 33, 177-223.

Naranjo, A. A., Triviño, M. L., Jaramillo, A., Betancourth, M., Botero, J. E. (2006) Changes in the subgingival microbiota and periodontal parameters before and 3 months after bracket placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130, 275.e17-275.e22.

Navarro-Palacios, A., Garcia-Lopez, E., Meza-Rios, A., Armendariz-Borunda, J., Sandoval-Rodriguez, A. (2014) Myeloperoxidase enzymatic activity is increased in patients with different levels of dental crowding after initial orthodontic activation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 146, 92-97.

NCT03646942. ClinicalTrials.gov. *Evaluation of Low-Level-LASER Therapy (LLLT) Effect on Accelerating Orthodontic Tooth Movement For Crowded Upper Incisors Leveling and Alignment in Lingual Orthodontic Patients: A Randomized Clinical Controlled Trial.*

NCT03659097. ClinicalTrials.gov. *Acceleration of Alignment of Crowded Lower Anterior Teeth.*

NCT03967002. ClinicalTrials.gov. *Efficacy of Minimally Invasive Corticotomy Surgery in the Orthodontic Treatment of Mandibular Dental Crowding- A Randomized Prospective Study.*

NCT04255914. ClinicalTrials.gov. *Root Coverage in Miller Class III Recessions by Perio-ortho Treatment.*

NCT04601662. ClinicalTrials.gov. *Evaluation of the Root Resorption and Dehiscence Formation Between Two Methods of Leveling and Alignment of Lower Teeth.*

Newman, W. G. (1975) Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod* 67, 522-539.

Ngan, P. W., Burch, J. G., Wei, S. H. I. (1991) Grafted and ungrafted labial gingival recession in pediatric orthodontic patients: effects of retraction and inflammation. *Quintessence Int* 22, 103-111.

Ngom, P. I., Diagne, F., Benoist, H. M., Thiam, F. (2006) Intraarch and Interarch Relationships of the Anterior Teeth and Periodontal Conditions. *Angle Orthod* 76, 236-242.

Øgaard, B., Larsson, E., Henriksson, T., Birkhed, D., Bishara, S. E. (2001) Effects of combined application of antimicrobial and fluoride varnishes in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120, 28-35.

Oltramari-Navarro, P. V. P., Titarelli, J. M., Marsicano, J. A., Castanha Henriques, J. F., Janson, G., Pereira Lauris, J. R., Buzalaf, M. A. R. (2009) Effectiveness of 0.50% and 0.75% chlorhexidine dentifrices in orthodontic patients: A double-blind and randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136, 651-656.

Öz, E., Küçükeşmen, Ç. (2019) Evaluation of the Relationship Between Malocclusion and the Periodontal Health, Caries, Socio-economic Status of Children. *Meandros Med Dent J* 20, 20-27.

Pancherz, H., Bjerklin, K. (2014) Mandibular incisor inclination, tooth irregularity, and gingival recessions after Herbst therapy: A 32-year follow-up study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 146, 310-318.

Pandis, N., Nasika, M., Polychronopoulou, A., Eliades, T. (2008) External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134, 646-651.

Pandis, N., Polychronopoulou, A., Eliades, T. (2007) Self-ligating vs conventional brackets in the treatment of mandibular crowding: A prospective clinical trial of treatment duration and dental effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132, 208-215.

Pandis, N., Polychronopoulou, A., Eliades, T. (2009) Alleviation of mandibular anterior crowding with copper-nickel-titanium vs nickel-titanium wires: A double-blind randomized control trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136, 152.e1-152.e7.

Pankratova, N. V., Slabkovskaia, A. B., Sidorenko, L. F., Nedbař, A. A. (1996) The functional status of the periodontium during the treatment of tooth crowding by the edgewise technic. *Stomatologija (Mosk)* 75, 64-65.

Panwar, M., Jayan, B., Arora, V., Singh, S. (2014) Orthodontic management of dentition in patients with periodontally compromised dentition. *J Indian Soc Periodontol* 18, 200-204.

Paolantonio, M., Festa, F., di Placido, G., D'Attilio, M., Catamo, G., Piccolomini, R. (1999) Site-specific subgingival colonization by *Actinobacillus actinomycetemcomitans* in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 115, 423-428.

Papageorgiou, S. N., Papadelli, A. A., Eliades, T. (2018) Effect of orthodontic treatment on periodontal clinical attachment: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 40, 176-184.

Park, Y. G. (2016) Corticision: A Flapless Procedure to Accelerate Tooth Movement. In: Kantarci, A., Will, L. & Yen, S. (eds.) *Tooth Movement. Frontiers of Oral Biology*. Basel: Karger.

Parker, R. J., Harris, E. F. (1998) Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114, 677-683.

Pasnicu, L., Anistoroaci, D., Pristavu, L. (2001) Periodontal tissue changes after the correction of reverse over-jet. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi* 105, 147-150.

Patterson, T. R., Straja, S. R., Tuncay, O. C. (1999) Outcomes of an inappropriate orthodontic treatment plan – a case series study. *Prog Orthod* 1, 37-42.

Pauwels, R., Faruangaeng, T., Charoenkarn, T., Ngonphloy, N., Panmekiate, S. (2015) Effect of exposure parameters and voxel size on bone structure analysis in CBCT. *Dentomaxillofac Radiol* 44:20150078, 1-9.

Pazzini, C. A., Pereira, L. J., Carlos, R. G., de Melo, G. E. B. A., Zampini, M. A., Marques, L. S. (2011) Nickel: Periodontal status and blood parameters in allergic orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139, 55-59.

Pazzini, C. A., Pereira, L. J., Marques, L. S., Ramos-Jorge, J., Aparecida da Silva, T., Paiva, S. M. (2016) Nickel-free vs conventional braces for patients allergic to nickel: Gingival and blood parameters during and after treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 150, 1014-1019.

Pender, N. (1986) Aspects of Oral Health in Orthodontic Patients. *Br J Orthod* 13, 95-103.

Peng, Y., Wu, R., Qu, W., Wu, W., Chen, J., Fang, J., Chen, Y., Farella, M., Mei, L. (2014) Effect of visual method vs plaque disclosure in enhancing oral hygiene in adolescents and young adults: A single-blind randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145, 280-286.

Perinetti, G., Di Leonardo, B., Di Lenarda, R., Contardo, L. (2013) Repeatability of gingival crevicular fluid collection and quantification, as determined through its alkaline phosphatase activity: implications for diagnostic use. *J Periodont Res* 48, 98-104.

Petrick, S., Hothan, T., Hietschold, V., Schneider, M., Harzer, W., Tausche, E. (2011) Bone density of the midpalatal suture 7 months after surgically assisted rapid palatal expansion in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139(Suppl. 1), S109-S116.

Pikdoken, L., Erkan, M., Usumez, S. (2009) Gingival response to mandibular incisor extrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135, 432.e1-432.e6.

Pinto, A. S., Alves, L. S., Zenkner, J. E. d. A., Zanatta, F. B., Maltz, M. (2017) Gingival enlargement in orthodontic patients: Effect of treatment duration. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 152, 477-482.

Puşçaşu, C. G., Dumitriu, A. S., Totolici, D., Dumitriu, H. T. (2006) Study on dental crowding and gingival inflammation correlation in a group of youths. *Oral Health Dent Manag* 5, 21-27.

Ramadan, A. A.-F. (2004) Effect of Nickel and Chromium on Gingival Tissues During Orthodontic Treatment: A Longitudinal Study. *World J Orthod* 5, 230-235.

Raoul, G., Wojcik, T., Ferri, J. (2009) Outcome of Mandibular Symphyseal Distraction Osteogenesis With Bone-Borne Devices. *J Craniofac Surg* 20, 488-493.

RBR-3wyrq. Brazilian Registry of Clinical Trials (ReBEC). *Study of three ways of bonding braces to the teeth.*

RBR-9zytwf. Brazilian Registry of Clinical Trials (ReBEC). *Effects of orthodontic treatment with clear aligner and conventional fixed appliance.*

RBR-96dpjz. Brazilian Registry of Clinical Trials (ReBEC). *Association between pain, mastication and inflammation during treatment with different orthodontic appliances.*

Ren, Y., Hazemeijer, H., de Haan, B., Qu, N., de Vos, P. (2007) Cytokine Profiles in Crevicular Fluid During Orthodontic Tooth Movement of Short and Long Durations. *J Periodontol* 78, 453-458.

Ren, Y., Maltha, J. C., Van't Hof, M. A., Von Den Hoff, J. W., Kuijpers-Jagtman, A. M., Zhang, D. (2002) Cytokine levels in crevicular fluid are less responsive to orthodontic force in adults than in juveniles. *J Clin Periodontol* 29, 757-762.

Richardson, M. E. (1995a) Late lower arch crowding: The role of the transverse dimension. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107, 613-617.

Richardson, M. E. (1995b) A preliminary report on lower arch crowding in the mature adult. *Eur J Orthod* 17, 251-257.

Richardson, M. E. (1996) Late lower arch crowding in relation to skeletal and dental morphology and growth changes. *Br J Orthod* 23, 249-254.

Richardson, M. E. (1997) Late lower arch crowding in relation to soft tissue maturation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112, 159-164.

Richardson, M. E. (1999) A review of changes in lower arch alignment from seven to fifty years. *Semin Orthod* 5, 151-159.

Richardson, M. E., Gormley, J. S. (1998) Lower arch crowding in the third decade. *European Journal of Orthodontics* 20, 597-607.

Rody, W. J., Jr., Wijegunasinghe, M., Wiltshire, W. A., Dufault, B. (2014) Differences in the gingival crevicular fluid composition between adults and adolescents undergoing orthodontic treatment. *Angle Orthod* 84, 120-126.

Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A., Debernardi, C. L. (2015) Periodontal health during clear aligners treatment: a systematic review. *Eur J Orthod* 37, 539-543.

Rothe, L. E., Bollen, A.-M., Little, R. M., Herring, S. W., Chaison, J. B., Chen, C. S.-K., Hollender, L. G. (2006) Trabecular and cortical bone as risk factors for orthodontic relapse. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130, 476-484.

Sameshima, G. T., Sinclair, P. M. (2001a) Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119, 505-510.

Sameshima, G. T., Sinclair, P. M. (2001b) Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119, 511-515.

Sawan, N. M., Ghoneima, A., Stewart, K., Liu, S. (2018) Risk factors contributing to gingival recession among patients undergoing different orthodontic treatment modalities. *Interv Med Appl Sci* 10, 19-26.

Schöne, M., Radlanski, R. J. (2022) Die kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen und ihre Auswirkung auf das Parodontium dieser Zähne - eine systematische Übersichtsarbeit. [Poster]. *Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie- Jahrestagung 2022*, 22.09.2022, Berlin.

Schulze, R., Deppe, H., Betz, W., Maager, B., Beuer, F., Ritter, L., Bargholz, C., Ahlers, O., Terheyden, H., Hirsch, C., Braumann, B., Hirschfelder, U., Haßfeld, S., Eickholz, P., Edelhoff, D., Jacker-Guhr, S., Beck, J., Appel, T. (2013) *s2k-Leitlinie Dentale digitale Volumetomographie Version Nr. 9 vom 5. August 2013*. Accessed 11.11.2021 https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-005I_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10-abgelaufen.pdf.

Sebaoun, J.-D. M., Surmenian, J., Dibart, S. (2011) Accelerated orthodontic treatment with piezocision: a mini-invasive alternative to conventional corticotomies. *Orthod Fr* 82, 311-319.

Sendyk, M., Cevidanes, L. H. S., de Oliveira Ruellas, A. C., Fattori, L., Mendes, F. M., de Paiva, J. B., Rino Neto, J. (2021) Three-dimensional evaluation of dental decompensation and mandibular symphysis remodeling on orthodontic-surgical treatment of Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 159, 175-183.e3.

Sepolia, S., Kushwah, A. P. S., Natt, A. S., Vashisht, L., Sahoo, S. K., Subudhi, S. K. (2016) Retrospective Analysis of Different Bracket Systems used in the Treatment of Patients with Anterior Crowding: A Longitudinal Comparative Study. *J Contemp Dent Pract* 17, 687-691.

Sergl, H. G. (1970) Auswirkungen des Engstands der unteren Frontzähne ein Beitrag zur Frage der Behandlungsbedürftigkeit. *Fortschr Kieferorthop* 31, 141-147.

Sharpe, W., Reed, B., Subtelny, J. D., Polson, A. (1987) Orthodontic relapse, apical root resorption, and crestal alveolar bone levels. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91, 252-258.

Shiple, T., Farouk, K., El-Bialy, T. (2019) Effect of high-frequency vibration on orthodontic tooth movement and bone density. *J Orthod Sci* 8:15, 1-10.

Shoreibah, E. A., Ibrahim, S. A., Attia, M. S., Diab, M. M. N. (2012a) Clinical and Radiographic Evaluation of Bone Grafting in Corticotomy-facilitated Orthodontics in Adults. *J Int Acad Periodontol* 14, 105-113.

Shoreibah, E. A., Salama, A. E., Attia, M. S., Al-moutaseum Abu-Seida, S. M. (2012b) Corticotomy-facilitated Orthodontics in Adults Using a Further Modified Technique. *J Int Acad Periodontol* 14, 97-104.

Sinclair, P. M., Berry, C. W., Bennett, C. L., Israelson, H. (1987) Changes in Gingiva and Gingival Flora with Bonding and Banding. *Angle Orthod* 57, 271-278.

Sirri, M. R., Burhan, A. S., Hajeer, M. Y., Nawaya, F. R., Abdulhadi, A. (2020) Efficiency of Corticision in Accelerating Leveling and Alignment of Crowded Lower Anterior Teeth in Young Adult Patients: A Randomised Controlled Clinical Trial. *J Clin Diagn Res* 14, 26-31.

Smale, I., Årtun, J., Behbehani, F., Doppel, D., van't Hof, M., Kuijpers-Jagtman, A. M. (2005) Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128, 57-67.

Smith, W. D. (1994) *Hippocrates Volume VII*. Cambridge, Harvard University Press.

Smuthkochorn, S., Palomo, J. M., Hans, M. G., Jones, C. S., Palomo, L. (2017) Gingival crevicular fluid bone turnover biomarkers: How postmenopausal women respond to orthodontic activation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 152, 33-37.

Sparks, A. L. (2001) Interproximal enamel reduction and its effect on the long-term stability of mandibular incisor position. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120, 224-225.

Stamm, T., Hohoff, A., Ehmer, U. (2005) A subjective comparison of two lingual bracket systems. *Eur J Orthod* 27, 420-426.

Staufer, K., Landmesser, H. (2004) Effects of Crowding in the Lower Anterior Segment - a Risk Evaluation Depending upon the Degree of Crowding. *J Orofac Orthop* 65, 13-25.

Sterne, J. A. C., Hernán, M. A., McAleenan, A., Reeves, B. C., Higgins, J. P. T. (2021) Chapter 25: Assessing risk of bias in a non-randomized study. In: Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J. & Welch, V. A. (eds.) *Cochrane Handbook for Systematic Reviews*

of Interventions 6.2 (updated February 2021). Cochrane. Available from www.training.cochrane.org/handbook.

Strippoli, J., Durand, R., Schmittbuhl, M., Rompré, P., Voyer, R., Chandad, F., Nishio, C. (2019) Piezocorticism-assisted orthodontics: Efficiency, safety, and long-term evaluation of the inflammatory process. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 155, 662-669.

Südwasser, S., Bock, N. C., Jost, J., Killat, S., Ruf, S. (2021) Herbst-multibracket appliance treatment: is there an association between lower incisor position changes and the development of labial gingival recessions? *J Orofac Orthop* 82, 363-371.

Sun, Z., Smith, T., Kortam, S., Kim, D.-G., Tee, B. C., Fields, H. (2011) Effect of bone thickness on alveolar bone-height measurements from cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139, e117-e127.

Sygiouros, A., Motro, M., Ugurlu, F., Acar, A. (2014) Surgically assisted rapid maxillary expansion: Cone-beam computed tomography evaluation of different surgical techniques and their effects on the maxillary dentoskeletal complex. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 146, 748-757.

Tai, K., Hotokezaka, H., Park, J. H., Tai, H., Miyajima, K., Choi, M., Kai, L. M., Mishima, K. (2010) Preliminary cone-beam computed tomography study evaluating dental and skeletal changes after treatment with a mandibular Schwarz appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138, 262.e1-262.e11.

Tai, K., Park, J. H. (2010) Dental and Skeletal Changes in the Upper and Lower Jaws after Treatment with Schwarz Appliances Using Cone-Beam Computed Tomography. *J Clin Pediatr Dent* 35, 111-120.

Tai, K., Park, J. H., Mishima, K., Shin, J. W. (2011) 3-Dimensional cone-beam computed tomography analysis of transverse changes with Schwarz appliances on both jaws. *Angle Orthod* 81, 670-677.

Tan, A., Çokakoğlu, S. (2020) Effects of adhesive flash-free brackets on enamel demineralization and periodontal status. *Angle Orthod* 90, 339-346.

Taner, T. U., Haydar, B., Kavuklu, I., Korkmaz, A. (2000) Short-term effects of fiberotomy on relapse of anterior crowding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 118, 617-623.

Tepedino, M., Franchi, L., Fabbro, O., Chimenti, C. (2018) Post-orthodontic lower incisor inclination and gingival recession—a systematic review. *Prog Orthod* 19:17, 1-7.

The EndNote Team (2013) *EndNote*. EndNote 20. Philadelphia, Clarivate, 64 bit.

Theerasopon, P., Charoemratrote, C. (2019) Periodontal Tissues After Level and Align Lower Anterior Teeth in Non-extraction Orthodontic Treatment. *J Dent Assoc Thai* 69, 260-270.

Thesleff, I. (2013) Stem and progenitor cells for tooth renewal. *J Oral Biosci* 55 (Suppl.), 50.

- Thornberg, M. J., Riolo, C. S., Bayirli, B., Riolo, M. L., Van Tubergen, E. A., Kulbersh, R. (2009) Periodontal pathogen levels in adolescents before, during, and after fixed orthodontic appliance therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135, 95-98.
- Triaca, A., Antonini, M., Minoretti, R., Merz, B. R. (2001) Segmental Distraction Osteogenesis of the Anterior Alveolar Process. *J Oral Maxillofac Surg* 59, 26-34.
- Trossello, V. K., Gianelly, A. A. (1979) Orthodontic Treatment and Periodontal Status. *J Periodontol* 50, 665-671.
- Türkkahraman, H., Sayın, M., Bozkurt, F. Y., Yetkin, Z., Kaya, S., Önal, S. (2005) Archwire Ligation Techniques, Microbial Colonization, and Periodontal Status in Orthodontically Treated Patients. *Angle Orthod* 75, 231-236.
- Tweed, C. H. (1941) The Application of the Principles of the Edge-wise Arch in the Treatment of Malocclusions: II. *Angle Orthod* 11, 12-67.
- Tweed, C. H. (1969) The diagnostic facial triangle in the control of treatment objectives. *Am J Orthod* 55, 651-667.
- Ubolviroj, C., Komoltri, C., Manopattanakul, S., Viwattanatipa, N. (2018) Effect of Light Emitting Diodes (LED) with 430-480 nm Wavelength Upon Tooth Movement. *Biomed J Sci Tech Res* 10, 7778-7786.
- Ueki, K., Marukawa, K., Shimada, M., Shamiul, A., Alam, S., Nakagawa, K., Yamamoto, E. (2006) The Prevention of Periodontal Bone Loss at the Osteotomy Site After Anterior Segmental and Dento-Osseous Osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg* 64, 1526-1531.
- Uribe, F., Davoody, L., Mehr, R., Jayaratne, Y. S. N., Almas, K., Sobue, T., Allareddy, V., Nanda, R. (2017) Efficiency of piezotome-corticision assisted orthodontics in alleviating mandibular anterior crowding - a randomized clinical trial. *Eur J Orthod* 39, 595-600.
- Uysal, T., Yagci, A., Ozer, T., Veli, I., Ozturk, A. (2012) Mandibular anterior bony support and incisor crowding: Is there a relationship? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 142, 645-653.
- Uzuner, F. D., Kaygisiz, E., Çankaya, Z. T. (2014) Effect of the bracket types on microbial colonization and periodontal status. *Angle Orthod* 84, 1062-1067.
- Valerio, C. S., Assunção e Alves Cordoso, C., Araújo, E. A., Zenóbio, E. G., Manzi, F. R. (2021) Bone changes in the mandibular incisors after orthodontic correction of dental crowding without extraction: A cone-beam computed tomographic evaluation. *Imaging Sci Dent* 51, 155-165.
- Van der Weijden, F., Dell'Acqua, F., Slot, D. E. (2009) Alveolar bone dimensional changes of post-extraction sockets in humans: a systematic review. *J Clin Periodontol* 36, 1048-1058.

van Gastel, J., Teughels, W., Quirynen, M., Struyf, S., Van Damme, J., Coucke, W., Carels, C. (2011) Longitudinal changes in gingival crevicular fluid after placement of fixed orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139, 735-744.

Vijaykumar, V., Kumar, R. V., Archana, D., Sekar, A., Deepak, A., Umapathy, V., Rajakumar, P. (2020) Comparison of the Periodontal Status of Patients Undergoing Labial and Lingual Orthodontic Therapy. *Cureus* 12:e6818, 1-6.

Villard, N. M., Patcas, R. (2015) Does the decision to extract influence the development of gingival recessions? A retrospective long-term evaluation. *J Orofac Orthop* 76, 476-492.

Wallner, S. I. K. (2016) *Malokklusion als Risikofaktor für Parodontalerkrankungen in der Bevölkerungsstudie „Study of Health in Pomerania“ (SHIP 0)*. Doctoral thesis, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Greifswald.

Wang, B., Fang, B., Xia, Y., Mao, L. (2010) Exploration on the sliding mechanism of implant anchorage assisted self-ligating appliance. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 19, 449-455.

Wang, Z., Huang, C., Han, L. (2003) Prognosis of utility of modified supracrestal fiberotomy and contact point reproximation in the treatment of anterior segment crowding. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 21, 36-38.

Watted, N., Wieber, M., Teuscher, T., Schmitz, N. (2001) Comparison of Incisor Mobility after Insertion of Canine-to-Canine Lingual Retainers Bonded to Two or to Six Teeth. *J Orofac Orthop* 62, 387-396.

Westerlund, A., Oikimoui, C., Ransjö, M., Ekestubbe, A., Bresin, A., Lund, H. (2017) Cone-beam computed tomographic evaluation of the long-term effects of orthodontic retainers on marginal bone levels. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 151, 74-81.

Wilcko, M. T., Wilcko, W. M., Marquez, G., Ferguson, D. J. (2008) Chapter 4 The Contribution of Periodontics to Orthodontic Therapy. In: Dibart, S. (ed.) *Practical Advanced Periodontal Surgery*. Ames: Blackwell Publishing.

Wilcko, M. T., Wilcko, W. M., Pulver, J. J., Bissada, N. F., Bouquot, J. E. (2009) Accelerated Osteogenic Orthodontics Technique: A 1-Stage Surgically Facilitated Rapid Orthodontic Technique With Alveolar Augmentation. *J Oral Maxillofac Surg* 67, 2149-2159.

Winsauer, H., Ploder, O., Juengling, K., Walter, A., Kolk, A. (2017) Comparison of two preoperative protocols for mandibular symphyseal distraction osteogenesis to reduce the risk of tooth damage. *J Craniomaxillofac Surg* 45, 540-546.

Yavuz, M. C., Sunar, O., Buyuk, S. K., Kantarcı, A. (2018) Comparison of piezocision and discision methods in orthodontic treatment. *Prog Orthod* 19:44, 1-7.

Zabińska, O., Wojtowicz, N. (1979) Late results of comprehensive periodontal disease therapy in patients with crowding of the lower incisors. *Protet Stomatol* 29, 91-96.

- Zachrisson, B. U. (1972) Gingival Condition Associated With Orthodontic Treatment II. Histologic Findings. *Angle Orthod* 42, 353-357.
- Zachrisson, B. U. (1976) Cause and prevention of injuries to teeth and supporting structures during orthodontic treatment. *Am J Orthod* 69, 285-300.
- Zachrisson, B. U., Alnaes, L. (1973) Periodontal Condition in Orthodontically Treated and Untreated Individuals I. Loss of Attachment, Gingival Pocket Depth and Clinical Crown Height. *Angle Orthod* 43, 402-411.
- Zachrisson, B. U., Nyøgaard, L., Mobarak, K. (2007) Dental health assessed more than 10 years after interproximal enamel reduction of mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131, 162-169.
- Zachrisson, S., Zachrisson, B. U. (1972) Gingival Condition Associated with Orthodontic Treatment. *Angle Orthod* 42, 26-34.
- Zanatta, F. B., Moreira, C. H. C., Kuchenbecher Rösing, C. (2011) Association between dental floss use and gingival conditions in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140, 812-821.
- Zhang, J., Qi, S., Chen, W., Liu, L., Hui, H. (2020) Evaluation of IL-1 β and TNF- α expression and periodontitis under the influence of orthodontic appliances with minocycline. *Cell Mol Biol* 66, 41-44.
- Zhang, J., Zhang, A.-M., Zhang, Z.-M., Jia, J.-L., Sui, X.-X., Yu, L.-R., Liu, H.-T. (2017) Efficacy of combined orthodontic-periodontic treatment for patients with periodontitis and its effect on inflammatory cytokines: A comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 152, 494-500.
- Zhang, S., Chen, W., Ding, S., Han, H., Yu, Z. (2015) Skelate changes induced by orthodontic in class II division 1 by CBCT: a long-term follow-up prospective study. *Int J Clin Exp Med* 8, 11312-11316.
- Zoizner, R., Arbel, Y., Yavnai, N., Becker, T., Birnboim-Blau, G. (2018) Effect of orthodontic treatment and comorbidity risk factors on interdental alveolar crest level: A radiographic evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 154, 375-381.

6. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Magdalena Schöne, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Die kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen und ihre Auswirkung auf das Parodontium dieser Zähne - eine systematische Übersichtsarbeit/ Orthodontic treatment of anterior crowding and its effect on the incisors' periodontium - a systematic review“ 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/der Erstbetreuer/in, 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

7. Lebenslauf

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

8. Publikationsliste

Schöne, M., Khoschdell, M. (2019) Neues aus der Welt der Wissenschaft – ein Auszug aus dem GBO-Kongress 2019. *Inf Orthod Kieferorthop* 51, 305-310.

Schöne, M., Schwestka-Polly, R., Mindermann, G. (2019) Biomechanik zur Bisshebung mit dem „Vikingerbogen“ nach Hasund – ein Fallbericht. *J Orofac Orthop* 80, 352-355.

Schöne, M., Radlanski, R. J. (2022) Die kieferorthopädische Therapie von Frontzahnengständen und ihre Auswirkung auf das Parodontium dieser Zähne - eine systematische Übersichtsarbeit. [Poster]. *Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie-Jahrestagung 2022*, 22.09.2022, Berlin.

9. Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Univ.-Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski, für die unvergleichlich engagierte Betreuung bei der Erstellung dieser Dissertationsarbeit. Als Betreuer unterstütze er mich sowohl durch ein seinesgleichen suchendes Repertoire an Fachwissen, Empathie und Geduld als auch dadurch, dass er stets das Gespräch auf Augenhöhe suchte.

Außerdem bedanke ich mich bei meinen Eltern und Geschwistern für ihre in jeglicher Hinsicht bedingungslose Unterstützung auf meinem bisherigen akademischen Lebensweg. Ein besonderer Dank gilt meinem Partner, ohne dessen motivierende Worte, Geduld und Verständnis für den hohen Zeitaufwand, den dieses Projekt mit sich brachte, mir die Durchführung deutlich schwerer gefallen wäre.

10. Bescheinigung Statistik



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Name, Vorname: Schöne, Magdalena
Emailadresse: magdalena.schoene@charite.de
Matrikelnummer: 225277
PromotionsbetreuerIn: Prof. Dr. Radlanski
Promotionsinstitution / Klinik: Abteilung für Orale
Strukturbiologie

Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE)

Direktor: Prof. Dr. Geraldine Rauch

Postanschrift:
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin
Besucheranschrift:
Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 450 562171
geraldine.rauch@charite.de
<https://biometrie.charite.de/>



Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Frau Magdalena Schöne innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBikE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- *Termin 1: 30.10.2020*
- *Termin 2: 02.11.2020*

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- *Die Software ReviewManager (von der Cochrane Collaboration) ist nützlich, um Forestplots zu erstellen, und allgemein um ein Review zu strukturieren.*
- *Um Effekte über mehrere Studien zu vergleichen, müssen die Outcomes vergleichbar sein, sonst kann man nicht rechnen.*

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 02.11.2020

CHARITÉ
UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN
Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie
Campus Charité Mitte
Charitéplatz
Besucheranschrift

Name der Beraterin: Anne Pohrt

Unterschrift Beraterin, Institutsstempel