

Aus der Klinik für Kieferorthopädie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. J. A. Lisson

**Effekte und Langzeitstabilität
der Behandlung des einseitigen Kreuzbisses
vor der zweiten Phase des Wechselgebisses**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2022

vorgelegt von: Cem Türkyilmaz
geb. am: 24.11.1994 in Meschede

Tag der Promotion:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Michael Menger

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Karl

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
1.1	Deutsche Zusammenfassung.....	1
1.2	Abstract.....	2
2	Einleitung	3
2.1	Der einseitige Kreuzbiss.....	3
2.1.1	Definition.....	3
2.1.2	Prävalenz.....	4
2.1.3	Ätiologie.....	5
2.1.4	Therapienotwendigkeit	6
2.1.5	Therapiezeitraum	6
2.1.6	Therapiemethoden	7
2.1.7	Therapieeffekte	7
2.1.8	Stabilität.....	9
2.1.9	Prävention	10
2.2	Ziel der Arbeit	12
3	Material und Methode	13
3.1	Ethikantrag.....	13
3.2	Auswahl der Patienten.....	13
3.3	Methode.....	14
3.3.1	Behandlungsprotokolle.....	14
3.3.2	Modellherstellung	15
3.3.3	Modellanalyse	16
3.3.4	Statistische Analyse	25
4	Ergebnisse	27
4.1	Auswertungen zu den Zeitpunkten T1 bis T3	27
4.2	Analyse der Symmetrie	44
4.2.1	Vergleich der Symmetrie zum Zeitpunkt T1	44
4.3	Dauer der Behandlungsphasen.....	45

4.4	Beurteilung der Stabilität	45
4.5	Retest-Reliabilität.....	46
5	Diskussion.....	47
5.1	Patientenkollektiv.....	47
5.2	Material und Methode.....	48
5.3	Ergebnisse.....	49
5.3.1	Zahnbogenbreiten	49
5.3.2	Symmetrie	51
5.3.3	Gaumenvolumen.....	51
5.3.4	Stabilität.....	52
5.4	Schlussfolgerungen	53
6	Literaturverzeichnis.....	55
7	Publikation und Danksagung.....	61
7.1	Publikation	61
7.2	Danksagung.....	61
8	Anhang.....	62
8.1	Ergebnisse der Shapiro-Wilk Tests.....	62
8.2	Übersicht über ausgewählte Befunde der vorliegenden Studie	65
8.3	Übersicht über weitere Studien zur Langzeitstabilität der Frühbehandlung.....	65
8.4	Ergebnisse der Retest-Reliabilität.....	67

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

ZIEL: Ziele dieser retrospektiven Studie waren die Analyse und der Vergleich der Effekte und der Langzeitstabilität nach der Behandlung des einseitigen Kreuzbisses durch eine Gaumennahterweiterung (GNE) oder durch Plattenapparaturen (PA) vor der zweiten Phase des Wechselgebisses.

MATERIAL UND METHODE: Digitalisierte Modelle von Patienten, die mit GNE-Apparaturen ($n = 15$) oder mit Plattenapparaturen ($n = 10$) erfolgreich therapiert wurden, lagen zu drei Zeitpunkten vor (T1: Vor der Behandlung; T2: Nach der Behandlung; T3: Mindestens drei Jahre nach der Behandlung). Folgende Einschlusskriterien wurden von allen Patienten erfüllt: Einseitiger Kreuzbiss; Behandlungsbeginn vor der späten Wechselgebissphase; keine vorherige oder nachfolgende kieferorthopädische Therapie; keine Lippen-Kiefer-Gaumenspalte; kein Syndrom. Die Zahnbogenbreiten wurden zwischen Eckzähnen, Prämolaren und Molaren gemessen. Zusätzlich wurden die anteriore Zahnbogenlänge, die Symmetrie und das Gaumenvolumen bestimmt. Zur statistischen Auswertung innerhalb der Gruppen wurden einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung oder Friedman-Tests durchgeführt. Vergleiche zwischen den Gruppen erfolgten durch t-Tests oder Mann-Whitney-U-Tests. Mittels Shapiro-Wilk Tests wurde das Vorliegen einer Normalverteilung überprüft.

ERGEBNISSE: Beide Therapiemethoden eignen sich zur Therapie des einseitigen Kreuzbisses. Die Gaumennahterweiterung führte zunächst zu einer signifikant ($p < 0,05$) größeren Expansion im Bereich der zweiten Molaren der ersten Dentition und der ersten Molaren der zweiten Dentition. Zum Zeitpunkt T3 waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen mehr feststellbar. Von T1 bis T3 nahm die intercanine und intermolare Distanz um $1,89 \pm 1,78\text{mm}$ und $2,60 \pm 2,08\text{mm}$ in der PA-Gruppe und $2,30 \pm 2,82\text{mm}$ und $2,24 \pm 2,04\text{mm}$ in der GNE-Gruppe zu. Das Gaumenvolumen nahm signifikant ($p < 0,05$) um $1265.30 \pm 913.72 \text{ mm}^3$ in der PA-Gruppe und $1234.27 \pm 989.64 \text{ mm}^3$ in der GNE-Gruppe zu. Die anteriore Zahnbogenlänge zeigte keine signifikanten Veränderungen. Die Symmetrieanalyse zeigte signifikante ($p < 0,05$) Asymmetrien zwischen Eckzähnen und Molaren der ersten Dentition. Rezidive traten in 10% der Fälle in der Gruppe PA und in 20% der Fälle in der Gruppe GNE auf.

SCHLUSSFOLGERUNGEN: Der einseitige Kreuzbiss kann sowohl durch Plattenapparaturen als auch durch eine Gaumennahterweiterung in ähnlichem Maße erfolgreich therapiert werden. Beide Apparaturen zeigen eine gute Langzeitstabilität. Die Therapie durch Plattenapparaturen scheint jedoch zu stabileren Ergebnissen zu führen.

1.2 Abstract

AIM: The aims of this retrospective study were evaluation and comparison of treatment effects and long-term stability after unilateral posterior crossbite correction in patients treated with rapid maxillary expansion (RME) or with removable plate appliances (PA) before the late mixed dentition.

MATERIALS AND METHOD: Digitized dental casts of patients successfully treated with RME (n=15) or with PA (n=10) were available at three time points (T1: before treatment; T2: after treatment; T3: at least three years after treatment). The inclusion criteria were met by all patients: unilateral posterior crossbite; start of treatment before the late mixed dentition; no prior or subsequent orthodontic treatment; no cleft lip and palate; no craniofacial syndromes. Dental arch widths were measured between canines, premolars and molars. Anterior arch length, arch symmetry and palatal volume were also registered. For intragroup statistics, one-way repeated measures ANOVA or Friedman tests were used. Comparisons between groups were done using t-tests or Mann-Whitney U-tests. Shapiro-Wilk tests were used to test for normality.

RESULTS: Both treatment modalities appeared suitable for crossbite treatment. RME initially led to a significantly ($p < 0.05$) higher expansion than PA between second primary molars and first permanent molars. At T3, however, no significant differences between the groups remained. From T1 to T3, mean maxillary intercanine and intermolar widths increased by 1.89 ± 1.78 mm and 2.60 ± 2.08 mm in the PA group and by 2.30 ± 2.82 mm and 2.24 ± 2.04 mm in the RME group. Palatal volume increased significantly ($p < 0.05$) by 1265.30 ± 913.72 mm³ in the PA group and by 1234.27 ± 989.64 mm³ in the RME group. Anterior arch length did not show significant changes. Arch symmetry analysis showed significant ($p < 0.05$) asymmetries between canines and primary molars. Relapse occurred in 10% of the cases in the PA group and in 20% of the cases in the RME group.

CONCLUSIONS: Unilateral posterior crossbites before the late mixed dentition can be treated successfully using removable plate appliances or rapid maxillary expansion with similar results. Favorable long-term stability can be achieved by using either method, though treatment using removable plate appliances appears to produce more stable results.

2 Einleitung

2.1 Der einseitige Kreuzbiss

2.1.1 Definition

Die in dieser Arbeit verwendete Definition des Kreuzbisses entspricht der Definition der Kreuzbissbeziehungen an der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes: Kreuzbissbeziehungen sind transversale Anomalien der Okklusion. Sie können ein- oder beiderseitig vorkommen und einzelne oder alle Zähne im Seitenzahnggebiet ab dem Eckzahn betreffen. Kreuzbissbeziehungen werden in mehrere Unterformen gegliedert:

Kreuzbissbeziehung	Definition
Lingualokklusion	Die Unterkieferseitenzähne okkludieren lingual der Oberkieferseitenzähne.
Palatinale Höckerokklusion	Die Unterkieferseitenzähne okkludieren mit den palatinalen Höckern der Oberkieferseitenzähne.
Doppelte Höckerokklusion	Die Höcker der Unterkieferseitenzähne okkludieren mit den korrespondierenden Höckern der Oberkieferseitenzähne.
Gekreuzte Okklusion	Die bukkalen Höcker der Oberkieferseitenzähne okkludieren mit der zentralen Fissur der Unterkieferseitenzähne.
Bukkale Höckerokklusion	Die Unterkieferseitenzähne okkludieren mit den bukkalen Höckern der Oberkieferseitenzähne.
Bukkalokklusion	Die Unterkieferseitenzähne okkludieren bukkal der Oberkieferseitenzähne.

Tabelle 1 Definition der Kreuzbissbeziehungen an der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes

In der Literatur wird der Kreuzbiss häufig unterschiedlich definiert. Die Definition der Klinik für Kieferorthopädie exkludiert die in der Literatur häufig als „anteriore Kreuzbisse“ bezeichneten umgekehrten sagittalen Frontzahnstufen, die sagittale Anomalien der Okklusion darstellen.

Die in dieser Arbeit untersuchte Form der Kreuzbissbeziehungen entspricht der „gekreuzten Okklusion“ und wird im weiteren Verlauf zur Vereinfachung als „Kreuzbiss“ bezeichnet.

2.1.2 Prävalenz

Die Prävalenz des einseitigen Kreuzbisses bei Kindern unter 10 Jahren weist starke regionale Unterschiede auf und wird in der Literatur mit 1,8 bis 21 % angegeben:

Region	Alter der Probanden (in Jahren)	Prävalenz (in %)	Literaturreferenz
USA	3 - 9	5	[36]
Brasilien	1 - 5	7	[42]
	3 - 6	13,8	[33]
Schweden	3 - 4	16	[25]
	3 - 5	19,6	[35]
	3	13	[16]
	7	14	[16]
	7	21	[17]
Finnland	7	9,5	[24]
Dänemark	3	12,9	[32]
Deutschland	- (1. Dentition)	5,4	[21]
	- (frühes Wechselgebiss)	9,9	[21]
	6 - 7	6,53	[61]
Nigeria	3 - 4	1,8	[51]

Tabelle 2 Prävalenz des einseitigen Kreuzbisses in unterschiedlichen Regionen

Der einseitige Kreuzbiss tritt gehäuft auf der rechten Seite auf [66][50][42].

2.1.3 Ätiologie

Sowohl hereditäre Komponenten [13][31] als auch Umweltfaktoren haben einen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung eines Kreuzbisses [14][23]:

Habits

Habits scheinen die Entstehung einseitiger Kreuzbisse und zahlreicher weiterer Anomalien zu begünstigen: Das Finger- und Daumenlutschen sowie die Verwendung von Schnullern korrelieren signifikant mit dem Auftreten eines einseitigen Kreuzbisses [25] [42][32][37][44]. Je länger Schnuller verwendet werden, desto stärker ist die Anomalie ausgeprägt: Im Oberkiefer verkleinert sich dabei die intercanine Distanz, während sie sich im Unterkiefer vergrößert. Nach einiger Zeit führt diese steigende Inkongruenz der Zahnbögen möglicherweise zu einer Zwangsführung nach lateral und damit zur Entstehung eines einseitigen Kreuzbisses [50]. Eine Flaschenernährung begünstigt ebenfalls die Entstehung eines einseitigen Kreuzbisses [69].

Obstruktive Schlafapnoe

Das Obstruktive Schlafapnoesyndrom (OSAS) gehört zu den schlafbezogenen Atmungsstörungen. Bei einer Apnoe handelt es sich um einen Atemaussetzer, der über zehn Sekunden andauert. Ein OSAS tritt auf, wenn diese Atemaussetzer durch Obstruktionen der oberen Atemwege verursacht werden. Dabei bleibt die Atemtätigkeit erhalten [22].

Studien von 4 bis 9-jährigen Kindern mit einem OSAS zeigen ein erhöhtes Auftreten einer maxillären Zahnbogenenge, eines höheren Gaumens, einer kürzeren Zahnbogenlänge im Unterkiefer und eines Kreuzbisses [41][19].

Atemwegsobstruktionen führen zu einer Mundatmung mit einer kaudalen Zungenposition und können für die Entstehung eines einseitigen Kreuzbisses ursächlich sein [6] [12][65].

Lippen-Kiefer-Gaumenspalten

Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten haben durch die Wachstumshemmung des Oberkiefers in der Sagittalen und Transversalen häufig eine Mittelgesichtshypoplasie. Zusätzlich neigen die lateralen Segmente zu einer Schwenkung nach medial. Beides führt zu einer erhöhten Inzidenz von Kreuzbissen [26]. Der einseitige Kreuzbiss tritt bei einseitigen Spalten auf der Spaltseite deutlich häufiger auf als auf der Gegenseite [53]. Zwischen den verschiedenen Formen der Lippen-Kiefer-Gaumenspalten gibt es hinsichtlich der Okklusion in der Transversalen große Unterschiede: Der einseitige Kreuzbiss tritt bei einseitigen Lippen-Kiefer-Gaumenspalten deutlich häufiger auf als bei einseitigen Lippenspalten und einseitigen Lippenkieferspalten [53][20].

2.1.4 Therapienotwendigkeit

Der einseitige Kreuzbiss ist in den meisten Fällen mit einer Zwangsführung des Unterkiefers nach lateral vergesellschaftet. Die Angaben in der Literatur zum gleichzeitigen Auftreten eines einseitigen Kreuzbisses mit einer Zwangsführung nach lateral schwanken zwischen 60% und 78,9% [25][32][66]. Die durch die Zwangsführung verursachte Laterognathie des Unterkiefers kann zu asymmetrischen Aktivitäten der Muskulatur beim Kauvorgang führen. Auf der Kreuzbissseite weist der M. temporalis anterior eine höhere, der M. masseter hingegen eine niedrigere Aktivität auf als auf der Gegenseite. Zusätzlich kann die Kaukraft reduziert sein [3][29]. Nach der Therapie des einseitigen Kreuzbisses scheint sich die Muskelaktivität zu normalisieren [68].

Unterbleibt eine Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses, können Spätfolgen auftreten: Die Korrelation zwischen dem einseitigen Kreuzbiss und skelettalen Asymmetrien der Mandibula ist bei Erwachsenen größer als bei Jugendlichen. Die größere Korrelation bei Erwachsenen deutet darauf hin, dass es aufgrund des einseitigen Kreuzbisses zu einem asymmetrischen skelettalen Wachstum der Mandibula kommt. Aus diesem Grund wird die Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses empfohlen [29][43][40].

Eine Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses dient möglicherweise der Prävention der craniomandibulären Dysfunktionen (CMD): Viele Studien zeigen eine signifikante Korrelation zwischen Kreuzbissen und Symptomen einer CMD: Kinder mit einem einseitigen Kreuzbiss leiden häufiger unter CMD-assoziierten Kopfschmerzen. Die Schmerzempfindlichkeit des M. Temporalis anterior und der oberflächlichen Anteile des M. Masseter sind häufiger erhöht [3]. Allerdings können andere Studien keine Korrelation zwischen den verschiedenen Formen der CMD und dem einseitigen Kreuzbiss nachweisen. Eine endgültige Beurteilung, ob der einseitige Kreuzbiss einen Risikofaktor für eine CMD darstellt, erfordert deshalb weitere Untersuchungen [28].

2.1.5 Therapiezeitraum

Der einseitige Kreuzbiss sollte so früh wie möglich therapiert werden, um eine skelettale Manifestation der mandibulären Laterognathie zu vermeiden [29][43][40]. Je früher der einseitige Kreuzbiss behandelt wird, desto wahrscheinlicher treten die ersten bleibenden Molaren in eine korrekte Okklusion [62]. Eine Spontankorrektur des einseitigen Kreuzbisses ist nicht zu erwarten und findet nur in Einzelfällen statt. Bei ausbleibender Therapie ist es sehr wahrscheinlich, dass die ersten bleibenden Molaren und die Prämolaren ebenfalls im Kreuzbiss durchbrechen [36][39].

2.1.6 Therapiemethoden

In der Regel stehen zwei Methoden zur Therapie des einseitigen Kreuzbisses zur Auswahl:

Selektives Beschleifen

Geringe Inkongruenzen der Zahnbögen können durch Interferenzen mit einzelnen Zähnen zu einer instabilen Okklusion führen. Um eine stabile Okklusion zu erreichen, wird die Mandibula nach lateral geführt. Es entsteht ein einseitiger Kreuzbiss. Meist werden diese Interferenzen aufgrund von fehlenden Abnutzungserscheinungen durch die Eckzähne der ersten Dentition verursacht [36]. Selektives Beschleifen dieser Zähne in der ersten Dentition dient der Aufhebung dieser Zwangsführung und führt in etwa 50% der Fälle zu einer regelrechten transversalen Okklusion im frühen Wechselgebiss [39]. Bei ausbleibendem Erfolg wird die Therapie mit einer kieferorthopädischen Apparatur fortgesetzt [66].

Zahnbogenerweiterung im Oberkiefer

Der einseitige Kreuzbiss resultiert meistens aus einer beiderseitigen Zahnbogenenge im Oberkiefer, die zu einer Zwangsführung des Unterkiefers nach lateral führt. In diesen Fällen muss der Zahnbogen symmetrisch erweitert werden. Die Zahnbogenerweiterung kann mit herausnehmbaren Plattenapparaturen oder festsitzenden Apparaturen erfolgen. Im Rahmen der aktiven Behandlungsphase wird entweder eine langsame (0,5mm pro Woche) oder eine forcierte (0,5mm pro Tag) Erweiterung des oberen Zahnbogens durchgeführt. Dabei wird eine Überexpansion von zwei bis vier Millimetern angestrebt, um ein zu erwartendes Rezidiv auszugleichen [1][8]. Der aktiven Behandlungsphase folgt eine Retentionsphase, um die Stabilität der Behandlung zu gewährleisten. Es gibt eine moderate Evidenz, dass eine Retentionszeit von 6 Monaten ausreichend ist. Die Retention kann mit festsitzenden oder herausnehmbaren Apparaturen erfolgen [15].

2.1.7 Therapieeffekte

Sowohl Plattenapparaturen als auch festsitzende Apparaturen führen zu einer statistisch signifikanten Erweiterung im Bereich der Sutura palatina mediana und ermöglichen eine erfolgreiche Therapie des Kreuzbisses [2][54]. Die Transversalerweiterung im Oberkiefer hat dentale und skelettale Effekte zur Folge, die abhängig von der Expansionsrate unterschiedlich stark ausgeprägt sind.

Langsame Transversalerweiterung (0,5mm pro Woche)

Die langsame Transversalerweiterung erfolgt mit kleineren Kräften von bis zu 9 Newton. Die Anwendung von kleineren Kräften führt überwiegend zu dentalen Effekten. Lediglich bis zu 30% der Breitenzunahme beruht auf skelettalen Effekten. Die Öffnung der Sutura palatina mediana erfolgt dabei unter Bewahrung der Integrität des Gewebes. Innerhalb von 30 Tagen bildet sich im Bereich der Suture strukturiertes, mineralisiertes Gewebe. Nach drei Monaten ist die Suture ausreichend stabilisiert [7].

Möglicherweise werden durch die langsame Transversalerweiterung mehr Schäden am Parodont und häufiger Dehiszenzen verursacht [2].

Gaumennahterweiterung (0,5mm pro Tag)

Die Gaumennahterweiterung (GNE) erfolgt durch festsitzende Geräte, welche die Anwendung größerer Kräfte ermöglichen: Einzelne Aktivierungen führen zu Kräften zwischen 13 und 44 Newton, während multiple Aktivierungen pro Tag zu Kräften in Höhe von bis zu 89 Newton führen. Die Apparatur führt initial zu einer Kompression des Parodontalspalts, zu einer Biegung der Alveolarfortsätze und zu einer kippenden Transversalerweiterung. Diese Phase der Behandlung dauert etwa eine Woche. Durch kontinuierliche Kraftanwendung tritt nach dieser Phase eine Resorption der bukkalen Alveolenwand auf. Die Transversalerweiterung erfolgt dadurch nun körperlich. Aufgrund der Anwendung von großen Kräften treten zusätzlich skelettale Effekte auf: Es kommt zu einer Öffnung der Sutura palatina mediana. Die Öffnung der Suture erfolgt in der Transversalen und Vertikalen ungleichmäßig: Im Bereich der Inzisiven ist die Erweiterung größer als im Bereich der Molaren. Die kaudalen Anteile der Suture werden stärker erweitert als die kranialen Anteile. Die Öffnung der Suture führt vorübergehend zur Ausbildung eines Tremas. Innerhalb der nächsten vier Monate schließt sich dieses Trema durch eine Mesialkipfung und Retrusion der mittleren Inzisiven. Anschließend richten sich die Wurzeln der mittleren Inzisiven auf, sodass die Zähne ihre ursprüngliche Ausrichtung einnehmen. Die Suture wird durch Reparaturvorgänge wiederhergestellt.

Die Behandlung führt ebenfalls zu Veränderungen der Kieferposition: Während der Behandlung findet eine Verlagerung des Oberkiefers nach ventrokaudal statt. Nach Abschluss der Expansion nimmt der Oberkiefer teilweise oder vollkommen erneut die Ausgangsposition ein. In der Transversalen kommt es zu einer Rotation der Maxilla um -1° bis 8° . Das Rotationszentrum liegt etwa an der Sutura frontomaxillaris.

Möglicherweise führt die Behandlung zu einer Abnahme der Gaumenhöhe.

Eine Gaumennahterweiterung kann zu Veränderungen im Unterkieferzahnbogen führen. Diese Veränderungen sind jedoch unvorhersehbar und minimal ausgeprägt.

Die Gaumennahterweiterung führt außerdem zu einer Erhöhung der Breite der Nasenhöhle um durchschnittlich 1,9mm. Im Bereich der Conchae nasales inferiores kann die

Breitenzunahme sogar Werte von 8 bis 10mm erreichen. Durch die Breitenzunahme sinkt der nasale Atemwegswiderstand um 45 bis 53% [7].

Festsitzende Apparaturen können dental und skelettal verankert werden. Die aktuelle Studienlage lässt keine endgültigen Aussagen zu den Vor- und Nachteilen beider Varianten zu. Es gibt Hinweise darauf, dass durch eine skelettale Verankerung im Vergleich zur dentalen Verankerung die Sutura palatina mediana um etwa 2mm weiter geöffnet werden kann. Möglicherweise wird zudem die Kippung der Seitenzähne nach lateral reduziert und der nasale Atemwegswiderstand stärker reduziert. Eine endgültige Aussage erfordert jedoch weitere Forschung [34][30].

Die Gaumennahterweiterung ist eine effektive Maßnahme bei der Therapie des OSAS bei Kindern. Sie führt zur Verbesserung des Apnoe-Hypopnoe-Index um bis zu 70% und der Sauerstoffsättigung um bis zu 9%. Für den Therapieerfolg spielt die Patientenselektion eine besondere Rolle: Zusätzlich zum OSAS muss eine obere Zahnbogenenge vorhanden sein. Eine Tonsillenhypertrophie muss ausgeschlossen werden. Alternativ muss eine vorangegangene Tonsillektomie erfolglos gewesen sein. Die Langzeitstabilität der Therapie des OSAS mithilfe der forcierten Gaumennahterweiterung kann auf der Basis der aktuellen Studienlage jedoch nicht beurteilt werden [11].

2.1.8 Stabilität

Die Stabilität einer kieferorthopädischen Behandlung bildet den Erfolg einer eingeleiteten Therapie mit den ausgewählten Apparaturen ab. Es existieren bisher wenige Studien, die die Stabilität der Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses untersuchen. In der Literatur wird die Rezidivrate des Kreuzbisses mit 0 bis 26,7% der Fälle angegeben. Der Vergleich wird durch die Anwendung vieler verschiedener Apparaturen in der aktiven Behandlungsphase und der Retentionsphase, das variierende Ausmaß der Überkorrektur, die unterschiedliche Dauer der Retentionsphase und die stark variierende Festlegung der Messpunkte erschwert [15].

Einige wenige Studien untersuchten die Langzeitstabilität der Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses: Wong et al. geben bei einer Therapie durch eine langsame Transversalerweiterung mit festsitzenden Apparaturen und einer Retentionsphase von drei Monaten nach durchschnittlich vier Jahren ein Rezidiv von 2% für die intercanine Distanz und 20% für die posteriore Zahnbogenbreite an [70]. Bjerklin verglich die Langzeitstabilität der Behandlung mittels Plattenapparaturen und Quadhelix-Apparaturen bei einer Therapie mit geringgradiger Überkorrektur und einer Retentionsphase von drei bis fünf Monaten. Der einseitige Kreuzbiss rezidierte in 5% der Fälle in der Gruppe, die mit Plattenapparaturen

behandelt wurde, und in etwa 16% der Fälle der Quadhelix-Gruppe. Die oberen Zahnbogenbreiten erreichten nie die Werte der Kontrollgruppe [9]. Petrán et al. verglichen ebenfalls die Langzeitstabilität der Behandlung mittels Plattenapparaturen und Quadhelix-Apparaturen bei einer Therapie ohne Überkorrektur und einer Retentionsphase von sechs Monaten. Das Ergebnis blieb stabil. Jedoch erreichten die oberen Zahnbogenbreiten auch in diesem Fall nie die Werte der Kontrollgruppe [55]. Bartzela et al. verglichen die langsame Transversalerweiterung mit Plattenapparaturen mit der Gaumennahterweiterung. Die Rezidivrate betrug 20% für die langsame Transversalerweiterung und 24% für die Gaumennahterweiterung. Allerdings ist ein Vergleich mit anderen Studien erschwert, da auf die Behandlung des einseitigen Kreuzbisses eine Multibandbehandlung folgte. Die Nachuntersuchungszeit betrug außerdem lediglich zwei Jahre [4].

Es ist möglich, dass bei Patienten mit einem einseitigen Kreuzbiss Asymmetrien nicht nur auf der Kreuzbissseite im Oberkiefer, sondern zusätzlich auch im Unterkiefer vorliegen können. Eine schmale Kreuzbissseite im Oberkiefer in Kombination mit einer zu breiten Kreuzbissseite im Unterkiefer beeinflusst die Langzeitstabilität möglicherweise negativ, sofern sich die Therapie in solchen Fällen auf den Oberkiefer beschränkt. [67].

Eine endgültige Aussage zur Langzeitstabilität kann aufgrund mangelnder Evidenz nicht getroffen werden [1][54].

2.1.9 Prävention

Der Früherkennung der Ursachen eines einseitigen Kreuzbisses kommt eine große Bedeutung zu. Im Idealfall kann durch die Beseitigung dieser Ursachen die Ausbildung eines Kreuzbisses verhindert werden.

Habits

Habits, insbesondere das Daumenlutschen und die Verwendung von Schnullern, sind im Rahmen der Kontrolluntersuchungen feststellbar. Um der Entstehung eines einseitigen Kreuzbisses entgegenzuwirken, empfiehlt es sich, Habits bis zum vollendeten zweiten Lebensjahr abzustellen [46].

Obstruktive Schlafapnoe

Durch die Früherkennung und Therapie eines OSAS kann das weitere Kieferwachstum normalisiert werden, sodass bereits aufgetretene strukturelle Veränderungen sich mit dem weiteren Wachstum abschwächen. Dadurch kann der Ausbildung von schwerwiegenderen Anomalien vorgebeugt werden [5][27].

Werden im Rahmen der Kontrolluntersuchungen verdächtige Anomalien, z.B. eine Distalokklusion, eine mandibuläre Retrognathie oder ein vertikales Wachstumsmuster festgestellt, sollten Symptome und Risikofaktoren des OSAS abgefragt werden. Dazu zählen das Schnarchen, die Behinderung der Nasenatmung, Tagesmüdigkeit, Allergien wie z.B. die Hausstauballergie, Asthma und Adipositas. Bei gleichzeitigem Auftreten der Symptome oder Risikofaktoren des OSAS sollte eine weitere Untersuchung durch einen Facharzt für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde erfolgen [19]. Die häufigste Ursache eines kindlichen OSAS ist eine Tonsillenhypertrophie, welche ein Risikofaktor für die Entstehung von Dysgnathien sein kann. In diesen Fällen ist eine Tonsillektomie indiziert.

Die Tonsillektomie ist ein chirurgischer Eingriff, bei dem die Tonsillae palatinae und, falls notwendig, die Tonsilla pharyngea einschließlich ihrer Kapseln entfernt werden. Die häufigsten Indikationen für eine Tonsillektomie sind eine wiederkehrende Pharyngitis und schlafbezogene Atmungsstörungen. Durch die Tonsillektomie kann das OSAS effektiv behandelt werden und die Lebensqualität der Patienten deutlich gesteigert werden. Es können Komplikationen wie Rachenschmerzen, Übelkeit und Erbrechen, Blutungen und Veränderungen der Stimme auftreten. Eine Indikationsstellung sollte deshalb in interdisziplinärer Zusammenarbeit erfolgen [45]. Neben der Therapie des OSAS scheint eine Tonsillektomie das weitere Wachstum in der Transversalen positiv zu beeinflussen, sodass bei Patienten mit einem Kreuzbiss, die eine Tonsillektomie durchlaufen, die Möglichkeit der Spontankorrektur des Kreuzbisses besteht [5] [27].

Stillen

Neugeborene sollten möglichst über einen längeren Zeitraum gestillt werden.

Das Stillen über eine Dauer von über 12 Monaten senkt das Risiko der Entstehung eines Kreuzbisses um das 20-fache im Vergleich zu Flaschenkindern. Dies liegt wahrscheinlich an dem beim Stillen ablaufenden Bewegungsmuster, das deutliche Unterschiede im Vergleich zur Flaschenernährung aufweist. Beim Stillen wird die Zunge und die Mandibula wiederholt pro- und retrudiert. Während der Flaschenernährung tritt möglicherweise eine Überbelastung des M. buccinator auf. Es gibt Hinweise, dass das Stillen darüber hinaus das regelrechte Kieferwachstum fördert und das Auftreten von Habits senkt [33].

2.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist es, die Effekte der Behandlungsapparaturen auf die Zahnstellung genauer zu untersuchen, die Langzeitstabilität der Behandlungsmaßnahmen zu beurteilen und die beiden in der Klinik verwendeten Apparaturen, die Plattenapparatur mit Transversalschraube und die Gaumennahterweiterungsapparatur, unter diesen Gesichtspunkten miteinander zu vergleichen. Zusätzlich zu den gängigen Messungen der Zahnbogenbreiten und Zahnbogenlängen werden Messungen des Gaumenvolumens und ein Symmetrievergleich vorgenommen, um weitere Einsicht in die Effekte der Behandlung zu erhalten.

3 Material und Methode

3.1 Ethikantrag

Für die Studie wurde ein Ethikantrag bei der Ärztekammer des Saarlandes unter der Kennnummer E 130/17 gestellt und durch die Ethikkommission genehmigt.

3.2 Auswahl der Patienten

Alle Patienten stammen aus dem Patientengut der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes. Zur Auswahl der Patienten wurden folgende Kriterien aufgestellt:

- Abgeschlossene Therapie eines einseitigen Kreuzbisses
- Therapiebeginn vor Beginn der zweiten Phase des Wechselgebisses (Frühbehandlung)
- Keine kieferorthopädische Therapie nach der Frühbehandlung
- Keine kieferorthopädische Therapie vor der Frühbehandlung
- Vollständige diagnostische Unterlagen zum Therapiebeginn und Therapieende
- Zeitraum zwischen Therapieende und Nachuntersuchung mindestens 3 Jahre
- Keine angeborenen Syndrome
- Keine Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte

Die anhand dieser Kriterien ausgewählten Patienten wurden über die Wahl der Behandlungsapparatur in folgende Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1: Behandlung mit einer Oberkiefer-Plattenapparatur zur Transversalerweiterung (PA; n = 10)
- Gruppe 2: Behandlung mit einer GNE-Apparatur (GNE; n = 15)



Abbildung 1 Behandlungsapparaturen, die zur Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses verwendet wurden: Plattenapparatur mit Transversalschraube (Gruppe 1; links) und GNE-Apparatur (Gruppe 2; rechts)

Eine Übersicht über die Gruppen- und Geschlechterverteilung der in die Studie eingeschlossenen Patienten ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

	Gruppe		
	PA	GNE	Gesamt
	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Geschlecht Weiblich	6	7	13
Männlich	4	8	12
Gesamt	10	15	25

Tabelle 3 Gruppen- und Geschlechterverteilung der in die Studie eingeschlossenen Patienten

Tabelle 4 gibt für verschiedene Konstellationen des einseitigen Kreuzbisses die in der Studie vorkommende Anzahl an Fällen an.

Konstellation des einseitigen Kreuzbisses				Anzahl
Erster Molar (zweite Dentition)	Zweiter Molar (erste Dentition)	Erster Molar (erste Dentition)	Eckzahn	
x	x			2
x	x	x		2
x	x	x	x	6
	x	x	x	13
		x	x	1
	x	x		1

Tabelle 4 Konstellationen der einseitigen Kreuzbisse zum Zeitpunkt T1. Die Markierungen „x“ geben die im Kreuzbiss stehenden Zähne an.

3.3 Methode

3.3.1 Behandlungsprotokolle

Die Patienten der Gruppe 1 wurden mit einer Plattenapparatur mit eingearbeiteter Transversalschraube therapiert. Als Halteelemente der Plattenapparatur wurden Labialbogen, Dreiecksklammern und Adamsklammern verwendet. Die Apparatur sollte nur zur Mundhygiene, zum Sport und zum Essen entfernt werden. Die Schraube wurde durch eine Bezugsperson bis zur erforderlichen Breite des Oberkiefers wöchentlich um eine viertel Umdrehung (0,25mm) gedreht. Zur Vorbeugung eines Rezidivs erfolgte eine Überexpansion

von mindestens 2mm. Anschließend wurde die Plattenapparatur zur Retention ohne weitere Aktivierung getragen.

Die Patienten der Gruppe 2 wurden mit einer GNE-Apparatur mit anterioren Ausläufern therapiert. Die Schraube wurde durch eine Bezugsperson jeden Tag um eine halbe Umdrehung (0,5mm) gedreht, bis eine Überexpansion von 2mm erreicht wurde. Danach wurde die Schraube arretiert und die Apparatur zur Retention mindestens drei Monate in situ belassen. Anschließend wurde die GNE-Apparatur entfernt. Für die restliche Zeit der Retentionsphase wurde in derselben Sitzung eine passive Plattenapparatur eingesetzt.

3.3.2 Modellherstellung

Zu jedem Patienten lagen für die Nachuntersuchung drei Modelle vor:

- T1: Therapiebeginn; vor Eingliederung der Apparatur
- T2: Therapieende; nach Abschluss der Retention
- T3: mindestens drei Jahre nach dem Zeitpunkt T2

Die Modelle zu den Zeitpunkten T1 und T2 wurden während der Frühbehandlung vor Beginn der Studie hergestellt. Im Rahmen der Studie wurden die Modelle zum Zeitpunkt T3 hergestellt. Zu allen drei Zeitpunkten wurden beide Kiefer mit Alginat (Kaniblu, Kanidenta GmbH & Co. KG, Herford, Deutschland) abgeformt. Die Modellherstellung erfolgte mit einem Typ III-Hartgips (Hinritzit®, Ernst Hinrichs, Goslar, Deutschland). Anschließend wurden alle Modelle dreidimensional getrimmt. Die Modelle wurden mithilfe des 3D Scanners orthoX® scan (DENTAURUM GmbH & Co KG, Ispringen, Deutschland) als STL-Format digitalisiert und in das Auswertungsprogramm Onyx Ceph® 3TM (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) importiert. In einem ersten Schritt wurden alle Modelle beschnitten, in der Sagittal-, Transversal- und Vertikalebene ausgerichtet und gesockelt. Anschließend wurden die Datensätze anonymisiert. Der Oberkiefer wurde zusätzlich im STL-Format zur Verwendung bei der Messung des Gaumenvolumens exportiert.

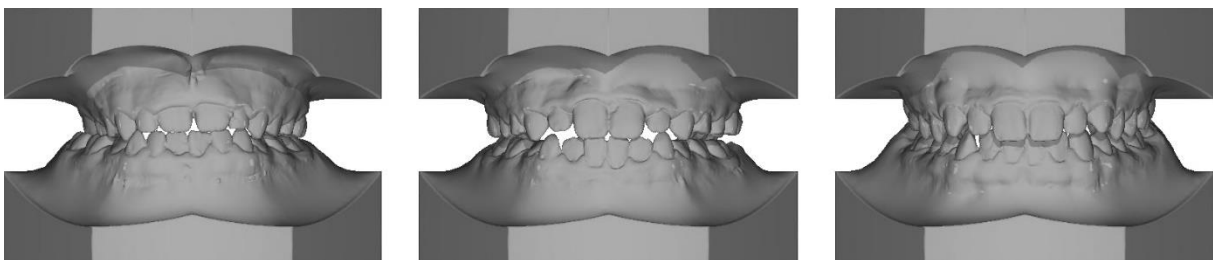


Abbildung 2 Digitalisierte, ausgerichtete und gesockelte Modelle eines Patienten zu den Zeitpunkten T1 (links), T2 (mittig) und T3 (rechts)

3.3.3 Modellanalyse

Die Modellanalyse erfolgte in den Auswertungsprogrammen Onyx Ceph® 3TM und MeshLab (Visual Computing Lab der Universität Pisa, Pisa, Italien). Im Folgenden wird jedes verwendete Analyseverfahren genauer erläutert.

3.3.3.1 Lineare Messungen

Messung der anterioren und posterioren Zahnbogenbreite

Die Messung der anterioren und posterioren Zahnbogenbreite erfolgte mithilfe des Auswertungsprogramms Onyx Ceph® 3TM. Es erfolgte eine 2D-Messung: Alle Messpunkte wurden zunächst auf die Okklusionsebene projiziert. Anschließend wurde die Messung durchgeführt.

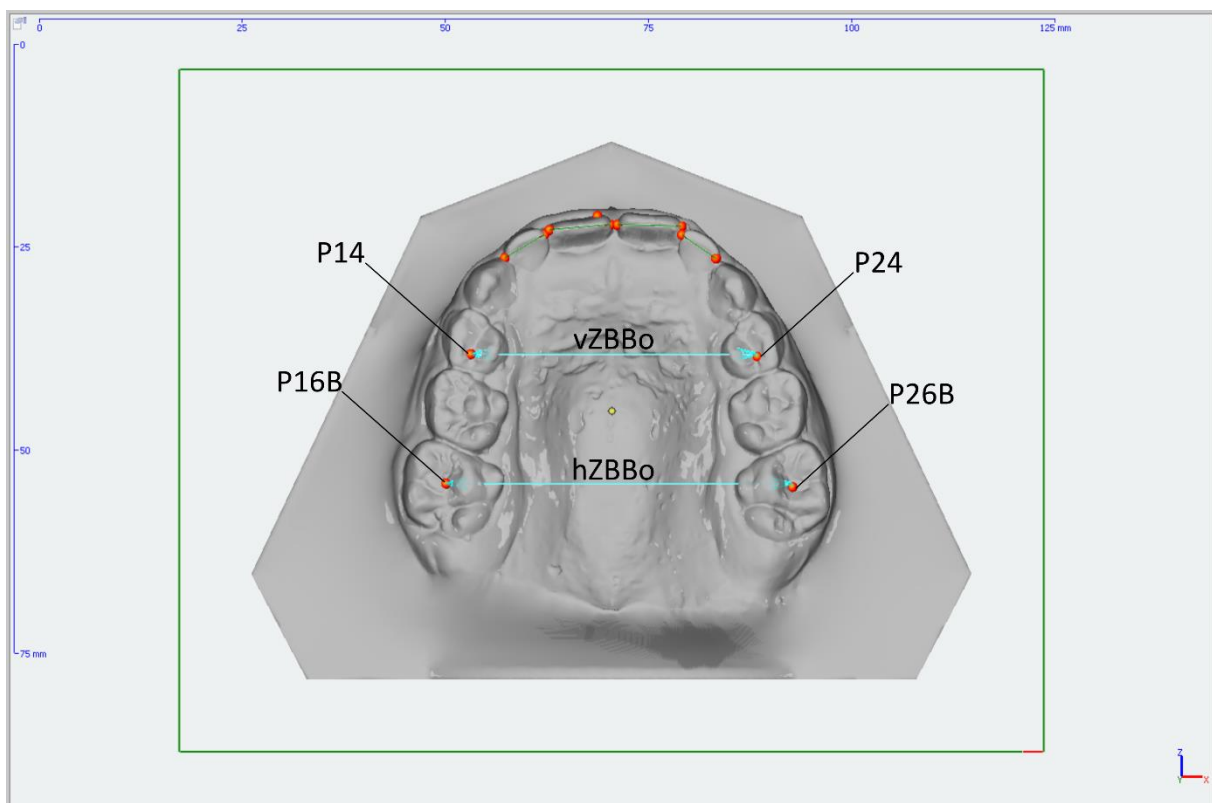


Abbildung 3 Messpunkte und Messungen der anterioren und posterioren Zahnbogenbreite im Oberkiefer

Messpunkt	Definition
P14	Mitte der Hauptfissur des Zahnes 14 oder distales Grübchen des Zahnes 54
P16B	Schnittpunkt der Querrfissur mit der nach bukkal auslaufenden Fissur des Zahnes 16
P24	Mitte der Hauptfissur des Zahnes 24 oder distales Grübchen des Zahnes 64
P26B	Schnittpunkt der Querrfissur mit der nach bukkal auslaufenden Fissur des Zahnes 26

Tabelle 5 Definition der Messpunkte der anterioren und posterioren Zahnbogenbreite im Oberkiefer

Messung	Definition
vZBBo	Anteriore Zahnbogenbreite des Oberkiefers: Länge der Verbindungslinie zwischen den Messpunkten P14 und P24
hZBBo	Posteriore Zahnbogenbreite des Oberkiefers: Länge der Verbindungslinie zwischen den Messpunkten P16B und P26B

Tabelle 6 Definitionen der Messungen der anterioren und posterioren Zahnbogenbreite im Oberkiefer

Messung der vorderen Zahnbogenlänge

Die Messung der vorderen Zahnbogenlänge erfolgte im Auswertungsprogramm Onyx Ceph® 3TM. Es wurde zunächst die anteriore Zahnbogenbreite im Bereich der ersten Molaren der ersten Dentition beziehungsweise der ersten Prämolaren festgelegt. Anschließend wurde von der Labialfläche des am weitesten labial stehenden Inzisivus ausgehend ein Lot auf die Strecke der anterioren Zahnbogenbreite gefällt. Die Strecke von der Labialfläche zum Lotfußpunkt stellte die vordere Zahnbogenlänge dar.

Es erfolgte eine 2D-Messung: Alle Messpunkte wurden zunächst auf die Okklusionsebene projiziert. Anschließend wurde die Messung durchgeführt.

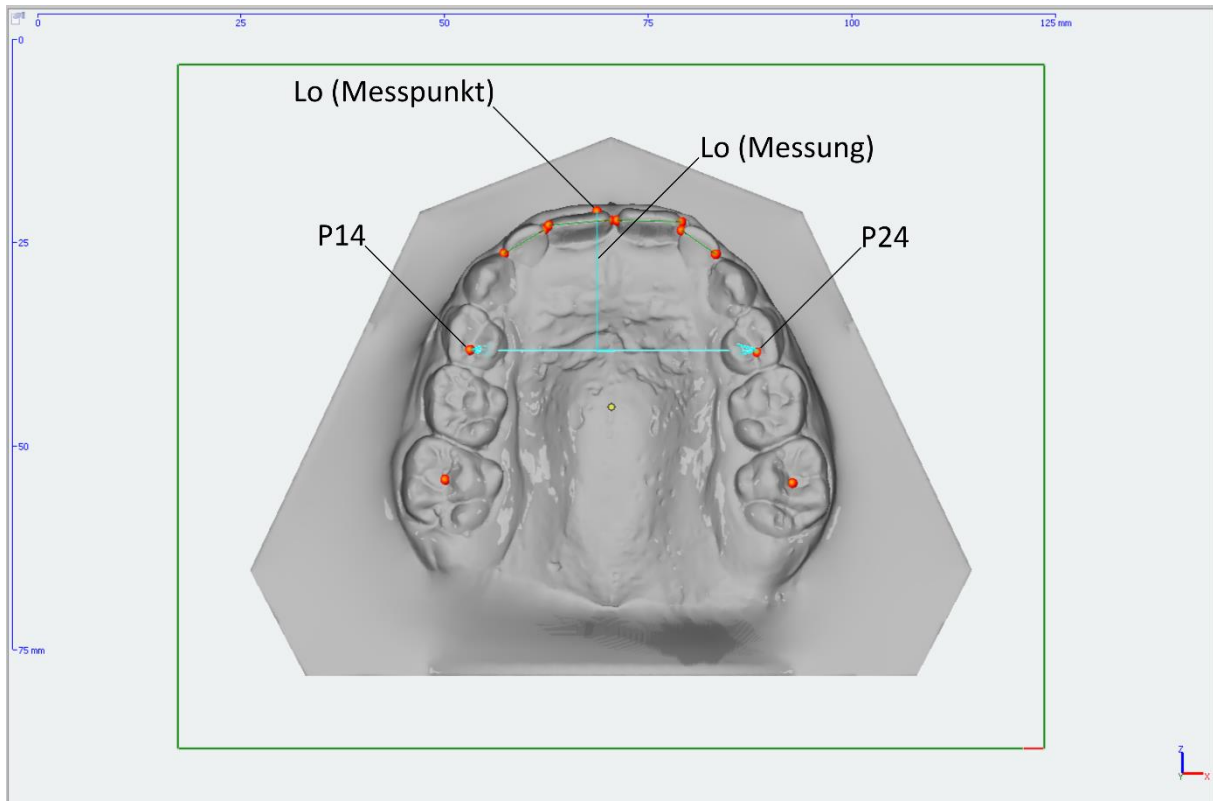


Abbildung 4 Messpunkte und Messungen der vorderen Zahnbogenlänge im Oberkiefer

Messpunkt	Definition
P14	Mitte der Hauptfissur des Zahnes 14 oder distales Grübchen des Zahnes 54
P24	Mitte der Hauptfissur des Zahnes 24 oder distales Grübchen des Zahnes 64
Lo	Labialfläche des am weitesten labial stehenden oberen mittleren Inzisivus

Tabelle 7 Definitionen der Messpunkte für die Messung der vorderen Zahnbogenlänge im Oberkiefer

Messung	Definition
Lo	sagittale Bogenlänge im Oberkiefer; Länge des Lotes von der Labialfläche des am weitesten labial stehenden oberen mittleren Inzisivus auf die anteriore Zahnbogenbreite (Verbindungsline zwischen den Messpunkten P14 und P24)

Tabelle 8 Definition der Messung der vorderen Zahnbogenlänge im Oberkiefer

Analyse der Symmetrie

Die Analyse der Symmetrie erfolgte im Auswertungsprogramm Onyx Ceph® 3TM.

Die Raphe Mediana (RME) wurde als eine Gerade durch die beiden Punkte „RME1“ und „RME2“ (Tabelle 9) konstruiert. An allen Seitenzähnen bis zu den ersten Molaren der zweiten Dentition wurde palatinal der tiefste Punkt des Verlaufs der Gingiva bestimmt. Zusätzlich wurden die Eckzahnspitzen markiert.

Anschließend wurden alle Messpunkte auf die Okklusionsebene projiziert, sodass eine 2D-Messung erfolgen konnte. Mithilfe der Messpunkte am Zahnfleischrand und der Eckzahnspitze konnte die Zahnbogenbreite an mehreren unterschiedlichen Stellen gemessen werden. Durch das Fällen eines Lots von den Messpunkten am Zahnfleischrand zur Geraden RME konnten Teilstrecken gemessen werden, die auf einen Quadranten beschränkt waren.

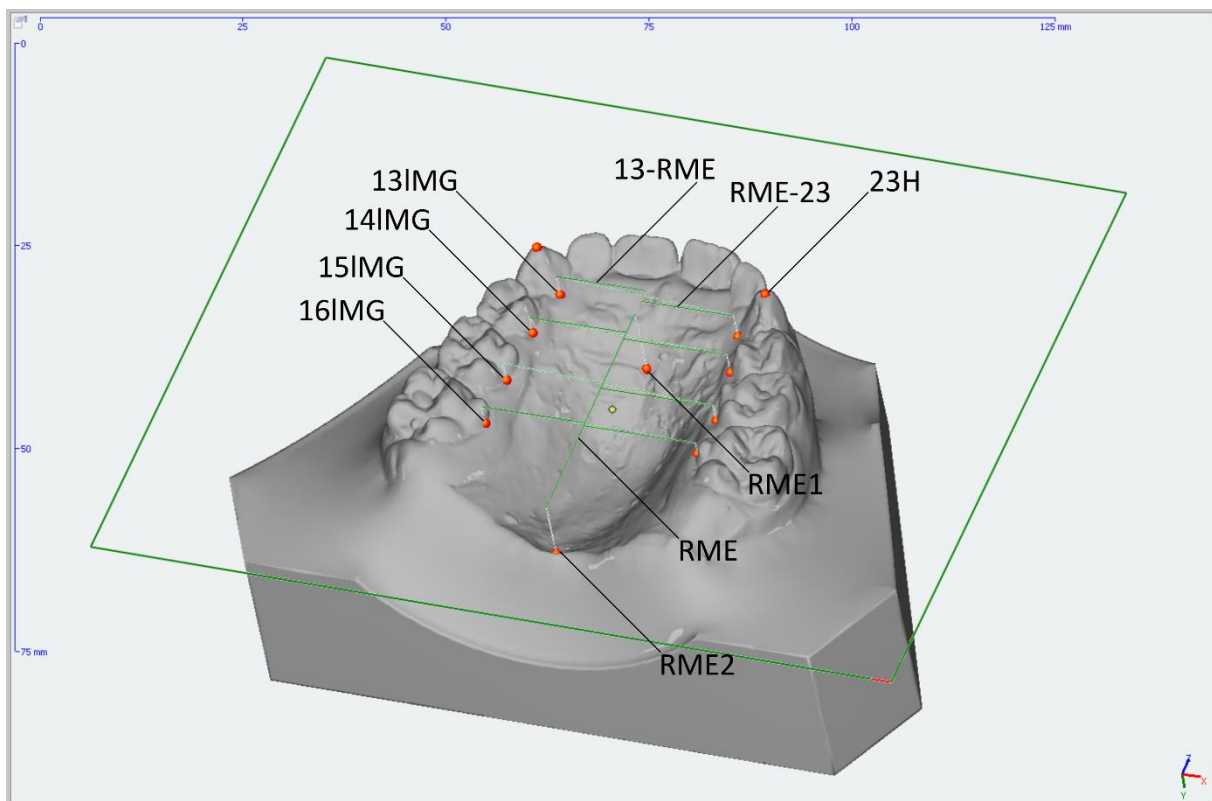


Abbildung 5 Messpunkte und Messungen zur Analyse der Symmetrie im Oberkiefer

Messpunkt	Definition
RME1	Anteriorer Punkt zur Bestimmung der Raphe Mediana auf Höhe des zweiten Gaumenfaltenpaares
RME2	Posteriorer Punkt zur Bestimmung der Raphe Mediana auf Höhe der Foveolae Palatinae
13IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 53/13
14IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 54/14
15IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 55/15
16IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 16
23IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 63/23
24IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 64/24
25IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 65/25
26IMG	Tiefster Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an 26
13H	Eckzahnspitze des Zahnes 53/13
23H	Eckzahnspitze des Zahnes 63/23

Tabelle 9 Definitionen der Messpunkte zur Analyse der Symmetrie im Oberkiefer

Messpunkt	Definition
13-RME	Strecke vom tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 53/13 zur Raphe Mediana (13IMG bis RME)
RME-23	Strecke von der Raphe Mediana zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 63/23 (RME bis 23IMG)
13-RME + RME-23	Die intercanine Distanz; gebildet aus der Summe der Teilstrecken „13-RME“ und „RME-23“

ICDg	Intercanine Distanz gingival; Strecke vom tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 53/13 zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 63/23 (13IMG bis 23IMG)
ICDi	Intercanine Distanz inzisal; Strecke von der Eckzahnspitze an 53/13 zur Eckzahnspitze an 63/23 (13i bis 23i)
14-RME	Strecke vom tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 54/14 zur Raphe Mediana (14IMG bis RME)
RME-24	Strecke von der Raphe Mediana zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 64/24 (RME bis 24IMG)
14-RME + RME+24	Die interprämolare Distanz an 54/14 und 64/24; gebildet aus der Summe der Teilstrecken „14-RME“ und „RME-24“
IPMD4g	Interprämolare Distanz 4er gingival; Strecke vom tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 54/14 zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 64/24 (14IMG bis 24IMG)
15-RME	Strecke vom tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 55/15 zur Raphe Mediana (15IMG bis RME)
RME-25	Strecke von der Raphe Mediana zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 65/25 (RME bis 25IMG)
15-RME + RME-25	Die interprämolare Distanz an 55/15 und 65/25; gebildet aus der Summe der Teilstrecken „15-RME“ und „RME-25“
IPMD5g	Interprämolare Distanz 5er gingival; Strecke vom tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 55/15 zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 65/25 (15IMG bis 25IMG)
16-RME	Strecke vom tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 16 zur Raphe Mediana (16IMG bis RME)
RME-26	Strecke von der Raphe Mediana zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 26 (RME bis 26IMG)
16-RME + RME-26	Die intermolare Distanz; gebildet aus der Summe der Teilstrecken „16-RME“ und „RME-26“
IMDg	Intermolare Distanz gingival; Strecke von dem tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 16 zum tiefsten Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes an 26 (16IMG bis 26IMG)

Tabelle 10 Definitionen der Messungen zur Analyse der Symmetrie im Oberkiefer

3.3.3.2 Volumenmessungen

Die Messung des Gaumenvolumens erfolgte mit dem Open-Source Programm MeshLab. Die einzelnen Arbeitsschritte wurden im Vorhinein festgelegt und für alle Modelle gleichermaßen durchgeführt.

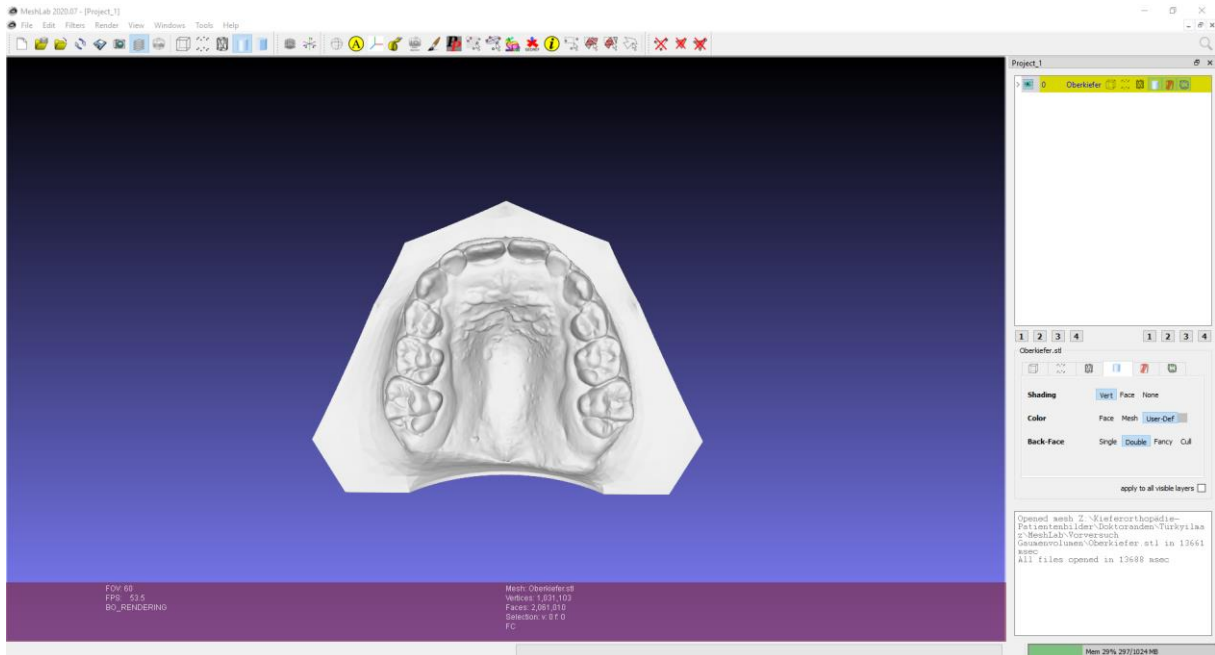


Abbildung 6 Benutzeroberfläche des Open-Source Programms MeshLab

1. Ausschneiden des Gaumens

Um das Gaumenvolumen bestimmen zu können, muss dieses zunächst als 3D-Objekt dargestellt werden. In einem ersten Schritt wurde deshalb die Gaumenoberfläche mithilfe des Werkzeugs „Select Faces/Vertices inside polyline area“ ausgewählt. Hierfür wurde jeweils der tiefste Punkt des girlandiformen Gingivaverlaufes palatinal an allen Seitenzähnen bis zu den ersten Molaren der zweiten Dentition markiert. Anschließend wurde die Auswahl mit dem Filter „Move selected Faces to another layer“ auf eine neue Ebene übertragen.

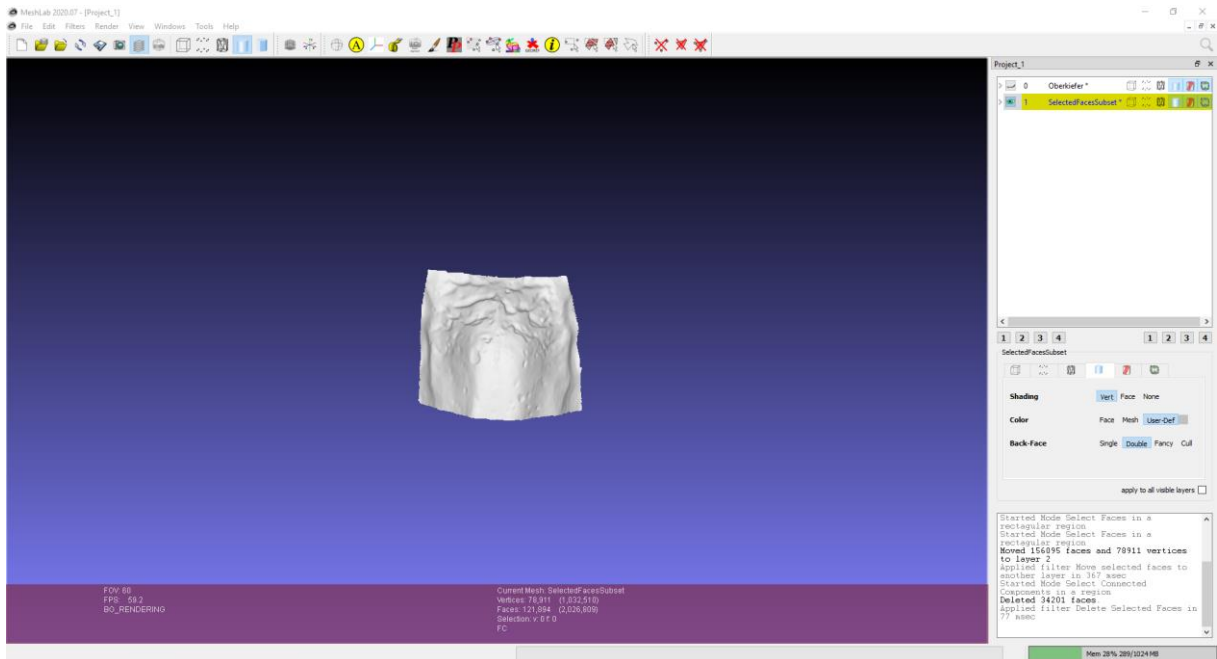


Abbildung 7 Gaumenoberfläche nach dem Ausschneiden aus dem Modell

2. Anwendung des Filters „Convex Hull“

Durch die Anwendung des Filters „Convex Hull“ wurde eine Hülle um die Gaumenoberfläche erstellt. Da diese Hülle das Gaumenvolumen nicht ideal darstellt, wurden anschließend überschüssige Anteile mithilfe der Auswahlwerkzeuge markiert und entfernt.

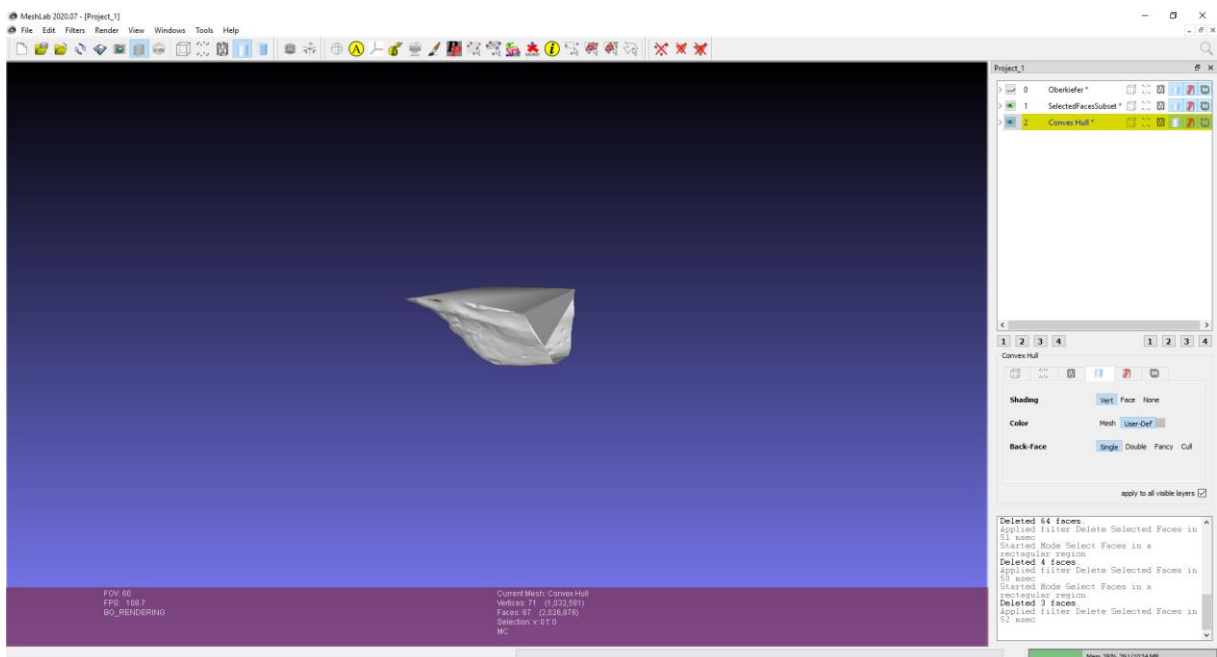


Abbildung 8 3D-Modell nach Entfernung der Überschüsse des "Convex Hull"-Algorithmus. Das Gaumenvolumen ist noch nicht dicht eingeschlossen.

3. Reduktion auf eine Ebene

Im nächsten Schritt wurde der Gaumen und die Hülle mithilfe des Filters „Flatten Visible Layers“ auf eine Ebene reduziert. Anschließend wurde eine Reparatur durch den Filter „Repair Non Manifold Edges by removing faces“ durchgeführt. Danach erfolgte die Anwendung des Filters „Repair Non Manifold Edges by splitting“, bis keine Spaltungen mehr durchgeführt wurden.

4. Verschluss verbliebener Löcher

Die restlichen Löcher wurden mit dem Filter „Close Holes“ geschlossen. Der Wert „Max size to be closed“ wurde auf 3000 festgelegt. Der Filter „Close Holes“ wurde anschließend einmal angewendet, während die Option „Prevent creation of selfIntersecting faces“ aktiviert war. Anschließend wurde die Option „Prevent creation of selfIntersecting faces“ deaktiviert und der Filter „Close Holes“ erneut angewendet.

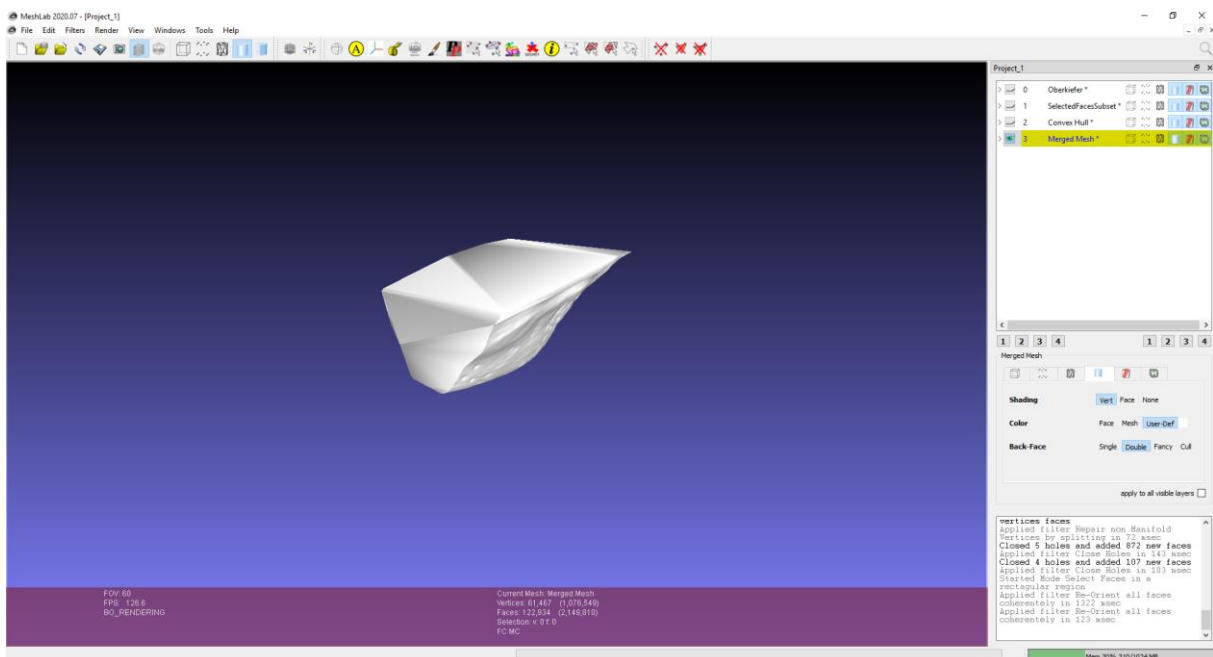


Abbildung 9 Endergebnis: Das Gaumenvolumen ist nun dicht eingeschlossen und kann ausgelesen werden.

5. Auslesen des Gaumenvolumens

Zuletzt wurde über den Filter „Compute Geometric Measures“ das Volumen des neu erstellten 3D-Objekts ausgelesen.

3.3.3.3 Beurteilung der Stabilität

Zur Beurteilung der Stabilität wurde an allen Modellen des Zeitpunkts T3 die Okklusion auf das Vorliegen eines Rezidivs visuell überprüft. Ein Rezidiv wurde dabei definiert als das Vorliegen

einer doppelten Höckerokklusion, einer gekreuzten Okklusion, einer bukkalen Höckerokklusion oder einer Bukkalokklusion an Zähnen, an denen bereits zum Zeitpunkt T1 eine dieser Kreuzbissbeziehungen vorlag (Tabelle 1).

3.3.4 Statistische Analyse

Die Datenerhebung und statistische Auswertung wurden auf einem Computer mit dem Betriebssystem Microsoft® Windows 10 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) durchgeführt. Während der Datenerhebung wurden die Daten in Microsoft Excel® aufbereitet und für die anschließende statistische Auswertung in das Programm IBM® SPSS® Statistics for Windows, Version 27 (IBM Corporation, New York, USA) übertragen.

Jede metrisch skalierte Variable wurde mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests auf das Vorliegen einer Normalverteilung getestet.

Analyse der Veränderungen innerhalb einer Gruppe

Die Wahl des statistischen Tests zur Analyse der Veränderungen der Variablen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 innerhalb einer Gruppe war von dem Vorliegen einer Normalverteilung abhängig: Beim Vorliegen einer Normalverteilung wurde eine einfaktorische Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) durchgeführt. Falls keine Normalverteilung vorlag, wurde der Friedman-Test durchgeführt und zusätzlich der Median angegeben. Bei einem p-Wert < 0,05 wurden zusätzlich paarweise Vergleiche durchgeführt.

Vergleich der Veränderungen zwischen den Gruppen

Für den Vergleich der Veränderungen zwischen den beiden Gruppen wurden für jede Variable die Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 gebildet. Beim Vorliegen einer Normalverteilung wurde der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Falls keine Normalverteilung vorlag, wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt und zusätzlich der Median angegeben.

Analyse der Symmetrie

Zur Beurteilung der Symmetrie wurden neue Variablen erstellt, indem die Differenz der Teilstrecken (Tabelle 10) nach dem folgenden Schema gebildet wurde:

Symmetrievergleich der Zähne 53/13 und 63/23 = „13-RME“ – „RME-23“.

Ein Wert von 0 stellt dementsprechend eine perfekte Symmetrie dar. Ein negativer Wert zeigt, dass die Teilstrecke im ersten Quadranten kürzer ist. Ein positiver Wert zeigt, dass die Teilstrecke im zweiten Quadranten kürzer ist.

Neue Variablen	Definitionen
Symmetrievergleich der Zähne 53/13 und 63/23	„13-RME“ – „RME-23“
Symmetrievergleich der Zähne 54/14 und 64/24	„14-RME“ – „RME-24“
Symmetrievergleich der Zähne 55/15 und 65/25	„15-RME“ – „RME-25“
Symmetrievergleich der Zähne 16 und 26	„16-RME“ – „RME-26“

Tabelle 11 Definition der Variablen zur Analyse der Symmetrie.

Anschließend wurden die Patienten anhand der Kreuzbissseite in die Gruppen „Rechts“ (n = 16) und „Links“ (n = 9) eingeteilt.

Der Vergleich der Symmetrie zum Zeitpunkt T1 zwischen beiden Gruppen wurde anhand von t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt.

Umgang mit fehlenden Werten

Aufgrund des Zahnwechsels waren gelegentlich einige Messungen nicht durchführbar. Es wurden für jeden statistischen Test einzeln die vollständigen Fälle beurteilt und in diesen Test eingeschlossen. Daraus ergeben sich Unterschiede in den Fallzahlen der verschiedenen Tests. Aus diesem Grund sind die Fallzahlen (n) zu jedem Test angegeben.

Signifikanzniveau

Das Signifikanzniveau wurde folgendermaßen festgelegt:

- $p \geq 0,05$ nicht signifikant n.s.
- $p < 0,05$ signifikant *
- $p < 0,01$ hochsignifikant **
- $p < 0,001$ höchstsignifikant ***

Retest-Reliabilität

Zur Beurteilung der Messgenauigkeit wurden alle Patienten durch eine Fachzahnärztin für Kieferorthopädie der Klinik für Kieferorthopädie erneut ausgewertet. Anschließend wurde die Korrelation der Messungen durch den Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet.

4 Ergebnisse

4.1 Auswertungen zu den Zeitpunkten T1 bis T3

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Auswertung jeder Variablen einzeln dargestellt.

Die Darstellung folgt einem bestimmten Schema:

- Die ersten beiden Tabellen beziehen sich auf die Analyse der Veränderungen innerhalb einer Gruppe unter Verwendung von ANOVA und Friedman-Tests. Die erste Tabelle zeigt die Mittelwerte (M), Standardabweichungen (SD) und, falls ein Friedman-Test durchgeführt wurde, zusätzlich die Mediane (Mdn) für beide Gruppen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3.
- Die dritte Tabelle stellt die Ergebnisse des Vergleichs der Veränderungen zwischen den Gruppen unter Verwendung von t-Tests und Mann-Whitney-U-Tests dar.
- Zuletzt folgt eine Erläuterung der Tabellen.

Anteriore Zahnbogenbreite im Oberkiefer (vZBBo)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	9	34,56	1,13	35,00	15	34,40	2,67	
T2	9	37,89	1,36	38,00	15	38,40	2,47	
T3	9	36,89	1,45	37,00	15	35,73	3,24	

Tabelle 12 Deskriptive Statistik der Variablen „vZBBo“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: Friedman-Test. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
Friedman / ANOVA	0,000***	0,000***
T1 zu T2	0,000***	0,000***
T2 zu T3	n.s.	0,000***
T1 zu T3	0,010*	0,036*

Tabelle 13 Ergebnisse der ANOVA bzw. des Friedman-Tests und der paarweisen Vergleiche für die Variable „vZBBo“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	9	3,33	1,00		15	4,00	2,00		n.s.
T3-T2	9	-1,00	1,12		15	-2,67	2,29		0,026*
T3-T1	10	2,00	1,41		15	1,33	2,23		n.s.

Tabelle 14 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „vZBBo“ zwischen den Gruppen. T2-T1, T3-T2 und T3-T1: t-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „vZBBo“ wurde von T1 bis T2 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „vZBBo“ wurde von T2 bis T3 in der Gruppe „GNE-Apparatur“ höchstsignifikant ($p < 0,001$) kleiner und in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ nicht signifikant ($p \geq 0,05$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist signifikant ($p < 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „vZBBo“ wurde von T1 bis T3 in beiden Gruppen signifikant ($p < 0,05$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Posteriore Zahnbogenbreite im Oberkiefer (hZBBo)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	6	44,67	2,07	45,00	12	44,42	2,75	
T2	6	47,17	2,14	48,00	12	48,67	2,74	
T3	6	47,67	3,01	49,00	12	46,50	3,23	

Tabelle 15 Deskriptive Statistik der Variablen „hZBBo“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3.

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
Friedman / ANOVA	0,006**	0,000***
T1 zu T2	0,021*	0,000***
T2 zu T3	n.s.	0,007**
T1 zu T3	0,004**	0,004**

Tabelle 16 Ergebnisse der ANOVA bzw. des Friedman-Tests und der paarweisen Vergleiche für die Variable „hZBBo“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	6	2,50	0,837	2,00	12	4,25	1,14	4,00	0,005**
T3-T2	7	0,57	1,90		14	-1,57	2,68		n.s.
T3-T1	6	3,00	1,67		12	2,08	2,02		n.s.

Tabelle 17 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „hZBBo“ zwischen den Gruppen. T2-T1: Mann-Whitney-U-Test. T3-T2 und T3-T1: t-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „hZBBo“ wurde von T1 bis T2 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ signifikant ($p < 0,05$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist hochsignifikant ($p < 0,01$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „hZBBo“ wurde von T2 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ nicht signifikant ($p \geq 0,05$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „hZBBo“ wurde von T1 bis T3 in beiden Gruppen hochsignifikant ($p < 0,01$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Inter canine Distanz: Summe der Teilstrecken (13-RME + RME-23)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	10	23,43	0,91		12	23,38	2,54	
T2	10	25,98	1,80		12	26,61	1,47	
T3	10	25,32	1,98		12	25,68	2,32	

Tabelle 18 Deskriptive Statistik der Variablen „13-RME + RME-23“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,000***	0,001**
T1 zu T2	0,000***	0,000***
T2 zu T3	n.s.	n.s.
T1 zu T3	0,009**	0,016*

Tabelle 19 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „13-RME + RME-23“.

	Gruppe								Gruppenvergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	10	2,55	1,13		13	3,51	1,94		n.s.
T3-T2	10	-0,66	1,42		12	-0,925	1,77		n.s.
T3-T1	10	1,89	1,79		12	2,31	2,82		n.s.

Tabelle 20 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „13-RME + RME-23“ zwischen den Gruppen. T2-T1, T3-T2 und T3-T1: t-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „13-RME + RME-23“ wurde von T1 bis T2 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „13-RME + RME-23“ wurde von T2 bis T3 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „13-RME + RME-23“ wurde von T1 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ signifikant ($p < 0,05$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Inter canine Distanz: gemessen am Gingivalrand (ICDg)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	10	23,45	0,90		12	23,41	2,53	
T2	10	25,99	1,81		12	26,63	1,47	
T3	10	25,34	1,97		12	25,71	2,31	

Tabelle 21 Deskriptive Statistik der Variablen „ICDg“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,000***	0,001**
T1 zu T2	0,000***	0,000***
T2 zu T3	n.s.	n.s.
T1 zu T3	0,008**	0,016*

Tabelle 22 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „ICDg“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	10	2,54	1,14		13	3,49	1,94		n.s.
T3-T2	10	-0,65	1,43	-0,90	12	-0,92	1,76	-0,60	n.s.
T3-T1	10	1,89	1,78		12	2,30	2,82		n.s.

Tabelle 23 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „ICDg“ zwischen den Gruppen. T2-T1 und T3-T1: t-Tests. T3-T2: Mann-Whitney-U-Test. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „ICDg“ wurde von T1 bis T2 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „ICDg“ wurde von T2 bis T3 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „ICDg“ wurde von T1 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparat mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparat“ signifikant ($p < 0,05$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Intercanine Distanz: gemessen an der Eckzahnspitze (ICDi)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	10	29,17	0,87		12	29,26	3,11	
T2	10	32,20	1,89		12	33,25	2,24	
T3	10	33,74	1,99		12	34,79	2,67	

Tabelle 24 Deskriptive Statistik der Variablen „ICDi“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparat mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparat: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	Plattenapparat mit Transversalschraube	GNE-Apparat
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,000***	0,000***
T1 zu T2	0,000***	0,000***
T2 zu T3	0,002**	0,006**
T1 zu T3	0,000***	0,000***

Tabelle 25 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „ICDi“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	10	3,03	1,62		13	4,26	1,74		n.s.
T3-T2	10	1,54	1,17		12	1,54	1,59		n.s.
T3-T1	10	4,57	2,04		12	5,53	2,39		n.s.

Tabelle 26 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „ICDi“ zwischen den Gruppen. T2-T1, T3-T2 und T3-T1: t-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „ICDi“ wurde von T1 bis T2 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „ICDi“ wurde von T2 bis T3 in beiden Gruppen hochsignifikant ($p < 0,01$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „ICDi“ wurde von T1 bis T3 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Distanz zwischen 54/14 und 64/24: Summe der Teilstrecken (14-RME + RME-24)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	9	25,77	1,34	25,40	15	25,48	2,15	
T2	9	28,62	1,66	28,50	15	28,99	2,12	
T3	9	27,94	1,40	27,90	15	26,83	3,01	

Tabelle 27 Deskriptive Statistik der Variablen „14-RME + RME-24“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: Friedman-Test. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
Friedman / ANOVA	0,001**	0,000***
T1 zu T2	0,001**	0,000***
T2 zu T3	n.s.	0,002**
T1 zu T3	0,003**	0,032*

Tabelle 28 Ergebnisse der ANOVA bzw. des Friedman-Tests und der paarweisen Vergleiche für die Variable „14-RME + RME-24“.

	Gruppe								Gruppenvergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	9	2,86	0,84		15	3,51	1,73		n.s.
T3-T2	9	-0,68	1,32		15	-2,16	2,15		n.s.
T3-T1	10	1,87	1,27		15	1,35	2,18		n.s.

Tabelle 29 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „14-RME + RME-24“ zwischen den Gruppen. T2-T1, T3-T2 und T3-T1: t-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „14-RME + RME-24“ wurde von T1 bis T2 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „14-RME + RME-24“ wurde von T2 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ nicht signifikant ($p \geq 0,05$) kleiner und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „14-RME + RME-24“ wurde von T1 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ signifikant ($p < 0,05$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Distanz zwischen 54/14 und 64/24: gemessen am Gingivalrand (IPMD4g)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	9	25,81	1,30	25,50	15	25,49	2,15	
T2	9	28,64	1,65	28,50	15	29,01	2,11	
T3	9	27,96	1,40	27,90	15	26,89	2,99	

Tabelle 30 Deskriptive Statistik der Variablen „IPMD4g“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparat mit Transversalschraube: Friedman-Test. GNE-Apparat: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
Friedman / ANOVA	0,001**	0,000***
T1 zu T2	0,001**	0,000***
T2 zu T3	n.s.	0,002**
T1 zu T3	0,003**	0,025*

Tabelle 31 Ergebnisse der ANOVA bzw. des Friedman-Tests und der paarweisen Vergleiche für die Variable „IPMD4g“.

	Gruppe								Gruppenvergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	9	2,83	0,83		15	3,52	1,74		n.s.
T3-T2	9	-0,69	1,34	-0,40	15	-2,12	2,13	-1,90	n.s.
T3-T1	10	1,84	1,26		15	1,40	2,16		n.s.

Tabelle 32 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „IPMD4g“ zwischen den Gruppen. T2-T1 und T3-T1: t-Tests. T3-T2: Mann-Whitney-U-Test. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „IPMD4g“ wurde von T1 bis T2 in der Gruppe „Plattenapparat mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparat“ höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „IPMD4g“ wurde von T2 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ nicht signifikant ($p \geq 0,05$) kleiner und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „IPMD4g“ wurde von T1 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ signifikant ($p < 0,05$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Distanz zwischen 55/15 und 65/25: Summe der Teilstrecken (15-RME + RME-25)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	10	28,34	1,71		14	28,37	2,23	
T2	10	31,55	1,92		14	32,48	2,64	
T3	10	32,00	2,07		14	32,33	3,21	

Tabelle 33 Deskriptive Statistik der Variablen „15-RME + RME-25“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,000***	0,000***
T1 zu T2	0,000***	0,000***
T2 zu T3	n.s.	n.s.
T1 zu T3	0,000***	0,000***

Tabelle 34 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „15-RME + RME-25“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	10	3,21	1,01	2,95	15	4,31	1,20	4,00	0,036*
T3-T2	10	0,45	1,45		14	-0,15	1,83		n.s.
T3-T1	10	3,66	1,40		14	3,96	1,72		n.s.

Tabelle 35 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „15-RME + RME-25“ zwischen den Gruppen. T3-T2 und T3-T1: t-Tests. T2-T1: Mann-Whitney-U-Test. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „15-RME + RME-25“ wurde von T1 bis T2 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist signifikant ($p < 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „15-RME + RME-25“ hat sich von T2 bis T3 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) geändert. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „15-RME + RME-25“ wurde von T1 bis T3 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Distanz zwischen 55/15 und 65/25: gemessen am Gingivalrand (IPMD5g)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	10	28,35	1,71		14	28,40	2,21	
T2	10	31,58	1,91		14	32,51	2,63	
T3	10	32,03	2,07		14	32,39	3,20	

Tabelle 36 Deskriptive Statistik der Variablen „IPMD5g“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,000***	0,000***
T1 zu T2	0,000***	0,000***
T2 zu T3	n.s.	n.s.
T1 zu T3	0,000***	0,000***

Tabelle 37 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „IPMD5g“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	10	3,23	1,02	2,95	15	4,31	1,18	4,00	0,031*
T3-T2	10	0,45	1,43		14	-0,11	1,81		n.s.
T3-T1	10	3,68	1,39		14	3,99	1,68		n.s.

Tabelle 38 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „IPMD5g“ zwischen den Gruppen. T3-T2 und T3-T1: t-Tests. T2-T1: Mann-Whitney-U-Test. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „IPMD5g“ wurde von T1 bis T2 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist signifikant ($p < 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „IPMD5g“ hat sich von T2 bis T3 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) geändert. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „IPMD5g“ wurde von T1 bis T3 in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Distanz zwischen 16 und 26: Summe der Teilstrecken (16-RME + RME-26)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	6	31,70	1,76		12	30,97	2,63	
T2	6	33,55	1,40		12	34,93	2,65	
T3	6	34,32	2,74		12	33,20	3,32	

Tabelle 39 Deskriptive Statistik der Variablen „16-RME + RME-26“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparat mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparat: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,020*	0,000***
T1 zu T2	0,006**	0,000***
T2 zu T3	n.s.	0,006**
T1 zu T3	0,029*	0,003**

Tabelle 40 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „16-RME + RME-26“.

	Gruppe								Gruppenvergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	6	1,85	0,99		12	3,96	1,37		0,004**
T3-T2	7	0,54	2,22		14	-1,39	2,12		n.s.
T3-T1	6	2,62	2,10		12	2,23	2,01		n.s.

Tabelle 41 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „16-RME + RME-26“ zwischen den Gruppen. T2-T1, T3-T2 und T3-T1: t-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „16-RME + RME-26“ wurde von T1 bis T2 in der Gruppe „Plattenapparat mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparat“ höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist hochsignifikant ($p < 0,01$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „16-RME + RME-26“ wurde von T2 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ nicht signifikant ($p \geq 0,05$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „16-RME + RME-26“ wurde von T1 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ signifikant ($p < 0,05$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Distanz zwischen 16 und 26: gemessen am Gingivalrand (IMDg)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	6	31,75	1,73		12	31,02	2,63	
T2	6	33,60	1,37		12	34,96	2,65	
T3	6	34,35	2,69		12	33,26	3,33	

Tabelle 42 Deskriptive Statistik der Variablen „IMDg“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,018*	0,000***
T1 zu T2	0,004**	0,000***
T2 zu T3	n.s.	0,007**
T1 zu T3	0,028*	0,003**

Tabelle 43 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „IMDg“.

	Gruppe								Gruppenvergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	6	1,85	0,92		12	3,94	1,38		0,004**
T3-T2	7	0,53	2,17		14	-1,37	2,12		n.s.
T3-T1	6	2,60	2,08		12	2,24	2,04		n.s.

Tabelle 44 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „IMDg“ zwischen den Gruppen. T2-T1, T3-T2 und T3-T1: t-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „IMDg“ wurde von T1 bis T2 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ höchstsignifikant ($p < 0,001$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist hochsignifikant ($p < 0,01$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „IMDg“ wurde von T2 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ nicht signifikant ($p \geq 0,05$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) kleiner. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „IMDg“ wurde von T1 bis T3 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ signifikant ($p < 0,05$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Anteriore Zahnbogenlänge im Oberkiefer (Lo)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	9	17,89	1,27	18,00	15	17,47	1,25	17,00
T2	9	17,78	1,39	18,00	15	17,87	1,55	18,00
T3	9	18,33	0,71	18,00	15	17,93	2,22	18,00

Tabelle 45 Deskriptive Statistik der Variablen „Lo“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: Friedman-Test. GNE-Apparatur: Friedman-Test. (Angaben in mm)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
Friedman	n.s.	n.s.
T1 zu T2	n.s.	n.s.
T2 zu T3	n.s.	n.s.
T1 zu T3	n.s.	n.s.

Tabelle 46 Ergebnisse der Friedman-Tests und der paarweisen Vergleiche für die Variable „Lo“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	9	-0,11	1,05	0,00	15	0,40	1,30	0,00	n.s.
T3-T2	9	0,56	1,24	0,00	15	0,07	1,22	0,00	n.s.
T3-T1	10	0,40	1,17		15	,47	1,89		n.s.

Tabelle 47 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „Lo“ zwischen den Gruppen. T3-T1: t-Test. T2-T1 und T3-T2: Mann-Whitney-U-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „Lo“ hat sich von T1 bis T2 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) geändert.
Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „Lo“ hat sich von T2 bis T3 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) geändert.
Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „Lo“ hat sich von T1 bis T3 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) geändert.
Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Gaumenvolumen (Vol)

	Gruppe							
	PA				GNE			
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn
T1	10	3223,10	964,375		11	4076,91	843,70	
T2	10	3846,40	1208,26		11	4987,55	651,93	
T3	10	4488,4	654,52		11	5311,18	717,40	

Tabelle 48 Deskriptive Statistik der Variablen „Vol“ zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3. Plattenapparatur mit Transversalschraube: ANOVA. GNE-Apparatur: ANOVA. (Angaben in mm³)

	Gruppe	
	PA	GNE
	Signifikanz	Signifikanz
ANOVA	0,002**	0,000***
T1 zu T2	0,046*	0,003**
T2 zu T3	n.s.	n.s.
T1 zu T3	0,002**	0,002**

Tabelle 49 Ergebnisse der ANOVA und der paarweisen Vergleiche für die Variable „Vol“.

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
T2-T1	10	623,30	849,83	498,00	13	967,77	887,99	836,00	n.s.
T3-T2	10	642,00	1010,81	243,50	11	323,64	548,06	214,00	n.s.
T3-T1	10	1265,30	913,72	847,00	11	1234,27	989,64	843,00	n.s.

Tabelle 50 Vergleich der Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 der Variablen „Vol“ zwischen den Gruppen. T2-T1, T3-T2 und T3-T1: Mann-Whitney-U-Tests. (Angaben in mm)

Zeitraum T1 bis T2:

Die Variable „Vol“ wurde von T1 bis T2 in der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ signifikant ($p < 0,05$) größer und in der Gruppe „GNE-Apparatur“ hochsignifikant ($p < 0,01$) größer. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T2 bis T3:

Die Variable „Vol“ wurde von T2 bis T3 in beiden Gruppen nicht signifikant ($p \geq 0,05$) größer.
Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

Zeitraum T1 bis T3:

Die Variable „Vol“ wurde von T1 bis T3 in beiden Gruppen hochsignifikant ($p < 0,01$) größer.
Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant ($p \geq 0,05$).

4.2 Analyse der Symmetrie

4.2.1 Vergleich der Symmetrie zum Zeitpunkt T1

	Gruppe						Gruppenvergleich
	Rechts			Links			
	n	M	SD	n	M	SD	
Symmetrievergleich der Zähne 53/13 und 63/23	16	-0,84	0,75	9	0,47	0,64	0,000***
Symmetrievergleich der Zähne 54/14 und 64/24	16	-0,64	0,71	9	0,20	0,71	0,009**
Symmetrievergleich der Zähne 55/15 und 65/25	16	-0,58	0,63	9	0,13	0,76	0,019*
Symmetrievergleich der Zähne 16 und 26	14	-0,58	1,08	4	0,00	1,30	n.s.

Tabelle 51 Symmetrievergleich zwischen den Gruppen "Rechts" und "Links" zum Zeitpunkt T1 anhand von t-Tests. (Angaben in mm)

Die Variable „Symmetrievergleich der Zähne 53/13 und 63/23“ weist zwischen den Gruppen „Rechts“ und „Links“ einen höchstsignifikanten ($p < 0,001$) Unterschied auf.

Die Variable „Symmetrievergleich der Zähne 54/14 und 64/24“ weist zwischen den Gruppen „Rechts“ und „Links“ einen hochsignifikanten ($p < 0,01$) Unterschied auf.

Die Variable „Symmetrievergleich der Zähne 55/15 und 65/25“ weist zwischen den Gruppen „Rechts“ und „Links“ einen signifikanten ($p < 0,05$) Unterschied auf.

Die Variable „Symmetrievergleich der Zähne 16 und 26“ weist zwischen den Gruppen „Rechts“ und „Links“ einen nicht signifikanten ($p \geq 0,05$) Unterschied auf.

4.3 Dauer der Behandlungsphasen

Dauer der aktiven Phase

	Gruppe								Gruppen- vergleich
	PA				GNE				
	n	M	SD	Mdn	n	M	SD	Mdn	
Dauer der aktiven Phase	9	0,56	0,28	0,47	15	0,24	0,34	0,07	0,005**

Tabelle 52 Vergleich der Dauer der aktiven Phase zwischen den Gruppen. Mann-Whitney-U-Test. (Angaben in Jahren)

Die Dauer der aktiven Phase unterscheidet sich zwischen den beiden Gruppen hochsignifikant ($p < 0,01$).

Dauer der Retentionsphase

	Gruppe						Gruppen- vergleich
	PA			GNE			
	n	M	SD	n	M	SD	
Retentionsdauer	9	0,62	0,36	15	1,11	0,43	0,008**

Tabelle 53 Vergleich der Dauer der Retentionsphase zwischen den Gruppen. T-Test. (Angaben in Jahren)

Die Dauer der Retentionsphase unterscheidet sich zwischen den beiden Gruppen hochsignifikant ($p < 0,01$).

4.4 Beurteilung der Stabilität

	Gruppe			
	PA		GNE	
	Anzahl	Anzahl (%)	Anzahl	Anzahl (%)
Stabiles Ergebnis	9	90,00%	12	80,00%
Rezidiv	1	10,00%	3	20,00%
Gesamt	10	100,00%	15	100,00%

Tabelle 54 Rezidive des einseitigen Kreuzbisses nach Gruppen.

In der Gruppe „Plattenapparatur mit Transversalschraube“ blieb das Ergebnis in 90% der Fälle stabil. In 10% der Fälle trat ein Rezidiv auf.

In der Gruppe „GNE-Apparatur“ blieb das Ergebnis in 80% der Fälle stabil. In 20% der Fälle trat ein Rezidiv auf.

4.5 Retest-Reliabilität

Die Messgenauigkeit wurde über die Korrelation nach Pearson erfasst. Der Korrelationskoeffizient liegt stets über 0,7. Die Korrelationskoeffizienten zu einzelnen Variablen können den entsprechenden Tabellen im Anhang entnommen werden (Tabelle 61, Tabelle 62, Tabelle 63).

5 Diskussion

5.1 Patientenkollektiv

In der vorliegenden Studie wurden digitalisierte Modelle von insgesamt 25 Patienten zu drei verschiedenen Zeitpunkten untersucht. Die Patienten stammen aus dem Patientenstamm der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes und wurden im Untersuchungszeitraum ausschließlich einer Frühbehandlung eines einseitigen Kreuzbisses unterzogen. Patienten mit Syndromen, Lippen-Kiefer-Gaumenspalten und kieferorthopädischen Behandlungen innerhalb von drei Jahren nach Abschluss der Frühbehandlung wurden aus der Studie ausgeschlossen. Die Patienten wurden anschließend in zwei Gruppen unterteilt.

Die strengen Einschlusskriterien, insbesondere die dreijährige Nachuntersuchungszeit, führten zu einem Ausschluss vieler Patienten. Patienten, bei denen innerhalb der Nachuntersuchungszeit eine Hauptbehandlung mit einer Multibracket-Apparatur begonnen wurde, konnten nicht berücksichtigt werden. Eine Verkürzung der Nachuntersuchungszeit kam jedoch nicht in Frage, da ein möglichst langes Intervall untersucht werden sollte, um Daten zur Langzeitstabilität zu erhalten.

Wong et al. konnten durch eine kürzere Nachuntersuchungszeit von mindestens zwei Jahren mehr Patienten in ihre Studie aufnehmen. Durch eine fehlende Unterteilung in Untergruppen abhängig von der verwendeten Apparatur konnte die „Behandlungsgruppe“ zusätzlich vergrößert werden. Die Patienten der Studie stammen darüber hinaus aus mehreren Praxen [70]. Die Zusammenfassung aller Apparaturen in eine Gruppe kam für diese Studie nicht in Frage, da die verwendeten Apparaturen miteinander verglichen werden sollten. Die Möglichkeit, Patienten aus mehreren Einrichtungen zu akquirieren, ist hingegen ein sinnvolles Vorgehen, um die Fallzahl zu erhöhen, sofern das Vorliegen einheitlicher Behandlungsprotokolle sichergestellt werden kann. Dies könnte bei zukünftigen Untersuchungen Berücksichtigung finden.

Bartzela et al. und Pinheiro et al. konnten eine größere Fallzahl erreichen, indem die Untersuchung nicht auf eine Frühbehandlung beschränkt wurde und Patienten, die anschließend eine Hauptbehandlung mit einer Multibracket-Apparatur erhalten haben, in die Studien aufgenommen wurden [4][56]. Da das Ziel der vorliegenden Studie die Untersuchung der Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses ist, wurden die Patienten, bei denen der Kreuzbiss in einem höheren Alter therapiert wurde, nicht eingeschlossen. Der Einschluss der Patienten, die im Anschluss eine Multibracket-Apparatur erhalten haben, hätte die Beurteilung der Effekte und Langzeitstabilität der reinen Frühbehandlung unmöglich gemacht.

5.2 Material und Methode

Die Modelle aller Patienten wurden zunächst digitalisiert. Die Digitalisierung der Modelle mithilfe eines 3D-Scanners ist ein etabliertes Verfahren, das in der Vergangenheit bereits vielfach Anwendung gefunden hat [10][48][63]. Die Genauigkeit der Scans eines ganzen Kiefers durch extraorale Scanner wurde bereits mehrfach untersucht und ist für den kieferorthopädischen Einsatz ausreichend [49][60].

Anhand der digitalisierten Modelle wurde die Modellanalyse computergestützt durchgeführt. Die Zuverlässigkeit von computergestützten Messungen ist dabei der Zuverlässigkeit von Messungen auf Gipsmodellen gleichzusetzen [60]. Auch computergestützte Messungen stellen in der Kieferorthopädie ein etabliertes Verfahren dar und werden zunehmend durchgeführt [10][48][63].

Die Zahnbogenbreiten wurden anhand von sieben verschiedenen Messungen an unterschiedlichen Messpunkten bestimmt. In vergleichbaren Untersuchungen ist die Verwendung von teilweise deutlich unterschiedlichen Messpunkten für die Messung der Zahnbogenbreiten festzustellen: Bjerklin und Petrén et al. messen die Zahnbogenbreiten zwischen den Eckzahnsitzen, der Zentralfissur der ersten Molaren der zweiten Dentition und dem Gingivalrand dieser Zähne [9][55]. Pinheiro et al. messen die Zahnbogenbreiten am Gingivalrand aller Seitenzähne [56]. Bartzela et al. messen die Zahnbogenbreiten zwischen den Eckzahnsitzen und am Gingivalrand der Eckzähne und der ersten Molaren der ersten und zweiten Dentition. Zusätzlich bestimmen sie die anteriore und posteriore Zahnbogenbreite entsprechend der Definition für den Index von Pont [4] [57]. Die vorliegende Studie bestimmt sowohl die anteriore und posteriore Zahnbogenbreite als auch die Distanzen zwischen den Eckzahnsitzen und dem Gingivalrand aller Seitenzähne. Die hohe Anzahl an Messungen stellt eine tiefe Einsicht in die Behandlungseffekte sicher und vereinfacht den Vergleich mit anderen Untersuchungen.

Das Gaumenvolumen wurde bereits in anderen Studien computergestützt untersucht: Sollenius et al. und Primožič et al. untersuchten die Veränderung des Gaumenvolumens durch eine Korrektur des einseitigen Kreuzbisses mithilfe der Software Rapidform™ 2006 (INUS Technology Inc., Seoul, Republik Korea) [58][64]. Bukhari et al. untersuchten die Veränderung des Gaumenvolumens durch eine Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses mit der Software Rhino3d v5.0 (Robert McNeel and Associates, Seattle, USA) [10]. In der vorliegenden Studie wird die Software MeshLab (Visual Computing Lab der Universität Pisa, Pisa, Italien) zur Bestimmung des Gaumenvolumens verwendet. MeshLab bietet als kostenlose Open-Source-Lösung den Vorteil der freien Zugänglichkeit und wurde in anderen

Fachbereichen bereits zur Bestimmung von Volumina unter anderem von Epithesen, Prothesen und Kronen [18], von bovinen Extremitäten [52] und von Dämmen [71] verwendet. Die Genauigkeit der Methode wurde bisher jedoch nicht untersucht. Durch die Bestimmung der Retest-Reliabilität konnte in der vorliegenden Studie zumindest eine sehr hohe Übereinstimmung der Messwerte sichergestellt werden (Tabelle 61, Tabelle 62, Tabelle 63).

Zur Analyse der Symmetrie wurden Strecken gemessen, die vom Gingivalrand der Seitenzähne zur Raphe mediana verlaufen. Anschließend folgte ein Vergleich der Strecken der Kreuzbissseite mit denen der regelrechten Seite. Leonardi et al. verfolgten einen ähnlichen Ansatz und führten Messungen im Bereich der Eckzähne und der ersten Molaren der zweiten Dentition durch. Zusätzlich überlagerten Sie die Gaumenoberfläche mit deren Spiegelung und untersuchten die Abweichungen zwischen beiden Oberflächen [38]. Bukhari et al. nutzten zur Symmetrieanalyse das Gaumenvolumen. Dazu teilten sie das Gaumenvolumen in drei Segmente je Quadranten. Anschließend wurde das Volumen der Segmente verglichen [10]. Primožič et al. nutzten zur Symmetrieanalyse die Gaumenoberfläche. Sie spiegelten zunächst die Gaumenoberfläche horizontal. Anschließend wurde die Gaumenoberfläche mit der Spiegelung überlagert und der prozentuale Anteil der Überlappung als Maßstab für die Symmetrie verwendet [59].

Die Analyse der Symmetrie im Oberkiefer kann somit anhand des Zahnbogens, der Gaumenoberfläche oder des Gaumenvolumens erfolgen. Eine Asymmetrie des Zahnbogens sollte ohne weitere Evidenz jedoch nicht einer Asymmetrie der Gaumenoberfläche oder des Gaumenvolumens gleichgesetzt werden. Die Analyse der Gaumenoberfläche und des Gaumenvolumens sollte deshalb nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zur Analyse des Zahnbogens herangezogen werden.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Zahnbogenbreiten

Sowohl durch die Behandlung mit Plattenapparaturen mit Transversalschraube als auch mit GNE-Apparaturen konnte der Zahnbogen im Oberkiefer signifikant erweitert und der einseitige Kreuzbiss überstellt werden. Dieses Ergebnis entspricht dem Ergebnis anderer Studien, in denen Plattenapparaturen, Quadhelix-Apparaturen, Haas-Apparaturen oder Hyrax-Apparaturen verwendet wurden [9][55][70].

Im Zeitraum T1 bis T2 wurde durch GNE-Apparaturen eine größere Transversalerweiterung erreicht als durch Plattenapparaturen. Der Unterschied war dabei im Bereich der zweiten

Molaren der ersten Dentition und der ersten Molaren der zweiten Dentition signifikant. Das Behandlungsprotokoll sah bei der Verwendung von GNE-Apparaturen und Plattenapparaturen eine ähnliche Erweiterung vor. Die Ursache für die größere Expansion liegt möglicherweise in der angestrebten Überkorrektur von 2mm, die durch GNE-Apparaturen besser erreicht werden konnte.

Im Zeitraum T2 bis T3 fällt in beiden Gruppen auf, dass „ICDg“ abnimmt, während „ICDi“ zunimmt.

Ein Vergleich der PA-Gruppe mit der der Studien von Bjerklin und Petrén et al. zeigt, dass im Nachuntersuchungszeitraum die intercanine Distanz (gemessen an der Eckzahnspitze) deutlich stärker zunahm [9][55]. Die Messungen der intercaninen Distanz am Gingivalrand weisen in der vorliegenden Arbeit ein Rezidiv auf, das ähnlich zu den anderen Studien ist. Die intermolare Distanz nimmt anders als in den anderen Studien im Nachuntersuchungszeitraum zu.

Die durch GNE-Apparaturen erreichte Expansion ist sowohl im Bereich der Eckzähne als auch im Bereich der ersten Molaren der zweiten Dentition zu den Ergebnissen von Wong et al. sehr ähnlich [70]. Im Nachuntersuchungszeitraum nahm die intercanine Distanz (gemessen an der Eckzahnspitze) in der vorliegenden Studie stärker zu, während das Rezidiv der intermolaren Distanz stärker ausgeprägt war.

Generell sind die Abweichungen möglicherweise auf den in diesem Zeitraum stattfindenden Zahnwechsel und damit auf die unterschiedliche Morphologie der Zähne zurückzuführen.

Die Unterschiede in den Messwerten sind sicherlich auch zu einem gewissen Teil auf die unterschiedlichen Behandlungsprotokolle zurückzuführen: Bjerklin gibt an, dass lediglich bei einigen Patienten eine geringgradige Überkorrektur angestrebt wurde. Die Retentionsphase betrug drei bis fünf Monate [9]. Petrén et al. führten keine Überkorrektur durch. Die Retentionsphase betrug sechs Monate [55]. Wong et al. führten eine Überkorrektur von etwa 2mm durch. Die Retentionsphase betrug mindestens drei Monate [70]. In der vorliegenden Studie wurde eine Überkorrektur von 2mm angestrebt. Die Retentionsdauer betrug durchschnittlich etwa sieben Monate für die PA-Gruppe und 13 Monate für die GNE-Gruppe. Die angestrebte Überkorrektur von 2mm der vorliegenden Studie führt zu der Annahme, dass die Expansion gleich groß ausfallen sollte wie in der Studie von Wong et al. und größer als in den Studien von Bjerklin und Petrén et al. Diese Annahme trifft jedoch nur bedingt zu. Ein weiterer Grund für die Unterschiede könnte deshalb in der Genauigkeit der Messungen der Studien liegen, insbesondere vor dem Hintergrund der eher niedrigen Fallzahlen.

Die im Anhang befindliche Tabelle 59 zeigt eine Übersicht über ausgewählte Ergebnisse der vorliegenden Studie und soll dem einfacheren Vergleich mit anderen Studien dienen. Eine Auswahl zum Thema der Langzeitstabilität bereits veröffentlichter Studien ist im Anhang in Tabelle 60 dargestellt.

5.3.2 Symmetrie

In der vorliegenden Studie konnten Asymmetrien des Zahnbogens in der Transversalen zum Zeitpunkt T1 nachgewiesen werden. Es existieren sehr wenige Studien, die die Symmetrie des Oberkieferzahnbogens im Rahmen der Frühbehandlung eines einseitigen Kreuzbisses untersuchen.

Bukhari et al. konnten zum Zeitpunkt T1 in der Behandlungsgruppe keine Asymmetrien feststellen, während in der Kontrollgruppe im anterioren Drittel signifikante Unterschiede in der Symmetrie festzustellen waren. Diese wurden als klinisch irrelevant eingestuft [10].

Primožič et al. stellten fest, dass die Gaumenoberfläche bei Patienten mit einseitigen Kreuzbissen symmetrisch ist [59].

Leonardi et al. konnten bei Patienten mit einseitigem Kreuzbiss Asymmetrien im Zahnbogen feststellen, während der Gaumen im Vergleich zur Kontrollgruppe symmetrisch schmaler war. Dieses Ergebnis führte zu der Schlussfolgerung, dass die Asymmetrien lediglich im Bereich der Alveolarfortsätze vorliegen [38]. Die Ergebnisse der Studie von Leonardi et al. sind eine mögliche Erklärung, weshalb in der vorliegenden Studie Asymmetrien im Zahnbogen festgestellt wurden, Bukhari et al. und Primožič et al. bei der Analyse des Gaumenvolumens und der Gaumenoberfläche jedoch keine Asymmetrien feststellen konnten. Die Symmetrie des Zahnbogens sollte nicht der Symmetrie der Gaumenoberfläche oder des Gaumenvolumens gleichgesetzt werden und anhand von geeigneten Messstrecken eigenständig beurteilt werden.

5.3.3 Gaumenvolumen

Das Gaumenvolumen konnte durch die Behandlung in beiden Gruppen signifikant vergrößert werden. Im Zeitraum T2 bis T3 nahm das Gaumenvolumen in beiden Gruppen weiterhin geringgradig zu. Zwischen beiden Gruppen war kein signifikanter Unterschied festzustellen.

Es existieren einige weitere Studien, die das Gaumenvolumen im Zusammenhang mit der Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses untersucht haben. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stimmen dabei unabhängig von der verwendeten Apparatur mit den Ergebnissen in der Literatur überein.

Bukhari et al. untersuchten 30 Patienten, die mit einer Haas-Apparatur aufgrund eines einseitigen Kreuzbisses behandelt wurden. Das Gaumenvolumen nahm durch die Behandlung signifikant zu [10].

Sollenius et al. untersuchten die Veränderungen des Gaumenvolumens bei Patienten, die im Rahmen einer Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses mit einer Quadhelix-Apparatur oder einer Plattenapparatur behandelt wurden. Die Behandlung führte ebenfalls zu einer signifikanten Zunahme des Gaumenvolumens [64].

Primožič et al. untersuchten das Gaumenvolumen von 30 Patienten mit einem einseitigen Kreuzbiss, die im Rahmen einer Frühbehandlung mit einer Plattenapparatur behandelt wurden. Durch die Behandlung nahm das Gaumenvolumen signifikant zu. Im Unterschied zu den Studien von Bukhari et al. und Primožič et al. wurden die Patienten in einem Zeitraum von 30 Monaten nach der Therapie regelmäßig nachuntersucht. Nach 30 Monaten war eine weitere Vergrößerung des Gaumenvolumens feststellbar. Auch dieses Ergebnis entspricht dem der vorliegenden Studie [58].

5.3.4 Stabilität

Rezidive traten in der GNE-Gruppe in 20% der Fälle auf und damit häufiger als in der PA-Gruppe, in der in 10% der Fälle Rezidive auftraten. Eine Ursache für häufigere Rezidive in der GNE-Gruppe könnte im Behandlungsprotokoll liegen. Das Behandlungsprotokoll sah eine Retentionsphase von sechs Monaten vor. Zunächst wurden drei Monate lang die GNE-Apparaturen als Retentionsgeräte weitergetragen. Anschließend fand ein Umstieg auf eine Plattenapparatur statt. Durch den Umstieg wurde erstmals eine gute Compliance von den Patienten gefordert, die bisher eine Compliance-unabhängige Therapie gewöhnt waren. Eine mangelnde Compliance könnte in diesem Zeitraum zu einem Rezidiv geführt haben.

Eine weitere mögliche Ursache liegt im Zahnwechsel. Der Zahnwechsel kann zu einer schlechteren Passung der Plattenapparatur führen, wodurch eine zu geringere Tragezeit der Apparatur resultieren kann, welche zu einem Rezidiv führt.

Bartzela et al. kommen in ihrer Studie zu ähnlichen Ergebnissen. In der Gruppe der Frühbehandlungen mit GNE-Apparaturen traten in 24% der Fälle Rezidive auf. In den anderen Gruppen lag die Rezidivrate bei 20%. Ein Vergleich zur vorliegenden Studie ist aufgrund der unterschiedlichen Einschlusskriterien jedoch nur eingeschränkt möglich: Die Hälfte der Patienten wurde im frühen Wechselgebiss im Rahmen einer Frühbehandlung therapiert, während die andere Hälfte erst im späten Wechselgebiss therapiert wurde. Anschließend erfolgte eine zweite Phase der Behandlung mit einer Multibracket-Apparatur, sodass die Beurteilung der reinen Frühbehandlung nicht möglich ist. Die Nachuntersuchungszeit lag außerdem mit etwa zwei Jahren niedriger als in der vorliegenden Studie [4].

Pinheiro et al. untersuchten die Langzeitstabilität der Behandlung des einseitigen Kreuzbisses durch eine langsame und forcierte Transversalerweiterung. Ein Rezidiv des einseitigen Kreuzbisses trat im Falle der forcierten Gaumennahterweiterung in 20% der Fälle auf, während ein Rezidiv bei der Gruppe der langsamen Transversalerweiterung in 30% der Fälle auftrat. Ein Vergleich zur vorliegenden Studie ist nicht möglich, da auch in diesem Fall auf die Behandlung des Kreuzbisses eine zweite Phase der Behandlung mit einer Multibracket-Apparatur folgte. Zudem handelte sich bei der Korrektur des einseitigen Kreuzbisses nicht um eine Frühbehandlung [56].

Bjerklin und Petrén et al. untersuchten die Langzeitstabilität der Frühbehandlung durch eine Plattenapparatur oder eine Quadhelix-Apparatur. Während Bjerklin eine bessere Stabilität bei der Verwendung von Plattenapparaturen feststellte, konnten Petrén et al. keine signifikanten Unterschiede zu Quadhelix-Apparaturen feststellen [9][55].

5.4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass ein einseitiger Kreuzbiss sowohl durch Plattenapparaturen als auch durch GNE-Apparaturen vor der zweiten Phase des Wechselgebisses erfolgreich überstellt werden kann. Durch GNE-Apparaturen konnte initial eine größere Expansion als mit Plattenapparaturen erzielt werden. Anschließend traten in der Gruppe der GNE-Apparaturen jedoch größere Rezidive auf. Beim Vergleich der verbliebenen Behandlungseffekte (T3-T1) konnten keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Der einseitige Kreuzbiss rezidierte bei 10% der Patienten, die mit Plattenapparaturen therapiert wurden und bei 20% der Patienten, die mit GNE-Apparaturen therapiert wurden. Eine Therapie durch Plattenapparaturen führte zu einem stabileren Ergebnis. Der Grund ist möglicherweise im Behandlungsprotokoll der Retentionsphase zu suchen.

Die Ergebnisse der Symmetrieanalyse zeigen, dass bei einem einseitigen Kreuzbiss eine Asymmetrie im Oberkieferzahnbogen vorliegen kann. Der Oberkieferzahnbogen kann im Bereich der Eckzähne und Molaren der ersten Dentition auf der Kreuzbissseite enger sein als auf der gegenüberliegenden Seite.

Durch die Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses kann das Gaumenvolumen signifikant vergrößert werden. Dieser Effekt bleibt auch nach der Therapie erhalten.

Für die Zukunft wäre es interessant, die Symmetrie im Oberkieferzahnbogen beim Vorliegen eines einseitigen Kreuzbisses unabhängig von der Therapie zu untersuchen. Dies würde den Einschluss von deutlich mehr Patienten ermöglichen.

Darüber hinaus ist es interessant, zu untersuchen, inwieweit die Symmetrie der Zahnbögen durch die Therapie des einseitigen Kreuzbisses verändert wird. Auch in diesem Fall sollte eine höhere Fallzahl angestrebt werden. Die Analyse der Symmetrie kann zudem um eine Analyse von Segmenten des Gaumenvolumens und der Gaumenoberfläche erweitert werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Agostino P, Ugolini A, Signori A, Silvestrini-Biavati A, Harrison JE, Riley P (2014) Orthodontic treatment for posterior crossbites (Review). *Cochrane Oral Heal Gr* 1:1–59
2. Algharbi M, Bazargani F, Dimberg L (2018) Do different maxillary expansion appliances influence the outcomes of the treatment? *Eur J Orthod* 40:97–106
3. Andrade A da S, Gameiro GH, DeRossi M, Gavião MBD (2008) Posterior crossbite and functional changes: A systematic review. *Angle Orthod* 79:380–386
4. Bartzela T, Jonas I (2007) Long-term Stability of Unilateral Posterior Crossbite Correction. *Angle Orthod* 77:237–243
5. Becking BE, Verweij JP, Kalf-Scholte SM, Valkenburg C, Bakker EWP, Richard Van Merkesteyn J (2017) Impact of adenotonsillectomy on the dentofacial development of obstructed children: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 39:509–518
6. Behlfelt K, Linder-Aronson S, McWilliam J, Neander P, Laage-Hellman J (1989) Dentition in children with enlarged tonsils compared to control children. *Eur J Orthod* 11:416–429
7. Bell RA (1982) A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod* 81:32–37
8. Bishara SE, Staley RN (1987) Maxillary expansion: Clinical implications. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 91:3–14
9. Bjerklin K (2000) Follow-up Control of Patients with Unilateral Posterior Cross-Bite Treated with Expansion Plates or the Quad-Helix Appliance. *J Orofac Orthop* 61:112–124
10. Bukhari A, Kennedy D, Hannam A, Aleksejuniene J, Yen E (2018) Dimensional changes in the palate associated with slow maxillary expansion for early treatment of posterior crossbite. *Angle Orthod* 88:390–396
11. Camacho M, Chang ET, Song SA, Abdullatif J, Zaghi S, Pirelli P, Certal V, Guilleminault C (2017) Rapid Maxillary Expansion for Pediatric Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Laryngoscope* 127:1712–1719
12. Cheng MC, Enlow DH, Papsidero M, Broadbent BH, Oyen O, Sabat M (1988) Developmental Effects of Impaired Breathing in the Face of the Growing Child. *Angle Orthod* 58:309–320
13. Corruccini RS, Yap Potter RH (1980) Genetic analysis of occlusal variation in twins. *Am*

14. Corruccini RS, Townsend GC, Richards LC, Brown T (1990) Genetic and Environmental Determinants of Dental Occlusal Variation in Twins of Different Nationalities. *Hum Biol* 62:353–367
15. Costa JG, Galindo TM, Mattos CT, Cury-Saramago A de A (2017) Retention period after treatment of posterior crossbite with maxillary expansion: A systematic review. *Dental Press J Orthod* 22:35–44
16. Dimberg L, Lennartsson B, Söderfeldt B, Bondemark L (2013) Malocclusions in children at 3 and 7 years of age: a longitudinal study. *Eur J Orthod* 35:131–137
17. Egermark-Eriksson I, Carlsson GE, Magnusson T, Thilander B (1990) A longitudinal study on malocclusion in relation to signs and symptoms of cranio-mandibular disorders in children and adolescents. *Eur J Orthod* 12:399–407
18. Farook TH, Barman A, Abdullah JY, Jamayet N Bin (2021) Optimization of Prosthodontic Computer-Aided Designed Models: A Virtual Evaluation of Mesh Quality Reduction Using Open Source Software. *J Prosthodont* 30:420–429
19. Flores-Mir C, Korayem M, Heo G, Witmans M, Major MP, Major PW (2013) Craniofacial morphological characteristics in children with obstructive sleep apnea syndrome: A systematic review and meta-analysis. *J Am Dent Assoc* 144:269–277
20. Garrahy A, Millett DT, Ayoub AF (2005) Early assessment of dental arch development in repaired unilateral cleft lip and unilateral cleft lip and palate versus controls. *Cleft Palate-Craniofacial J* 42:385–391
21. Grabowski R, Stahl F, Gaebel M, Kundt G (2007) Relationship between Occlusal Findings and Orofacial Myofunctional Status in Primary and Mixed Dentition: Part I: Prevalence of Malocclusions. *J Orofac Orthop* 68:26–37
22. Guilleminault C, Korobkin R, Winkle R (1981) A Review of 50 Children with Obstructive Sleep Apnea Syndrome. *Lung* 159:275–287
23. Harris EF, Johnson MG (1991) Heritability of craniometric and occlusal variables: A longitudinal sib analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 99:258–268
24. Heikinheimo K, Salmi K, Myllärniemi S (1987) Long term evaluation of orthodontic diagnoses made at the ages of 7 and 10 years. *Eur J Orthod* 9:151–159
25. Holm A -K (1975) A longitudinal study of dental health in Swedish children aged 3–5 years. *Community Dent Oral Epidemiol* 3:228–236

26. Huddart AG, Bodenham RS (1972) The Evaluation of Arch Form and Occlusion in Unilateral Cleft Palate Subjects. *Cleft Palate J* 9:194–209
27. Hultcrantz E, Larson M, Hellquist R, Ahlquist-Rastad J, Svanholm H, Jakobsson OP (1991) The influence of tonsillar obstruction and tonsillectomy on facial growth and dental arch morphology. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 22:125–134
28. Iodice G, Danzi G, Cimino R, Paduano S, Michelotti A (2013) Association between posterior crossbite, masticatory muscle pain, and disc displacement: A systematic review. *Eur J Orthod* 35:737–744
29. Iodice G, Danzi G, Cimino R, Paduano S, Michelotti A (2016) Association between posterior crossbite, skeletal, and muscle asymmetry: a systematic review. *Eur J Orthod* 38:638–651
30. Kavand G, Lagravère M, Kula K, Stewart K, Ghoneima A (2019) Retrospective CBCT analysis of airway volume changes after bone-borne vs tooth-borne rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 89:566–574
31. King L, Harris EF, Tolley EA (1993) Heritability of cephalometric and occlusal variables as assessed from siblings with overt malocclusions. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 104:121–131
32. Kisling E, Krebs G (1976) Patterns of occlusion in 3-year-old Danish children. *Community Dent Oral Epidemiol* 4:152–159
33. Kobayashi HM, Scavone H, Ferreira RI, Garib DG (2010) Relationship between breastfeeding duration and prevalence of posterior crossbite in the deciduous dentition. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 137:54–58
34. Krüsi M, Eliades T, Papageorgiou SN (2019) Are there benefits from using bone-borne maxillary expansion instead of tooth-borne maxillary expansion? A systematic review with meta-analysis. *Prog Orthod* 20:
35. Kurol J, Berglund L (1992) Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *Eur J Orthod* 14:173–179
36. Kutin G, Hawes RR (1969) Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions. *Am J Orthod* 56:491–504
37. Larsson E (1986) The effect of dummy-sucking on the occlusion: a review. *Eur J Orthod* 8:127–130

38. Leonardi R, Lo Giudice A, Rugeri M, Muraglie S, Cordasco G, Barbato E (2018) Three-dimensional evaluation on digital casts of maxillary palatal size and morphology in patients with functional posterior crossbite. *Eur J Orthod* 40:556–562
39. Lindner A (1989) Longitudinal study on the effect of early interceptive treatment in 4-year-old children with unilateral cross-bite. *Eur J Oral Sci* 97:432–438
40. Lippold C, Hoppe G, Moiseenko T, Ehmer U, Danesh G (2008) Analysis of Condylar Differences in Functional Unilateral Posterior Crossbite during Early Treatment - a Randomized Clinical Study. *J Orofac Orthop* 69:283–296
41. Löfstrand-Tideström B, Thilander B, Ahlqvist-Rastad J, Jakobsson O, Hultcrantz E (1999) Breathing obstruction in relation to craniofacial and dental arch morphology in 4-year-old children. *Eur J Orthod* 21:323–332
42. Macena MCB, Katz CRT, Rosenblatt A (2009) Prevalence of a posterior crossbite and sucking habits in Brazilian children aged 18-59 months. *Eur J Orthod* 31:357–361
43. Malandris M, Mahoney EK (2004) Aetiology, diagnosis and treatment of posterior crossbites in the primary dentition. *Int J Paediatr Dent* 14:155–166
44. Melsen B, Stensgaard K, Pedersen J (1979) Sucking habits and their influence on swallowing pattern and prevalence of malocclusion. *Eur J Orthod* 1:271–280
45. Mitchell RB, Archer SM, Ishman SL, Rosenfeld RM, Coles S, Finestone SA, Friedman NR, Giordano T, Hildrew DM, Kim TW, Lloyd RM, Parikh SR, Shulman ST, Walner DL, Walsh SA, Nnacheta LC (2019) Clinical Practice Guideline: Tonsillectomy in Children (Update). *Otolaryngol - Head Neck Surg* 160:S1–S42
46. Modéer T, Odenrick L, Lindner A (1982) Sucking habits and their relation to posterior cross-bite in 4-year-old children. *Eur J Oral Sci* 90:323–328
47. Moyers RE, van der Linden FPGM, Riolo ML, McNamara Jr JA (1976) Standards of human occlusal development. Center for Human Growth and Development, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan
48. Muchitsch AP, Winsauer H, Wendl B, Pichelmayer M, Kuljuh E, Szalay A, Muchitsch M (2012) Remodelling of the palatal dome following rapid maxillary expansion (RME): Laser scan-quantifications during a low growth period. *Orthod Craniofac Res* 15:30–38
49. Nowak R, Wesemann C, Robben J, Muallah J, Bumann A (2017) An in-vitro study comparing the accuracy of full-arch casts digitized with desktop scanners. *Quintessence Int (Berl)* 48:667–676

50. Øgaard B, Larsson E, Lindsten R (1994) The effect of sucking habits, cohort, sex, intercanine arch widths, and breast or bottle feeding on posterior crossbite in Norwegian and Swedish 3-year-old children. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 106:161–166
51. Otuyemi OD, Sote EO, Isiekwe MC, Jones SP (2003) Occlusal relationships and spacing or crowding of teeth in the dentitions of 3-4-year-old Nigerian children. *Int J Paediatr Dent* 7:155–160
52. Paolucci LA, de Melo Gomides L, Las Casas EB, Faleiros RR, de Andrade AGP, Paz C, Fedotova V, Menzel H (2017) Estimation of bovine pelvic limb inertial properties using an elliptical model. *J Brazilian Soc Mech Sci Eng* 39:2371–2382
53. Pegelow M, Alqadi N, Karsten ALA (2012) The prevalence of various dental characteristics in the primary and mixed dentition in patients born with non-syndromic unilateral cleft lip with or without cleft palate. *Eur J Orthod* 34:561–570
54. Petrén S, Bondemark L, Söderfeldt B (2003) A Systematic Review Concerning Early Orthodontic Treatment of Unilateral Posterior Crossbite. *Angle Orthod* 73:588–596
55. Petrén S, Bjerklin K, Bondemark L (2011) Stability of unilateral posterior crossbite correction in the mixed dentition: A randomized clinical trial with a 3-year follow-up. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 139:73–81
56. Pinheiro FHDSL, Garib DG, Janson G, Bombonatti R, De Freitas MR (2014) Longitudinal stability of rapid and slow maxillary expansion. *Dental Press J Orthod* 19:70–77
57. Pont A (1909) Der Zahn-Index in der Orthodontie. *Zahnärztliche Orthopädie* 3:306–321
58. Primožič J, Richmond S, Kau CH, Zhurov A, Ovsenik M (2013) Three-dimensional evaluation of early crossbite correction: a longitudinal study. *Eur J Orthod* 35:7–13
59. Primožič J, Baccetti T, Franchi L, Richmond S, Farčnik F, Ovsenik M (2013) Three-dimensional assessment of palatal change in a controlled study of unilateral posterior crossbite correction in the primary dentition. *Eur J Orthod* 35:199–204
60. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL (2016) Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 149:161–170
61. Schopf P (2003) Indication for and Frequency of Early Orthodontic Therapy or Interceptive Measures. *J Orofac Orthop* 64:186–200
62. Schröder U, Schröder I (1984) Early treatment of unilateral posterior crossbite in

- children with bilaterally contracted maxillae. *Eur J Orthod* 6:65–69
63. Sollenius O, Golež A, Primožič J, Ovsenik M, Bondemark L, Petrén S (2020) Three-dimensional evaluation of forced unilateral posterior crossbite correction in the mixed dentition: A randomized controlled trial. *Eur J Orthod* 42:415–425
 64. Sollenius O, Golež A, Primožič J, Ovsenik M, Bondemark L, Petrén S (2020) Three-dimensional evaluation of forced unilateral posterior crossbite correction in the mixed dentition: A randomized controlled trial. *Eur J Orthod* 42:415–425
 65. Souki BQ, Pimenta GB, Souki MQ, Franco LP, Becker HMG, Pinto JA (2009) Prevalence of malocclusion among mouth breathing children: Do expectations meet reality? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 73:767–773
 66. Thilander B, Wahlund S, Lennartsson B (1984) The effect of early interceptive treatment in children with posterior cross-bite. *Eur J Orthod* 6:25–34
 67. Thilander B, Lennartsson B (2002) A Study of Children with Unilateral Posterior Crossbite, Treated and Untreated, in the Deciduous Dentition. *J Orofac Orthop* 63:371–383
 68. Tzanidis N, Antonarakis GS, Kiliaridis S (2016) Functional changes after early treatment of unilateral posterior cross-bite associated with mandibular shift: a systematic review. *J Oral Rehabil* 43:59–68
 69. Viggiano D, Fasano D, Monaco G, Strohmenger L (2004) Breast feeding, bottle feeding, and non-nutritive sucking; effects on occlusion in deciduous dentition. *Arch Dis Child* 89:1121–1123
 70. Wong CA, Sinclair PM, Keim RG, Kennedy DB (2011) Arch dimension changes from successful slow maxillary expansion of unilateral posterior crossbite. *Angle Orthod* 81:616–623
 71. Wróżyński R, Pyszny K, Sojka M, Przybyła C, Murat-Błazejewska S (2017) Ground volume assessment using “Structure from Motion” photogrammetry with a smartphone and a compact camera. *Open Geosci* 9:281–294

7 Publikation und Danksagung

7.1 Publikation

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie wurden im Rahmen der 2021 Annual Virtual Conference der European Orthodontic Society vom 2. – 3. Juli 2021 veröffentlicht. Die Veröffentlichung erfolgte als e-Poster mit dem Titel „Effects and long-term stability of unilateral posterior crossbite correction before the late mixed dentition“.

7.2 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Jörg A. Lisson für die Ermöglichung, diese Dissertation anzufertigen, für die Unterstützung, die ich jederzeit genießen durfte und nicht zuletzt für die Begeisterung für das Fachgebiet der Kieferorthopädie, die ich durch ihn entdecken konnte.

Ich danke Frau Dr. Sarah Blattner für die äußerst engagierte und kompetente Betreuung der gesamten Arbeit, für die aufschlussreichen Antworten, die ich zu jeder meiner Fragen bekommen habe und für jede Anregung während der Verfassung der Arbeit, die unermesslich zur endgültigen Form der Arbeit beigetragen haben.

Ich bedanke mich ebenfalls bei Frau Dr. Muska Kenel für die unglaublich zügige Durchführung des Retests.

Für die Unterstützung bei der Digitalisierung der Modelle bedanke ich mich ganz herzlich bei Frau Dr. Maike Zeilmann.

Bei Frau Dipl.-Stat. Gudrun Wagenpfeil bedanke ich mich für die Beratung während der statistischen Auswertung.

Schließlich bedanke ich mich bei meiner Familie, auf deren Unterstützung ich mich immer verlassen konnte.

8 Anhang

8.1 Ergebnisse der Shapiro-Wilk Tests

	Gruppe					
	Plattenapparatur mit Transversalschraube			GNE-Apparatur		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
vZBBo	0,258	,024	0,395	0,627	0,354	0,496
hZBBo	0,473	0,009	0,082	0,486	0,781	0,557
13-RME	0,919	0,116	0,006	0,959	0,014	0,172
RME-23	0,516	0,536	0,012	0,949	0,904	0,418
13-RME + RME-23	0,284	0,222	0,076	0,986	0,565	0,459
ICDg	0,352	0,246	0,077	0,990	0,532	0,439
ICDi	0,613	0,440	0,302	0,900	0,326	0,983
14-RME	0,309	0,032	0,130	0,855	0,465	0,492
RME-24	0,020	0,008	0,849	0,223	0,640	0,469
14-RME + RME-24	0,327	0,007	0,154	0,971	0,558	0,753
IPMD4g	0,287	0,006	0,142	0,974	0,600	0,750
15-RME	0,413	0,480	0,643	0,952	0,757	0,383
RME-25	0,648	0,129	0,542	0,305	0,355	1,000
15-RME + RME-25	0,512	0,226	0,738	0,946	0,868	0,912
IPMD5g	0,510	0,309	0,753	0,873	0,789	0,917
16-RME	0,114	0,980	0,082	0,606	0,387	0,443
RME-26	0,158	0,609	0,123	0,399	0,860	0,792
16-RME + RME-26	0,880	0,507	0,110	0,257	0,451	0,603
IMDg	0,923	0,459	0,098	0,232	0,427	0,656
Lo	0,550	0,557	0,008	0,209	0,047	0,014
Vol	0,442	0,426	0,124	0,418	0,344	0,637

Tabelle 55 Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests. Dargestellt sind die p-Werte zu allen Variablen der Zeipunkte T1, T2 und T3.

	Gruppe					
	Plattenapparatur mit Transversalschraube			GNE-Apparatur		
	T2-T1	T3-T2	T3-T1	T2-T1	T3-T2	T3-T1
vZBBo	0,364	0,065	0,391	0,146	0,110	0,240
hZBBo	0,006	0,523	0,252	0,038	0,744	0,341
13-RME	0,876	0,193	0,387	0,912	0,540	0,885
RME-23	0,292	0,803	0,239	0,508	0,382	0,113
13-RME + RME-23	0,175	0,812	0,169	0,728	0,074	0,815
ICDg	0,146	0,823	0,191	0,749	0,048	0,863
ICDi	0,306	0,087	0,142	0,495	0,133	0,152
14-RME	0,508	0,165	0,525	0,853	0,978	0,978
RME-24	0,113	0,233	0,352	0,147	0,880	0,770
14-RME + RME-24	0,814	0,051	0,223	0,698	0,650	0,479
IPMD4g	0,814	0,048	0,201	0,737	0,664	0,399
15-RME	0,438	0,882	0,428	0,897	0,702	0,975
RME-25	0,488	0,006	0,297	0,119	0,088	0,872
15-RME + RME-25	0,599	0,370	0,587	0,005	0,920	0,818
IPMD5g	0,485	0,390	0,623	0,007	0,984	0,864
16-RME	0,994	0,603	0,353	0,505	0,979	0,460
RME-26	0,305	0,632	0,688	0,124	0,954	0,314
16-RME + RME-26	0,734	0,795	0,479	0,953	0,059	0,604
IMDg	0,898	0,734	0,538	0,981	0,097	0,616
Lo	0,039	0,082	0,108	0,029	0,028	0,119
Vol	0,000	0,011	0,176	0,368	0,008	0,024

Tabelle 56 Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests. Dargestellt sind die p-Werte zu den Differenzen T2-T1, T3-T2 und T3-T1 aller Variablen.

	Gruppe	
	Plattenapparatur mit Transversalschraube	GNE-Apparatur
Dauer der aktiven Phase	0,081	0,000
Retentionsdauer	0,055	0,085

Tabelle 57 Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests. Dargestellt sind die p-Werte zu den Variablen der verschiedenen Behandlungsphasen.

	Gruppe					
	Rechts			Links		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Symmetrievergleich der Zähne 53/13 und 63/23	0,273	0,540	0,769	0,540	0,758	0,000
Symmetrievergleich der Zähne 54/14 und 64/24	0,454	0,301	0,789	0,222	0,675	0,134
Symmetrievergleich der Zähne 55/15 und 65/25	0,303	0,321	0,887	0,060	0,706	0,584
Symmetrievergleich der Zähne 16 und 26	0,165	0,120	0,762	0,414	0,194	0,887

Tabelle 58 Ergebnisse der Tests auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests. Dargestellt sind die p-Werte zu den Variablen des Symmetrievergleichs.

8.2 Übersicht über ausgewählte Befunde der vorliegenden Studie

Gruppe	Messung	Differenzen T2-T1		Differenzen T3-T2		Differenzen T3-T1	
		M	SD	M (Mdn)	SD	M	SD
PA	ICDi	3,03	1,62	1,54	1,17	4,57	2,04
	ICDg	2,54	1,14	-0,65 (-0,90)	1,43	1,89	1,78
	IMDo	1,85	0,99	0,54	2,22	2,62	2,10
	IMDg	1,85	0,92	0,53	2,17	2,60	2,08
GNE	ICDi	4,26	1,74	1,54	1,59	5,53	2,39
	ICDg	3,49	1,94	-0,92 (-0,60)	1,76	2,30	2,82
	IMDo	3,96	1,37	-1,39	2,12	2,23	2,01
	IMDg	3,94	1,38	-1,37	2,12	2,24	2,04

Tabelle 59 Ausgewählte Befunde des Oberkiefers aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie. (Alle Angaben in mm)

8.3 Übersicht über weitere Studien zur Langzeitstabilität der Frühbehandlung

Studie	Gruppe	Messung	Differenzen T2-T1		Differenzen T3-T2		Differenzen T3-T1	
			M	SD	M	SD	M	SD
Bjerklin [9]	PA (n = 19)	ICDi	2,3	1,22	0,8	1,57	3,5	2,11
		ICDg	1,5	1,04	-1,0	1,52	0,7	1,59
		IMDo	2,9	1,68	-1,0	1,52	3,3	1,54
		IMDg	2,6	1,34	-0,2	1,58	2,5	1,46
	Quad- helix (n = 19)	ICDi	1,6	1,04	0,9	1,56	3,3	2,24
		ICDg	1,2	0,67	-0,1	1,27	1,3	1,43
		IMDo	3,6	1,48	-0,6	2,04	3,3	1,80
		IMDg	3,3	1,63	-0,9	2,15	2,6	1,70
	Kontroll- gruppe (n = 19)	ICDi					0,9	1,29
		ICDg					-0,8	1,52
		IMDo					1,2	1,32
		IMDg					1,0	0,96

Petrén et al. [55]	PA (n = 15)	ICDi	2,6	1,58	0,2	1,09	2,5	1,68
		ICDg	2,4	1,44	-1,4	1,54	0,6	2,25
		IMDo	3,8	1,62	-0,4	1,33	3,5	1,19
		IMDg	3,2	1,24	-0,6	1,14	2,6	1,19
	Quad- helix (n = 20)	ICDi	2,7	1,57	0,4	1,67	3,2	2,28
		ICDg	1,5	1,64	-1,2	1,19	0,2	1,88
		IMDo	4,1	1,45	-0,8	1,7	3,4	1,38
		IMDg	3,7	1,58	-0,8	1,48	2,8	1,71
	Kontroll- gruppe (n = 20)	ICDi					1,6	2,38
		ICDg					-0,2	2,12
		IMDo					1,9	1,58
		IMDg					2,0	1,66
Wong et al. [70]	Fest- sitzend ¹	ICDi	4,56	0,32	-0,09	0,32	4,47	0,32
		IMDo	4,32	0,40	-0,67	0,40	3,65	0,40
	Kontroll- gruppe ²	ICDi	0,57	0,66	1,90	0,73	2,47	0,69
		IMDo	0,7	0,68	1,70	0,75	2,39	0,61

Tabelle 60 Übersicht über ausgewählte Befunde des Oberkiefers anderer Studien, die die Langzeitstabilität der Frühbehandlung des einseitigen Kreuzbisses untersucht haben. ICDi: Inter canine Distanz, gemessen an der Eckzahnspitze. ICDg: Inter canine Distanz, gemessen am Gingivalrand. IMDo: Inter molare Distanz, gemessen am ersten Molaren der zweiten Dentition (die genauen Messpunkte variieren zwischen den Studien). IMDg: Inter molare Distanz, gemessen am Gingivalrand der ersten Molaren der zweiten Dentition. PA: Plattenapparat mit Transversalschraube.

¹: Die Gruppe „Festsitzend“ besteht aus insgesamt 110 Patienten, die mit einer von drei verschiedenen Apparaturen behandelt wurden (modifizierte Haas-Apparatur: 56, Hyrax-Apparatur: 26, Quadhelix-Apparatur: 28).

²: Als Kontrollgruppe wurden Daten der Untersuchung der University of Michigan herangezogen [47]. (Alle Angaben in mm)

8.4 Ergebnisse der Retest-Reliabilität

	n	Pearson-Korrelationskoeffizient
vZBBo	25	0,963
hZBBo	18	0,967
13-RME	25	0,942
RME-23	25	0,893
13-RME + RME-23	25	0,991
ICDg	25	0,991
ICDi	25	0,994
14-RME	25	0,950
RME-24	25	0,944
14-RME + RME-24	25	0,993
IPMD4g	25	0,992
15-RME	25	0,952
RME-25	25	0,943
15-RME + RME-25	25	0,995
IPMD5g	25	0,994
16-RME	18	0,946
RME-26	18	0,892
16-RME + RME-26	18	0,990
IMDg	18	0,991
Lo	25	0,957
Vol	25	0,976

Tabelle 61 Pearson-Korrelationskoeffizienten für jede Messung der Modellanalyse zum Zeitpunkt T1. Alle Messungen wurden von zwei Beobachtern an denselben Modellen vorgenommen.

	n	Pearson-Korrelationskoeffizient
vZBBo	24	0,978
hZBBo	20	0,980
13-RME	23	0,874
RME-23	24	0,872
13-RME + RME-23	23	0,994
ICDg	23	0,993
ICDi	23	0,988
14-RME	25	0,883
RME-24	24	0,931
14-RME + RME-24	24	0,992
IPMD4g	24	0,993
15-RME	25	0,924
RME-25	25	0,938
15-RME + RME-25	25	0,992
IPMD5g	25	0,991
16-RME	21	0,918
RME-26	21	0,903
16-RME + RME-26	21	0,992
IMDg	21	0,991
Lo	24	0,942
Vol	23	0,979

Tabelle 62 Pearson-Korrelationskoeffizienten für jede Messung der Modellanalyse zum Zeitpunkt T2. Alle Messungen wurden von zwei Beobachtern an denselben Modellen vorgenommen.

	n	Pearson-Korrelationskoeffizient
vZBBo	25	0,988
hZBBo	25	0,991
13-RME	22	0,943
RME-23	24	0,938
13-RME + RME-23	22	0,990
ICDg	22	0,990
ICDi	22	0,992
14-RME	25	0,956
RME-24	25	0,970
14-RME + RME-24	25	0,998
IPMD4g	25	0,998
15-RME	25	0,977
RME-25	24	0,980
15-RME + RME-25	24	0,997
IPMD5g	24	0,998
16-RME	25	0,946
RME-26	25	0,969
16-RME + RME-26	25	0,996
IMDg	25	0,995
Lo	25	0,971
Vol	21	0,885

Tabelle 63 Pearson-Korrelationskoeffizienten für jede Messung der Modellanalyse zum Zeitpunkt T3. Alle Messungen wurden von zwei Beobachtern an denselben Modellen vorgenommen.