

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München



Klinische Evaluierung verschiedener Lückenhalter nach vorzeitigem Milchzahnverlust

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Anna Ackermann

aus
Mindelheim

Jahr
2023

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Erster Gutachter: Priv. Doz. Dr. med. dent. J. Kühnisch

Zweiter Gutachter: PD Dr. Ina M. Schüler

Dritter Gutachter: PD Dr. Oliver Schubert

ggf. weitere Gutachter: _____

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 06.11.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Vorzeitiger Milchzahnverlust und Nichtanlage.....	4
1.2	Folgen des vorzeitigen Milchzahnverlustes.....	6
1.3	Alveolarfortsatzwachstum und Durchbruch der 1. bzw. 2. Dentition.....	8
1.4	Therapie eines vorzeitigen Milchzahnverlust.....	15
1.5	Wissenschaftliche Datenlage zu den Lückenhaltersystemen.....	17
2	Ziel und Hypothese der Studie	19
2.1	Zielstellung und Studienansatz.....	19
2.2	Hypothese.....	19
3	Material und Methodik	20
3.1	Allgemeine Beschreibung der Studie.....	20
3.2	Zahnärztliche Untersuchung.....	21
3.2.1	Patientengut.....	21
3.2.2	Klinische Untersuchung.....	23
3.2.3	Auswahl des indizierten Lückenhalters.....	28
3.3	Modellanalyse.....	32
3.4	Verblindung und Fotodokumentation.....	36
3.5	Fehlerberechnung.....	36
3.6	Statistische Auswertungen.....	36
3.7	Unerwünschte Nebenwirkungen und Ereignisse.....	36
4	Ergebnisse	37
4.1	Basiswerte.....	37
4.2	Mundhygienestatus.....	39
4.3	Kariesstatische Befunde.....	39
4.4	Funktionsfähigkeit der verwendeten Lückenhalter.....	40
4.5	Metrische Evaluation der Schalllücken.....	43
4.5.1	Festsitzender Lückenhalter.....	43
4.5.2	Herausnehmbarer Lückenhalter.....	43
5	Diskussion	46
5.1	Methodische Vorgehensweise der vorliegenden Untersuchung.....	46
5.2	Funktionsfähigkeit der Lückenhalter.....	48
5.2.1	Festsitzender Lückenhalter.....	48
5.2.2	Herausnehmbarer Lückenhalter.....	52
5.3	Schlussfolgerung.....	55
6	Zusammenfassung	57
7	Abstract (English)	58
8	Literaturverzeichnis	60
9	Abkürzungsverzeichnis	69
10	Abbildungsverzeichnis	70
11	Tabellenverzeichnis	71
12	Anhang	73
13	Publikationsliste	88
14	Danksagung	89
15	Affidavit	90

1 Einleitung

1.1 Vorzeitiger Milchzahnverlust und Nichtanlage

Karies ist ein multifaktoriell bedingter Krankheitsprozess der Zahnhartgewebe und stellt als häufigste chronische Erkrankung im Milchgebiss ein ernst zu nehmendes Gesundheitsproblem im Kindesalter dar (Colak *et al.* 2013, Tantawi *et al.* 2018). Mit der konsequenten Umsetzung kariespräventiver Maßnahmen konnte jedoch in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Verbesserung der Mundgesundheit erzielt werden (Geyer *et al.* 2016, Koch *et al.* 2017). Die daraus resultierende verminderte Kariesaktivität führte zwar in beiden Dentitionen zu einem „caries decline“, allerdings wurde für das Milchgebiss eine niedrigere Kariesreduktionsrate beschrieben (Pieper *et al.* 2009, Splieth *et al.* 2016, Jordan *et al.* 2016, DAJ 2016). Als eine der Hauptursachen für die zwischen beiden Dentitionen ungleichmäßig verlaufenden Entwicklungstrends nennt die wissenschaftliche Literatur die frühkindliche Karies (Abbildung 1), welche bis zum 6. Lebensjahr auch als „Early Childhood Caries“ (ECC) bezeichnet wird (Splieth *et al.* 2006). Dabei ist das Risiko an ECC zu erkranken als besonders hoch einzustufen, wenn zuckerhaltige Nahrung länger in der Mundhöhle verweilt (Tinanoff 1998). Ausgelöst durch die häufige Gabe von niedermolekularen Kohlenhydraten (z.B. gesüßte Tees, Säfte, Stillen) sowohl tagsüber als auch nachts, sowie einer ineffektiven Mundhygiene werden hervorragende Bedingungen für die kariesfördernde Wirkung der Streptokokken und Laktobazillen geschaffen. Jedoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass nicht die Anwesenheit des Bakteriums allein, sondern vielmehr die häufige Verschiebung des ökologischen Gleichgewichts hin zu einem niedrigeren pH- Wert innerhalb der Mundhöhle, Auslöser der (frühkindlichen) Karies ist. Durch regelmäßige Mundhygienemaßnahmen und einer effektiven Biofilmkontrolle lässt sich die Kariogenität des Biofilms deutlich reduzieren (Meyer 2019). Laut einer Untersuchung von Kassebaum *et al.* (2015) leiden weltweit 621 Millionen Kinder an den Folgen von unbehandelter Milchzahnkaries. Dabei spielen die geografischen oder kulturellen Abweichungen zwischen den einzelnen Nationen eine untergeordnete Rolle, denn sowohl Industrie- als auch Entwicklungsländer sind vom Auftreten dieser Erkrankung unterschiedlich stark betroffen (Alazmah 2017): so lag die Zahl der erkrankten Kinder 2004 in den Vereinigten Staaten bei 27,9 %, in der westlichen Welt bei 20%, in Japan bei 25,9 %, sowie in den Entwicklungsländern bei 85 % (Kawashita *et al.* 2011). Die frühkindliche Karies gilt somit als internationales Gesundheitsproblem, das siebenmal öfter als Heuschnupfen und

fünfmal so oft als Asthma auftritt. In einer aktuellen Untersuchung zur Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland fällt eine deutliche Polarisierung der dmft/ DMFT-Werte auf. So bleiben zwar auf der einen Seite immer mehr der 2016 untersuchten 6- und 7-Jährigen kariesfrei (61,4 %), wohingegen auf der anderen Seite bei einer kleinen Gruppe an Kindern (20,3 %) ein stark ausgeprägter Kariesbefall zunimmt (Uebereck *et al.* 2017). Dabei erkranken Kinder aus Familien mit einem niedrigeren sozioökonomischen Status häufiger an Karies. Die Daten beruhen auf der epidemiologischen Begleituntersuchung zur Gruppenprophylaxe 2016 durch die deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V., die erstmals auch kariöse Initialläsionen erfasste, sowie das Alter der in der Untersuchung zur Karieserfahrung teilnehmenden Probanden auf 3 Jahre herabsetzte. Mit Blick auf die Kariesprävalenz in Bayern konnte festgestellt werden, dass lediglich 55,5 % der untersuchten Milchzähne kariesfrei waren. Unter Einschluss bleibender Zähne reduzierte sich der DMFT von kariesfreien Zähnen auf 53,5 %. Nur 18,7 % dieser Zähne waren vollständig saniert. Sowohl die im Kleinkindalter auftretende ECC, als auch die ab dem 5. Lebensjahr überwiegend vorkommende Approximalraumkaries können insbesondere bei einer verspäteten zahnärztlichen Konsultation in einer Extraktionstherapie enden. Diese stellt im Rahmen der notwendigen Maßnahmen noch immer eine sehr häufige Behandlungsoption dar.



Abbildung 1: Klinische Situation einer 4-Jährigen Patientin mit frühkindlicher Karies

Eine weitere Ursache, die zu einem vorzeitigen Verlust von Milchzähnen führen kann, ist die unterminierende Resorption von Milchmolaren infolge von einem ektopisch – nicht regelrecht – durchbrechenden bleibendem Molar (Bansal *et al.* 2017). In diesen Fällen wird der distale Anteil der Milchzahnwurzel nicht durch den eigentlich nachfolgenden Zahn, sondern durch einen benachbarten bleibenden Zahn resorbiert. Laut Literatur liegt die Prävalenz hierfür

zwischen 2 und 6 % (Steffen *et al.* 2013), wobei der Zahnbogen im Oberkiefer häufiger betroffen ist.

Ebenso kann ein vorzeitiger Milchzahnverlust durch eine traumatische Pathogenese bedingt sein. Zahnunfälle ereignen sich besonders häufig im 3. und 4. Lebensjahr, sowie zwischen dem 9. und 12. Lebensjahr. In 70 bis 75 % aller Fälle werden hierbei die mittleren Schneidezähne des Oberkiefers verletzt (Filippi *et al.* 2007). Eckzähne oder Molaren sind dagegen nur in Einzelfällen betroffen. Aufgrund der gegebenenfalls partiell resorbierten Wurzeln, des spongiösen Alveolarfortsatzes sowie des breiteren Parodontalspaltes werden im Milchgebiss deutlich öfter Dislokationsverletzungen als Frakturen oder Avulsionen beobachtet (Schatz *et al.* 1994).

Selten im Milchgebiss (0,1 – 0,7 % aller Kinder), jedoch umso häufiger in der bleibenden Dentition (8 % aller Kinder) können Nichtanlagen beobachtet werden (van Waes *et al.* 2001). In Bezug auf die etwaige Therapieplanung bzw. Dysgnathie muss in diesem Zusammenhang abgeklärt werden, ob der Milchzahn bzw. die Lücke mittels Lückenhalter erhalten bleiben soll oder ob der dadurch gewonnene Platz durch Aufwanderung benachbarter Zähne genutzt wird. Patienten mit Nichtanlagen wurden für die vorliegende Studie exkludiert, da diese nicht den zuvor beschlossenen Einschlusskriterien entsprachen.

1.2 Folgen des vorzeitigen Milchzahnverlustes

Grundsätzlich liegt ein frühzeitiger Milchzahnverlust dann vor, wenn ein Zahn der ersten Dentition mehr als 1 Jahr vor seiner physiologischen Exfoliation verloren geht (Salbach *et al.* 2012). Als zusätzliche Indikatoren für lückenhaltende Maßnahmen werden die Dimension des Alveolarknochens über dem durchbrechenden Zahnkeim (>1 mm) und die ausgebildete Wurzellänge des permanenten Zahnkeimes (>75 %) angesehen (Harzer *et al.* 2004). Aus klinischer Sicht kann die Indikation vielfach alleinig aufgrund der klinischen Einschätzung zwischen dem Zeitpunkt des Milchzahnverlustes und dem etwaig zu erwartendem Durchbruch des nachfolgenden, bleibenden Zahnes gestellt werden. Dies trifft vor allem für Fälle mit einem *frühzeitigem* Milchmolarenverlust zu, in welchen der Milchmolar mehrere Jahre vor der zu erwartenden Exfoliation eintrat. In Fällen mit einem *vorzeitigem* Milchmolarenverlust nahe zum etwaigen physiologischen Exfoliationszeitpunkt kann es sich als sinnvoll erweisen, die Indikation unter Zuhilfenahme der röntgenologischen Parameter abzuwägen.

Der vorzeitige Verlust von Milchzähnen steht in engem Zusammenhang mit der Entstehung von Malokklusionen (Spasov 2015). Die daraus resultierenden Folgen können im Hinblick auf die Gebissentwicklung nach der Lokalisation des Zahnverlustes- Front- oder Seitenzahngbiet - unterschieden werden. Die Milchfrontzähne erfüllen neben ästhetischen, sowie phonetischen auch funktionell wichtige Aufgaben. Ein frühzeitiger Verlust kann demnach Sprachstörungen und Zungendysfunktionen zur Folge haben. Da die bleibenden Frontzähne jedoch früh – im Alter von ca. 6 Jahren – durchbrechen und die vordere Zahnbogenbreite kurz vor bzw. mit deren Durchbruch erst zunimmt, haben temporäre Versorgungen in diesem Bereich weniger die Funktion eines klassischen Lückenhalters, sondern wirken sich als temporäre prothetische Versorgung vielmehr positiv auf die Sprachentwicklung, Ästhetik und Lebensqualität aus. Anders zu bewerten gilt es den frühzeitigen Verlust von Milchzähnen im Seiten- bzw. Stützzonenbereich, welcher durch die Milcheckzähne und –molaren repräsentiert wird. Die Einengung der Stützzone durch (kariesbedingten) Milchzahnverlust beeinflusst die weitere dentale Entwicklung wesentlich. Nur deren vollständiger Erhalt ermöglicht einen komplikationsfreien Platzausgleich beim Zahnwechsel mit anschließend stabilen okklusalen Verhältnissen (Laing *et al.* 2009). Der Stützzone werden zwei wichtige Aufgaben zugeschrieben: einerseits übernimmt sie die sagittale Abstützung und fungiert als Lückenhalter für die Eckzähne sowie Prämolaren im bleibenden Gebiss, andererseits wird sie zur vertikalen Abstützung benötigt, um eine unerwünschte Elongation der Antagonisten bzw. die Ausbildung eines offenen Bisses durch Zungeneinlagerung zu verhindern. Kommt es zum vorzeitigen Verlust in diesem Bereich können Wanderungen bzw. Kippungen der lückenbegrenzenden Zähne, sekundäre Engstände, ektopisch durchbrechende oder retinierte Zähne sowie Stellungs- (Kippungen, Rotationen oder Retention bleibender Zähne) und Bissanomalien beobachtet werden (Abbildung 2). Die Auswirkungen sind hierbei im Oberkiefer schwerwiegender als im Unterkiefer. Gerade die oberen ersten bleibenden Molaren neigen zu starken Aufwanderungen bei einer frühen Extraktion des zweiten Milchmolaren. Während in diesem Fall die Platzreduktion ausschließlich von distal stattfindet, können beim Verlust des ersten Milchmolaren bzw. Milcheckzahnes sowohl eine Mesialwanderung der Seitenzähne, als auch eine Distal- bzw. Lateralbewegung der Frontzähne beobachtet werden. Dadurch entstehende Missverhältnisse haben oftmals transversale Asymmetrien zur Folge. Das genaue Ausmaß einer möglichen Raumeinengung lässt sich jedoch nicht genau vorhersehen. In der Literatur werden hierfür durchschnittliche Werte von 1,0 mm im Oberkiefer und 1,5 mm im

Unterkiefer pro Jahr diskutiert (Tunison *et al.* 2008). Damit die zuvor beschriebenen pathologischen Zahnwanderungen, sowie ein Verlust der sagittalen bzw. vertikalen Abstützung vermieden werden, sollten präventive Maßnahmen wie das Einsetzen festsitzender oder herausnehmbarer Lückenthalter zeitnah nach dem entsprechenden Milchzahnverlust eingeleitet werden.

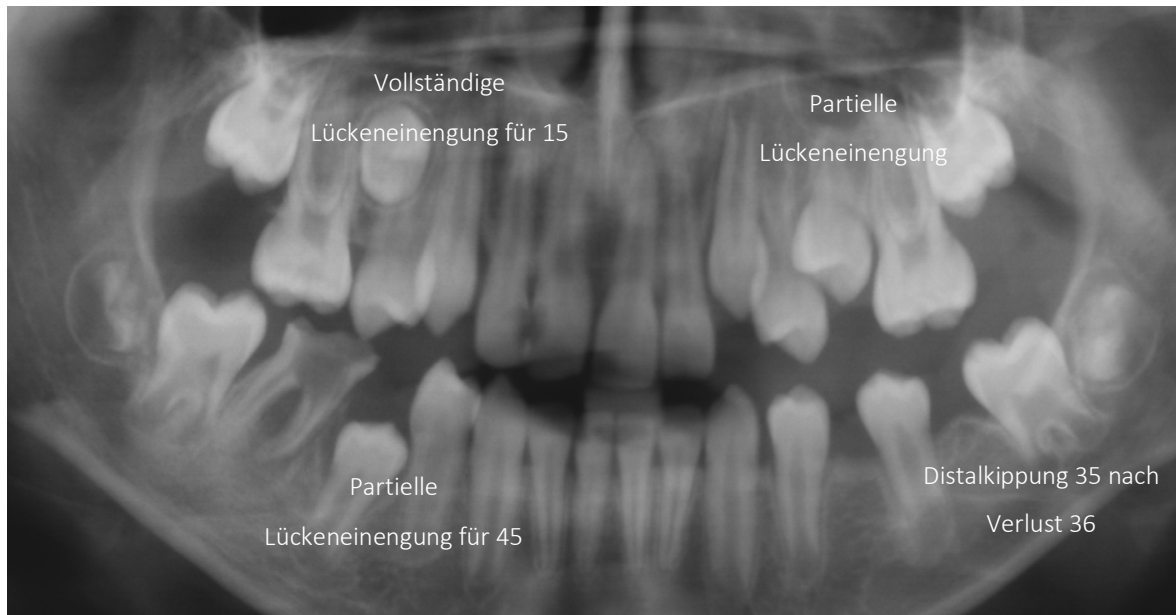


Abbildung 2: Darstellung verschiedener Möglichkeiten des Platzverlustes infolge eines vorzeitigen Milchzahnverlustes. Die Situation wird zudem durch den Verlust des bleibenden Molaren 36 und des bevorstehenden Verlustes des Molaren 46 verkompliziert

1.3 Alveolarfortsatzwachstum und Durchbruch der 1. bzw. 2. Dentition

Die Alveolarbögen des Ober- und Unterkiefers entwickeln sich durch die im Zuge des Zahndurchbruchs (Tabelle 1) stattfindenden Remodellierungsvorgänge. So vergrößert sich neben der transversalen Dimension im Eckzahnbereich („*Eckzahnbreite*“) auch die sagittale Dimension im Frontzahnbereich („*Eckzahnlänge*“) durchschnittlich um zwei mm während der ersten sechs Lebensmonate. Eine weitere Größenzunahme im Frontsegment (um ca. vier mm) erfolgt bis zum 2. Lebensjahr bedingt durch den Durchbruch der Milchfront- und Eckzähne (Sillman 1964). Auch die vertikale Dimension im Seitenzahnsegment (III- IV) nimmt mit dem Durchbruch der Milchmolaren zu.

Tabelle 1: Durchbruchzeiten nach Hotz (1981)

Alter	Zahndurchbruch
Milchdentition	
6. – 8. Monat	I – I
8. – 10. Monat	I + I
10. – 14. Monat	II ± II
14. – 18. Monat	IV ± IV
18. – 24. Monat	III ± III
24. – 30. Monat	V ± V
Bleibende Dentition	
± 6 Jahre	UK 6-Jahr-Molaren
	OK 6-Jahr-Molaren
7 Jahre	UK mittlere Schneidezähne
	OK mittlere Schneidezähne
8 Jahre	UK laterale Schneidezähne
	OK laterale Schneidezähne
± 10 Jahre	UK Eckzähne
	OK 1. Prämolaren
	UK 1. Prämolaren
± 11 Jahre	OK 2. Prämolaren
	UK 2. Prämolaren
	OK Eckzähne
± 12 Jahre	UK 12 Jahrmolaren
	OK 12 Jahrmolaren

Bis zur ersten Phase des Wechselgebisses (= Nutzungsphase der kompletten Milchdentition) bleiben dann weitere physiologische, metrisch nachweisbare sagittale und transversale Veränderungen innerhalb der Zahnsegmente aus. Das Wachstum stagniert und der Zahnbogenumfang (distal V bis distal V der Gegenseite) ist stabil. Zwischen dem Alter von 2,5 und 6 Jahren ändern sich demnach die Breitendimensionen, insbesondere zwischen den Milcheckzähnen nicht mehr (Sillman 1964). Ebenso wenig kann in sagittaler Richtung mit einem Zuwachs gerechnet werden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass sich im Zuge

okklusaler Anpassungsvorgänge die Zahnbogenlänge im Alter von 4 bis 6 Jahren noch etwas verringert (Moorees 1958).

Das Vertikalwachstum des Alveolarfortsatzes im Ober- und Unterkiefer erfolgt durch periostale Apposition und hängt ebenfalls vom Durchbruch der Zähne ab. Deren osteogenes Potenzial wurde in zahlreichen Studien untersucht und bestätigt (Yoshikawa *et al.* 1981, Palmer *et al.* 1987). Während bei Nichtanlagen betroffene Bereiche des Alveolarfortsatzes nur teilweise entwickelt sind, resultieren aus einem frühzeitigen Verlust von Zähnen konsequenterweise umfangreichere Resorptionsprozesse.

Mit Durchbruch der ersten bleibenden Molaren startet die Periode des Wechselgebisses. Sie beginnt meist im Alter von sechs Jahren und dauert wesentlich länger als die des Milchzahndurchbruchs. Durch distale Knochenapposition am Tuber maxillae und Resorption am Vorderrand des aufsteigenden Unterkieferastes einerseits, sowie appositionellen Vorgängen auf der medialen Seite andererseits, wird der Alveolarbogen verlängert und Platz für den Durchbruch der 6-Jahrmolaren geschaffen (Stöckli *et al.* 2001). Der Austausch der Unterkiefer- und Oberkieferfront leitet das Ende der ersten Phase der Zuwachszahnung (Schumacher 1983) ein. Ihr folgt nach einer Zahnwechsellpause von ca. zwei Jahren „Phase 2“ mit Ersatz der Milchmolaren durch die Prämolaren, sowie der Milcheckzähne durch die permanenten Eckzähne. Zusätzlich brechen die zweiten bleibenden Molaren durch. Während die Zuwachszähne durchschnittlich 1,4 Jahre benötigen bis sie in der Mundhöhle erscheinen, brauchen die Ersatzzähne nur 0,6 Jahre für den Zahndurchbruch (Haavikko 1970). Nach Hurme (1949) beginnt der Zahnwechsel bei Mädchen früher als bei Jungen. Diese Beobachtung konnte Hesse (1983) in einer Untersuchung an 1104 5- bis 13-jährigen Kindern aus Frankfurt am Main ebenfalls bestätigen. So zeigten sich bei den weiblichen Probanden die permanenten Zähne im Unter- und Oberkiefer durchschnittlich um 3,3 Monate früher in der Mundhöhle als bei den männlichen Probanden.

Eine zentrale Rolle beim *Zahnwechsel im Frontzahnbereich* spielen die unterschiedlichen Größendimensionen zwischen erster und zweiter Dentition. So stellte Moorees (1958) beispielsweise fest, dass die Summe der mesio-distalen Durchmesser der bleibenden Schneidezähne im Oberkiefer um circa 7 mm, sowie im Unterkiefer um circa 5 mm größer ist, als die der Milchfrontzähne. Dabei sind die genannten Zahnbreitendifferenzen bei Knaben stärker ausgeprägt als bei Mädchen. Um einen harmonischen Durchbruch der bleibenden

Dentition in diesem Kiefersegment dennoch zu ermöglichen, sind drei Faktoren besonders entscheidend:

Lückige Stellung der Milchfrontzähne. Während der Funktionsphase des Milchgebisses bilden sich in Folge transversaler physiologischer Veränderungen (bis zum 2. Lebensjahr) bei rund 70 % der Kinder im Frontzahnbereich Lücken. Diese betragen im Oberkiefer durchschnittlich 2,5 mm und im Unterkiefer 1 mm (Moorees 1958). Eine Reduzierung dieser Platzreserve durch therapeutische Intervention könnte sich auf den Durchbruch der bleibenden Frontzähne fatal auswirken. Bei Kindern ohne Lücken in der Milchfront sind Prognosen bezüglich eines möglichen Platzdefizits wahrscheinlich. Allerdings sollte eine Aussage, hinsichtlich Platzprobleme allein basierend auf diesen Befund, nicht getätigt werden. Hinzukommende Rahmenbedingungen, wie z.B. hypoplastische bleibende Zähne oder Nichtanlagen können den Platzbedarf der bleibenden Dentition noch verändern.

Zunahme der Zahnbogenlänge. Der für die bleibenden Zähne zur Verfügung stehende durchzubrechende Raum wird einerseits von der Größe, andererseits von der Form und Struktur der jeweiligen Kiefer beeinflusst (van der Linden 1980). Individuell weist der apikale Bereich (welcher seitlich durch die bleibenden Eckzähne und in sagittaler Richtung durch die labialen und palatinalen bzw. lingualen Wände des Alveolarfortsatzes begrenzt ist) und damit auch die Anordnung der bleibenden Zähne große Unterschiede auf. Die vordere apikale Basis gilt als ausreichend, wenn der Bereich zwischen den bleibenden Eckzahnkronen in Relation zu den mesio-distalen Kronenabmessungen der bleibenden Inzisivi groß ist. Klinisch fallen in einem solchen Fall Lücken zwischen den Milchfrontzähnen auf. Nach Durchbruch nehmen die bleibenden Oberkieferfrontzähne aufgrund ihrer physiologischen Labialneigung eine stärker protrudierte Position als die Milchfrontzähne ein. Folge dieser Lageänderung ist eine Vergrößerung der Zahnbogenlänge, wodurch zusätzlich Platz geschaffen wird. Auch im Unterkiefer stellen sich die bleibenden zentralen Frontzähne im Zuge des Zahnwechsels etwas weiter labial als ihre Vorgänger ein. Deren Achsenneigung fällt jedoch geringer aus. Entsprechend klein ist in diesem Fall die Zunahme der Zahnbogenlänge. Im Gegensatz dazu brechen die lateralen Schneidezähne deutlich lingualer durch und werden infolge des Zungendrucks langsam nach labial bewegt. Je nach Platzverhältnissen können sie sich erst viel später in den Zahnbogen einreihen. Insgesamt fällt der Platzgewinn im Unterkiefer im Vergleich zum Oberkiefer geringer aus. Nichtsdestotrotz kann ein bestehendes Platzdefizit im Unterkiefer von 1,5 mm durchaus noch als physiologisch betrachtet werden.

Zunahme der Zahnbogenbreite. Die Zunahme der Zahnbogenbreite, insbesondere im Bereich der Eckzähne, hat entscheidenden Einfluss auf das Platzproblem im Frontzahnsegment. So vergrößern sich Ober- und Unterkiefer transversal um ca. 3 mm während des Zahnwechsels. Dies liegt im Oberkiefer u.a. an der Expansionsfähigkeit der noch nicht verknöcherten Sutura palatina mediana, im Unterkiefer an der Knochenverschiebung im Bereich der Wachstumszentren (lateralen Drift). Neben den von Harzer beschriebenen formgebenden Einflüssen der umliegenden Weichgebe (Wange, Lippe, Zunge), stellt das „V-Prinzip“ (Enlow 1994) einen entscheidenden Grundmechanismus des Gesichtsschädelwachstums dar: durch Anbau von Knochen an der Innenfläche des V-förmigen Bezirks und dessen Abbau an der Außenfläche erfolgt eine vertikale Expansion. Diese Verlängerung führt wiederum zu einer Vergrößerung der transversalen Breite (horizontale Expansion) und somit zu einer Verbreiterung des Alveolarbogens in seiner Gesamtheit.

Im Alter vom 9. bis zum 14. Lebensjahr erfolgt der Zahnwechsel in den *Stützzonen*, welche durch die Milcheckzähne und -molaren repräsentiert werden. Im Regelfall beginnt der Durchbruch der 2. Dentition bei Mädchen vor dem 10. und bei Jungen nach dem 10. Lebensjahr. Da die Milchzähne in ihrer Morphologie größer sind als die bleibenden Zähne, setzt im Zuge der Gebissentwicklung eine physiologische Verkleinerung dieser sagittalen Zahnbogendimension ein. Die daraus entstehende Platzreserve wird als „Leeway-Space“ bezeichnet. Die unterschiedlichen Größenverhältnisse erfordern mindestens zwei Voraussetzungen, damit ein störungsfreier Platzausgleich garantiert werden kann:

A, Häufige Durchbruchsreihenfolge

Im Oberkiefer gelten folgende Breitendifferenzen zwischen 1. und 2. Dentition (Hotz 1981):

- IIIer < 3er: -1 mm
- IV er \cong 4er: 0 mm
- Ver > 5er: + 2mm

Das negative Größenverhältnis von 1 mm zwischen III/3 kann durch das positive Größenverhältnis zwischen V/5 ausgeglichen werden. Damit sich der bleibende Eckzahn komplikationsfrei in die Zahnreihe eingliedern kann, muss ein Platzausgleich nach distal

erfolgen. Der Milchfünfser liefert somit die nötige Platzreserve für den bleibenden Eckzahn. Das bedeutet jedoch, dass der Durchbruch des 3-ers zeitlich mit der Exfoliation des V-ers koordiniert sein muss. Andernfalls wird die gesamte Differenz des mesio-distalen Breitenunterschiedes von V/5 durch Mesialaufwanderung des 6-Jahrmolaren aufgebraucht.

Im Unterkiefer können die unterschiedlichen Breitengrößen zwischen den beiden Dentitionen wie folgt vermerkt werden:

- IIIer < 3er: -1 mm
- IV er > 4er: + $\frac{3}{4}$ mm
- Ver >> 5er: + 2 $\frac{1}{2}$ mm

Der nötige Platzbedarf des bleibenden Eckzahnes wird durch die Platzreserve des IV-ers fast ganz gedeckt. Das Platzangebot beim Austausch von V/5 wird einerseits in kleineren Ausmaßen von der Zahngruppe 3-4 wahrgenommen, andererseits stehen ca. 2 mm (weitaus mehr) dem 6-Jahrmolaren für Mesialwanderungen zur Verfügung. Aus diesen Beschreibungen wird ersichtlich, dass der Durchbruch der bleibenden 3-er und 4-er relativ zeitnah erfolgen sollte, damit ein komplikationsloser Platzausgleich erfolgen kann. Des Weiterem gilt es den Zahnwechsel des 2. Prämolaren sorgfältig zu kontrollieren, da ein verspäteter Durchbruch besonders dann als kritisch eingestuft werden sollte, wenn der 12-Jahrmolar eher durchgebrochen ist. In diesem Fall kann der 6-Jahr-Molar nicht nur den „Leeway- Space“, sondern auch einen Teil des später benötigten Platzes für den 5-er beanspruchen. Durchbruchsstörungen seitens des 5-ers können dann erwartet werden. Für die Behandlungsplanung sei an dieser Stelle jedoch angemerkt, dass zwischen den mesiodistalen Kronenumfängen der Milchzähne und den der bleibenden Nachfolger nur eine mäßige Korrelation besteht. Aus diesem Grunde sollten die oben aufgeführten Zahlenwerte lediglich als Durchschnittsangaben interpretiert werden. In vielen Fällen fällt der „Leeway-Space“ geringer oder gar nicht ins Gewicht. Eine Einschätzung der benötigten Stützzonenlänge für die bleibenden Zähne sollte besser anhand von Breitenmessungen der unteren Schneidezähne durchgeführt werden.

B, Erhaltung der Stützzone (repräsentiert durch III, IV, V)

Die Stützzone erfüllt zwei essentielle Aufgaben: Einerseits übernimmt sie die sagittale Abstützung und fungiert als Platzhalter für die Eckzähne, sowie der Prämolaren, andererseits wird sie zur vertikalen Abstützung benötigt, da beim Verlust der Milchfrontzähne und vor dem Durchbruch der bleibenden ersten Molaren die Okklusion allein von den Milcheckzähnen und Milchmolaren in vertikaler Richtung gehalten wird. Zudem wird dadurch eine unerwünschte Elongation der Antagonisten bzw. die Ausbildung eines frontal offenen Bisses durch Zungeneinlagerung verhindert.

Die Folgen des Zahnwechsels in den Stützzonen sind vielseitig: Nach Durchbruch aller bleibenden Zähne verkürzt sich die Zahnbogenlänge durch Mesialdrift der 1. bleibenden Molaren in den „Leeway-Space“, wodurch sich bei optimalen Ablauf eine Klasse I - Interkuspidation einstellen kann. Da im Unterkiefer eine größere Platzreserve durch die Milchzähne zur Verfügung steht als im Oberkiefer (> 1mm) – findet in diesem Bereich auch eine stärkere sagittale Verkürzung statt. Die transversalen Verhältnisse im posterioren Abschnitt des Zahnbogens verändern sich in der zweiten Phase des Zahnwechsels kaum: die bleibenden Zähne im Seitenzahnsegment brechen lediglich etwas bukkaler durch als ihr Vorgänger, jedoch ohne nennenswerten Mehrgewinn für die Platzbilanz. Interessant verhält sich die transversale Eckzahndistanz im Oberkiefer im Vergleich zu der im Unterkiefer. Während sich das Abstands-Verhältnis zwischen 13 und 23 auch nach Durchbruch der Eckzähne noch weiterhin vergrößert, bleibt es zwischen 33 und 43 bis zum Wachstumsabschluss unverändert. Diese Tatsache ist von klinisch hoher Relevanz. So sollte die Eckzahndistanz im Unterkiefer bei axial korrekter Position therapeutisch nicht verändert werden. Verbreiterungen in diesem Bereich führen stets zu Rezidiven.

Die Entwicklung der Dentition - die Weisheitszähne sind an dieser Stelle ausgeklammert - ist zwischen dem 13. und 14. Lebensjahr größtenteils abgeschlossen. Der skelettale Wachstumsprozess dagegen vollzieht sich bei Mädchen bis zum 18. Lebensjahr, sowie bei Jungen bis zum 20. Lebensjahr. In diesem Zeitraum findet einerseits noch ein vertikales Alveolarfortsatzwachstum statt, andererseits bleiben die sagittalen und transversalen Verhältnisse im Zahnbogen weitgehend stabil. Bereits bestehende Platzprobleme werden sich folglich in dieser Phase nicht verringern, gegebenenfalls jedoch verschlechtern.

1.4 Therapie eines vorzeitigen Milchzahnverlust

Lässt das Alter bzw. die Kooperationsfähigkeit des Patienten das Einfügen eines Lückenhalters zu, kann der Behandler indikationsgerecht und je nach Lokalisation der Lücke(n), zwischen herausnehmbaren und festsitzenden Formen wählen. Bezüglich der Lokalisation wird zwischen Schalt- und Frendlücken unterschieden. Der Begriff „Schaltlücke“ kennzeichnet eine Zahnlücke, welche nach mesial (vorne) und distal (hinten) durch Zähne begrenzt ist. Diese kann sowohl im Front- wie auch im Seitenzahnbereich vorliegen. Demgegenüber ist eine „Frendlücke“ nach distal nicht zahnbegrenzt. Diese Lückenform liegt im Seitenzahnbereich z.B. nach einem vorzeitigen Verlust des zweiten Milchmolaren bei noch nicht durchgebrochenen ersten bleibenden Molaren vor. Je nach Umfang und Lokalisation notwendiger Zahnextraktionen treten Schalt- und Frendlücken isoliert oder in Kombination auf. Die Therapie der jeweiligen Lücke kann mit Hilfe von nachgenannten Lückenhaltern erfolgen:

Festsitzender individualisierter Lückenhalter: Neben den konfektionierten Systemen können festsitzende Lückenhalter auch individuell gefertigt werden. Als Indikationsspektren sind insbesondere verkürzte Schaltlücken oder Lücken über zwei Milchmolaren zu nennen. Damit verfügen diese über eine größere Anpassungsfähigkeit an die individuelle Situation. Individualisierte Lückenhalter können entweder einzeitig angepasst und adhäsiv befestigt werden (Abbildung 3) oder auch im zahntechnischen Labor hergestellt werden, was wiederum zwei Patientenvorstellungen erfordert. Aus Sicht des Patienten wären selbstredend einzeitige Lösungen zu bevorzugen. Allerdings wird dieser Ansatz gegenwärtig durch das Fehlen von ausreichend gut dokumentierten Daten in der Literatur widersprüchlich diskutiert (Ahmad *et al.* 2017, Ramakrishnan *et al.* 2018).

Wird der festsitzende, individuell herstellbare und adhäsiv einsetzbare Lückenhalter näher betrachtet, so stellt dieser ebenfalls eine einzeitig einsetzbare Kombination aus kieferorthopädischem Röhrchen (z.B. Speed Molaren Tube, Strite Industries) und adhäsiv befestigtem Bogen (z.B. 019x026 Blue Elgiloy, Rocky Mountains Orthodontics) dar (Abbildung 3). Dabei wird das Röhrchen auf den distalen Ankerzahn geklebt und der am Stuhl je nach anatomischer Situation vom Behandler gebogene Draht anschließend bukkal am vorderen lückenbegrenzenden Zahn mit einem Komposit fixiert. Vorteilhaft an diesem System ist einerseits die gute Reinigungsfähigkeit im Bereich des Lückenhalters, da sowohl das Röhrchen als auch der Bogen nur wenig Plaqueretentionsstellen bieten. Andererseits wird

dem bleibenden Zahn ein ungestörter Durchbruch ermöglicht, da der Bogen bukkal kein Hindernis darstellt. Im Falle einer ungewollten Lockerung des Drahtes, lässt sich dieser einfach entfernen und bei Bedarf wieder neu befestigen. Dieses System ist ebenfalls unabhängig von der Tragemotivation oder Akzeptanz des Patienten. Des Weiterem liegt bei dieser Apparatur keine starre Verbindung zum Ankerzahn vor. Dadurch erweist sich das Verbindungselement als sehr widerstandsfähig und es treten – nach den bisherigen klinischen Erfahrungen – nur sehr selten Klebebrüche auf. Neben den beschriebenen festsitzenden Lückenhaltern wurden vielfältigste Designs in der Vergangenheit vorgeschlagen, welche über eine mehr oder weniger ausgeprägte Variabilität verfügen.

Herausnehmbarer Lückenhalter: Bei einem Verlust von mehreren Milchzähnen, multiplen Lücken und/ oder dem Vorhandensein von mindestens einer Freierlücke ist die Eingliederung eines herausnehmbaren Lückenhalters indiziert (Abbildung 4). Dabei handelt es sich um im Streu-Sprüh-Verfahren hergestellte sogenannte «Verteidigungsplatten», welche zusätzlich mit Hilfe von Adams- oder C-Klammern an den Lücken begrenzenden Zähnen befestigt werden können, um Lückeneinengungen präventiv entgegenzuwirken. Als Modifikationen können in der Platte Dehnschrauben integriert werden, um bei vorangegangenen Zahnkippen bzw. -wanderungen der lückenbegrenzenden Zähne diese wieder an die ursprüngliche Stelle überführen zu können und um den für den Durchbruch der bleibenden Zähne erforderlichen Platz zu generieren. Da das Spektrum der möglichen Drahtelemente sehr vielseitig ist, werden an dieser Stelle nur die für die Studie wichtigsten Klammerkonstruktionen genannt. Die herausnehmbaren Lückenhalter sollten so gestaltet sein, dass sie weder bukkal noch lingual bzw. palatinal zu weit über den Kieferkamm reichen und somit ein ungestörtes Kieferwachstum ermöglichen. Zudem wirkt sich die aus Kunststoff gestaltete Basis vorteilhaft auf den Erhalt einer ungestörten Weichteilfunktion aus (Schopf 2008). Herausnehmbare Lückenhalter verhindern neben dem sagittalen Raumverlust auch ein Elongieren der antagonistischen Zähne. Weiterhin haben diese Apparaturen keinen Einfluss auf die Ausübung einer guten Mundhygiene, was einer weiteren Kariesprogression positiv entgegenwirkt. Der Erfolg der Platten hängt allerdings vom konsequenten Tragen und der Akzeptanz des Patienten ab und stellt damit einen schwierig beeinflussbaren Parameter in Bezug auf den Behandlungserfolg dar. Es empfiehlt sich eine Kontrolle im Abstand von 3

Monaten um den richtigen Sitz der Apparatur zu überprüfen und gegebenenfalls verbogene Halteelemente zu korrigieren.



Abbildung 3: Individualisierter festsitzender Lückenhalter

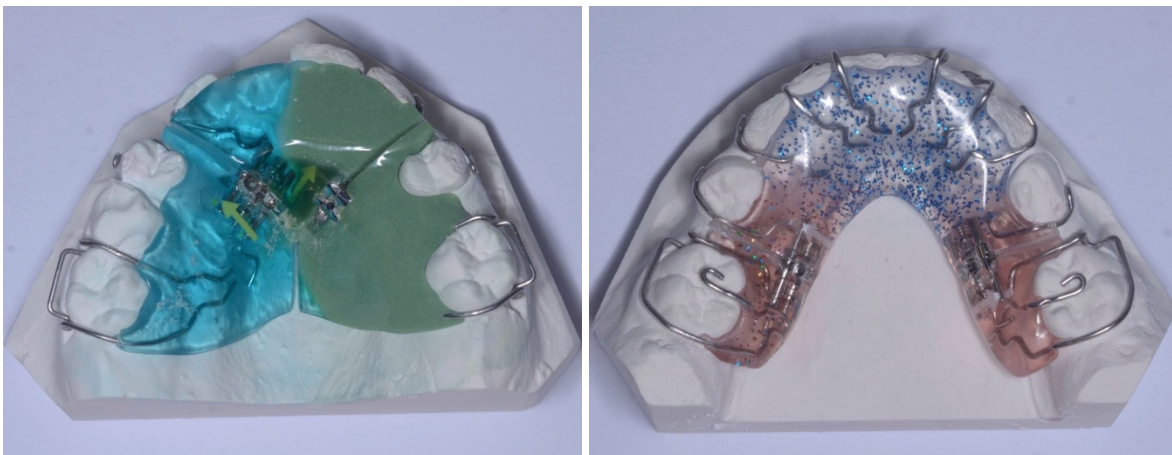


Abbildung 4: Herausnehmbarer Lückenhalter im OK und UK

1.5 Wissenschaftliche Datenlage zu den Lückenhaltersystemen

Die systematische Recherche der Literatur zu festsitzenden und herausnehmbaren Lückenhaltern ergab eine begrenzte Anzahl an Studien, welche zudem methodisch unterschiedlich angelegt waren und auch zu widersprüchlichen Ergebnissen führten. Hinsichtlich der Studientypen kann auf eine geringe Anzahl an randomisiert kontrollierten Studien verwiesen werden (Tunc *et al.* 2012, Setia *et al.* 2014, Garg *et al.* 2014, Qudeimat *et al.* 2015). Bei den meisten gesichteten Publikationen handelte es sich um Case Reports (Negi 2010, Faheemuddin *et al.* 2012, Setia *et al.* 2013, Vinothini *et al.* 2019), die neue Lückenhalterdesigns vorstellten oder um, sowohl prospektiv als auch retrospektiv, angelegte Fall-Kontroll-Studien (Kargul *et al.* 2005, Fathian *et al.* 2007, Sasa *et al.* 2009) mit geringen

Probandenzahlen. Allerdings wurde häufig auf eine Kontrollgruppe verzichtet. Die Studiendurchführung mit einer Einteilung in Versuchs- und Kontrollgruppe scheint jedoch im Hinblick auf die heterogenen Fallsituationen schwierig umsetzbar. Zudem wäre diese Art des Studienaufbaues nur geeignet um zwei unterschiedliche Vorgehensweisen für die gleiche klinische Situation zu analysieren. Da der frühzeitige Milchzahnverlust jedoch einer großen Variabilität unterliegt, wird deutlich, dass präventive Maßnahmen im Sinne der Vermeidung von Lückeneinengungen, individualisiert geplant und umgesetzt werden müssen. Hierbei stehen die zuvor beschriebenen Lückenhalter zur Verfügung.

In den gesichteten Publikationen lag der Schwerpunkt der Analyse auf Langlebigkeit der verwendeten Lückenhalter nach vorzeitigem Verlust des Milchviersers und/oder des zweiten Milchmolaren. Da in den Untersuchungen jedoch unterschiedliche lange Beobachtungszeiten bei teilweise geringen Fallzahlen vorlagen, erscheint es schwierig präzise Aussagen zum Überlebensverhalten zu treffen. Als Hauptfehlerursachen wurden Zementbrüche bzw.-auswaschungen, Klebeversagen zwischen Schmelz und Kunststoff oder der vollständige Verlust des Lückenhalters aufgeführt. Nur wenige Studien kontrollierten deren Effektivität in Bezug auf den Lückenerhalt. So fehlten in den Studien mehrheitlich metrische Angaben über etwaige Mesialwanderungen oder Kippungen der lückenbegrenzenden Zähne. Grundsätzlich wird in der Literatur auf ein niedriges Evidenzniveau zu den verschiedenen Lückenhaltern verwiesen (Ramakrishnan *et al.* 2018). Eine Übersichtsarbeit von Ahmad *et al.* 2018 bemängelte zudem die sehr kurzen Beobachtungszeiträume in den Studien zu adhäsiv eingesetzten Lückenhalter, weshalb die Autoren mit einer Empfehlung hinsichtlich deren klinischen Einsatz zurückhaltend waren, obwohl die adhäsiv befestigten Lückenhalter hinsichtlich des Parameters «Effektivität» oder «Langlebigkeit» genauso gut oder besser als andere Lückenhalter abgeschnitten haben. Schlussfolgernd kann festgestellt werden, dass mit dem momentanen Wissensstand nur wenige prospektiv geplante Untersuchungen zu adhäsiv befestigten Lückenhaltern vorliegen. Ausgehend von dieser unbefriedigenden Datenlage scheinen weitere Untersuchungen in diesem Zusammenhang sinnvoll.

2 Ziel und Hypothese der Studie

2.1 Zielstellung und Studienansatz

Zum jetzigen Zeitpunkt kann zu allen Lückenhaltersystemen auf eine ungenügende klinische Datenlage ohne ausreichende Langzeitbeobachtungen verwiesen werden. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, notwendige Informationen zu dieser im klinischen Alltag selten notwendigen Therapieform mit einer prospektiven Interventionsstudie zu erheben. Im Rahmen des Studienprojekts soll nach einer indikationsgerechten Fallselektion die Verwendung des jeweiligen Lückenhalters dokumentiert werden und dessen Funktionsfähigkeit (potentielles Versagen, Fehler, Misserfolge, Verluste) über eine 1-jährige Kontrollphase beobachtet werden. Im Anschluss erfolgt die Erfolgsbewertung der unterschiedlichen Behandlungsverfahren. Zudem sind anhand des geplanten Projektes Informationen zu den Versorgungsnotwendigkeiten bzw. -realitäten (Zahngesundheits-, sowie Kariesstatus; Unterschiede bzgl. der Häufigkeit frühzeitiger Zahnverluste zwischen Mädchen und Jungen) ableitbar.

2.2 Hypothese

Es wird hypothetisch angenommen, dass alle zu betrachtenden Lückenhaltersysteme eine langfristige Funktionsfähigkeit aufweisen (H_0 -Hypothese).

3 Material und Methodik

3.1 Allgemeine Beschreibung der Studie

Die Lückenhalter-Evaluierung war eine prospektiv angelegte, monozentrisch durchgeführte Interventionsstudie von Kindern im Alter von 4 bis 10 Jahren, welche in der kieferorthopädischen Fachzahnarztpraxis Dr. Ackermann aufgrund eines frühzeitigen Milchzahnverlustes behandelt wurden und der Eingliederung eines Lückenhalters bedurften. In der Studie sollten die Versorgungsnotwendigkeiten als auch die Effektivität von verschiedenen Lückenhalterdesigns klinisch evaluiert werden. Außerdem erfolgte eine Analyse des Therapieverlaufs 3, 6 und 12 Monate nach Eingliederung des indizierten Lückenhalters.

Die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München prüfte die Durchführbarkeit der vorliegenden Studie (Projekt-Nummer 20-041) und erkannte ihr am 17.03.2020 nach Erfüllung der Auflagen die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zu.

Die Studie lief im Juli 2020 an. Mit Hilfe eines Prüfbogens wurden einschussfähige Patienten rekrutiert. Bei Vorliegen von mindestens einer Schalllücke konnte der Patient bzw. die Patientin in die Studie aufgenommen werden. Eine Verblindung und Randomisierung waren mit Blick auf die Zielstellung und das geplante Studiendesign nicht möglich und nicht vorgesehen. Das Studienteam orientierte sich an der klinischen Ausgangssituation, die je nach Art und Anzahl des fehlenden Zahnes innerhalb der Probanden sehr variabel ausfallen konnte. Somit war die Indikation zur Eingliederung eines Lückenhalters nicht immer gleich exakt.

Die Anzahl der einzuschließenden Kinder wurde nicht limitiert, um die Versorgungswirklichkeit abzubilden. Vielmehr sollte sich die Rekrutierung zur Untersuchung an der Machbarkeit orientieren. Hierbei wurde geplant, am Studienzentrum über 12 Monate Fälle zu rekrutieren und in das vorliegende Studienprojekt einzuschließen. Es wurde davon ausgegangen, dass innerhalb eines Jahres etwa 30 Patienten akquiriert werden konnten. Da es sich um eine vergleichsweise seltene Versorgungsform mit heterogenen Fallsituationen handelte, wurde auf eine Fallzahlschätzung verzichtet, da ein Einschluss überzähliger Patienten mit Blick auf die zu erwartende, geringe Fallzahl nicht zu erwarten war bzw. umgekehrt die Akquise fehlender Fälle in einer Kategorie nicht vorhersagbar gelang und bestimmte klinische Situationen nicht planbar waren. Auf die Festlegung einer Mindestanzahl sollte verzichtet werden, da dies u.U. zu einer überproportional langen Rekrutierungsphase

oder zum Scheitern des Projektes hätte führen können, wenn passende klinische Situationen nicht in ausreichender Zahl aufgeboten hätten werden können. Daher orientierte sich die geplante prospektive Interventionsstudie an den klinischen Versorgungsrealitäten, welche innerhalb eines Jahres in einem Untersuchungszentrum rekrutiert werden konnten.

3.2 Zahnärztliche Untersuchung

3.2.1 Patientengut

Die zahnärztliche Rekrutierung der Kinder erfolgte von Juli 2020 bis Dezember 2021 im Rahmen der vorgegebenen Einschlusskriterien im Untersuchungszentrum der kieferorthopädischen Fachzahnarztpraxis Dr. Michael Ackermann. Insgesamt nahmen 58 Kinder aus Bad Wörishofen (Umkreis 30 km) an der Studie teil. Lediglich einer der anfangs inkludierten Patienten brach im Laufe der Follow-ups weitere Nachuntersuchungen ab bzw. ist nicht mehr zu den vereinbarten Terminen erschienen. Die Gruppe teilte sich auf in (Abbildung 5):

- 0 Kinder im Alter von 4 Jahren
- 2 Kinder im Alter von 5 Jahren
- 8 Kinder im Alter von 6 Jahren
- 10 Kinder im Alter von 7 Jahren
- 9 Kinder im Alter von 8 Jahren
- 17 Kinder im Alter von 9 Jahren
- 12 Kinder im Alter von 10 Jahren

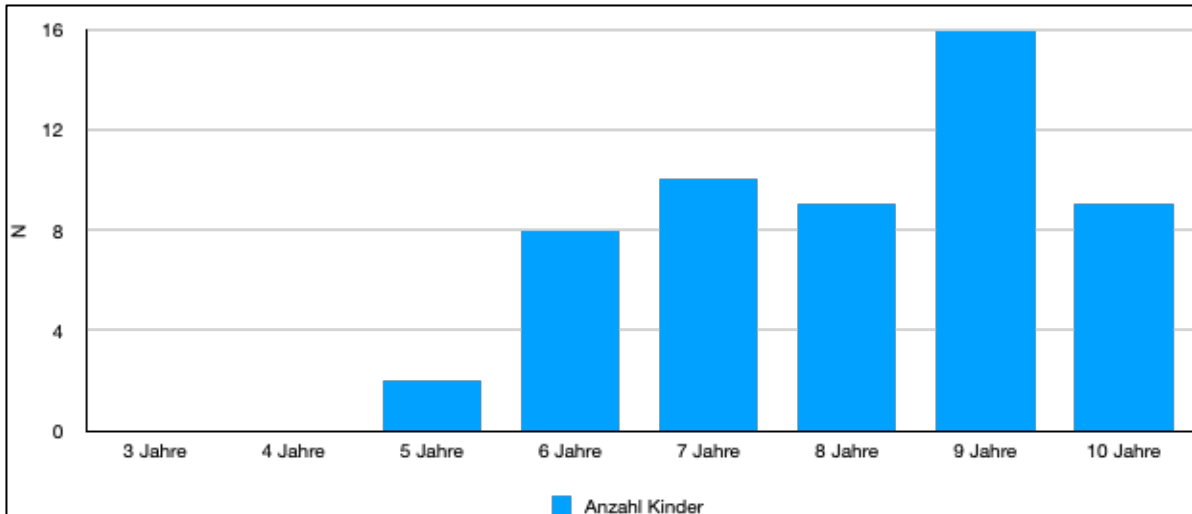


Abbildung 5: Verteilungsmuster der Probanden nach Alter

Der Altersdurchschnitt der gesamten eingeschlossenen Population betrug 8 Jahre. 31 Kinder waren Mädchen und bei 27 Kindern handelte es sich um Jungen (Abbildung 6).

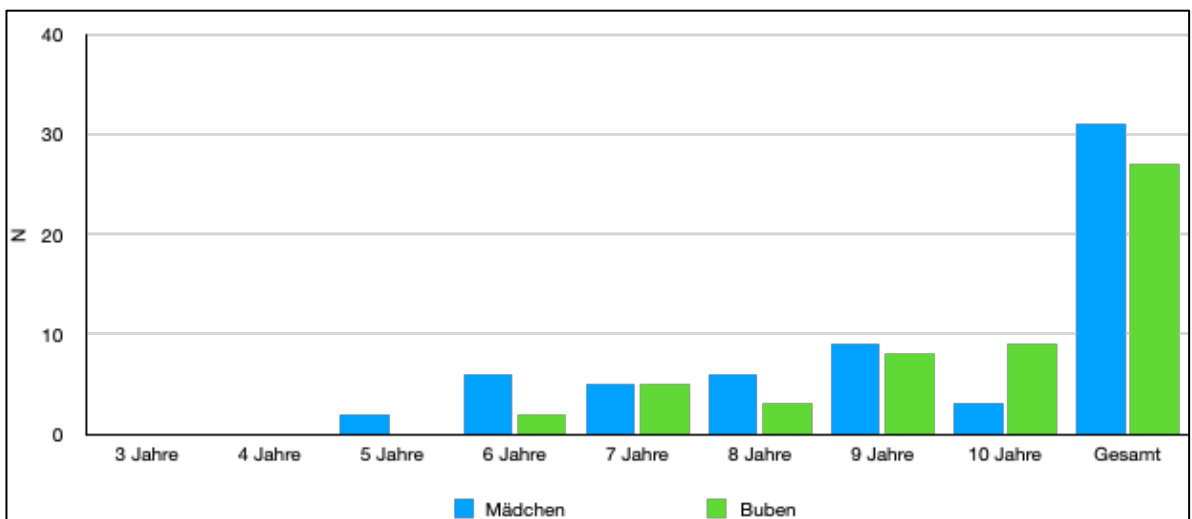


Abbildung 6: Verteilungsmuster der Probanden nach Geschlecht

Als *Einschlusskriterien* wurden gesunde Patienten (ASA 1-2) im Alter von 4 bis 10 Jahren mit einer oder mehreren Schalllücken aufgrund eines vorzeitigen Milchzahnverlustes durch Karies festgelegt. Sowohl der Patient, als auch die Eltern mussten ihre Zustimmung zur Teilnahme an der Untersuchung erteilt haben. Je nach Alter des Patienten ergab die zahnärztliche Befunderhebung ein reines Milchgebiss- bzw. Wechselgebiss (1. Phase).

Bezüglich der vorhandenen Lücken unterschieden sich die Patienten hinsichtlich der Zahl, sowie der Anordnung der vorhandenen Restzähne.

Als *Ausschlusskriterien* wurde das Fehlen eines Einverständnisses der Eltern bzw. des Patienten zur Studienteilnahme, sowie Patienten mit Aplasien von Zähnen, multiplen Nichtanlagen oder ektodermaler Dysplasie definiert. Außerdem wurden, durch Verlust bleibender Zähne entstandene Schalllücken bzw. Frendlücken, ausgeschlossen.

3.2.2 Klinische Untersuchung

Nachdem die Probanden und zugehörigen Erziehungsberechtigten die Zustimmung zur Teilnahme an der Studie erteilt hatten, erfolgte ein ausführliches Patienten Screening. Entsprechend der Probanden den vorgegebenen Einschlusskriterien, wurde er in der Studie aufgenommen. Im Anschluss wurden die klinischen Untersuchungen standardisiert und in nachgeannter Reihenfolge durchgeführt. Hierbei erfolgte die Befunderhebung mit einem planen Mundspiegel (M5C, Hu-Friedy, Chicago, IL, USA) und einer CPI-Sonde (COD XP 23/11.56, Hu-Friedy, Chicago, IL, USA) an gereinigten und getrockneten Zähnen. Eine optimale Ausleuchtung der Mundhöhle konnte mittels Lupenbrille und HighTech LED-Beleuchtung (Filup LC 3,5 und Filight Pro V1 HD, FIBA GmbH, Jengen, BY, Deutschland) garantiert werden.

Erstuntersuchung des Patienten

- Indikationsstellung zur Anfertigung eines festsitzenden und/ oder herausnehmbaren Lückenhalters und Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien für das laufende Studienprojekt
- Information der Eltern bzw. Sorgeberechtigten über das Studienprojekt und Einholung des Einverständnisses seitens der Eltern und des Patienten
- Erhebung des Mundhygiene Status (Plaque Scoring, PSI) und anschließende Zahnreinigung
- Erhebung des Zahn-, Karies-, Versorgungsstatus
- Präoperative, intraorale Fotos
- Präoperativer Alginatabdruck von OK und UK
- Anpassung und Einsetzen des indizierten Lückenhalters

- Postoperative, intraorale Fotos

Wiederholungsuntersuchungen des Patienten (nach 3, 6 und 12 Monaten)

- Präoperative, intraorale Fotos
- Präoperativer Alginatabdruck von OK und UK
- Klinische Evaluierung und Kontrolle der Funktionalität des eingesetzten Lückenhalters

Eine *studienbedingte* Anfertigung von Röntgenaufnahmen zu Beginn der Untersuchung wurde für nicht erforderlich erachtet. Dementgegen ist aufzuführen, dass im Zuge der initialen und langfristigen Beobachtung der Patienten bzw. Probanden eine ergänzende Röntgendiagnostik indikationsgerecht herangezogen wurde (Kühnisch *et al.* 2017), um eine bestmögliche Betreuung zu garantieren.

Erfassung der Mundhygiene und des Entzündungszustandes der Gingiva. Zur Erfassung der Mundhygienesituation der Studienteilnehmer wurde einerseits das Plaque-Scoring mittels Bleeding on Brushing Test (Kallio 1996, Rosenauer *et al.* 2017) andererseits der PSI-Index (Löe 1967) herangezogen. Der Plaquenachweis erfolgte indem mit einem Polierbürstchen („Hawe Miniature Prophy Bürstchen“, Kerr, Biberach, Deutschland) entlang des Sulcus gingivae die Zahnoberfläche poliert wurde. Die Angabe von vorhandener bzw. nicht vorhandener Plaque wurde als „1“ (Plaque vorhanden) oder „0“ (kein Plaque vorhanden) im Prüfbogen vermerkt.

Der Entzündungszustand der Gingiva wurde als Sulkusblutung nach der drucklosen Sondierung mittels CPI Sonde (COD XP 23/11.56, Hu-Friedy, Chicago, IL, USA) entlang des Sulcus gingivae ermittelt. Je nach Sondierungstiefe konnte zwischen „0“ (gesundes Parodontium), „1“ (Sulkusblutung auf Reiz) und „2“ (Sondierungstiefe < 4mm) differenziert werden. Angesichts des sehr jungen Probandenpools war die oben beschriebene Vereinfachung des PSI-Indexes gerechtfertigt.

Erfassung des Versorgungsstatus. Die Beurteilung des Versorgungsstatus erfolgte mittels einer zahnflächenbezogenen Diagnose und wurde wie folgt kodiert:

- *Gesunde, nicht restaurierte Zahnfläche - Code „Leeres Feld“:* Konnten eindeutig beginnende bzw. manifestierte oder bereits behandelte kariöse Läsionen ausgeschlossen werden, so galt die Fläche als gesund. Bei unklaren Befunden wurde die Fläche ebenfalls als gesund eingestuft.
- *Suffiziente Füllung aufgrund von Karies – Code F:* Wurde eine Fläche mit einem definitivem Füllungsmaterial (Komposit, Kompomer, Glasionomerzement) - ohne sichtbare Hinweise von Karies oder Sekundärkaries- versorgt, so galt die Fläche als gefüllt. Versorgungen, welche frakturiert oder einen partiellen Verlust von Füllungsmaterial erlitten hatten und keine Sekundärkaries aufwiesen, wurden mit Code F dokumentiert.
- *Füllung mit Sekundärkaries – Code Y:* Wurde ein wiederkehrender Kariesbefall am Füllungsrand festgestellt, erhielt die Füllung die Klassifizierung Y.
- *Krone aufgrund von Karies – Code C:* Musste ein Zahn mit einer konfektionierten Krone versorgt werden, so wurde dieser mit dem Code C bewertet.
- *Krone mit Sekundärkaries – Code Q:* Diese Kodierung beschrieb den selten vorkommenden Fall einer Sekundärkaries im Bereich des Kronenrandes.
- *Zahnfläche durch einen Unfall (z.B. Trauma) betroffen – Code T:* Unfallbedingte Zahnhartsubstanzdefekte, welche überwiegend im Bereich der Oberkieferinzisivi beobachtet wurden, erhielten die Klassifizierung T.
- *Ausschluss, nicht beurteilbar – Code X:* Eine Beurteilung konnte bei Vorliegen einer Nichtanlage, eines retinierten Zahnes oder bei festsitzender Multibandtherapie nicht durchgeführt werden und wurde mit Code X vermerkt.

Erfassung des Kariesbefalls. Zur Erfassung der kariösen Läsionen wurde zahnbezogen der dmft/DMFT-Index und zahnflächenbezogen der dmfs/DMFS-Index (Klein *et. al.* 1938) verwendet. Im Hinblick auf die Fragestellung der Untersuchung wurde eine vereinfachte Darstellung des Kariesbefalls vorgenommen und demnach zwischen gesund (0), nicht kavitierte Läsion (I) und kavitierte Läsion (D) unterschieden.

Nicht kavitierte kariöse Läsionen. Zur Beurteilung nicht kavittierter kariöser Läsionen wurde der Bewertungsmaßstab des universellen visuellen Scoring Systems (UniViSS, Kühnisch J *et al.* 2009; <http://univiss.net>) herangezogen. Dabei handelte es sich um ein je nach individueller Ausgangssituation flexibel anpassbares Kariesdiagnostiksystem, welches zur Feststellung von nicht kavitierten kariösen Läsionen diente. Die Dokumentation des klinischen Erscheinungsbildes von derartigen Schmelzveränderungen orientierte sich anhand des Ausmaßes der Schädigung und dem Grad der Verfärbung. Die Befund-Klassifizierungen können der Abbildung 8 entnommen werden. Während an den Okklusalfächen eine Befundung von gräulichen Transluzenzen erfolgte, wurde auf diese an den Glattflächen im Schmelzbereich verzichtet. Die Analyse von nicht kavitierten kariösen Läsionen wurde sowohl für die okklusalen Fissuren, bukkalen/palatinalen Grübchen, sowie für alle anderen Glattflächen durchgeführt. In Anbetracht des Untersuchungsaufwandes beschränkte sich die Analyse von nicht kavitierten kariösen Läsionen auf die ersten bleibenden Molaren und auf die bleibenden Frontzähne.

Beschreibung der Lücke und des Lückenhalters. Die Beschreibung der Lücke, sowie des Lückenhalters wurde mit folgenden Fragen durchgeführt:

- Datum des Zahnverlustes
- Datum der Eingliederung der Lückenhalters
- Lückenthalertyp (festsitzender konfektionierter LH, festsitzender adhäsiver LH, herausnehmbarer LH ohne Dehnschraube, herausnehmbarer LH mit Dehnschraube)
- Lückentyp (Schaltlücke, Frendlücke)
- Lokalisation des Lückenhalters (Ober-/ Unterkiefer)
- Anzahl der zu ersetzten Zähne
- Ersetzte Zähne


Universelles Visuelles Scoring System für Okklusalflächen (UniVISS Okklusalflächen)						
Erster Schritt: Läsionserkennung & Einschätzung des Schweregrades						
Zweiter Schritt: Einschätzung des Verfärbungsgrades	Erste visuell sichtbare Zeichen	Etablierte nicht kavitierte kariöse Läsion	Mikrokavität bzw. Lokalisierte Schmelzeinbruch	Dentineexposition	Große Kavität	Pulpaeröffnung
	Score F	Score E	Score M	Score D	Score L	Score P
Gesunde Zahnfläche (Score 0)	Keine kariösen bedingten Veränderungen erkennbar.					
White Spot (Score 1)						
White Spot und Braunverfärbung (Score 2)						
Braun- bis Schwarzverfärbung (Score 3)						
Gräuliche Transluzenz des Zahnschmelzes (Score 4)						

Abbildung 7: UniViss für Okklusalflächen (Kühnisch J et al. 2009, Creative Common CC BY license)

3.2.3 Auswahl des indizierten Lückenhalters

Alle Probanden mit Stützzoneeinbruch und einer Verkleinerung der Lücke durch gekippte Nachbarzähne wurden in der vorliegenden Studie mit einer herausnehmbaren Plattenapparatur mit Dehnschraube behandelt. Bei Patienten ohne Lückeneinengung wurde der individualisierte festsitzende Lückenhalter eingegliedert.

3.2.3.1 Individualisierter festsitzender Lückenhalter

Für die Anfertigung des individualisierten festsitzenden Lückenhalters wurden eine Reihe von kieferorthopädischen Materialien (Zangen, Handinstrumente, Bukkalröhrchen, Bracketadhäsive) benötigt (Tabelle 2):

Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Produkte

Produkt	Chargennummer	Hersteller
Weingart Zange	678-201	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Drahtbiegezange Omega Loop	678-303	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Drahtbiegezange Bird Beak	678-304	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Drahtbiegezange Tweed	678-308	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Schneidezange Distal End	678-101	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Schneidezange Hard Wire	678-104	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Bracket Platzierpinzette	678-212	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Distal Clinch Back Handinstrument	678-506	HuFriedy, Chicago, IL, USA
Single Buccal Tube	-	SPEED System, Ontario, Canada
019x026 Blue Elgiloy	A00893	Rocky Mountains Orthodontics, Denver, USA
Etching Agent	-	Reliance Orthodontic Products, Itasca, IL, USA
Assure Universal Bonding Resin	-	Reliance Orthodontic Products, Itasca, IL, USA
3M Unitek Transbond XT	B5005051019	3M Espe, Landsberg am Lech, Deutschland
Estelite Universal High Flow	13832	Tokuyama Dental Deutschland GmbH, Altenberge
E-Lipar TM S 10	76975	3M Espe, Landsberg am Lech, Deutschland

Zu Beginn klebte der Behandler ein kieferorthopädisches Röhrchen sowohl horizontal als auch vertikal mittig auf die bukkale Fläche des distalen Ankerzahnes. Befand sich dieser im Unterkiefer, musste auf die vorliegende Schlussbissituation besonders geachtet werden und das Tube ggf. etwas weiter gingival positioniert werden, so dass okklusale Störkontakte vermieden wurden (Abbildung 8).



Abbildung 8: Das Foto zeigt die richtige horizontal-vertikale Position des geklebten Molarentubes

Daraufhin erfolgte das Biegen des Lückenhalters von distal nach mesial (Abbildung 10): Zunächst wurde mit der Drahtbiegezange Tweed der .019 x .026 Egiloy Draht um 90° nach kaudal mit 30° Torque für das Tube, dann wiederum um 90° nach mesial gebogen (Abbildung 9):

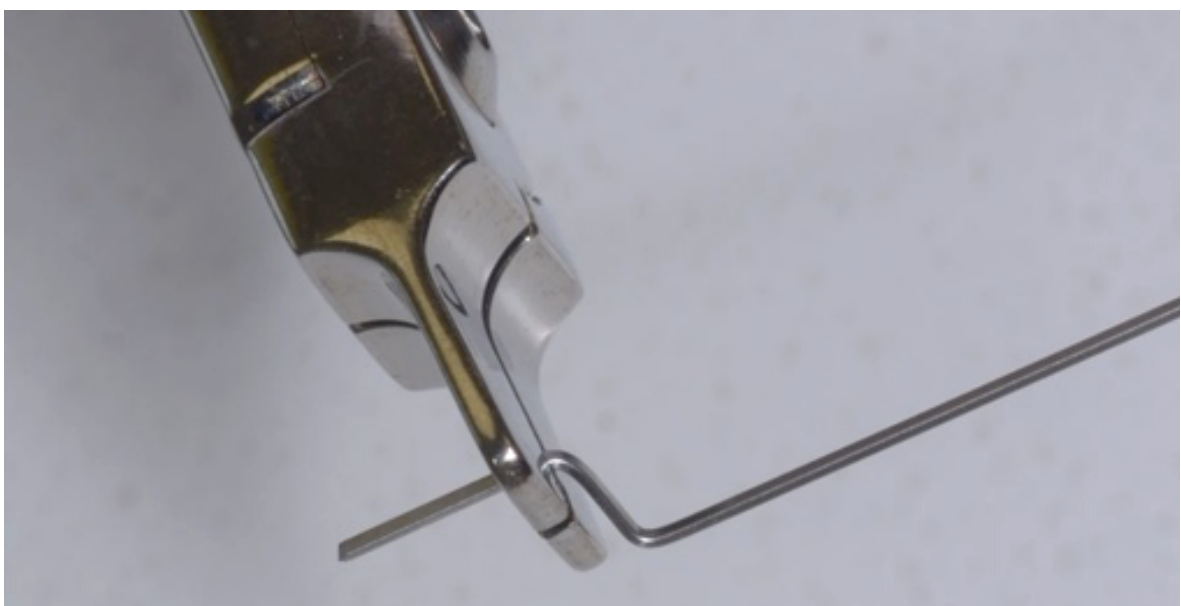


Abbildung 9: Das Foto zeigt den distalen Abschnitt des individuell gebogenen Lückenhalters

Nach Einsetzen des Lückenhalters durch das geklebte Röhrchen, sollte der Draht so lang sein, dass er sich distal des Tubes problemlos umbiegen ließ. Falls der mesiale Anteil des Lückenhalters zu nah am Zahnfleisch verlief, konnte er mittels einer geringen Torquebiegung dezent nach außen ausgerichtet werden, so dass ausreichend Abstand zur Gingiva gewährleistet wurde und nach endgültiger Eingliederung des Lückenhalters keine gingivalen Irritationen ausgelöst wurden.

Im darauffolgenden Schritt wurde der Draht entsprechend der konvexen Form des Alveolarfortsatzes mit Hilfe der Bird-Beak-Zange dem bukkalem Zahnbogenverlauf individuell angepasst, so dass dieser mit ausreichendem Abstand annähernd zum Gingivarand verlief (ca. 1 mm). Der Lückenhalter wurde wiederum in das Molarenröhrchen eingeschoben, um das Anpassen der Länge vorzunehmen. Der distale Rand des vorderen lückenbegrenzenden Zahnes wurde markiert. Dort wurde der Lückenhalter mit Hilfe der abgerundeten Seite der Drahtbiegezange Bird Beak nach kranial umbogen (Abbildung 10). Mittels der Drahtbiegezange Tweed erfolgte anschließend eine In- und Offset Biegung. Danach wurde der Bogen zu einer Schlaufe mit abgewinkeltem Hals gebogen (Abbildung 11). Zuletzt überprüfte der Behandler die vertikale Ausrichtung der Schlaufe. Okklusale Interferenzen mit dem Gegenkiefer sollten unbedingt vermieden werden, da sie einen langfristigen, komplikationslosen Halt gefährden können (Abbildung 12). War der Behandler mit der Position und dem Verlauf des Lückenhalters zufrieden, fixierte er diesen durch distales Umbiegen am Molarenröhrchen. Im Weiteren Schritt wurde die Schlaufe mit Hilfe von fließfähigem Flow am vorderen lückenbegrenzenden Zahn befestigt. Dieser sollte dort spannungsfrei anliegen.

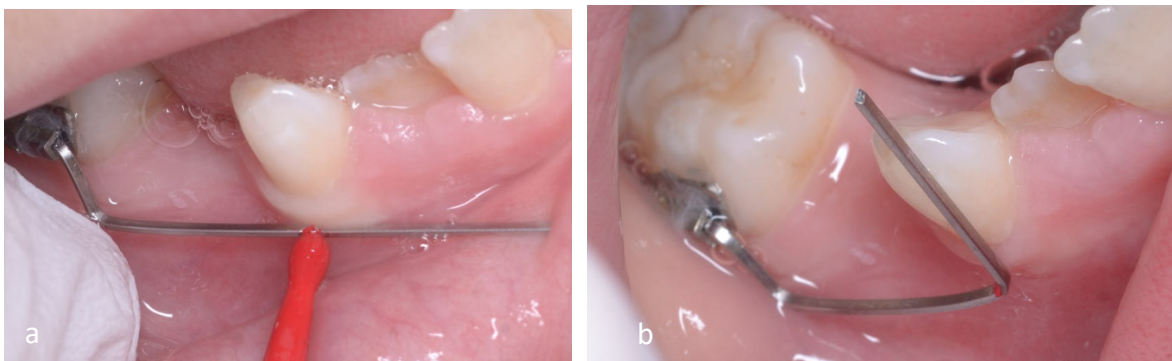


Abbildung 10: Das Anpassen der Länge wurde bei eingesetzten Lückenhalter vorgenommen. An der markierten Stelle wurde der Bogen mit der abgerundeten Seite der Bird Beak Zange nach kranial gebogen. Der horizontal verlaufende Steg sollte bei eingesetztem Lückenhalter nun annähernd parallel zur Okklusionsebene verlaufen.



Abbildung 11: Darstellung der In- und Offsetbiegungen

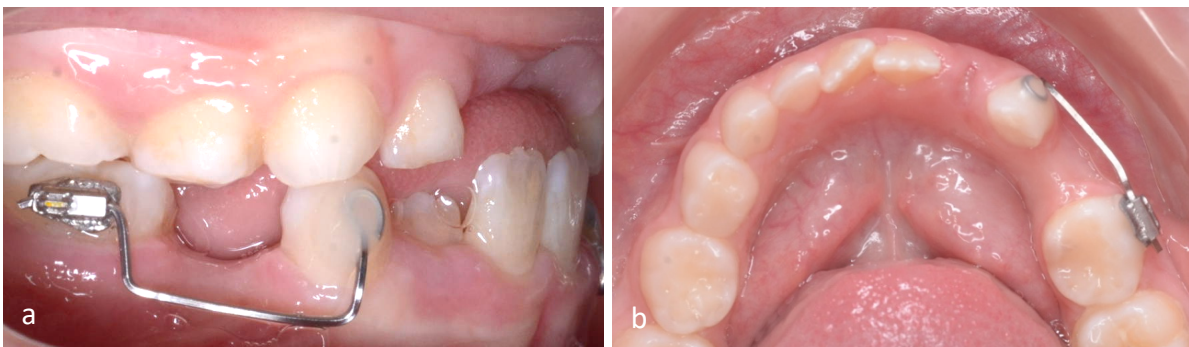


Abbildung 12: Eingesetzter Lückenhalter. Das distale Ende wurde nach dem Molarenröhrchen scharf umgebogen. Der mesiale Anteil wurde mit Komposit direkt auf den Zahn geklebt.

3.2.3.2 Herausnehmbarer Lückenhalter

Bei den verwendeten herausnehmbaren Lückenhaltern handelte es sich um Verteidigungsplatten aus selbsthärtendem Kunststoff, welche mit Adamsklammern und C-Klammern versehen wurden. Die Herstellung der Platten erfolgte in dem zahntechnischen Labor der kieferorthopädischen Praxis Dr. Ackermann. Zur Korrektur von sagittalen Platzdefiziten mit Stützzonenverlust wurden alle der eingliederten herausnehmbaren Lückenhalter mit Dehnschrauben versehen (Abbildung 13). Der Plattenkörper sollte nicht direkt der Schleimhaut und den Parodontien anliegen. Unterschnitte mussten am Gipsmodell ausgewachst bzw. am Tag der Eingliederung ausgeschliffen werden. Die Haltelemente durften keine ungewollte Entkoppelung der Okklusion verursachen und sollten so grazil wie möglich gebogen werden. Das Trageprotokoll sah ein Drehen der Dehnschraube alle drei Wochen ($1/4$ Umdrehung = 0,175 mm) und eine tägliche Tragezeit von 14 Stunden vor.

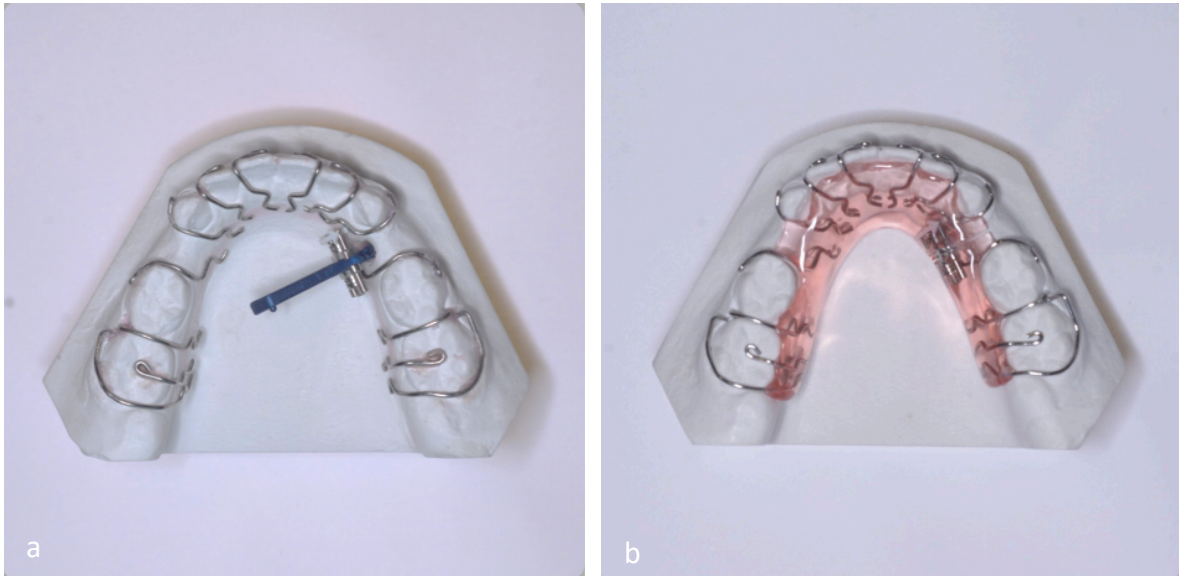


Abbildung 13: Gipsmodell mit gebogenen Adamsklammern nach Tenti (0,7 mm fh) und okklusalen Auflagen (0,8 mm fh) an den 6-Jahresmolaren, sowie C-Klammern (0,8 mm fh) an den restlichen Zähnen. Da im 4. Quadranten bereits Mesialwanderungen stattgefunden hatten, wurde zusätzlich in Regio 84 eine Mini-Dehnschraube (Dentaurum) zur Lückenöffnung verwendet.

3.3 Modellanalyse

Im Anschluss an die 12-monatige klinische Untersuchung wurde die Effektivität der verwendeten Lückenhalter anhand folgender Parameter untersucht:

- 1) Erfassung der Bruch-/ Reparatur- bzw. Klebefehlerstatistik.
- 2) Erfassung der metrischen Veränderung der Schaltzahnücke:

$$\text{prozentuale Längenänderung der Stützzone} = \frac{\Delta L}{\Delta L_0} = \frac{\text{Messwert } (T_{12}) - \text{Anfangslänge}}{\text{Anfangslänge}}$$

Die Modellanalyse wurde sowohl manuell als auch digital durchgeführt. Genau abgeformte Kiefer (Zähne, Zahnbogen, Alveolarfortsatz einschließlich Umschlagfalte, Gaumen, Tuber maxillae, Sublingualraum) und ein korrekt hergestelltes Kiefermodell (nach den drei Orientierungsebenen getrimmt) waren hierbei von entscheidender Bedeutung. Für die Abdrucknahme wurde relativ festes Alginate verwendet, welches im Anschluss mit Gips ausgegossen und getrimmt wurde. Später scannte der Behandler das fertige Gipsmodell mit dem Modell Scanner 3 Shape D2000 ein und speicherte den Datensatz in der digitalen Patientenakte ab.

Für die Untersuchung wurden die Gipsmodelle zu drei senkrecht aufeinander stehenden Bezugsebenen räumlich orientiert (Abbildung 14):

- **Raphe-Medianebene:** = Sagittalebene; sie wurde anhand zweier anatomischer Bezugspunkte konstruiert: das 2. Gaumenfaltenpaar stellte den vorderen Punkt dar, während der Übergang des harten zum weichen Gaumen (= Mittenpunkt zwischen den paarigen Foveolae) den hinteren Punkt definierte. Sie diente der Bestimmung transversaler Abweichungen
- **Tuberebene:** = Parafontalebene; sie verlief durch die Tuber maxillae und stand senkrecht auf der Raphemedianebene. Sie wurde zur Analyse sagittaler Zahnfehlstellungen verwendet.
- **Kauebene:** = Horizontalebene; sie verlief durch die bukkalen Höckerspitzen der Prämolaren bzw. durch die mesiobukcale Höckerspitze des 1. Molaren und des 1. Prämolaren. Mit Hilfe dieser Ebene konnten Zahnstellungsanomalien in der Vertikalen beurteilt werden.

Die metrische Analyse der Modelle wurde mittels apparativer Hilfsmittel (Schiebelehre, Stechzirkel) manuell durchgeführt. Zusätzlich erfolgte eine Überlagerung der Modelle virtuell. Der Untersucher begrenzte dabei die Analyse auf:

- **Stützzone:** Die Stützzone im Wechselgebiss war metrisch definiert als die Distanz zwischen Distalfläche des seitlichen Schneidezahnes und der Mesialfläche des 1. Molaren. Sie errechnete sich aus der mesiodistalen Breitensumme von Milcheckzahn, 1. und 2. Milchmolaren (Abbildung 16).
- **Lücke des fehlenden Zahnes:** die Lücke des fehlenden Zahnes wurde durch die kürzeste mesio-distale Distanz zwischen den lückenbegrenzenden Zähnen definiert.

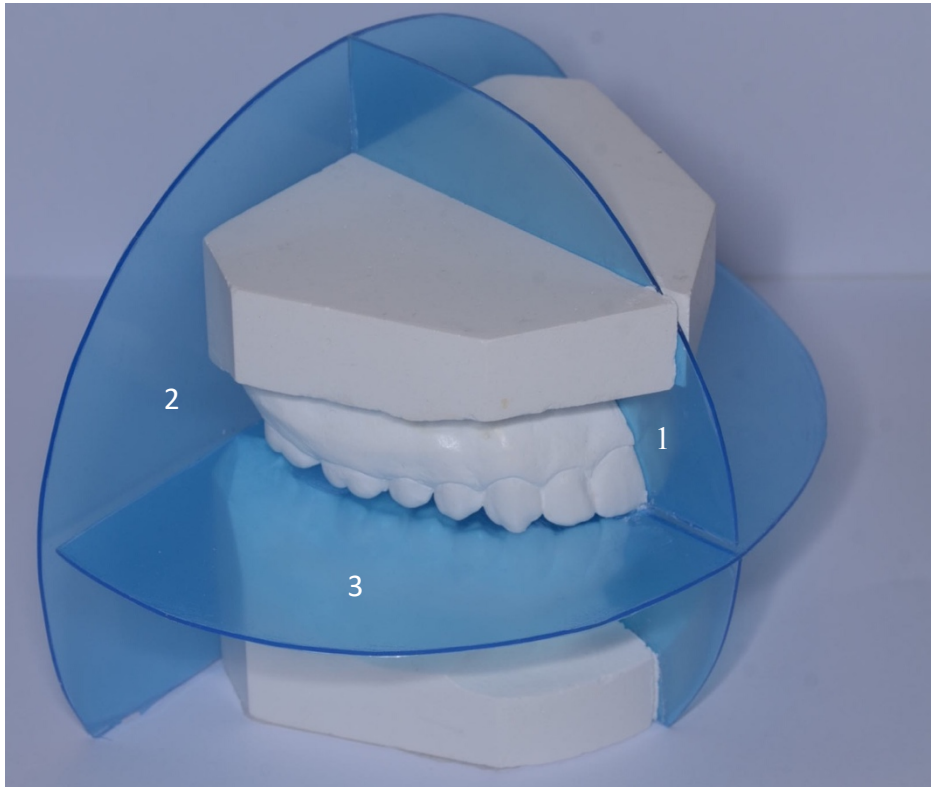


Abbildung 14: getrimmtes Kiefermodell mit den Orientierungsebenen Raphemedianebene (1), Tuberebene (2) und Kaubene (3)

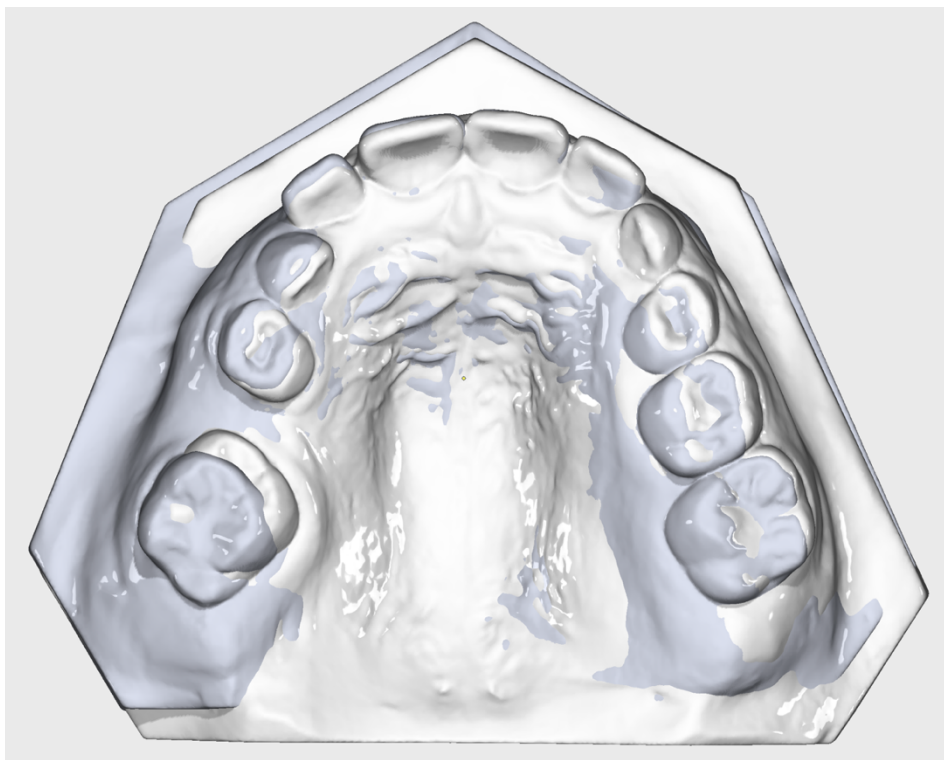


Abbildung 15: Behandlungsverlauf eines mit einem herausnehmbaren Lückenhalter (+ Dehnschraube) behandelten Oberkiefers zur Distalisierung von 16 (weiß: Anfangsmodell; grau: Schlussmodell nach 12 Monaten Beobachtungszeit)

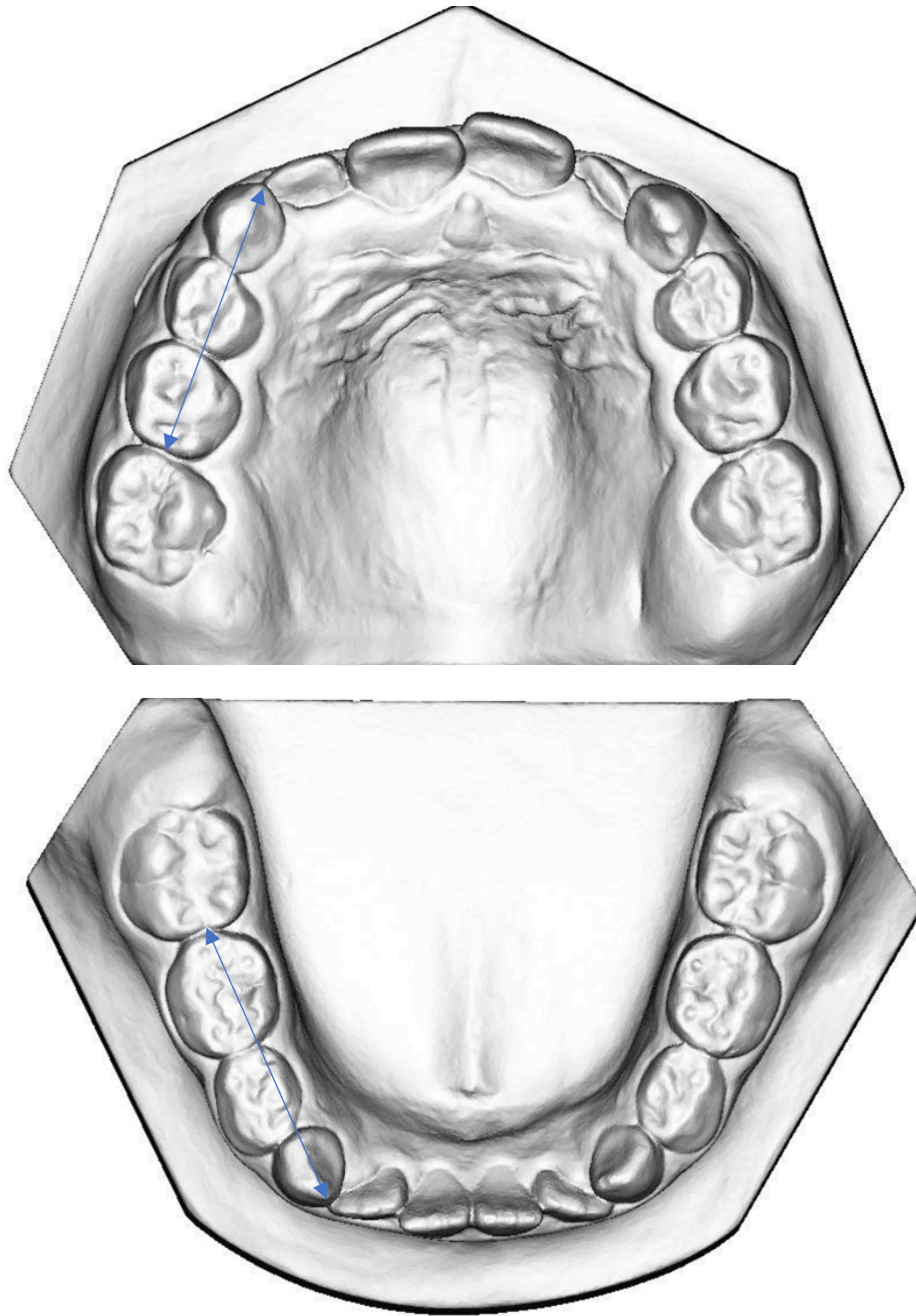


Abbildung 16: eingescanntes Ober- und Unterkiefermodell mit dargestellter Stützzone

3.4 Verblindung und Fotodokumentation

Eine Verblindung der zahnärztlichen Vorgehensweise als auch der Untersuchung konnte am Studienort Bad Wörishofen nicht ermöglicht werden. Um daraus resultierende Studiendefizite zu verringern, wurden von allen Studienteilnehmern zu jedem Kontrollzeitpunkt intraorale Fotos angefertigt. Die Aufnahmen wurden hierbei sowohl vor als auch nach dem Einsetzen des jeweiligen Lückenhalters mit einer Intraoralkamera (Nikon D7000) getätigt.

3.5 Fehlerberechnung

Alle Modellauswertungen wurden von derselben Person durchgeführt, so dass interindividuelle Messfehler verhindert werden konnten. Im Abstand von 14 Tagen wurden 3 zufällig bestimmte Modelle erneut von dem untersuchenden Kieferorthopäden ausgewertet und der persönliche Messfehler nach Dahlberg ermittelt:

Die hierbei verwendete Formel lautet:

$$\text{Dahlberg Fehler [mm]} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

(d: Differenz zwischen den wiederholten Messungen; n: Anzahl der Messungen)

3.6 Statistische Auswertungen

Die elektronische Datenerhebung der Studienteilnehmer erfolgte in anonymisierter Form in einer Datenbank. Zur deskriptiven Datenanalyse wurden sämtliche Befunde in einer Exceldatei (Microsoft Office Excel 2016, Version 16.16.27, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) übermittelt. Das klinische Verhalten der fest eingesetzten Lückenhalter wurde mittels Überlebensgraphen verglichen. Hierbei diente der Anteil intakter Lückenhalter nach 3, 6 und 12 Monaten als primärer Endpunkt.

3.7 Unerwünschte Nebenwirkungen und Ereignisse

Keiner der untersuchten Studienteilnehmer zeigte im Verlauf der Beobachtungszeiträume von 3, 6 und 12 Monaten unerwünschte Nebenwirkungen (sogenannte „Adverse events“, z.B. Allergien) seitens der verwendeten Prüfmaterialien.

4 Ergebnisse

4.1 Basiswerte

In der untersuchten Population wurden insgesamt 89 Lückenhalter eingeschlossen. Diese ließen sich wiederum in 53 adhäsiv festsitzende und in 36 herausnehmbare Lückenhalter mit Dehnschraube unterteilen (Tabelle 3). Von den primär 58 Studienteilnehmern konnten 57 Kinder nachuntersucht werden. Lediglich ein Proband hatte seine Teilnahme an der Studie vorzeitig beendet (No Show) (Tabelle 3). Am häufigsten wurden im Unterkiefer Milchmolaren aufgrund von Karies extrahiert (Abbildung 16).

Tabelle 3: Übersicht der Studienpopulation zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten (T0: Baseline-Untersuchung, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline, T3: 12 ± 1 Monate nach Baseline)

	T0 (Baseline)	T1 (3 ± 1 Monate)	T2 (6 ± 1 Monate)	T3 (12 ± 1 Monate)
∑ Patienten				
Untersuchung	58	57	57	57
No Show	-	1	-	-
Drop Out	1	-	-	-
Weiblich/ Männlich	31/ 27	31/ 26	31/ 26	31/ 26
∑ Lückenhalter	89	88	88	88
Festsitzender adhäsiver LH	53	53	53	53
Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube	36	35	35	35

Tabelle 4: Darstellung der Studienpopulation

Alter	T0 (Baseline)
Mittelwert (Standardabweichung)	8,1 (1,5)
Altersbereich	5-10

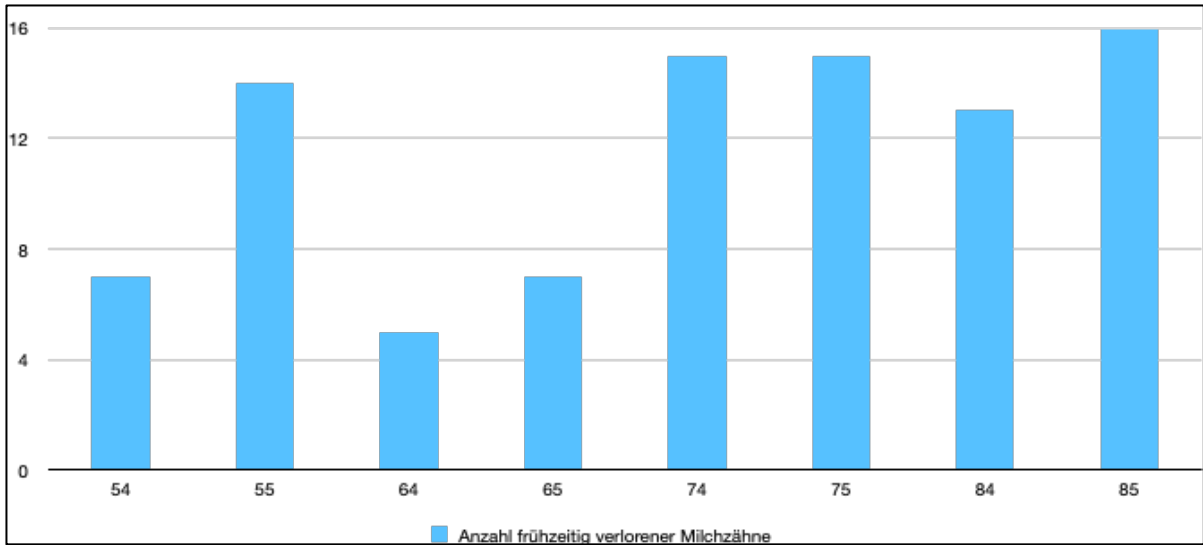


Abbildung 17: Verteilung der aufgrund von Karies extrahierten Milchzähne in der Studienpopulation



Abbildung 18: Flow-Diagramm für die Studienpopulation

4.2 Mundhygienestatus

Zum Untersuchungszeitpunkt T0 wiesen 63,2 % der Studienteilnehmer (n = 58) einen Plaquebefall an ihren Milchzähnen auf, während bei 66,7 % der Probanden ein Plaquebefall an den bleibenden Zähnen festgestellt werden konnte. Lediglich 29,3 % der untersuchten Kinder führten eine gute Mundhygiene (keine Plaque an Milch- oder bleibenden Zähnen) durch. Eine Sulkusblutung (PSI = 1) konnte bei 70,7 % der Studienteilnehmer provoziert werden. Nur 29,3 % der Kinder wiesen gesunde Gingivazustände (PSI = 0) auf. Keiner der Probanden wurde mit einem PSI von 2 bewertet. Die erfassten Daten zur Zahn- und Mundgesundheit können der Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Charakterisierung der Studienpopulation zum Untersuchungszeitpunkt (T0) hinsichtlich des Plaquebefalls und der Sulkusblutung

Mundhygiene	T0 (Baseline)
Mundhygiene im Milchgebiss – N Personen ohne Plaque/ 1-4 Zähne mit Plaque/ >4 Zähne mit Plaque	21/ 11/ 25
Mundhygiene im Milchgebiss – Mittlere Zahnzahl (sd) mit Plaque	4,3 (4,3)
Mundhygiene im bleibenden Gebiss – N Personen ohne Plaque/ 1-4 Zähne mit Plaque/ >4 Zähne mit Plaque	19/ 9/ 29
Mundhygiene im bleibenden Gebiss – Mittlere Zahnzahl (sd) mit Plaque	5,6 (5,2)
Parodontale Gesundheit – N Personen mit mindestens PSI-Wert 0/ 1/ 2	17/ 41/ 0

4.3 Kariesstatische Befunde

Zum Untersuchungszeitpunkt T0 wurde bei 55,1 % der Studienteilnehmer ein kariesfreies Milch- bzw. Wechselgebiss (dmf/DMF = 0) beobachtet. Der durchschnittliche Kariesbefall betrug bei der Erstuntersuchung 4,5 (dmft) im Milchgebiss und 0,2 (DMFT) im bleibenden Gebiss. Die Tabelle 6 stellt die Verteilung der einzelnen Parameter dar. Die Beurteilung der jeweiligen Komponenten des dmft-/DMFT-Index zeigt auf, dass der Anteil an extrahierten Zähnen mit 16,1 % mt im Milchgebiss sehr hoch war. 24,2 % der kariös betroffenen Zähne

wurden im Milchgebiss sowie 1,7 % in der bleibenden Dentition restaurativ mit einer Füllung versorgt.

Tabelle 6: Charakterisierung der Studienpopulation zum Untersuchungszeitpunkt (T0) hinsichtlich des Kariesbefalls

Kariesbefall	T0 (Baseline)
dmft (Mittelwert, SD)	
dt-Komponente	0,2 (0,8)
mt-Komponente	1,9 (1,3)
ft-Komponente	2,4 (2,1)
DMFT (Mittelwert, SD)	
DT-Komponente	0,0 (0,0)
MT-Komponente	0,0 (0,1)
FT-Komponente	0,2 (0,7)

4.4 Funktionsfähigkeit der verwendeten Lückenhalter

Die Qualitätsbewertung der verwendeten Lückenhalter wurde anhand der in Tabellen 7 und 8 aufgeführten Kriterien durchgeführt. Hierbei waren 92,4 % der festsitzenden und 94,4 % der herausnehmbaren Lückenhalter im Zuge der ersten Nachuntersuchung nach 3 Monaten (T1) intakt, wobei bei 47,2 % der herausnehmbaren Lückenhalter Korrekturen an der Dehnschraube durchgeführt werden mussten. Bei 2,8 % musste das Gerät aufgrund eines Verlustes neu angefertigt werden. Die Dropout Rate lag in dieser Gruppe ebenfalls bei 2,8 %.

Im weiteren Studienverlauf blieb bei beiden Lückenhalterdesigns die Überlebens- bzw. Erfolgsrate zwischen T1 und T2 konstant und lag zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung nach 6 Monaten (T2) noch immer bei 92,4 % (festsitzender Lückenhalter) bzw. 94,3 % (herausnehmbarer Lückenhalter). 3,8 % der geklebten adhäsiven Lückenhalter wurden am mesialen Ankerzahn wiederbefestigt und bei ebenfalls 3,8 % mussten die Verbindungsstege in diesem Zeitraum neu angefertigt werden. In der Gruppe der herausnehmbaren Lückenhalter wurde bei 40,0 % die Dehnschraube zurückgedreht und bei 14,3 % erfolgten Anpassungen im Sinne von Freischleifungsmaßnahmen. Bei lediglich 2,9 %

der Fälle musste die Platte im Labor repariert werden. Die Verlustrate lag in dieser Gruppe ebenfalls bei 2,9 %, was eine Neuanfertigung des Gerätes zur Folge hatte.

Die Nachuntersuchung für den Zeitraum zwischen 6 und 12 Monaten (T3) ergab hinsichtlich der Funktionsfähigkeit der verwendeten Lückenhalter folgendes Ergebnis (Tabellen 7 und 8). Vollständig intakte Lückenhalter wurden bei 94,3 % der festsitzend adhäsiven und bei 85,7 % der herausnehmbaren Lückenhalter beobachtet, wobei in letzterer Gruppe bei 54,3 % Anpassungen im Sinne von Freischleifungsmaßnahmen und bei 48,6 % Korrekturen an der Dehnschraube durchgeführt werden mussten. Lediglich 1,9 % der festsitzenden Lückenhalter wurden am mesialen Ankerzahn wiederbefestigt und 3,8 % der Verbindungsstege mussten neu angefertigt werden. Bei 1,9 % musste aufgrund eines Plattenverlustes das Gerät neu angefertigt werden. Die Misserfolgsquote innerhalb der Gruppe mit herausnehmbaren Lückenhalter lag bei 11,4 %. Weder Einschleifmaßnahmen an der Kunststoffbasis noch Korrekturen der Dehnschraube ermöglichten ein spannungsfreies und passgenaues Eingliedern der Platte, weshalb deren Neuanfertigung im Labor durchgeführt wurde.

Tabelle 7: Funktionsfähigkeit des festsitzenden adhäsiven LH in Abhängigkeit von dem Kontrollzeitpunkt (T0: Kleben des LH bzw. Baseline-Untersuchung, T1: 3 ± 1 Monat nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monat nach Baseline, T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)

Retention	Adhäsiver festsitzender LH			
	T0	T1	T2	T3
Intakt	53 (100 %)	49 (92,4 %)	49 (92,4 %)	50 (94,3 %)
Food Impaction	-	-	-	-
Karies am lückenbegrenzenden Zahn	-	-	-	-
Vollständiger Verlust	-	-	-	-
Wiederbefestigung (Tube)	-	-	-	-
Wiederbefestigung (mesialer Ankerzahn)	-	2 (3,8 %)	2 (3,8 %)	1 (1,9 %)
Neuanfertigung des LH Steges	-	2 (3,8 %)	2 (3,8 %)	2 (3,8 %)
Drop out	-	-	-	-
Σ Lückenhalter	53 (100 %)	53 (100 %)	53 (100 %)	53 (100 %)

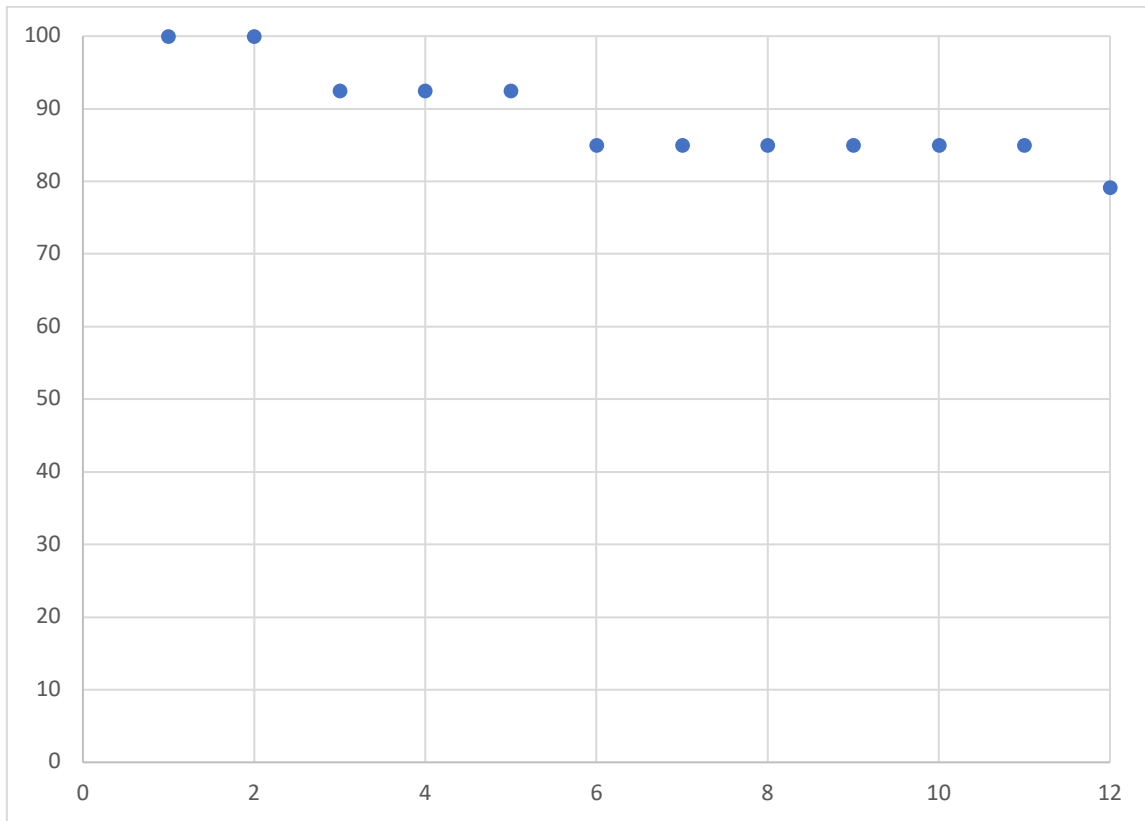


Abbildung 19: Grafische Darstellung der Überlebensrate des adhäsiven festsitzenden Lückenhalters

Tabelle 8: Funktionsfähigkeit des herausnehmbaren LH mit Dehnschraube in Abhängigkeit von dem Kontrollzeitpunkt (T0: Eingliederung des LH, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline; T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)

Retention	Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube			
	T0	T1	T2	T3
Intaktes Gerät	36 (100 %)	34 (94,4 %)	33 (94,3 %)	30 (85,7 %)
Karies am lückenbegrenzenden Zahn	-	-	-	-
Bruch Plattenbasis	-	-	-	-
Korrektur Dehnschraube	-	17 (47,2 %)	14 (40,0 %)	17 (48,6 %)
Freischleifen	-	-	5 (14,3 %)	19 (54,3%)
Reparatur im Labor	-	-	1 (2,9 %)	-
Platte passt nicht mehr (<i>Neuanfertigung</i>)	-	-	-	4 (11,4 %)
Verlust Platte (<i>Neuanfertigung</i>)	-	1 (2,8 %)	1 (2,9 %)	1 (2,9 %)
Drop out	-	1 (2,8 %)	-	-
Σ Lückenhalter	36 (100 %)	36 (100 %)	35 (100 %)	35 (100 %)

Das Retentionsverhalten zeigte innerhalb von 12 Monaten folgende Ergebnisse (T0 - T3): Insgesamt waren 79,1 % der adhäsiv geklebten festsitzenden Lückenhalter als intakt zu beurteilen. Lediglich 9,5 % mussten am mesialen Ankerzahn wiederbefestigt werden und bei 11,4 % wurde der Verbindungssteg erneuert. Der Anteil intakter herausnehmbarer Lückenhalter betrug 74,4 %. Bei 8,6 % erfolgten Neuanfertigungen aufgrund von Plattenverlusten sowie bei 11,4 % aufgrund ungenügender Passung. 2,9 % bedurften einer Reparatur im Labor. Im Zuge der Studiendauer nahm ein Proband (2,8 %) mit herausnehmbaren Lückenhalter an der Untersuchung nicht mehr teil.

4.5 Metrische Evaluation der Schaltlücken

4.5.1 Festsitzender Lückenhalter

Die metrische Überprüfung der 53 Schaltlücken, welche mit dem adhäsiven festsitzenden Lückenhalter behandelt wurden, ergab, dass der Mittelwert der offenzuhaltenden Lücke im Verlauf des Beobachtungszeitraumes von einem Jahr nahezu konstant blieb (T0: 7,9 mm; T1: 7,9 mm; T2 7,8 mm; T3 7,8 mm). Die prozentuale Längenänderung bzw. Lückenverkleinerung betrug nach 12 Monaten lediglich 1,6 % (Tabelle 9).

4.5.2 Herausnehmbarer Lückenhalter

Die metrische Überprüfung der 40 Schaltlücken, welche mit einem herausnehmbaren Lückenhalter im Zeitraum eines Jahres behandelt wurden, zeigte im Mittelwert eine Zunahme von 0,67 mm (T0: 8,6 mm; T1: 8,9 mm; T2: 9,1mm; T3: 9,3 mm). Die prozentuale Längenänderung bzw. -vergrößerung nach 12 Monaten betrug im Mittel 7,8 % (Tabelle 10). Lediglich vier Probanden wiesen eine Verkleinerung der Lücke von im Mittel -0,6 mm sowie stärkere Kippungen der lückenbegrenzenden Zähne auf, die nicht durch kleinere Anpassungsmaßnahmen an dem herausnehmbaren Lückenhalter ausgeglichen werden konnten, weshalb eine Neuanfertigung indiziert wurde.

Tabelle 9: Metrische Erfassung der Schaltlücke in Abhängigkeit des Kontrollzeitpunkt (T0: Eingliederung des LH, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline; T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)

Metrische Erfassung der Schaltlücke	Adhäsiv befestigter LH			
	T0	T1	T2	T3
Fall 1	7,8	7,7	7,8	7,8
Fall 2	7,8	7,6	7,7	7,8
Fall 3	17,1	17	17,1	17,1
Fall 4	8,1	8	7,7	7,6
Fall 5	7,5	7,4	7,3	7,3
Fall 6	7,3	7,2	7,2	7,1
Fall 7	7,4	7,4	7,4	7,4
Fall 8	7,1	7,1	7,1	7,1
Fall 9	15,6	15,5	15,6	15,6
Fall 10	6	6	6,2	6,1
Fall 11	6,5	6,4	6,5	6,5
Fall 12	6,5	6,5	6,6	6,5
Fall 13	6,2	6,1	6	6,1
Fall 14	5,7	5,7	5,6	5,7
Fall 15	8	8,1	8	8
Fall 16	7,1	7,1	6,9	6,9
Fall 17	7,8	7,7	7,8	7,7
Fall 18	7,4	7,2	7	6,8
Fall 19	7,5	7,3	7	6,7
Fall 20	6,4	6,4	6,4	6,4
Fall 21	5,6	5,5	5,3	5,3
Fall 22	8,2	8,2	8,1	8,1
Fall 23	5,9	5,9	5,8	5,9
Fall 24	7,6	7,5	7,5	7,6
Fall 25	17,5	17,4	17,4	17,3
Fall 26	9,3	9,3	9,2	9,1
Fall 27	8,6	8,6	8,6	8,6
Fall 28	16,9	17	16,9	16,9
Fall 29	7,3	7,3	7,1	7,1
Fall 30	6,5	6,5	6,5	6,6
Fall 31	6	5,9	5,8	5,7
Fall 32	8,4	8,5	8,4	8,4
Fall 33	8	8	7,9	7,9
Fall 34	5,2	5,2	5,3	5,2
Fall 35	6,2	6,1	5,9	5,9
Fall 36	6,7	6,7	6,5	6,5
Fall 37	7,7	7,7	7,5	7,4
Fall 38	6,5	6,5	6,5	6,6
Fall 39	7,3	6,8	6,7	6,7
Fall 40	7	6,9	6,8	6,8
Fall 41	6,7	6,5	6,6	6,7
Fall 42	8,6	8,5	8,6	8,5
Fall 43	6,4	6,3	6,3	6,4
Fall 44	6,7	6,6	6,6	6,6
Fall 45	7,7	7,7	7,6	7,7
Fall 46	10,2	10,2	10,2	10,2
Fall 47	8,7	8,7	8,6	8,7
Fall 48	8,5	8	8	7,9
Fall 49	6,3	6,3	6,3	6,3
Fall 50	4,8	4,8	4,6	4,7
Fall 51	7,8	7,6	7,6	7,6
Fall 52	8,3	8	8,2	8,2
Fall 53	6,9	6,5	6,7	6,7
Mittelwert	7,94	7,86	7,82	7,81
Standardabweichung	2,76	2,74	2,78	2,77

Tabelle 10: Metrische Erfassung der Schaltlücke in Abhängigkeit des Kontrollzeitpunkt (T0: Eingliederung des LH, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline; T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)

Metrische Erfassung der Schaltlücke	Herausnehmbarer LH			
	T0	T1	T2	T3
Fall 1	9,7	10,1	10,5	10,6
Fall 2	4	4,5	4,7	4,2
Fall 3	4,7	4,5	4,9	4,7
Fall 4	11,9	12,4	13,3	14,2
Fall 5	17,4	17,7	18	18
Fall 6	5,1	5,4	6,3	6,7
Fall 7	6,1	6,2	6,6	7,7
Fall 8	7,2	7,4	7,5	7,7
Fall 9	4,4	4,4	4,9	5,2
Fall 10	19,9	20,2	20,6	20,8
Fall 11	20,2	20,9	21,6	22
Fall 12	9,9	10	10,2	10,6
Fall 13	8,5	8,7	8,9	9,2
Fall 14	5,3	5,4	5,4	5,4
Fall 15	1,8	1,8	1,5	1,3
Fall 16	25,1	25,3	25,4	25,6
Fall 17	23	23,5	23,8	24
Fall 18	3,3	3,9	4,1	4,2
Fall 19	4,5	5,1	5,6	6
Fall 20	17,2	17,2	17,5	17,5
Fall 21	7	7	7	7,4
Fall 22	3,5	3,9	4,2	4,3
Fall 23	10	10,3	10,5	10,1
Fall 24	4	4,3	4,5	4,3
Fall 25	7,5	7,6	7,3	7
Fall 26	6,3	6,4	6,3	6,2
Fall 27	16,6	16,8	16,8	16,5
Fall 28	7,5	7,6	7,6	7,8
Fall 29	6,7	7	7,3	7,5
Fall 30	7,2	6,2	6,2	6,4
Fall 31	5,8	5,1	5,1	5,8
Fall 32	3,4	4,4	4,6	5,8
Fall 33	8	8,4	8,8	9,1
Fall 34	4,4	5,6	6,5	7,2
Fall 35	6,5	6,1	6,4	6,5
Fall 36	9,4	9	9,4	9,4
Fall 37	6,6	6,4	5,9	6,1
Fall 38	3,7	4,1	4,6	4,9
Fall 39	6,5	7,5	7,5	7,6
Fall 40	5,7	6,7	6,7	6,8
Mittelwert	8,64	8,88	9,11	9,31
Standardabweichung	5,80	5,82	5,87	5,88

5 Diskussion

5.1 Methodische Vorgehensweise der vorliegenden Untersuchung

Die vorliegende prospektive Interventionsstudie zielte darauf ab, die Effektivität von adhäsiv befestigten (Abbildung 4) und herausnehmbaren Lückenhaltern (Abbildung 5) zu bewerten. Die beiden Lückenhalterformen wurden grundsätzlich infolge eines vorzeitigen Milchzahnverlustes angefertigt, wobei die Indikation bzw. die Wahl des jeweiligen Typs abhängig von der Lokalisation und dem Umfang des Zahnverlustes im Milch- bzw. Wechselgebiss war. Im Ergebnis der Untersuchung über 12 Monate konnte einerseits gezeigt werden, dass beide Typen hohe Überlebensraten aufwiesen, und andererseits die professionelle Begleitung insbesondere von herausnehmbaren Lückenhaltern notwendig war, um funktionelle Defizite zu erkennen und zu korrigieren.

Es erfolgte erstmals die Verwendung eines neuen, adhäsiv befestigten Lückenhalters zur Behandlung von frühzeitigen Milchzahnverlusten über einen Zeitraum von einem Jahr mit drei unterschiedlichen Kontrollzeitpunkten an einem vergleichsweise großen Patientenkollektiv. Die Anfertigung sowie die Eingliederung des Lückenhaltertyps führte unter standardisierten Bedingungen ein erfahrener Behandler im Chairside-Verfahren durch. Das Potenzial dieser Behandlungsoption wurde anhand eines zuvor festgelegten Bewertungsmaßstabes genau beleuchtet. Hierbei orientierte sich die kritische Beurteilung des Lückenhalterdesigns an den CONSORT-Empfehlungen für randomisierte klinische Studien, wodurch eine klare und transparente Methodik ermöglicht werden konnte.

Die Untersuchung beider Lückenhaltertypen wurde longitudinal ohne Kontrollgruppe vollzogen. Die Rekrutierung einer Kontrollgruppe ohne Therapie des vorzeitigen Milchzahnverlustes, ist als unethisch zu beurteilen, da aus kieferorthopädischer Sicht ein vorzeitiger Milchzahnverlust mit Folge der Lückeneinengung immer eine eindeutige Therapieindikation darstellt. Die Nichtbehandlung dieser Patienten ist also nicht mit aktuellen medizinisch-ethischen Behandlungsgrundsätzen vereinbar und würde zum Nachteil der Studienteilnehmer gereichen.

Hinsichtlich des Untersuchungsbogens kann im Vergleich zu anderen Studien sowohl auf eine ausführliche Analyse verfügbarer Informationen als auch auf eine detaillierte Erfassung

möglicher Versagensursachen der eingegliederten Lückenhalter verwiesen werden. Die präzise Datenerhebung und im Anschluss sorgfältig sowie identisch durchgeführte Modellanalyse anhand von Gipsmodellen stellen ein Qualitätsmerkmal der vorliegenden Untersuchung dar.

Die geschlechterspezifische Verteilung ist bei einer Probandenzahl von 31 weiblichen und 27 männlichen Patienten als ausgeglichen zu beurteilen. Die Eingliederung des jeweiligen Lückenhalterdesigns erfolgte bei den behandelten Kindern mit durchschnittlich 8,0 Jahren. Das Altersspektrum der teilnehmenden Probanden lag bei 4 bis 10 Jahren. Zahlreiche Studien sowie Untersuchungen (Hall-Scullin *et al.* 2017, Nhanes 2010-12) bestätigen, dass in diesem Zeitraum bereits die meisten Kinder eine Karieserfahrung aufweisen bzw. Zahnverluste erlitten haben und aufgrund dessen die Eingliederung eines Lückenhalters indiziert ist. Hinsichtlich der Art und des Ausmaßes des Ausgangsbefundes war die Behandlungsgruppe homogen. Anlass der zahnärztlichen Überweisungen waren u.a. bereits stattgefundene Zahnkippen und -aufwanderungen. In diesen Fällen erhielten die Patienten bzw. Studienteilnehmer einen aktiven, herausnehmbaren Lückenhalter zur Lückenöffnung. Patienten ohne Platzdefizite für den nachfolgenden bleibenden Zahn wurden mit dem passiven, festsitzenden Lückenhalter versorgt. Des Weiterem konnten die Ergebnisse der letzten DAJ-Studie, die besagt, dass die Mehrzahl der Milchzahnkaries unbehandelt bleibt, bestätigt werden. In Folge der fehlenden Kariestherapie (vorangeschrittene kariesbedingte Schmelzeinbrüche mit Fistel- oder Abszessbildung und Schmerzen) verblieb oftmals nur noch die Extraktion der betroffenen Milchzähne, was eine anschließende Lückenhalter-Therapie nach sich zog.

Fehlerquellen konnten sowohl bei der Abdrucknahme der zu untersuchenden Kiefer, als auch in der sich daran anschließenden Auswertung entstehen. Die Alginatabdrücke sowie das Ausgießen in Gips erfolgte von erfahrenen Mitarbeitern der kieferorthopädischen Fachpraxis Dr. Ackermann nach dem Standard-Protokoll von Nötzel *et al.* (2001). Eine mögliche Fehlerquelle der Modellanalyse war die Bestimmung der Referenzpunkte, welche wiederum relevant für die daraus abgeleitete metrische Strecke (= Lückengröße) waren. Insofern erwies sich die Beurteilung einzelner Variablen als untersucherabhängig, wobei streng darauf geachtet wurde, dass bei der manuellen Messung mit digitaler Schieblehre der geringste

Abstand zwischen den lückenbegrenzenden Zähnen determiniert wurde. Laut Zilberman *et al.* (2003) kann mit dieser eine Genauigkeit von 0,01 mm erzielt werden.

Sicherlich haben die durch die COVID-19-Pandemie bedingten Einschränkungen im Praxisalltag als auch die allgemein geltenden Kontakt-Beschränkungen und krankheitsbedingten Terminabsagen eine Rekrutierung sowie regelmäßige Nachkontrolle der Studienteilnehmer erschwert. Dennoch kann in der vorliegenden prospektiven Interventionsstudie auf eine minimale Dropout Quote verwiesen werden, so dass im Vergleich mit anderen Studien eine ähnlich bis größere Probandengruppe evaluiert wurde.

5.2 Funktionsfähigkeit der Lückenhalter

5.2.1 Festsitzender Lückenhalter

Ein wichtiges Anliegen der Untersuchung war es, aufzuklären inwieweit eine Lückeneinengung bei frühzeitigem Milchzahnverlust durch die Eingliederung eines *neuen festsitzenden adhäsiven Lückenhaltertyps* verhindert werden konnte. Die Beurteilung der Überlebensrate erfolgte anhand der in Tabelle 7 aufgeführten Kriterien. Von den 53 eingegliederten Lückenhaltern waren nach 12 Monaten noch 42 vollständig intakt, was einer Erfolgsquote von 79,1 % entsprach. Die Ergebnisse zeigen somit, dass das verwendete Design ein sehr gutes Retentionsverhalten aufweist.

Die Überlegung, Lückenhalter adhäsiv zu befestigen, geht auf Swaine *et al.* im Jahr 1976 zurück. Er konstatierte bei dieser Behandlungsweise eine Erfolgsquote von 70 %. Seitdem folgten technische Weiterentwicklungen in Form von direkt geklebten (Tunc *et al.* 2012) oder vorgefertigten faserverstärkten Lückenhaltern aus Komposit (Kirzioglu *et al.* 2004), wobei zum gegenwärtigen Zeitpunkt zu letzterem Behandlungsdesign mehr Publikationen vorlagen. Allerdings zeigten diese eine hohe Variabilität der Ergebnisse in Bezug auf das Retentionsverhalten auf. So betrug die Verlustrate nach 12 Monaten bei Subaranium *et al.* (2008) 47 %, bei Tunc *et al.* (2012) 80 % und bei Kirzioglu *et al.* (2004) 94 %. Als Hauptgrund für die niedrigen Erfolgsquoten wurden u.a. Gerüstbrüche aufgrund von Stabilitätsproblemen sowie Klebebrüche infolge einer mangelhaften Trockenlegung während der Anfertigung des Lückenhalters aus Komposit aufgeführt (Kamki *et al.* 2021). Deshalb sollte bei diesem Behandlungsverfahren auf die Verwendung von Kofferdam keinesfalls verzichtet werden (Ahmad *et al.* 2018). Da es sich bei diesem Lückenhaltertyp um ein zeit-

und techniksensitives Fertigungsverfahren handelt und die von frühzeitigem Milchzahnverlust betroffenen Kinder jedoch eine sehr junge und meist unkooperative Patientengruppe darstellen, konnte es sich im klinischen Alltag bisher nicht erfolgreich etablieren.

Nach Deshpande *et al.* (2018) sollte das Design des adhäsiv geklebten Lückenhalters so gestaltet sein, dass dessen Komponenten nicht in die Okklusionsebene ragen und dem Verlauf des Zahnbogens individuell folgen. Demnach sind Konzepte mit orthodontischen Bögen wie bei dem in der vorliegenden Studie verwendeten Lückenhaltertyp zu favorisieren. Auf Basis der zum gegenwärtigen Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Literatur konnten drei Studien mit einem ähnlichen Design detektiert werden (Simsek *et al.* 2004, Yilmaz *et al.* 2006, Tunc *et al.* 2012). Davon wiesen die Veröffentlichungen von Simsek *et al.* (2004) und Yilmaz *et al.* allerdings eine sehr niedrige Studienqualität auf. Die Verlustrate für dieses Studiendesign betrug bei Tunc *et al.* (2012) nach 12 Monaten 60 % (n = 10 untersuchte Lückenhalter). Simsek *et al.* (2004) gaben einen Beobachtungszeitraum von 16 Monaten an und untersuchten hierbei 74 direkt geklebte Lückenhalter. Die Verlustrate lag bei lediglich 5 %. In der Studiengruppe von Yilmaz *et al.* (2006) traten nach 12 Monaten keine Misserfolge auf (n = 12 untersuchte Lückenhalter). Als Gründe für die Retentionsverluste waren Klebebrüche zwischen Lückenhalter und Zahn genannt worden. Da die adhäsive Befestigung des Stahlbogens in diesen Publikationen direkt auf beiden lückenbegrenzenden Zähnen erfolgte, handelte es sich um eine starre Verbindung auf beiden Seiten, die aufgrund der Mobilität der Zähne leicht bruchanfällig war (Tunc *et al.* 2012). Der in der vorliegenden Studie verwendete Lückenhaltertyp wurde ebenfalls direkt auf die lückenbegrenzenden Zähne geklebt, allerdings gab es nur eine direkte Klebeverbindung am mesialen Ankerzahn während am distalen Ankerzahn ein kieferorthopädisches Röhrchen die Verbindung zwischen Lückenhalter und Zahn herstellte. Aufgrund lediglich einer starren Verbindung am mesialen Ankerzahn, sowie der flexiblen Verbindung durch das Tube am distalen Ankerzahn konnte eine gleichmäßige Spannungsverteilung garantiert und dadurch ein Bruch vorgebeugt werden. Diese These wurde durch die geringe Anzahl an Klebebrüchen am mesialen Ankerzahn (= 9,5 %) innerhalb von 12 Monaten in der durchgeführten Studie bestätigt. Weiterhin kam es zu keinem Zeitpunkt zu einem vollständigen Verlust des adhäsiv geklebten Lückenhalters.

Nach jetzigem Kenntnisstand findet der konfektionierte Lückenhalter mit Bändern im klinischen Alltag noch immer die häufigste Verwendung (Setia *et al.* 2013) und stellt somit aktuell den Goldstandard dar. Hinsichtlich dessen Verlustrate wurden in der Literatur

unterschiedliche Werte genannt. So lagen diese nach 12 Monaten bei Tunc *et al.* (2012) bei 10 % (n = 10), bei Sasa *et al.* (2009) bei 13 % (n = 40), sowie bei Qudeimat *et al.* (2015) bei 33 % (n = 18). Als Versagensursachen wurden Dezementierungen oder Weichgewebsverletzungen aufgeführt.

Anlässlich der unterschiedlich zur Verfügung stehenden Behandlungsmöglichkeiten untersuchte Ramakrishnan *et al.* 2019 in einer systematischen Übersichtsarbeit die Überlebensrate von festsitzenden Lückenhaltern im Seitenzahnbereich. Von den 11 inkludierten Studien handelte es sich bei neun um prospektiv angelegte klinische Studien und bei drei Publikationen um randomisiert klinische Studien. Es wurden u.a. konfektionierte festsitzende, direkt geklebte sowie faserverstärkte Lückenhalter aus Komposit untersucht. Die Beobachtungszeiträume variierten zwischen sechs (Garg *et al.* 2014) und 52 Monaten (Qudeimat *et al.* 2015) und einer Untersuchungspopulation von 30 bis maximal 61 Patienten. Die Autoren konnten jedoch keine Empfehlung hinsichtlich der Verwendung von festsitzenden Lückenhaltern aufgrund der stark variierenden Überlebensraten innerhalb der analysierten Studien aussprechen. Zu demselben Resultat kamen Deshpande *et al.* bereits 2018. In einer systematischen Übersichtsarbeit und Meta-Analyse von Kamki *et al.* (2021) wurde anhand von acht inkludierten Studien die klinische Effektivität von faserverstärkten Komposit Lückenhaltern sowie konfektionierten Lückenhaltern mit Bändern untersucht. Die Beobachtungszeiträume variierten zwischen sechs und 12 Monaten bei einer Untersuchungspopulation von maximal 45 Patienten. Die Autoren schlussfolgerten, dass die aus Komposit gefertigten Lückenhalter für eine Dauer von lediglich sechs Monaten empfohlen werden können, da sich die konfektionierten Lückenhalter mit Bändern für längere Behandlungszeiträume (> 12 Monate) besser eigneten.

Die in der vorliegenden Studie festgestellten Retentionsverluste wurden lediglich am mesialen Ankerzahn beobachtet und konnten unkompliziert erneuert werden. Die Klebebrüche traten meistens infolge von Verzehr klebriger oder harter Süßigkeiten auf, weshalb deren Verzicht empfohlen wird. Zudem musste bei zwei Kindern das Lückenhalterdesign nachträglich korrigiert werden, da es sich bei beiden Probanden um sogenannte Wangensauger handelte und durch das Habit Schleimhautwunden in der Wange festgestellt werden konnten. In diesen Fällen wurde der horizontale Verlauf des Lückenhalters möglichst nah am Alveolarkamm gebogen. Bei vier Patienten wurde der horizontale Steg

durch Fremdeinwirkung seitens des Hauszahnarztes bzw. durch externe Traumaeinwirkung zerstört bzw. verbogen, so dass eine Neuanfertigung des Verbindungssteiges erfolgen musste.

Es gibt wenig klinische Studien, die sich mit den sagittalen Veränderungen verschiedener festsitzender Lückenthalterdesigns über mehrere Untersuchungszeitpunkte befassen haben. Die meisten vorliegenden Studien kontrollierten die Effektivität anhand der Überlebensrate. Simsek *et al.* (2004) und Yilmaz *et al.* (2006) führten komplizierte und dadurch leicht fehleranfällige Winkelmessungen zwischen den lückenbegrenzenden Ankerzähnen an Baseline und Schlussmodellen durch. Sie veröffentlichten die Werte jedoch nicht. Laut der Studiengruppe von Simsek *et al.* (2004) waren die Ergebnisse nicht statistisch signifikant.

In der vorliegenden Studie wurden an drei Kontrollzeitpunkten Messungen an zuvor angefertigten Gipsmodellen durchgeführt und mit den bereits vorhandenen Daten verglichen. Die Messergebnisse zeigten, dass das verwendete Design ein gutes Vermögen hat, Zahnwanderungen bzw. -kippen zu vermeiden. Allerdings scheinen unterschiedliche Faktoren Einfluss auf das konstante Offenhalten der Lücke zu nehmen. Als ein möglicher Faktor für den beobachteten geringen Platzverlust wurde das Lückenthalterdesign diskutiert. Im Sinne eines optimalen Lückenmanagements war unbedingt darauf zu achten, dass eine vollständige 90 Grad Biegung am distalen Abschnitt eingehalten wurde und der Lückenthalter somit im Tube fest verankert war. Auf diese Weise wurde eine stabile, Zahnkippen vermeidende Konstruktion gewährleistet. In den beobachteten Fällen mit Platzverlusten > 0,5 mm, wiesen die distalen Biegungen keine 90 Grad sondern größere Winkel auf, wodurch Mikrobewegungen des Lückenthalter möglich waren. Zum anderen kann sich die Wahl des verwendeten Bogens auf das erzielte Behandlungsergebnis geringfügig nachteilig ausgewirkt haben. Bei dem in der Studie verwendeten orthodontischen Material handelte es sich um eine Kobalt – Chrom – Nickel Legierung, auch Elgiloy genannt. Sie zeichnet sich durch gute Formbarkeit aus, was einerseits das Biegen von Schlaufen erleichterte und besitzt andererseits eine für Verankerungszwecke notwendige hohe Steifigkeit und gute umgebungsbedingte Stabilität in Bezug auf von Außen einwirkende Kräfte (z.B. Kaukräfte). Alternativ hätte auch Edelstahl als Drahtlegierung verwendet werden können, da seine Steifigkeit etwas höher als die von Elgiloy ist. Allerdings hat Elgiloy den Vorteil einer geringeren Ermüdung und höheren Torsionsfestigkeit gegenüber Edelstahl (Schwindling 2017). Anhand des Spannungs-Dehnungsverhaltens kann ein Werkstoff charakterisiert werden. Hierfür wird die Spannung im kartesischen Koordinatensystem gegen die Dehnung aufgetragen und es lassen sich

charakteristische Punkte, die für die jeweilige Drahtlegierung bezeichnet sind, ablesen. Ein wichtiger Materialparameter ist in diesem Zusammenhang der sogenannte E-Modul, da er als Kriterium zur Drahtauswahl dient. Umso höher dieser Wert ist, desto besser eignet sich das Material für Verblockungs- oder Verankerungsmaßnahmen wie beispielsweise das Offenhalten einer Lücke. Sowohl Elgiloy als auch Edelstahllegierungen zeigen hier ähnliche E-Module auf, weshalb die Wahl aufgrund seiner besseren Bruchresistenz letztlich auf die Elgiloy Legierung fiel. Zudem sticht sie durch eine gute Biokompatibilität und Korrosionsbeständigkeit im Mund hervor.

Innerhalb der Patientengruppe zeigte sich eine hohe Akzeptanz gegenüber dem in dieser prospektiven Interventionsstudie verwendeten Lückenhalterdesign. Keiner der Probanden wünschte sich eine frühzeitige Beendigung der Teilnahme an der Studie aufgrund nachteiliger Auswirkungen durch die Behandlungsmethode (z.B. allergische Reaktionen). Um in der Eingewöhnungsphase Unannehmlichkeiten wie beispielsweise ein Reiben des Bogens an der Wangenschleimhaut zu verhindern, wurde zusätzlich die Verwendung von Wachs zum Abdecken des Bogens empfohlen. Aufgrund der sehr guten Reinigungsfähigkeit, erfreute sich der Lückenhaltertyp ebenfalls großer Beliebtheit bei den Eltern der Studienteilnehmern. Im Verlauf der Untersuchung blieben bei allen Probanden die Ankerzähne kariesfrei.

In den beobachteten Fällen von Exfoliation bzw. Fistelbildung an einem der beiden Ankerzähne musste der adhäsiv geklebte Lückenhalter kurzzeitig entfernt werden. Um während der Durchbruchphase des bleibenden Ankerzahnes keinen Platz zu verlieren, wurde in solchen Fällen die vom Lückenhalter offenzuhaltende Lücke um einen Zahn erweitert und als Ankerzahn ein Nachbarzahn verwendet. Die beliebige Verlängerung des horizontalen Abschnittes stellt sicherlich einen weiteren Vorteil des in dieser Studie verwendeten Lückenhaltertyps dar.

5.2.2 Herausnehmbarer Lückenhalter

Bei dem in dieser Studie verwendeten *herausnehmbaren Lückenhalter* handelte es sich um ein im Streu-Sprüh-Verfahren hergestelltes kieferorthopädisches Behandlungsgerät aus Polymethylmethacrylat, das bereits 1938 von AM Schwarz „zur Expansion von Zähnen und Zahnbögen“ im Sinne einer sagittalen und transversalen Erweiterung beschrieben wurde. Die Umsetzung dieser Aufgabe erfolgt mittels Drahtelementen sowie Schrauben, welche je nach

gewünschter Zahnbewegung unterschiedlich positioniert werden. „Die Plattenapparatur ist somit ein individualisiertes Gerät im Sinne der personalisierten Medizin, dessen Gestaltung keiner Norm folgt“ (Lisson 2022). Alle Probanden mit Stützzoneeinbruch und einer Verkleinerung der Lücke durch gekippte Nachbarzähne wurden in der vorliegenden Studie mit einer herausnehmbaren Plattenapparatur mit Dehnschraube behandelt. Das Trageprotokoll sah ein Drehen alle 21 Tage um 0,2 mm bei einer täglichen Tragezeit von mind. 14 Stunden vor. Insgesamt wurden 29 Patienten mit 36 herausnehmbaren Lückenhaltern behandelt. Bei 4 Studienteilnehmern musste die Platte nach einem Jahr infolge mangelnder Mitarbeit neu angefertigt werden. Trotz Anpassungsmaßnahmen konnte eine Eingliederung nicht mehr ermöglicht werden, da in diesen Fällen die dentoalveolären Veränderungen bereits zu stark vorangeschritten waren. Aufgrund der individuellen Variationen hinsichtlich der morphologischen Reaktion und dem unterschiedlichen natürlichen Wachstum innerhalb der Probandengruppe, ist eine allgemeine Aussage zu den nicht getragenen herausnehmbaren Lückenhaltern jedoch nicht möglich. Ebenso konnten sie nicht als Kontrollgruppe herangezogen werden, da eine funktionelle Einflussnahme bereits stattgefunden hatte. Es steht jedoch fest, dass der Behandlungserfolg maßgeblich von der Compliance des Patienten abhing. In drei Fällen galt das Behandlungsgerät als verloren, so dass dieses nochmals im Labor hergestellt wurde.

Nach 12 Monaten Beobachtungszeit, konnte eine prozentuale Längenveränderung von im Durchschnitt 7,8 % ermittelt werden. Die Messungen bestätigten somit den klinisch sichtbaren Erfolg, welcher auf die Plattenwirkung zurückgeführt werden konnte. Weiterhin zeigten die erzielten Ergebnisse, dass die meisten Lückeneinengungen (< 0,5 mm) bereits zu Beginn oder erst am Ende des Beobachtungszeitraumes auftraten. Diese wissenschaftlichen Daten lassen vermuten, dass sowohl das notwendige Engagement als auch die Kontinuität zum konsequenten Tragen der Apparatur entweder zu Beginn der Therapie schon nicht gegeben war bzw. innerhalb eines Jahres rasant nachließ.

Die Therapie eines vorzeitigen Milchzahnverlustes bzw. das Offenhalten der dadurch entstandenen Lücke für den bleibenden Nachfolger bedarf gewöhnlich mehrere Jahre, was die Grenzen dieser Compliance abhängiger Behandlungsmethode darlegt. Das wiederum erklärte auch den abnehmenden Einsatz des Verfahrens seit den 70er Jahren (Littlewood *et al.* 2001). Weiterhin konnte in anderen Studien (Norton *et al.* 1975, Gegenheimer *et al.* 1992, Proffit *et*

al. 1986) festgestellt werden, dass die mit herausnehmbaren Apparaturen erzielten Ergebnisse nicht so gut wie die mit festsitzenden Apparaturen erreichten Resultate waren, was in der vorliegenden Studie bestätigt werden konnte. Hill *et al.* 1975 konstatierte zudem eine höhere Abbruchquote bei der Behandlung mit herausnehmbaren Lückenhaltern. Zur Umgehung der genannten Nachteile wäre zumindest eine regelmäßige Kontrolle alle drei Monate durchaus ratsam, um so die Mitarbeitsmotivation aufrecht zu halten und eine genaue Passung der Platte zu garantieren.

Bei fast der Hälfte der Probanden musste sowohl nach 3, 6 und 12 Monaten die Dehnschraube mehrmals zurückgedreht werden, da das empfohlene Tragezeitenprotokoll nicht eingehalten wurde. Außerdem erfolgte in den Recalls ein gezieltes Freischleifen durchbrechender Zähne im Zuge des Zahnwechsels sowie die Beseitigung von Druckstellen. Um eine maximale Wirkung der Plattenapparatur zu erreichen ist es demnach von entscheidender Bedeutung sowohl das Drehprotokoll wie auch die Tragezeiten konsequent einzuhalten. Dann konnten sagittale Bewegungen von Zähnen durch eine gezielte Druckausübung beobachtet werden (Abbildung 15). Eine fehlerhafte Anwendung seitens der Eltern bzw. Kinder konnte ausgeschlossen werden, da am Studienort auf eine ausführliche Einweisung sowie regelmäßige Kontrolle des Drehvorganges geachtet wurde.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass alle kieferorthopädischen Behandlungsapparaturen die orofaziale Muskulatur, insbesondere die Zunge durch Einengung des Cavum Oris zumindest für die Dauer des Tragens beeinflussen. Das lässt sich bereits unmittelbar nach Eingliederung der Platte anhand von Sprechproblemen seitens der Patienten feststellen. Dieses Phänomen bestätigte ebenfalls Tränkmann (2004) anhand von in einer Studie aufgezeichneten Palatogrammen. So muss mit einer Adaptation von bis zu neun Monaten gerechnet werden. Die Gestaltung des Plattenkörpers übt hier entscheidenden Einfluss auf die Zungenfunktion aus. Demnach empfiehlt es sich, dass Plattenapparaturen im Oberkiefer palatinal ein raues Relief aufweisen und somit die Etablierung eines viszeralen Schluckmusters vermieden wird. Weiterhin sollten herausnehmbare Lückenhalter im Unterkiefer so filigran wie möglich gestaltet sein, damit eine Verdrängung der Zunge aus dem Mundbodenbereich verhindert werden kann.

Aufgrund des oben beschriebenen Studienverlaufs lassen sich folgende therapeutische Konsequenzen ableiten: Bei bereits stattgefundenener Lückeneinengung sollte zunächst mit

einer herausnehmbaren Apparatur der notwendige Platz für den bleibenden Nachfolger generiert werden. Da eine langfristige Compliance seitens der jungen Patientengruppe nur schwer aufrecht zu halten ist, empfiehlt die Autorin im Anschluss an diese „aktive“ Behandlungsphase als klassische Vorgehensweise das Einsetzen eines festsitzenden Lückenhalters.

5.3 Schlussfolgerung

Hinsichtlich der Funktionsfähigkeit zeigten beide Varianten des in der vorliegenden klinischen Untersuchung verwendeten Lückenhalters zufriedenstellende Ergebnisse. Bei den herausnehmbaren Lückenhaltern wurde zwischen intakt und anpassungsfähig unterschieden, da bei Studienteilnehmern, deren Dehnschraube beispielsweise korrigiert (= Zurückdrehen) werden musste, der Lückenthalter zwar intakt jedoch aufgrund einer mangelnden Passung nicht funktionsfähig war. Mit Blick auf die Langzeitprognose schneidet der festsitzende adhäsiv geklebte Lückenthalter besser ab, da er ein Compliance unabhängiges Verfahren zur Therapie von frühzeitigen Milchzahnverlusten darstellt. Weiterhin muss darauf verwiesen werden, dass bei den beobachteten Retentionsverlusten in der Gruppe der adhäsiv geklebten Lückenhaltern immer nur der Klebeverbund am mesialen Ankerzahn betroffen war und das auf den distal der Lücke begrenzenden Zahn geklebte Tube in keinem Fall locker war. Eine Wiederbefestigung des Steges war somit stets unproblematisch.

Aus den metrischen Erfassungen der Schalllücken ließ sich erkennen, dass in beiden Gruppen sehr gute Resultate erzielt werden können. Der Betrag der sagittalen Verkleinerung bei Studienteilnehmern mit dem festsitzenden adhäsiven Lückenthalter war vernachlässigbar klein. Es fanden sich hierbei positive Zusammenhänge zwischen der Verkleinerung der Lücke und dem Design des Verbindungssteges. Zur Erzielung konstanter sagittaler metrischer Werte sollte bei der Biegung des Verbindungssteges der distale Abschnitt stets 90 Grad betragen. Diese Erkenntnis ist von klinischer Relevanz.

Damit erfüllten sowohl der festsitzende adhäsive als auch der herausnehmbare Lückenthalter mit Dehnschraube gemäß der Hypothese ihre Eignung für eine langfristige Funktionsfähigkeit.

Zusammenfassend lässt sich anhand der durchgeführten Untersuchung schlussfolgern, dass das in dieser prospektiven Interventionsstudie verwendete festsitzende Lückenhalterdesign in Kombination mit der Adhäsivtechnik gute Behandlungsergebnisse erzielte und in Anbetracht der Resultate aus der klinischen Praxis ein neues, vielversprechendes Feld hinsichtlich des Managements von Lücken bei frühzeitigem Milchzahnverlust darstellt. Nichtsdestotrotz müssen weitere wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden, um sicher abklären zu können, wie effektiv und langzeitstabil dieses neue Lückenhalterdesign tatsächlich ist. Herausnehmbare Plattenapparaturen können ebenfalls empfohlen werden. Die Möglichkeiten und Grenzen dieser Behandlungsmethode hängen jedoch stark von der Apparatekonstruktion, Behandlerkompetenz und Patienten-Compliance ab, weshalb im Gegensatz zum festsitzenden Lückenhalter engmaschige Kontrollen empfohlen werden.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden, prospektiven Interventionsstudie war es die Funktionsfähigkeit (potentielles Versagen, Fehler, Misserfolge, Verluste) von adhäsiv geklebten und herausnehmbaren Lückenhaltern über ein Jahr zu analysieren. Des Weiteren sollten Informationen zu den Versorgungsnotwendigkeiten bzw. -realitäten (Zahngesundheit, Kariesstatus und Unterschiede bzgl. der Häufigkeit frühzeitiger Zahnverluste zwischen Mädchen und Jungen) generiert werden.

Die Methodik der Untersuchung orientierte sich an den CONSORT-Empfehlungen für randomisierte klinische Studien. Die anfängliche Studienpopulation setzte sich aus insgesamt 58 Probanden zusammen, welche nach drei ($n = 57$), sechs ($n = 57$) und zwölf Monaten ($n = 57$) nach Eingliederung des jeweiligen Lückenhalterdesign wiederholt untersucht wurde. Lediglich ein Proband schied im Laufe der Beobachtungsphase aus, was einer Ausfallrate von 1,7 % entspricht. Zu allen Kontrollterminen wurden sowohl die klinische Funktionalität als auch die metrische Dimension der offenzuhaltenden Lücke dokumentiert. Im Rahmen der Basisuntersuchung wurde zudem ein detaillierter Zahn- und Mundhygiene-Status erhoben. Die statistische Auswertung umfasste neben den typischen deskriptiven Auswertungen auch die Berechnung einer Überlebenszeitanalyse.

Im Zuge der einjährigen Untersuchungsphase konnten keine unerwünschten Nebenwirkungen oder Ereignisse während der Behandlung mit dem jeweiligen Lückenhalterdesign dokumentiert werden. Darauf basierend kann geschlussfolgert werden, dass deren Anwendung als klinisch unbedenklich zu beurteilen ist.

Das Retentionsverhalten zeigte innerhalb von 12 Monaten folgende Ergebnisse: Insgesamt waren 79,1 % der adhäsiv geklebten festsitzenden Lückenhalter als intakt zu beurteilen. Lediglich 9,5 % mussten am mesialen Ankerzahn wiederbefestigt werden und bei 11,4 % wurde der Verbindungssteg erneuert. Der Anteil intakter herausnehmbarer Lückenhalter betrug 74,4 %. Bei 8,6 % erfolgten Neuanfertigungen aufgrund von Plattenverlusten sowie bei 11,4 % aufgrund ungenügender Passung. 2,9 % bedurften einer Reparatur im Labor. Im Zuge der Studiendauer nahm ein Proband (2,8 %) mit herausnehmbaren Lückenhalter an der Untersuchung nicht mehr teil.

Die Ergebnisse der Metrikanalyse zeigten in der Gruppe der adhäsiv befestigten Lückenhalter stabile Lückensituationen. Die prozentuale Längenveränderung bzw. Lückenverkleinerung betrug lediglich -1,6 %. Bei Probanden, welche mit einem herausnehmbaren Lückenhalter mit Dehnschraube behandelt wurden, konnte eine prozentuale Vergrößerung von im Mittel 0,7 mm beobachtet werden. Das entsprach einer prozentualen Längenvergrößerung von 7,8 %.

7 Abstract (English)

The aim of this prospective intervention study was to analyse the functionality (potential appliance or treatment failures, errors, losses) of fixed (adhesively bonded) and removable space-maintaining appliances over one year. It also aimed to provide information on health status and health care needs (dental health, caries status and differences in the incidence of early tooth loss between girls and boys) were to be generated.

The study methodology followed the CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials) recommendations for randomised clinical trials. The initial study population consisted of 58 subjects, who were followed up at three (n = 57), six (n = 57), and twelve months (n = 57) after space maintainer placement. Only one subject withdrew from the study during the follow-up period, resulting in a drop-out rate of 1.7%. Clinical functionality and the dimensions of the space to be maintained were documented at all follow-up visits. A detailed dental and oral hygiene status was also obtained at the baseline examination. Statistical tools used included a survival time analysis in addition to the typical descriptive analyses.

Over the one-year study period, no adverse events were documented during treatment with either type of space maintainer. It can therefore be concluded that their use can be considered clinically safe.

In terms of overall retention during the twelve-month observation period, 79.1% of the adhesively bonded fixed space maintainers were found to be intact. Only 9.5% required reattachment to the mesial abutment. The connecting bar was replaced in 11.4% of cases. The percentage of functional removable space maintainers was 74.4%. A new appliance had to be fabricated in 8.6% of cases due to plate loss and in 11.4% due to poor fit. 2.9% of the

appliances required laboratory repair. One subject (2.8%) with a removable space maintainer was lost to follow-up during the study period.

The results of the dimensional analysis showed stable space dimensions in the group of adhesively bonded space maintainers. The decrease in length, or space reduction, was only 1.6%. In subjects treated with a removable space maintainer with expansion screw, an average increase of 0.7 mm was observed, corresponding to an increase in length of 7.8%.

8 Literaturverzeichnis

Ahmad AJ, Parekh S, Ashley PF. Methods of space maintenance for premature loss of primary molar: a review. *European Archives of Paediatric Dentistry* 19 (2018) 311-320.

Alazmah A. Early childhood caries: a review. *Journal of Contemporary Dental Practice* 18 (2017) 732-737.

Bansal M. Reasons for extraction in primary teeth among 5-12 years school children in Haryana, India – A cross- sectional study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 9 (2017) 545-549.

Bundeszahnärztekammer (BZÄK), Kassenzahnärztliche Vereinigung (KZBV). Frühkindliche Karies vermeiden - Ein Konzept zur zahnmedizinischen Prävention bei Kleinkindern (2014).

Colak H, Dülgergil CT. Early childhood caries update: A review of causes, diagnoses, and treatments. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine* 4 (2013) 29-38.

Deshpande SS, Bendgude DV, Kokkali VV. Survival of Bonded Space Maintainers: A Systematic Review. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 5 (2018) 440-445.

Enlow DH. Wachstum und Entwicklung der Gesichtsstrukturen. Schmuth G, Vardimon AD. Kieferorthopädie. Stuttgart: Thieme, (1994) 19-32.

Faheemuddin A. Space maintainer for avulsed incisors. *Pakistan Oral & Dental Journal* 32 (2012) 348-350.

Fathian M, Kennedy DB, Nouri MR. Laboratory-made space maintainers: a 7-year retrospective study from private pediatric dental practice. *Pediatric Dentistry Journal* 29 (2007) 500-506.

Filippi A, Krastl G. Traumatologie im Milch- und Wechselgebiss. *Quintessenz* 58 (2007) 739-752.

Garg A, Samadi F, Jaiswal JN, Saha S. Metal to resin: a comparative evaluation of conventional band and loop space maintainer with the fiber reinforced composite resin space maintainer in children. *Journal of the Indian Society Pedodontics and Preventive Dentistry* 32 (2014) 111-116.

Gegenheimer R, Donly KJ. Distal shoe: a cost effective maintainer for primary second molars. *Pediatric Dentistry* 14 (1992) 268-269.

Geyer S, Cholmakow-Bodechtel C, Füßl-Grünig E, Hertrampf K, Hoffmann T, Holtfreter B, Jordan AR, Micheelis W, Nitschke I. Fünfte Deutsche Mund-gesundheits-studie. *Journal of Dentistry* (2016).

Hall-Scullin E, Whitehead H, Milsom K, Tickle M, Su TL, Walsh T. Longitudinal Study of Caries Development from Childhood to Adolescence. *Journal of dental research* 96 (2017) 762-767.

Harzer W, Hetzer G, Huth K. Indikation und Gestaltung von Lückenhaltern nach vorzeitigem Milchzahnverlust. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 59 (2004) 358-359.

Haavikko K. The formation and the alveolar and clinical eruption of the permanent teeth. An orthopantomographic study. Thesis, Helsinki. Suomen Hammaslaakariseuran Toimituksia 66 (1970) 103-170.

Hespe K. Gibt es noch eine Akzeleration der zweiten Dentition in einer grossstädtischen Bevölkerung? Medizinische Dissertation Frankfurt am Main (1983).

Hill CJ, Sorenson HW, Mink JR. Space maintenance in a child dental care program. *The Journal of the American Dental Association* 90 (1975) 811-815.

Hirsch C, Blechschmidt B, Kleeberg L. Risikofaktoren für das Nursing-Bottle-Syndrom. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkunde* 22 (2000) 103-109.

Hotz R. Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen; Thieme Verlag, Stuttgart (1981).

Hurme VO. Ranges of normalcy in the eruption of permanent teeth. *Journal of Dentistry for Children* 16 (1949) 11-15.

Jordan AR, Micheelis W. Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). Deutscher Zahnärzterverlag DÄV (2016).

Kallio P. Self-assessed bleeding in monitoring gingival health among adolescents. *Community Dentistry and Oral Epidemiology* 24 (1996) 128-132.

Kamki H, Kalaskar R, Balasubramanian S, Badhe H, Kalaskar A. Clinical Effectiveness of Fiber-reinforced Composite Space Maintainer and Band and Loop Space Maintainer in a Pediatric Patient: A Systematic Review and Meta-analysis. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 14 (2021) 82-93.

Kargul B, Caglar E, Kabalay U. Glass fiber-reinforced composite resin as fixed space maintainers in children: 12-month clinical follow-up. *Journal of Dentistry for Children* 72 (2005) 109-112.

Kassebaum NJ, Bernabé E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJL, Marcenes W. Global Burden of Untreated Caries: A Systematic Review and Metaregression. *Journal of Dental Research* 94 (2015) 650-658.

Kawashita Y, Kitamura M, Saito T. Early Childhood Caries. *International Journal of Dentistry* (2011) 1-7.

Khanna S, Rao D, Panwar S, Pawar BA, Ameen S. 3D Printed Band and Loop Space Maintainer: A Digital Game Changer in Preventive Orthodontics. *The Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 45 (2021) 147-151.

Kirzioğlu Z, Ertürk MS. Success of reinforced fiber material space maintainers. *Journal of Dentistry for Children* 71 (2004) 158-162.

Klein H, Palmer C. Studies on dental caries. *Public Health Reports* 53 (1938) 1353-1364.

Koch G, Helkimo AN, Ullbro C. Caries prevalence and distribution in individuals aged 3-20 years in Jönköping, Sweden: trends over 40 years. *European Archives of the Paediatric Dentistry* 18 (2017) 363-370.

Kühnisch J, Reichl FX, Heinrich-Weltzien R. S3-Leitlinie „Fissuren- und Grübchenversiegelung“. *Der junge Zahnarzt* 8 (2017) 35-38.

Kühnisch J, Goddon I, Berger S, Senkel H, Bücher K, Oehme T, Hickel R, Heinrich-Weltzien R. Development, methodology and potential of the new Universal Visual Scoring System (UniViSS) for caries detection and diagnosis. *International journal of environmental research and public health*, 9 (2009) 2500-2509.

Laing E, Ashley P, Naini FB. Space maintenance. *International Journal of Paediatric Dentistry* 19 (2009) 155-162.

Lisson JA. Kieferorthopädische Behandlung mit Plattenapparaturen – Möglichkeiten und Grenzen. *Quintessenz Zahnmedizin* 10 (2022) 938-947.

Littlewood SJ, Tait AG, Mandall NA, Lewis DH. The role of removable appliances in contemporary orthodontics. *British Dental Journal* 191 (2001) 304-310.

Lin YT, Lin WH. Twelve-month space changes after premature loss of primary maxillary first molar. *International Journal of Paediatric Dentistry* 21 (2011) 161-166.

Löe H. The Gingival Index, the Plaque Index and the Retention Index Systems. *Journal of periodontology* (38) (1967) 610-616.

Macena MC, Tornisiello Katz CR, Heimer MV. Space changes after premature loss of deciduous molars among Brazilian children. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 140 (2011) 771-778.

Meyer F, Enax J. Hydroyapatite in Oral Biofilm Management. *European Journal of Dentistry* 13 (2019) 287-290.

Moorrees CFA. Growth changes of the dental arches – a longitudinal study. *Journal of the Canadian Dental Association* 24 (1958) 449-457.

Negi KS. Niti bonded space regainer/maintainer. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry* 28 (2010) 113-115.

Nötzel F, Schultz C. Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik. Deutscher Zahnärzterverlag Köln 1. Auflage (2001).

Norton LA, Wickwire NA, Gellin ME. Space management in the mixed dentition. *Journal of Dentistry for Children* 42 (1975) 112-118.

Palmer RM, Lumsden AGS. Development of periodontal ligament and alveolar bone in homografted recombinations of enamel organs and papillary, pulpal and follicular mesenchyme in the mouse. *Archives of Oral Biology* 32 (1987) 281-289.

Pawar BA. Maintenance of space by innovative three-dimensional-printed band and loop space maintainer. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry* 37 (2019) 205-208.

Pieper K. Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe. Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege (DAJ) Bonn (2009).

Proffit WR. Treatment of nonskeletal problems in preadolescent children. *Contemporary Orthodontics*. The CV Mosby Company (1986) 312-353.

Qudeimat MA, Sasa IS. Clinical success and longevity of band and loop compared to crown and loop space maintainers. *European Archives of Paediatric Dentistry* 16 (2015) 391-396.

Rajab LD. Clinical performance and survival of space maintainers: evaluation over a period of 5 years. *ASDC Journal of Dentistry for Children* 69 (2002) 156-160.

Ramakrishnan M, Dhanalakshmi R, Subramanian EMG. Survival rate of different fixed posterior space maintainers used in Paediatric Dentistry - A systematic review. *The Saudi Dental Journal* 31 (2019) 165-172.

Robert Koch-Institut, Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung. *Mundhygiene und Kariesprophylaxe* (2008).

Rosenauer T, Wagenschwanz C, Kuhn M, Kensche A, Stiehl S, Hannig C. The Bleeding on Brushing Index: a novel index in preventive dentistry. *International Dental Journal* 67 (2017) 299-307.

Salbach A, Schremmer B, Grabowski R, Stahl de Castrillon F. Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Durchbruchstörungen bei 6-Jahrmolaren und dem Vorkommen von Gebissanomalien im frühen Wechselgebiss. *Journal of Orofacial Orthopedics* 73 (2012) 298-306.

Sasa IS, Hasan AA, Qudeimat MA. Longevity of Band and Loop Space Maintainers Using Glass Ionomer Cement: A Prospective Study. *European Archives of Paediatric Dentistry* 10 (2009) 6-10.

Schatz JP, Joho JP. A retrospective study of dento-alveolar injuries. *Dental Traumatology* 10 (1994) 11-14.

Schopf P, *Curriculum Kieferorthopädie Band 1* (2008).

Schumacher GH. *Odontographie: Anatomie der Zähne und des Gebisses*. Hüthig (1983).

Schwarz AM. *Gebißregelung mit Platte*. Urban& Schwarzenberg (1938).

Schwindling FP. *Orthodontie verstehen – Ein Biomechanikatlas*. Edition Schwindling (2017).

Setia V, Pandit IK, Srivastava N, Gugnani N, Sekhon HK. Space maintainers in dentistry: past to present. *Journal of Clinical Diagnostic Research* 10 (2013) 2402-2405.

Setia V, Kumar Pandit I, Srivastava N, Gugnani N, Gupta M. Banded vs Bonded Space Maintainers: Finding Better Way Out. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 7 (2014) 97-104.

Sillman JH. Dimensional changes of the dental arches: Longitudinal study from birth to 25 years; *American Journal of Orthodontics* 50 (1964) 824-842.

Simsek S, Yilmaz Y, Gurbuz T. Clinical evaluation of simple fixed space maintainers bonded with flow composite resin. *Journal of Dentistry for Children* 71 (2004) 163-168.

Spasov A. Zeitpunkt und Möglichkeiten kieferorthopädischer Interventionen im Kindesalter. *ZWR Das Deutsche Zahnärzteblatt* 120 (2011) 620-626.

Splieth CH, Heyduck C. Gruppenprophylaxe nach dem Caries Decline, Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde 28 (2006) 60-64.

Splieth CH, Christiansen J, Page LAF. Caries Epidemiology and Community Dentsity: Chances for Future Improvements in Caries Risk Groups. Outcomes of the ORCA Saturday Afternoon Symposium, Greifswald, 2014. Part 1, *Caries Research* 50 (2016) 9-16.

Steffen R, van Waes H. Undermining Resorption - Ectopic Eruption of the First Molar: Two Concepts – One Problem. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopie* 45 (2013) 227-234.

Subramaniam P, Babu G, Sunny R. Glass fiber-reinforced composite resin as a space maintainer: a clinical study. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry* 26 (2008) 98-103.

Swaine TJ, Wright GZ. Direct bonding applied to space maintenance. *ASDC Journal of Dentistry for Children* 43 (1976) 401-405.

Tantawi ME, Folayan MO, Mehaina M, Vukovic A, Castillo JL, Gaffar BO, Arheiam A,

Al-Batayneh OB, Kemoli AM, Schroth RJ, Lee GHM. Prevalence and Data Availability of Early Childhood Caries in 193 United Nations Countries, 2007-2017. *American Journal of Public Health* 108 (2018) 1066-1072.

Tinanoff N; Introduction to the Early Childhood Caries Conference: initial description and current understanding. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 26 (1998) 5-7.

Tränkmann J. Kieferorthopädische Behandlungsapparaturen und Zungenfunktionen. *Praktische Kieferorthopädie* 18 (2004) 207-214.

Treuner A, Basel MA, Splieth CH. Extraktion und Lückenhalter im Milchgebiss - wann und wie? *Quintessenz* 64 (2013) 187-194.

Treuner A, Splieth H C. Gebissdestruktion im Kleinkindalter – Frühkindliche Karies – Fakten und Prävention, *Zahnärztliche Mitteilungen* 17 (2013) 44-51.

Tunc ES, Bayrak S Tuloglu N, Egilmez T, Isci D. Evaluation of survival of 3 different fixed space maintainers. *Pediatric Dentistry* 34 (2012) 97-102.

Tunison W, Flores-Mir C, El Badrawy H, Nassar U, El-Bialy T. Dental arch space changes following premature loss or primary first molars: a systematic review. *Pediatric Dentistry* 30 (2008) 297-302.

Tyagi M, Rana V, Srivastava N, Kaushik N, Moirangthem E, Gaur V. Comparison of the Conventional Band and Loop Space Maintainers with Modified Space Maintainers: A Split-mouth Randomized Clinical Trial. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 14 (2021) 63-68.

Uebereck C, Kühnisch J, Michel R, Taschner M, Frankenberger R, Krämer N. Zahngesundheit bayerischer Schulkinder 2015/16. *Oralprophylaxe Kinderzahnheilkunde* 39 (2017) 161-171.

Van Waes H, Hubertus JM. *Farbatlant der Zahnmedizin: Kinderzahnmedizin* (2001).

Van der Linden FPGM, Duterloo HS. Die Entwicklung des menschlichen Gebisses. Ein Atlas. Quintessenz-Verlags-GmbH (1980).

Vigliansi A. Effects of lingual arch used as space maintainer on mandibular arch dimension: a systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 138 (2010) 382-383.

Vinothini V, Sanguida A, Selvabalaji A, Prathima GS, Kavitha M. Functional Band and Loop Space Maintainers in Children. *Case Reports in Dentistry* 2019 (2019) 1-4.

Yilmaz Y, Kocogullari ME, Belduz N. Fixed space maintainers combined with open-face stainless steel crowns. *Journal of Contemporary Dental Practice* 7 (2006) 95-103.

Yoshikawa DK. Biomechanical principles of tooth movement. *Dental Clinics of North America* 25 (1981) 19-26.

Zilberman O, Huggare J, Parikakis KA. Evaluation of the Validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *The Angle Orthodontist* 73 (2003) 301-306.

9 Abkürzungsverzeichnis

WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization)
DMS	Deutsche Mundgesundheitsstudie
DAJ	Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V.
EAPD	European Academy of Pediatric Dentistry
dmft	Zahnbezogener Kariesindex (Milchgebiss)
dmfs	Zahnflächenbezogener Kariesindex (Milchgebiss)
DMFT	Zahnbezogener Kariesindex (bleibendes Gebiss)
DMFS	Zahnflächenbezogener Kariesindex (bleibendes Gebiss)
T	Zahn
S	Zahnfläche
UniViSS-T	Zahnbezogene Erfassung nicht kavittierter kariöser Läsionen
UniViSS-S	Zahnflächenbezogene Erfassung nicht kavittierter kariöser Läsionen

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Klinische Situation einer 4-Jährigen Patientin mit frühkindlicher Karies....	5
Abbildung 2:	Darstellung verschiedener Möglichkeiten des Platzverlustes infolge eines vorzeitigen Milchzahnverlustes. Die Situation wird zudem durch den Verlust des bleibenden Molaren 36 und des bevorstehenden Verlustes des Molaren 46 verkompliziert	8
Abbildung 3:	Individualisierter festsitzender Lückenhalter.....	17
Abbildung 4:	Herausnehmbarer Lückenhalter im UK und OK	17
Abbildung 5:	Verteilungsmuster der Probanden nach Alter	22
Abbildung 6:	Verteilungsmuster der Probanden nach Geschlecht.....	22
Abbildung 7:	UniViss für Okklusalflächen (Kühnisch J <i>et al.</i> 2009, Creative Common CC BY license).....	27
Abbildung 8:	Das Foto zeigt die richtige horizontal-vertikale Position des geklebten Molarentubes.....	29
Abbildung 9:	Das Foto zeigt den distalen Abschnitt des individuell gebogenen Lückenhalters	29
Abbildung 10:	Das Anpassen der Länge wird bei eingesetzten Lückenhalter vorgenommen. An der markierten Stelle wurde der Bogen mit der abgerundeten Seite der Bird Beak Zange nach kranial gebogen. Der horizontal verlaufende Steg (1) sollte bei eingesetztem Lückenhalter nun annähernd parallel zur Okklusionsebene verlaufen.....	30
Abbildung 11:	Darstellung der In- und Offsetbiegungen.....	31
Abbildung 12:	Eingesetzter Lückenhalter. Das distale Ende wurde nach dem Molarenröhrchen scharf umgebogen. Der mesiale Anteil wurde mit Komposit direkt auf den Zahn geklebt.....	31
Abbildung 13:	Gipsmodell mit gebogenen Adamsklammern nach Tenti (0,7 mm fh) und okklusalen Auflagen (0,8 mm fh) an den 6-Jahresmolaren, sowie C-Klammern (0,8 mm fh) an den restlichen Zähnen. Da im 4. Quadranten bereits Mesialwanderungen stattgefunden hatten, wurde zusätzlich in Regio 84 eine Mini-Dehnschraube zur Lückenöffnung verwendet.....	32
Abbildung 14:	getrimmtes Kiefermodell mit den Orientierungsebenen Raphemedianebene (1), Tuberebene (2) und Kaubene (3).....	34

Abbildung 15:	Behandlungsverlauf eines mit einem herausnehmbaren Lückenhalter (Dehnschraube) behandelten Oberkiefers zur Distalisierung von 16 (weiß: Anfangsmodell; grau: Schlussmodell nach 12 Monaten Beobachtungszeit)	34
Abbildung 16:	eingescanntes Ober- und Unterkiefermodell mit dargestellter Stützzone	35
Abbildung 17:	Verteilung der aufgrund von Karies extrahierten Milchzähne in der Studienpopulation	38
Abbildung 18:	Flow-Diagramm für die Studienpopulation	38
Abbildung 19:	Grafische Darstellung der Überlebensrate des adhäsiven festsitzenden Lückenhalters	42

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Durchbruchzeiten nach Hotz (1981)	9
Tabelle 2:	Übersicht der verwendeten Produkte	28
Tabelle 3:	Übersicht der Studienpopulation zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten (T0: Baseline-Untersuchung, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline, T3: 12 ± 1 Monate nach Baseline)	37
Tabelle 4:	Darstellung der Studienpopulation	37
Tabelle 5:	Charakterisierung der Studienpopulation zum Untersuchungszeitpunkt (T0) hinsichtlich des Plaquebefalls und der Sulkusblutung	39
Tabelle 6:	Charakterisierung der Studienpopulation zum Untersuchungszeitpunkt (T0) hinsichtlich des Kariesbefalls	40
Tabelle 7:	Funktionsfähigkeit des festsitzenden adhäsiven LH in Abhängigkeit von dem Kontrollzeitpunkt (T0: Kleben des LH bzw. Baseline-Untersuchung, T1: 3 ± 1 Monat nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monat nach Baseline, T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)	41
Tabelle 8:	Funktionsfähigkeit des herausnehmbaren LH mit Dehnschraube in Abhängigkeit von dem Kontrollzeitpunkt (T0: Eingliederung des LH, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline; T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)	42

Tabelle 9:	Metrische Erfassung der Schaltlücke in Abhängigkeit des Kontrollzeitpunkt (T0: Eingliederung des LH, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline; T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)44
Tabelle 10:	Metrische Erfassung der Schaltlücke in Abhängigkeit des Kontrollzeitpunkt (T0: Eingliederung des LH, T1: 3 ± 1 Monate nach Baseline, T2: 6 ± 1 Monate nach Baseline; T3: 12 Monate ± 1 Monat nach Baseline)45

12 Anhang

Probandennummer:

Name: _____

3-Monats-Recall

Untersuchungszeitraum / /20__ bis / /20__

(3 ± 1 Monate nach Baseline)

Geplantes Untersuchungsdatum

6-Monats-Recall

Untersuchungszeitraum / /20__ bis / /20__

(6 ± 1 Monate nach Baseline)

Geplantes Untersuchungsdatum

12-Monats-Recall

Untersuchungszeitraum / /20__ bis / /20__

(12 ± 1 Monate nach Baseline)

Geplantes Untersuchungsdatum

24-Monats-Recall

Untersuchungszeitraum / /20__ bis / /20__

(24 ± 2 Monate nach Baseline)

Geplantes Untersuchungsdatum

Probandennummer:

Prüfbogen

„Klinische Evaluierung verschiedener Lückenhalter nach vorzeitigem Milchzahnverlust“

Probandennummer:

Patienten-Screening

Geburtsdatum (MM-YYYY) **Geschlecht** (1-männlich/ 2-weiblich)

Einschlusskriterien

- 3- bis 10-jähriger Patient mit mindestens einer
Schalt- bzw. Frendlücke **Ja** **Nein**
- Extraktion des fehlenden Zahnes bzw. der fehlenden Zähne
aufgrund von Karies **Ja** **Nein**
- Eltern können Einverständnis geben **Ja** **Nein**
- Patient kann Einverständnis geben **Ja** **Nein**

Ausschlusskriterien

- Patient hat Aplasien bzw. multiple Nichtanlagen **Ja** **Nein**
- Patient mit ektodermaler Dysplasie **Ja** **Nein**
- Patient mit vorzeitigem Verlust eines bleibenden Zahnes **Ja** **Nein**
- Entspricht der Patient den Ein- u. Ausschlusskriterien** **Ja** **Nein**
- Patient ist einschlussfähig** **Ja** **Nein**

Datum des Einverständnisses (DD-MM-YYYY):

Probandennummer:

Mundhygiene-Status

Zahn	Status	Oberkiefer		Zahn	Status	Unterkiefer	
		Plaque	PSI			Plaque	PSI
1-7	U	-	-	3-7	U	-	-
1-6				3-6			
1-5				3-5			
1-4				3-4			
1-3				3-3			
1-2				3-2			
1-1				3-1			
2-1				4-1			
2-2				4-2			
2-3				4-3			
2-4				4-4			
2-5				4-5			
2-6				4-6			
2-7	U	-	-	4-7	U	-	-

Status

P	Milchzahn vorhanden
Leer	Bleibender Zahn vorhanden
U	Zahn noch nicht durchgebrochen
E	Kariesbedingte Extraktion
M	Extraktion aufgrund anderer Gründe (z.B. Kfo)

Gingivitis & Parodontitis (PSI)

0	Gesundes Parodontium. Kein Zahnstein, keine Blutung, keine Sondierungstiefe >4mm (PSI = 0)
1	Kein Zahnstein, Sulkusblutung auf Reiz (PSI = 1)
2	Zahnstein vorhanden, Sondierungstiefe <4mm (PSI = 2)
X	Ausgeschlossen

Plaque-Scoring

0	Keine Plaque vorhanden
1	Plaque vorhanden

Probandennummer:

Professionelle Zahnreinigung

Versorgungsstatus (WHO 2013)

Zahn	Status	Oberkiefer					Zahn	Status	Unterkiefer				
		Occ	Mesial	Bucc	Distal	Pal			Occ	Mesial	Bucc	Distal	Ling
1-7	U	-	-	-	-	-	3-7	U	-	-	-	-	-
1-6							3-6						
1-5							3-5						
1-4							3-4						
1-3		-					3-3		-				
1-2		-					3-2		-				
1-1		-					3-1		-				
2-1		-					4-1		-				
2-2		-					4-2		-				
2-3		-					4-3		-				
2-4							4-4						
2-5							4-5						
2-6							4-6						
2-7	U	-	-	-	-	-	4-7	U	-	-	-	-	-

Status

P	Milchzahn vorhanden
Leer	Bleibender Zahn vorhanden
U	Zahn noch nicht durchgebrochen
E	Kariesbedingte Extraktion
M	Extraktion aufgrund anderer Gründe (z.B. Kfo)

Zahnflächenbezogene Diagnosen

Leer	Gesund und nicht restauriert
F	Suffiziente Füllung aufgrund von Karies
Y	Füllung mit Sekundärkaries
C	Krone aufgrund von Karies
Q	Krone mit Sekundärkaries
T	Zahnfläche durch einen Unfall betroffen
X	Ausschluss, nicht beurteilbar

Probandennummer:

Kariesstatus (UniViSS 2.0)

Zahn	Status	Oberkiefer					Zahn	Status	Unterkiefer				
		Occ	Mesial	Bucc	Distal	Pal			Occ	Mesial	Bucc	Distal	Ling
1-7	U	-	-	-	-	-	3-7	U	-	-	-	-	-
1-6							3-6						
1-5							3-5						
1-4							3-4						
1-3		-					3-3		-				
1-2		-					3-2		-				
1-1		-					3-1		-				
2-1		-					4-1		-				
2-2		-					4-2		-				
2-3		-					4-3		-				
2-4							4-4						
2-5							4-5						
2-6							4-6						
2-7	U	-	-	-	-	-	4-7	U	-	-	-	-	-

Status

P	Milchzahn vorhanden
Leer	Bleibender Zahn vorhanden
U	Zahn noch nicht durchgebrochen
E	Kariesbedingte Extraktion
M	Extraktion aufgrund anderer Gründe (z.B. Kfo)

Zahnflächenbezogene Diagnosen

0	Gesund
1	Kariesvorstufe = nicht kavitierte Läsion
2	Kavitation

Prä-operative, intraorale Fotos

Prä-operativer Alginateabdruck von OK und UK

Auswahl, Anpassung und Einsetzen des indizierten Lückenhalters

Post-operative, intraorale Fotos

Probandennummer:

Lücke & Lückenhalter 1/ Region

Datum Zahnverlust (DD-MM-YYYY)
Datum der Eingliederung des LH (DD-MM-YYYY)
Typ Lückenhalter 1 - Festsitzender konfektionierter LH (Denovo)/ 2 - Festsitzender, adhäsiver LH/ 3 - Herausnehmbarer LH ohne Dehnschraube/ 4 - Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube
Lückentyp 1 - Schaltlücke/ 2 - Freundlücke
Lokalisation 1 - OK/ 2 - UK
Anzahl der ersetzten Zähne N
Ersetzte Zähne

Lücke & Lückenhalter 2/ Region

Datum Zahnverlust (DD-MM-YYYY)
Datum der Eingliederung des LH (DD-MM-YYYY)
Typ Lückenhalter 1 - Festsitzender konfektionierter LH (Denovo)/ 2 - Festsitzender, adhäsiver LH/ 3 - Herausnehmbarer LH ohne Dehnschraube/ 4 - Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube
Lückentyp 1 - Schaltlücke/ 2 - Freundlücke
Lokalisation 1 - OK/ 2 - UK
Anzahl der ersetzten Zähne N
Ersetzte Zähne

Lücke & Lückenhalter 3/ Region

Datum Zahnverlust (DD-MM-YYYY)
Datum der Eingliederung des LH (DD-MM-YYYY)
Typ Lückenhalter 1 - Festsitzender konfektionierter LH (Denovo)/ 2 - Festsitzender, adhäsiver LH/ 3 - Herausnehmbarer LH ohne Dehnschraube/ 4 - Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube
Lückentyp 1 - Schaltlücke/ 2 - Freundlücke
Lokalisation 1 - OK/ 2 - UK
Anzahl der ersetzten Zähne N
Ersetzte Zähne

Probandennummer: **Lücke & Lückenhalter 4/** Region

Datum Zahnverlust (DD-MM-YYYY)
Datum der Eingliederung des LH (DD-MM-YYYY)
Typ Lückenhalter 1 - Festsitzender konfektionierter LH (Denovo)/ 2 - Festsitzender, adhäsiver LH/ 3 - Herausnehmbarer LH ohne Dehnschraube/ 4 - Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube
Lückentyp 1 - Schaltlücke/ 2 - Freundlücke
Lokalisation 1 - OK/ 2 - UK
Anzahl der ersetzten Zähne N
Ersetzte Zähne

Lücke & Lückenhalter 5/ Region

Datum Zahnverlust (DD-MM-YYYY)
Datum der Eingliederung des LH (DD-MM-YYYY)
Typ Lückenhalter 1 - Festsitzender konfektionierter LH (Denovo)/ 2 - Festsitzender, adhäsiver LH/ 3 - Herausnehmbarer LH ohne Dehnschraube/ 4 - Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube
Lückentyp 1 - Schaltlücke/ 2 - Freundlücke
Lokalisation 1 - OK/ 2 - UK
Anzahl der ersetzten Zähne N
Ersetzte Zähne

Lücke & Lückenhalter 6/ Region

Datum Zahnverlust (DD-MM-YYYY)
Datum der Eingliederung des LH (DD-MM-YYYY)
Typ Lückenhalter 1 - Festsitzender konfektionierter LH (Denovo)/ 2 - Festsitzender, adhäsiver LH/ 3 - Herausnehmbarer LH ohne Dehnschraube/ 4 - Herausnehmbarer LH mit Dehnschraube
Lückentyp 1 - Schaltlücke/ 2 - Freundlücke
Lokalisation 1 - OK/ 2 - UK
Anzahl der ersetzten Zähne N
Ersetzte Zähne

Probandennummer:

Monitoring Lücke 1

Alginatabdruck, intraorale Fotos

Klinische Evaluation

Region	Baseline	6 Monate	12 Monate	24 Monate
Retention <small>1 - Vorhanden/ 2 - Vorhanden, jedoch insuffizient/ 3 - Nicht mehr vorhanden</small>	-			
Food Impaction	-			
Karies an lückenbegrenzenden Zähnen	-			
Tragweise Prothese <small>0 – Gar nicht bzw. selten/ 2 - Tags/ 3 – Tag & Nacht/ 4 - Nachts</small>				
Verlust Prothese				
Bruch Prothesebasis				
Bruch/ Verlust eines Prothesenzahnes				
Prothese passt nicht (mehr)				
Aktivierung von Halteklammern				
Korrektur Dehnschraube				
Reparatur im Labor				
Neuanfertigung				
Verlust des fests. Lückenhalters				
De-Zementierung des fests. LH				
Abrutschen des fests. LH nach gingival				
Wiederbefestigung				
Neuanfertigung				

Modellarchivierung

Probandnummer:

Monitoring Lücke 2

1.1.1 Alginatabdruck, intraorale Fotos

Klinische Evaluation

<i>Region</i>	Baseline	6 Monate	12 Monate	24 Monate
Retention <small>1 - Vorhanden/ 2 - Vorhanden, jedoch insuffizient/ 3 - Nicht mehr vorhanden</small>	-			
Food Impaction	-			
Karies an lückenbegrenzenden Zähnen	-			
Trageweise Prothese <small>0 - Gar nicht bzw. selten/ 2 - Tags/ 3 - Tag & Nacht/ 4 - Nachts</small>				
Verlust Prothese				
Bruch Prothesenbasis				
Bruch/ Verlust eines Prothesenzahnes				
Prothese passt nicht (mehr)				
Aktivierung von Halteklammern				
Korrektur Dehnschraube				
Reparatur im Labor				
Neuanfertigung				
Verlust des fests. Lückenhalters				
De-Zementierung des fests. LH				
Abrutschen des fests. LH nach gingival				
Wiederbefestigung				
Neuanfertigung				

Modellarchivierung

Probandnummer:

Monitoring Lücke 3

Alginatabdruck, intraorale Fotos

Klinische Evaluation

Region	Baseline	6 Monate	12 Monate	24 Monate
Retention <small>1 - Vorhanden/ 2 - Vorhanden, jedoch insuffizient/ 3 - Nicht mehr vorhanden</small>	-			
Food Impaction	-			
Karies an lückenbegrenzenden Zähnen	-			
Trageweise Prothese <small>0 - Gar nicht bzw. selten/ 2 - Tags/ 3 - Tag & Nacht/ 4 - Nachts</small>				
Verlust Prothese				
Bruch Prothesenbasis				
Bruch/ Verlust eines Prothesenzahnes				
Prothese passt nicht (mehr)				
Aktivierung von Halteklammern				
Korrektur Dehnschraube				
Reparatur im Labor				
Neuanfertigung				
Verlust des festen. Lückenhalters				
De-Zementierung des festen. LH				
Abrutschen des festen. LH nach gingival				
Wiederbefestigung				
Neuanfertigung				

Modellarchivierung

Probandnummer:

Monitoring Lücke 4

Alginatabdruck, intraorale Fotos

Klinische Evaluation

Region	Baseline	6 Monate	12 Monate	24 Monate
Retention <small>1 - Vorhanden/ 2 - Vorhanden, jedoch insuffizient/ 3 - Nicht mehr vorhanden</small>	-			
Food Impaction	-			
Karies an lückenbegrenzenden Zähnen	-			
Trageweise Prothese <small>0 – Gar nicht bzw. selten/ 2 - Tags/ 3 – Tag & Nacht/ 4 - Nachts</small>				
Verlust Prothese				
Bruch Prothesebasis				
Bruch/ Verlust eines Prothesenzahnes				
Prothese passt nicht (mehr)				
Aktivierung von Halteklammern				
Korrektur Dehnschraube				
Reparatur im Labor				
Neuanfertigung				
Verlust des festen. Lückenhalters				
De-Zementierung des festen. LH				
Abrutschen des festen. LH nach gingival				
Wiederbefestigung				
Neuanfertigung				

Modellarchivierung

Probandnummer:

Monitoring Lücke 5

Alginatabdruck, intraorale Fotos

Klinische Evaluation

Region	Baseline	6 Monate	12 Monate	24 Monate
Retention <small>1 - Vorhanden/ 2 - Vorhanden, jedoch insuffizient/ 3 - Nicht mehr vorhanden</small>	-			
Food Impaction	-			
Karies an lückenbegrenzenden Zähnen	-			
Trageweise Prothese <small>0 - Gar nicht bzw. selten/ 2 - Tags/ 3 - Tag & Nacht/ 4 - Nachts</small>				
Verlust Prothese				
Bruch Prothesenbasis				
Bruch/ Verlust eines Prothesenzahnes				
Prothese passt nicht (mehr)				
Aktivierung von Halteklammern				
Korrektur Dehnschraube				
Reparatur im Labor				
Neuanfertigung				
Verlust des festen. Lückenhalters				
De-Zementierung des festen. LH				
Abrutschen des festen. LH nach gingival				
Wiederbefestigung				
Neuanfertigung				

Modellarchivierung

Probandennummer:

Monitoring Lücke 6

Alginatabdruck, intraorale Fotos

Klinische Evaluation

Region	Baseline	6 Monate	12 Monate	24 Monate
Retention <small>1 - Vorhanden/ 2 - Vorhanden, jedoch insuffizient/ 3 - Nicht mehr vorhanden</small>	-			
Food Impaction	-			
Karies an lückenbegrenzenden Zähnen	-			
Trageweise Prothese <small>0 - Gar nicht bzw. selten/ 2 - Tags/ 3 - Tag & Nacht/ 4 - Nachts</small>				
Verlust Prothese				
Bruch Prothesenbasis				
Bruch/ Verlust eines Prothesenzahnes				
Prothese passt nicht (mehr)				
Aktivierung von Halteklammern				
Korrektur Dehnschraube				
Reparatur im Labor				
Neuanfertigung				
Verlust des festen. Lückenhalters				
De-Zementierung des festen. LH				
Abrutschen des festen. LH nach gingival				
Wiederbefestigung				
Neuanfertigung				

Modellarchivierung

Probandnummer:

Modellanalyse

	Baseline	6 Monate	12 Monate	24 Monate
Lücke 1				
Lücke 1/ Kontrolle				
Lücke 2				
Lücke 2/ Kontrolle				
Lücke 3				
Lücke 3/ Kontrolle				
Lücke 4				
Lücke 4/ Kontrolle				
Lücke 5				
Lücke 5/ Kontrolle				
Lücke 6				
Lücke 6/ Kontrolle				

13 Publikationsliste

Ackermann A, Esch J. Lückenkontrolle nach vorzeitigem Milchzahnverlust- Strategien zur Vermeidung eines sekundären Platzmangels. *Quintessenz Zahnmedizin* 5 (2019) 602-609.

Kühnisch J. *Kinderzahnmedizin*. Quintessence Publishing Deutschland 1 (2020) 103- 110.

14 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Durchführung dieser Dissertationsarbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Jan Kühnisch, Oberarzt für Kinderzahnheilkunde der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie (Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität) für die Vergabe des Dissertationsthemas, die stets freundliche Unterstützung, konstruktiven Korrekturen und herausragende Betreuung der Arbeit.

Außerdem bedanke ich mich bei Frau Priv. Doz. Dr. Katharina Bücher (Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität, Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie) und Frau Priv. Doz. Dr. Ina Schüler (Universitätsklinikum Jena, Poliklinik für Kieferorthopädie, Sektion präventive Zahnheilkunde und Kinderzahnheilkunde) für ihre Bemühungen und Ratschläge, die sie mir als Teil der Betreuungskommission entgegengebracht haben.

Ich danke meinem Vater, der mich die vorliegende Studie in seiner kieferorthopädischen Fachpraxis durchführen ließ und mir immer mit seiner unermüdlichen Hilfsbereitschaft zur Seite stand.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, im Besonderen meinen Eltern und Max, die mich stets unterstützt und motiviert haben und so zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

15 Affidavit



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

Dekanat Medizinische Fakultät
Promotionsbüro



Eidesstattliche Versicherung

Ackermann, Anna

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Klinische Evaluierung verschiedener Lückenhalter nach vorzeitigem Milchzahnverlust

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Bad Wörishofen, 07.11.2023

Ort, Datum

Anna Ackermann

Unterschrift Doktorandin/Doktorand

Eidesstattliche Versicherung

Stand: 07.03.2023