

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

**Auswirkungen der forcierten Gaumennahterweiterung auf die
Morphologie des Gaumens**

Effects of Rapid Maxillary Expansion upon Palate Morphology

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2021

vorgelegt von: Charlotte Buschhoff

geb. am 08.03.1994 in Moers

Tag der Promotion: 18. 05. 2021

Dekan: Prof. Dr. Michael D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Gero Kinzinger

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Kolja Freier

Meiner Oma Maria Elisabeth Larisch und meinem Onkel Uwe Buschhoff

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
1.1	Deutsche Zusammenfassung	1
1.2	Abstract.....	2
2	Einleitung	3
2.1	Ätiologie	3
2.2	Indikationen zur forcierten Gaumennahterweiterung	4
2.3	Folgen der transversalen Unterentwicklung der Maxilla.....	4
2.4	Historie der Gaumennahterweiterung.....	5
2.5	Apparaturen zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers	6
2.5.1	Verschiedene Apparaturen mit überwiegend dentaler Wirkung	6
2.5.2	Entwicklung der Gaumennahterweiterungsapparaturen	6
2.5.3	Wirkungen der verschiedenen GNE-Apparaturen	7
2.6	Früh- und Spätbehandlung mit einer GNE-Apparatur.....	10
2.7	Auswirkungen einer forcierten Gaumennahterweiterung auf die Sutura palatina mediana sowie die umgebenden Suturen und Strukturen inklusive der Nase und der Nasennebenhöhlen	11
2.8	Morphologische Gaumenformen und Volumen des Gaumens.....	12
2.9	Ziel der vorliegenden Arbeit.....	13
3	Material	14
3.1	Ethikantrag	14
3.2	Patienten	14
3.3	Methode.....	17
3.3.1	Modelle	17
3.3.2	Modellanalyse.....	17
3.3.3	Diagramme.....	26
3.3.4	Statistische Analyse	27
3.3.5	Methodenfehler nach Dahlberg.....	28
4	Ergebnisse.....	30
4.1	Allgemein	30
4.2	Dentale Zahnbogenbreite inklusive Zahnbogenbreitendiskrepanz.....	30
4.2.1	Veränderungen innerhalb der beiden Gruppen	30
4.2.2	Unterschiede in der Veränderung der dentalen Breite sowie der Zahnbogenbreitendiskrepanz zwischen den beiden Gruppen.....	32
4.3	Breite (dental, gingival/alveolär, skelettal basal).....	33

4.3.1	Veränderungen der Breiten innerhalb der Gruppen	33
4.3.2	Unterschiede in der Veränderung der gingivalen Breite zwischen den Gruppen ...	34
4.4	Ratio anterior zu posterior	38
4.4.1	Veränderungen der Ratio anterior zu posterior innerhalb der Gruppen.....	38
4.4.2	Unterschiede in der Veränderung der Ratio anterior zu posterior zwischen den Gruppen	39
4.5	Verhältnis der dentalen zur gingivalen Breite (dental zu alveolär)	42
4.5.1	Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppe.....	42
4.5.2	Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der dentalen zur gingivalen Breite zwischen den Gruppen	43
4.6	Verhältnis der dentalen zur skelettalen Breite	44
4.6.1	Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppen.....	44
4.6.2	Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der dentalen zur gingivalen Breite zwischen den Gruppen	45
4.7	Verhältnis der gingival/alveolären zur skelettalen Breite.....	46
4.7.1	Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppen.....	46
4.7.2	Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der alveolären zur skelettalen Breite zwischen den Gruppen	47
4.8	Höhe (Frontalebene)	48
4.8.1	Veränderungen der Höhe innerhalb der beiden Gruppen	48
4.8.2	Unterschiede in der Veränderung der Höhe zwischen den Gruppen	49
4.9	Verhältnis der Höhe a/p	52
4.9.1	Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppen.....	52
4.9.2	Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der Höhe a/p zwischen den Gruppen	53
4.10	Volumen	55
4.10.1	Veränderungen des Volumens innerhalb der Gruppen	55
4.10.2	Unterschiede in der Veränderung des Volumens zwischen den Gruppen	56
4.11	Winkel im Oberkiefer anterior und posterior inklusive modifiziertem Gaumenindex nach KIM.....	57
4.11.1	Veränderungen der Winkel innerhalb der Gruppen	57
4.11.2	Unterschiede in der Veränderung der Winkel zwischen den Gruppen	58
5	Diskussion.....	59
5.1	Patientengut und Methode	59
5.2	Aktueller Stand der Literatur zur Öffnung der Sutura palatina mediana.....	59
5.3	Ergebnisse dieser Studie	64
5.4	Rückschlüsse dieser Studie.....	67

6	Literatur- und Abkürzungsverzeichnis	68
6.1	Literaturverzeichnis	68
6.2	Abkürzungsverzeichnis	76
7	Publikation/ Danksagung.....	78
7.1	Publikation.....	78
7.2	Danksagung	78
8	Lebenslauf	79

1 Zusammenfassung

1.1 Deutsche Zusammenfassung

Die nachfolgende Studie vergleicht die Behandlungsergebnisse von Patienten, die im Rahmen der kieferorthopädischen Therapie im Oberkiefer eine forcierte Gaumennahterweiterungsapparatur eingegliedert bekamen. Diese Behandlungsapparaturen enthielten Hyrax-Schrauben und wurden temporär mit zwei Auflagen und zwei Bändern dental fixiert. Die insgesamt 114 Patienten (n=114) wurden entsprechend ihres Dentitionsstadiums in zwei Gruppen eingeteilt (Dentitionsstadium I n=57, Dentitionsstadium II n=57). Vor Beginn der Behandlung und direkt nach Herausnahme der Apparatur wurden Gipsmodelle (n=228) angefertigt und anschließend mithilfe eines 3D-Scanners digitalisiert. Verschiedene Strecken- und Winkelmessungen wurden computergestützt durchgeführt. Zusätzlich wurde das Volumen mittels Füllstoffmengenmessung bestimmt.

Die Intention dieser Studie lag darin, festzustellen, ob und wie sich die vermessenen Strecken und Winkel auf den verschiedenen Ebenen der Maxilla sowie das Volumen in Abhängigkeit vom Dentitionsstadium verändern und ob Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestehen. Ein weiteres Ziel war es, herauszufinden, ob die Ergebnisse Rückschlüsse auf die Art der Öffnung der Sutura palatina mediana erlauben.

Nach einer Prüfung auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests erfolgte die statistische Analyse der Mittelwerte und Standardabweichung durch einen t-Test für unabhängige Stichproben und einen t-Test für abhängige Stichproben.

Die Ergebnisse dieser Längsschnittstudie zeigen, dass eine forcierte Gaumennahterweiterung zu signifikanten Vergrößerungen der Parameter Breite und Höhe führt. Dabei ist auffällig, dass sich die Breite bei den jüngeren Patienten im anterioren und im posterioren Bereich annähernd gleichmäßig vergrößerte, während bei den älteren Patienten eine im anterioren Bereich stärker ausgeprägte Zunahme zu erkennen war. Auch das Volumen erhöhte sich in beiden Patientengruppen signifikant. Die Vermessung der Winkel, die zur Ermittlung des modifizierten Gaumenquotienten nach KIM durchgeführt wurde, offerierte in beiden Patientengruppen morphologische Veränderungen. Insgesamt vollzogen sich die Änderungen der Morphologie des Gaumens bei den Patienten des Dentitionsstadiums I gleichmäßiger, weshalb eine Frühbehandlung therapeutisch besonders effizient erscheint.

1.2 Abstract

Effects of rapid maxillary expansion upon palatal morphology

The following study compares the results of patients that underwent rapid maxillary expansion during orthodontic treatment in the upper jaw. The appliances contained hyrax-screws and were held in place by two bands and two occlusal rests. The study included 114 patients (n=114) that were assigned to two groups according to their dentition stage (dentition stage I n=57, dentition stage II n=57). Plaster casts (n=228) were made prior to the beginning and at the end of treatment and subsequently digitalized. Various distances and angles were measured using a computer software whilst the palatal volume was determined using certain fillers.

The aim of this study was to compare the effect of rapid maxillary expansion on the distances, the angles and on the volume between the two groups. Additionally, the influence of the treatment on the opening pattern of the sutura palatina mediana was investigated.

Shapiro-Wilk-test was used to determine statistical normal distribution. The data were compared using paired or unpaired t-test. Hence, mean values and standard deviation were calculated for each parameter.

The results revealed statistically significant increases in width and height upon rapid maxillary expansion. However, younger patients showed a nearly equal increase in width comparing the anterior and the posterior area of the maxilla, whilst there was a greater increase in the posterior region of the older patients. Additionally, the palatal volume increased significantly. The measurement of the angles, which was performed to determine the modified index according to KIM, confirmed changes in the morphology of the vault. Overall, rapid maxillary expansion seems to affect the palatal morphology of younger patients in a more even way, suggesting early treatment to be particularly effective.

2 Einleitung

2.1 Ätiologie

In der Kieferorthopädie gibt es unterschiedliche Einteilungen, um Fehlstellungen klassifizieren zu können. Die sogenannten Angle-Klassen geben Aufschluss über die Abweichungen in der Sagittalebene [1]. Bei einer Angle-Klasse I liegt ein Neutralbiss vor, d.h. die mesiobukkale Höckerspitze des Oberkiefer Sechlers greift in die Fissur zwischen mesialem und distalem Höcker des Unterkiefer Sechlers [87]. Liegt der Oberkiefer Sechler weiter mesial als sein Antagonist, so spricht man von einer Angle-Klasse II, während eine Angle-Klasse III vorliegt, wenn der obere Sechs-Jahr-Molar weiter distal liegt als der entsprechende Zahn im Unterkiefer [87]. Bei der Angle-Klasse II kann noch eine Unterscheidung zwischen einer Angle-Klasse II/1, einem Distalbiss mit protrudierter Front, und einer Angle-Klasse II/2, einem Distalbiss mit Tiefbiss, getroffen werden [87].

Bei Abweichungen in der Transversalebene spricht man von einem Scheren- bzw. von einem Kreuzbiss. Bei einem Scherenbiss treffen einzelne oder mehrere Oberkieferzähne nicht okklusal auf ihre Antagonisten, sondern berühren sie lediglich mit ihrer palatinalen Fläche an deren vestibulärer Seite [87]. Der Scherenbiss wird auch als bukkaler Kreuzbiss bezeichnet [87]. Bei einem Kreuzbiss hingegen stehen die bukkalen Höcker der Seitenzähne des Oberkiefers lingual der bukkalen Höcker der Unterkieferseitenzähne [24]. Er ist häufig mit einem dolichofacialem Gesichtstyp, einem offenen Biss und einer mandibulären Retrognathie vergesellschaftet [24].

Ein Kreuzbiss kann ein- oder beidseitig, frontal, posterior oder zirkulär auftreten und ist meist durch einen verhältnismäßig schmalen Oberkiefer bedingt [87]. Die Inzidenz des einseitigen Kreuzbisses wird mit 9% angegeben, während die Inzidenz des beidseitigen Kreuzbisses 4% beträgt [24]. Beide Angaben beziehen sich auf Jugendliche europäischer Herkunft [24]. Besonders der einseitige Kreuzbiss kann ein asymmetrisches Wachstum zur Folge haben und sollte deshalb therapiert werden [87]. Er kann mit einer mandibulären Schwenkung vergesellschaftet sein. Ist die Ursache für den Kreuzbiss ein transversales Defizit der Maxilla, so muss eine Erweiterung des Oberkiefers erfolgen - häufig mittels einer forcierten Gaumennahterweiterung [87].

2.2 Indikationen zur forcierten Gaumennahterweiterung

Die forcierte Gaumennahterweiterung (GNE) hat eine gewisse Sonderstellung in der kieferorthopädischen Behandlung, da ihre Effekte sich im Gegensatz zu vielen anderen kieferorthopädischen Geräten nicht nur auf die Zähne beschränken, sondern stattdessen auch eine basale Erweiterung stattfindet [103]. TIMMS gab den ein- oder beidseitigen Kreuzbiss als Indikation für eine Gaumennahterweiterung an und ergänzte sie um Ausführungen seines Kollegen BROGAN von 1970, der eine GNE bei Vorliegen einer insuffizienten Passage durch die nasalen Luftwege, bei einer Septumdeviation, bei rezidivierenden Infekten der Nasen(nebenhöhlen) und der Ohren, bei allergischer Rhinitis und Asthma sowie als Vorbereitung einer Septumplastik als indiziert betrachtete [103]. Eine Umfrage unter deutschen Zahnärzten von KORBMACHER et al. im Jahre 2005 ergab allerdings, dass die Mehrheit der befragten Kollegen eine Gaumennahterweiterung „nur“ als Therapieform wählt, wenn der Oberkiefer transversal unterentwickelt ist, also eine sogenannte Mikrognathie der Maxilla vorliegt [54]. Es konnten keine signifikanten Vorteile festgestellt werden, wenn ein Engstand im Oberkiefer bei fehlendem Kreuzbiss mittels transversaler Erweiterung therapiert wurde [31].

2.3 Folgen der transversalen Unterentwicklung der Maxilla

GRABOWSKI et al. stellten fest, dass Patienten häufiger einen einseitigen als einen beidseitigen Kreuzbiss aufweisen und betonten, dass dieser Anomalie mit einer kieferorthopädischen Therapie begegnet werden muss, da eine Korrektur ohne Behandlung nicht zu erwarten ist [33]. SANTOS PINTO et al. fanden in ihrer Studie heraus, dass ein einseitiger Kreuzbiss im Bereich der (Prä)molaren zu Asymmetrien der Mandibula führen kann, die aber fast vollständig durch eine rechtzeitige Gaumennahterweiterung behandelt werden können [89]. HARALAMBIDIS et al. kamen zu dem Schluss, dass Patienten mit einem maxillären Defizit oft hauptsächlich durch den Mund atmen [38].

2.4 Historie der Gaumennahterweiterung

Ein Grundstein der Gaumennahterweiterung wurde bereits 400 vor Christus durch HIPPOKRATES gelegt, der in seinen Aufzeichnungen zwar über den Zusammenhang zwischen dem sogenannten „Schmalkiefer“ und einer Otitis berichtete, jedoch keine therapeutischen Konsequenzen formulierte [24]. FAUCHARD unternahm dann 1728 erste Therapieversuche, die von anderen seiner namhaften Kollegen, wie etwa LEFOULON, fortgeführt worden, bis EMERSON COLON ANGELL im Jahre 1860 schließlich mit der „Gaumennahtsprengung“ im Dental Cosmos an die Öffentlichkeit trat [103]. Dort berichtete er von der Behandlung eines Kreuzbisses bei einer jugendlichen Patientin, die er mittels einer Apparatur, die über Klemmpassung zwischen den Prämolaren hielt, durchführte [103]. Um die Klemmpassung auch bei zunehmender Dehnung der Maxilla aufrechtzuerhalten, erhielt die Patientin die Anweisung, die gegenläufige Schraube mittels Schraubenzieher aufzudrehen [103]. Obwohl er innerhalb von zwei Wochen eine Erweiterung von 0,64 cm verzeichnen konnte und auch das entstehende Diastema dokumentierte, das er richtig als Hinweis auf die Separierung der beiden Maxillahälften interpretierte, stieß er in der Fachwelt auf Zweifel und Ablehnung, sodass er das Thema schließlich ruhen ließ [103].

Bis ANGELLS Publikation in europäischen Fachkreisen auf Gehör stieß, sollten einige Jahre vergehen. FIELD war es, der 1877 feststellte, dass mit entsprechenden Geräten, in diesem Fall der sogenannten Coffin-Feder, bei im Wachstum befindlichen Kindern eine Erweiterung der Maxilla durch Separation der Sutura palatina mediana erfolgen konnte [103]. Die Akzeptanz dieser Methode erfolgte jedoch erst knapp 20 Jahre später, nachdem GODDARD sich in seinen Vorträgen mit dem Thema befasste, wobei er sich zumindest teilweise auf die ursprünglich abgelehnte Arbeit von ANGELL berief [103]. Zu diesem Zeitpunkt wurden auch humanmedizinische Kollegen, allen voran Hals-Nasen-Ohren-Ärzte, in die Thematik involviert, weil erkannt wurde, dass ein maxilläres Defizit oft eine erschwerte Nasenatmung bewirkt [103]. Dann entbrannten Diskussionen über die Methodik der GNE, die jedoch nicht zu einer Einigung führten. Dabei wurden wissenschaftliche Fakten nahezu vollständig ausgeklammert, sodass die Gaumennahterweiterung wieder aus dem Fokus der kieferorthopädischen Behandlung in Amerika geriet [103]. Auf europäischem Grund, genauer in Deutschland, beschäftigte die GNE nach wie vor die Fachwelt; unter anderem konnte LANDSBERGER 1909 das erste Röntgenbild einer geöffneten Sutura palatina mediana präsentieren [103]. Der Zusammenhang zwischen der verbesserten Atmung und einer durchgeführten Gaumennahterweiterung wurde von SCHRÖDER ungefähr zwei Jahre später veröffentlicht [24]. Im Jahre 1930 führte ZIEBE histologische Studien an Hunden durch und stellte fest, dass die Sutura palatina mediana nach einem Zeitraum von vier Monaten verknöcherte, wenn zuvor eine Dehnung um 3 mm stattgefunden hatte [87].

2.5 Apparaturen zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers

2.5.1 Verschiedene Apparaturen mit überwiegend dentaler Wirkung

Eine Unterteilung der Möglichkeiten zur transversalen Erweiterung kann zunächst in herausnehmbare und festsitzende Geräte erfolgen, die dann wiederum in rein dentale, rein skelettale und Hybrid-Apparaturen untergliedert werden können. Die Wahl des Gerätes hängt vom Ausmaß des transversalen Defizites ab [109].

In leichteren Fällen eignet sich eine herausnehmbare Dehnplatte, die in der Mitte über eine Schraube verfügt und vom Patienten aktiviert werden muss [94]. An den jeweiligen Ankerzähnen ist sie mit gebogenen Klammern befestigt, was allerdings dazu führt, dass diese Zähne durch die koronal angreifende Kraft eine Kippung nach bukkal vollziehen [48]. Diese Art der Apparatur zur transversalen Erweiterung erfordert eine sehr hohe Compliance des Patienten.

Die Quadhelix zählt zu den festsitzenden Geräten, die rein dental getragen werden [24]. Sie wird mittels Bändern an den Sechs-Jahr-Molaren befestigt und ist von der Compliance des Patienten unabhängig, da sie durch den Kieferorthopäden vor dem Einsetzen aktiviert wird. Sie bewirkt hauptsächlich eine bukkale Kippung der Ankerzähne und sorgt somit für eine dentale und nicht für eine skelettale Erweiterung, die eine Dehnung von 2 mm nicht überschreitet [109]. Zudem ist es möglich, mit der Quadhelix nur eine Seite gezielt zu erweitern [109].

2.5.2 Entwicklung der Gaumennahterweiterungsapparaturen

Nachdem die GNE schlussendlich ihre Anerkennung in der kieferorthopädischen Fachgesellschaft erreicht hatte, wurden die verwendeten Apparaturen modifiziert und weiterentwickelt. Häufige Kritikpunkte an dieser Art kieferorthopädischer Geräte waren die mangelnde Hygienefähigkeit sowie die unphysiologischen Auswirkungen auf die Verankerungszähne [103]. DERICHSWEILER kritisierte außerdem die Wortwahl Gaumennahtsprengung, da „Sprengung“ in seinen Augen negativ behaftet war und dem schmerzlosen Charakter einer Gaumennahterweiterung nicht gerecht würde [23]. Seine Apparatur wurde mit vier oder sechs Bändern auf den Zähnen zementiert, die durch eine dem harten Gaumen anliegende Platte und mit einer sich mittig befindlichen Schraube verbunden waren [23]. Für DERICHSWEILER stand besonders die Kraftübertragung auf den Gaumen im Vordergrund, weshalb er versuchte, die Schraube am tiefsten Punkt des Gaumens zu platzieren [23]. Die Idee der möglichst

körperlichen Angriffspunkte griff HAAS 1961 auf, wobei sich seine Apparatur dahingehend unterschied, dass der Kunststoff die Zähne nicht berührte [103]. Trotzdem war bei beiden Varianten keine einwandfreie orale Hygiene möglich. Das Kappenschienengerät bot unter diesem Aspekt auch keine geeignete Therapiealternative [103]. BIEDERMANN entwickelte schließlich ein Gerät, das trotz seines festsitzenden Charakters eine gute Mundhygiene nicht ausschloss [103]. Dabei handelt es sich um eine Hyrax-Schraube, die mit vier an den Zähnen zementierten Bändern verbunden ist und im Gegensatz zum Haas-Expander ohne Kunststoffelemente auskommt [103].

Bei den GNE-Apparaturen ist die Compliance des Patienten bzw. seiner Eltern insofern gefordert, dass die Schraube mithilfe eines Spezialwerkzeuges mehrmals täglich aktiviert werden muss [24]. Je nach verwendeter Schraube unterscheidet sich die pro 180° Drehung erreichte Erweiterung [24]. Die Hyrax erscheint in verschiedenen Varianten. Bei einer werden vier Bänder zur Befestigung, meist an den Sechs-Jahr-Molaren und den 1. Prämolaren, genutzt, während bei der anderen Variante Bänder auf den Sechs-Jahr-Molaren verwendet werden, die durch Auflagen im Bereich der 1. Prämolaren ergänzt werden [24]. Zudem wird auch noch zwischen den sogenannten „banded“ bzw. „bonded“ Expandern unterschieden, wobei ersterer die klassische Apparatur nach BIEDERMANN meint, während sich hinter letzterem die sogenannte Kunststoffkappenschiene verbirgt [87]. SANDER et al. gaben an, dass diese Apparatur bevorzugt im Milch- bzw. Wechselgebiss oder bei unzureichender Verankerung im bleibenden Gebiss verwendet wird [87]. LIONE et al. untersuchten die Effektivität bei der Behandlung einer Klasse III mit diesen beiden Apparaturen und stellten fest, dass es keine signifikanten Unterschiede gibt [65].

2.5.3 Wirkungen der verschiedenen GNE-Apparaturen

LINDER-ARONSON et al. sahen den grundsätzlichen Vorteil von festsitzenden Apparaturen zur Gaumennahterweiterung darin, dass sie im Gegensatz zu herausnehmbaren Geräten nicht nur an einem, sondern an mehreren Punkten des Ankerzahnes angreifen und somit die Kraft gleichmäßiger verteilen können, was eine möglichst körperliche Bewegung des Ankerzahnes zur Folge hat [60]. Dies stimmt mit der Ansicht von HERSHEY et al. überein, die an herausnehmbaren Platten kritisieren, dass sie die Ankerzähne nach bukkal kippen, während die Erweiterung der Sutura palatina mediana geringer ausfällt [42].

In der Literatur finden sich zahlreiche Hinweise auf die unerwünschten Effekte einer Gaumennahterweiterung mit dental verankerten Geräten. DIGREGORIO et al. kamen zu dem Ergebnis, dass eine Gaumennahterweiterung, die im permanenten Gebiss auf den Oberkiefer Sechs-Jahr-Molaren befestigt war, zu einer Reduktion der gesamten bukkalen Knochendicke führte, während bei einer

Verankerung auf Milchzähnen lediglich eine Abnahme der Knochendicke an den mesialen Wurzeln gemessen wurde [25]. Dabei muss beachtet werden, dass die klinische Relevanz des Knochenverlustes, der sich im Bereich von 0,73-1,25 mm bewegt, noch nicht abschließend geklärt ist [25]. Dies geht einher mit den Erkenntnissen von GARIB et al., die zu dem Ergebnis kamen, dass bei der Verankerung auf Milchzähnen die Auswirkungen auf die Knochendicke minimal sind [28]. Wird bei einer GNE eine festsitzende Apparatur verwendet, so besteht das Risiko, dass die herkömmliche orale Flora in ihrem Gleichgewicht gestört wird [9] und sich zugunsten von pathogenen Mikroorganismen, die Karies und Parodontitis verursachen, verschiebt [70]. Des Weiteren kann das Parodontium Schaden nehmen, was sich wiederum negativ auf die Langzeitprognose des betreffenden Zahnes auswirken kann [88]. PETRÉN et al. berichteten außerdem über endodontische Kasuistiken an Ankerzähnen [80]. Zusätzlich wurde in der Literatur die Entstehung von Dentikeln, Exostosen sowie von Wurzelresorptionen dokumentiert [5][101][104]. Laut LUEBBERT et al. zählten die Extrusion der Zähne im posterioren Bereich sowie das bukkale Kippen der Ankerzähne zu den unerwünschten Nebeneffekten einer zahngetragenen GNE [67], wohingegen KIM et al. letzteres auch bei einer skelettal verankerten Apparatur beobachteten [50]. Dagegen stellten KAVAND et al. fest, dass lediglich zahngetragene GNE-Apparaturen zum bukkalen Kippen führen [49].

Die Hybrid-Hyrax, die mit Mini-Implantaten im anterioren Bereich des Gaumens skelettal verankert und dental mit Bändern an den Sechs-Jahr-Molaren befestigt wird, soll die unerwünschten Effekte einer rein dental getragenen Apparatur verhindern und weniger invasiv sein als die rein skelettal verankerte Variante [110]. WILMES et al. gaben an, dass sich eine Hybrid-Hyrax besonders anbietet, wenn der Patient im anterioren Bereich nicht genügend dentale Verankerungsmöglichkeiten, z.B. während des Zahnwechsels, aufweist [110]. HOURFAR et al. favorisieren die Verwendung einer Hybrid-Hyrax bei der Therapie einer Klasse III, da sie in ihrer Studie feststellten, dass die Maxilla durch die zum Teil skelettalen Angriffspunkte eine größere Vorverlagerung sowie eine ausgeprägtere kaudale Rotation erfahren kann [43]. Diese Annahme teilen auch BAZARGANI et al., die die Effekte einer zahngetragenen GNE mit denen einer Hybrid-GNE verglichen [7]. So stellten sie mittels Rhinometrie fest, dass die Hybrid-GNE den nasalen Widerstand stärker reduziert, während sie gleichzeitig für eine deutlichere Erhöhung des Atemflusses sorgt, was sie darin begründet sehen, dass die Kräfte einer Hybrid-GNE direkt an der Sutura palatina mediana angreifen, während eine rein zahngetragene GNE ihren Hauptangriffspunkt an den Ankerzähnen findet [7]. KRÜSI et al. stellten mit Verweis auf die limitierte Studienlage fest, dass eine skelettal getragene und eine Hybrid-GNE zu einer verstärkten Öffnung der Sutura palatina mediana und einem geringeren Atemwiderstand führen, während das Risiko des bukkalen Kippens geringer ausgeprägt ist als bei der dentalen Verankerung [55]. Dagegen stellten CANAN et al. sowohl bei der dental- als auch bei der skelettal getragenen und Hybrid GNE nur den signifikanten Unterschied fest, dass eine GNE, die rein skelettal getragen ist, im 1. Quadranten eine geringere Erweiterung bewirkt als im 2. Quadranten [13]. Ansonsten dokumentierten sie keine

signifikanten Differenzen hinsichtlich der Expansion, die sich bei allen Verankerungsformen sechs Monate nach Retention geringfügig verringert hatte und auch an den 1. Molaren des Unterkiefers zu sehr ähnlichen Ergebnissen führte [13].

Rein skelettal getragene Gaumennahterweiterungsapparaturen sollten die beschriebenen unerwünschten Effekte vermeiden und zudem einsetzbar sein, wenn etwa dentale Verankerungsmöglichkeiten nicht vorhanden oder erschwert sind [75]. Allerdings kommt die skelettal verankerte GNE sehr häufig in Kombination mit einer chirurgischen Gaumennahterweiterung bzw. Knochenschwächung zur Anwendung, womit es sich um einen größeren chirurgischen Eingriff handelt [99]. Wie die Studie von CANAN et al. zeigt, die rein dental getragene und rein skelettal getragene GNE sowie Hybrid-GNE untersuchten und dabei feststellten, dass es bei allen drei Formen zu bukkalen Kippungen kommt, ist auch eine skelettal getragene Apparatur nicht frei von Nebenwirkungen [13]. Ein bekannter Vertreter der skelettal verankerten Geräte ist zum Beispiel der sogenannte Transpalatinaldistraktor. Allerdings muss bedacht werden, dass, selbst wenn keine chirurgische Gaumennahterweiterung durchgeführt werden muss, zumindest eine Lappenpräparation erforderlich ist und es aufgrund der Notwendigkeit von intraossären Bohrungen zu Verletzungen der Wurzeln kommen kann [26][75]. Der Dresden Distraktor zählt ebenfalls zu den skelettal gestützten Apparaturen [37]. Dabei handelt es sich um eine Hyrax-Schraube, die mit einem Implantat sowie einer Osteosyntheschraube im Gaumen verankert wird und in der Studie von HANSEN et al. noch in Kombination mit einer Multibandapparatur verwendet wurde [37]. Diese Studie führte zu der Erkenntnis, dass die unerwünschten Nebeneffekte einer dental verankerten GNE wie bukkale Kippungen der Ankerzähne, Wurzelresorptionen oder Attachmentverlust ausblieben [37]. HARZER et al. gaben bei einer dental verankerten Hyrax eine um 10° stärkere Kippung der ersten Molaren im Vergleich zum Dresden Distraktor an, dessen Einbringung sie als minimalinvasiv beschrieben [39]. Ob eine chirurgische GNE notwendig ist, hängt von dem Alter des Patienten und damit von der fortschreitenden Verknöcherung der Sutura palatina mediana ab [26]. In der Literatur finden sich keine einheitlichen Angaben, ab welchem Alter eine chirurgische Gaumennahterweiterung indiziert ist [98].

Die chirurgische Gaumennahterweiterung wurde erstmals 1938 von BROWN beschrieben, umfasste aber lediglich die Trennung der Sutura palatina mediana, da diese als einzige Struktur angesehen wurde, die für den Erfolg einer Gaumennahterweiterung ausschlaggebend ist [10][74][79][102]. Im Laufe der Zeit kristallisierte sich jedoch heraus, dass die chirurgische Schwächung der Gaumennaht alleine nicht ausreichte, sondern dass stattdessen auch die benachbarten anatomischen Strukturen der Maxilla, vor allem die Apertura piriformis, die Crista zygomaticoalveolaris und die Sutura pterygopalatina mitberücksichtigt werden mussten [8][61][62]. STEINHAUSER beschrieb 1972 eine Methode, bei der er die Schnittführung entlang der Le Fort I-Ebene wählte [96]. Heute lässt sich in der Literatur kein allgemeiner Konsens zum Modus Operandi der in der internationalen Literatur als SARPE (surgically

assisted rapid maxillary expansion) bzw. SARME (surgically assisted rapid maxillary expansion) bezeichneten chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung finden.

2.6 Früh- und Spätbehandlung mit einer GNE-Apparatur

Die Sutura palatina mediana verbindet die beiden Gaumenhälften und ist lebenslangen Veränderungen unterworfen [87]. So weist sie in den ersten Lebensjahren eine Y-Form auf, während es in der Pubertät zu einer teilweisen Verschiebung nach kranial kommt, sodass die beiden Maxillahälften fortan durch eine geschlängelte Naht verbunden sind [87]. Mit zunehmendem Alter ist eine immer stärker ausgeprägte Verzahnung im Sinne einer Ossifikation innerhalb der Naht erkennbar, die eine Gaumennahterweiterung ohne chirurgische Unterstützung erschwert bis unmöglich macht [87]. Somit wird die Frage nach dem optimalen Behandlungsbeginn einer GNE aufgeworfen.

SAYAR et al. stellten keine Unterschiede fest, als sie die Auswirkungen einer GNE bei Patienten vor und nach dem pubertären Wachstumsschub untersuchten und postulierten, dass keine Rückschlüsse vom zunehmenden Grad der Verknöcherung der Sutura palatina mediana auf den späteren Erfolg der kieferorthopädischen Expansion gezogen werden können [90]. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von BACETTI et al., die herausfanden, dass bei Patienten, die mit einer GNE vor dem pubertären Wachstumsschub behandelt wurden, eine größere Weite zwischen den Sechsjähr-Molaren erzielt werden konnte [2]. Auch PRIMOŽIČ et al. sahen die Frühbehandlung als besonders effektiv an und schlussfolgerten, dass die Therapie am besten in der Phase zwischen dem Milch- und dem frühen Wechselgebiss begonnen werden sollte [83][84]. Gegen die häufige Annahme, dass eine GNE bei Erwachsenen aufgrund der fortgeschrittenen Verknöcherung der Sutura palatina mediana nicht funktioniert, stehen die Ergebnisse von KNAUP et al.. Sie stellten fest, dass die Verknöcherung auch bei Patienten, die älter als 26 Jahre sind, nicht so weit fortgeschritten ist, dass sie den Erfolg einer GNE behindern könnte [52]. Folglich muss als Ursache für ein Misslingen einer GNE im Erwachsenenalter nicht die zunehmende Verknöcherung, sondern eine erhöhte Unnachgiebigkeit der knöchernen Bestandteile des Oberkiefers oder eine verstärkte Verzahnung im Bereich der Sutura palatina mediana angenommen werden [44][52][53][74][108]. PRIYADARSHINI et al. sahen den Misserfolg einer solchen Therapie nicht in der Sutura palatina mediana selbst begründet, sondern vielmehr in den Strukturen, die sich in der Umgebung des Os sphenoidale und des Os zygomaticum befinden [86].

Eine Frühbehandlung führt laut der Studie von MUTINELLI et al. zu weniger unerwünschten Nebeneffekten und offeriert die Möglichkeit der frühzeitigen Verbesserung eines Frontengstandes durch zeitiges Erreichen einer entsprechenden Zahnbogenlänge- und -breite [77]. Als Referenz zum Erzielen optimaler Ergebnisse gaben sie den Zeitpunkt vor dem Durchbruch der bleibenden lateralen Incisiven

an, zumal so die Verankerung dann auch auf den zweiten Milchmolaren erfolgen konnte, sodass etwaige Nebenwirkungen an der bleibenden Dentition reduziert wurden [76]. Allerdings warfen MASUCCI et al. ein, dass eine solch frühzeitige Behandlung in 34,4% der Fälle beim Durchbruch der 1. Molaren trotzdem zum posterioren Kreuzbiss führte [72]. SEIF-ELDIN et al. forderten dagegen mehr Studien, um Behandlungen mit einer GNE vor und nach dem pubertären Wachstumsspur besser vergleichen zu können, etwa, dass die Patienten nach skelettalem Alter ausgewählt werden [91].

2.7 Auswirkungen einer forcierten Gaumennahterweiterung auf die Sutura palatina mediana sowie die umgebenden Suturen und Strukturen inklusive der Nase und der Nasennebenhöhlen

Die Erweiterung der Sutura palatina mediana ist ein Ziel der GNE, allerdings ist der Modus der Öffnung nicht abschließend geklärt. So fanden BAZARGANI et al. und LIU et al. in ihren systematischen Reviews keinen eindeutigen Hinweis darauf, ob sich die Sutura palatina mediana parallel oder triangulär öffnet [6][66]. GHONEIMA et al. untersuchten Patienten, die eine GNE in einem durchschnittlichen Alter von 12,3 Jahren erhielten, mittels Computertomographie und fanden heraus, dass die Sutura palatina mediana sich triangulär, d.h. im Bereich der Incisiven am stärksten, öffnete [30]. Dabei betrug die Erweiterung der Sutura palatina mediana im Bereich der Sechs-Jahr-Molaren 75% der Erweiterung im Bereich der Incisiven [30]. Diese Therapieform hat jedoch nicht nur Auswirkungen auf die Sutura palatina mediana, sondern auch auf die umgebenden Suturen [6]. LEONARDI et al. kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass sich der Einfluss einer GNE auf die zirkummaxillären Strukturen mit abnehmender Distanz zur Sutura palatina mediana vergrößerte [59]. So sind die Effekte am deutlichsten an der Sutura zygomaticomaxillaris und Sutura frontomaxillaris zu erkennen, während die Sutura zygomaticofrontalis, die Sutura zygomaticotemporalis, die Sutura nasomaxillaris, die Sutura frontonasalis und die Sutura internasalis weniger stark betroffen sind [59]. Dies bestätigten auch andere Studien [14][27][93][95]. In der Studie von GHONEIMA et al. wurde allerdings keine signifikante Verbreiterung der Sutura zygomaticomaxillaris festgestellt [30]. Eine Finite-Elementen-Analyse von GAUTAM et al. ergab, dass der mediale Teil der Sutura frontomaxillaris, der obere Teil der Sutura nasomaxillaris und der laterale Teil der Sutura frontonasalis während einer GNE die größte Belastung erfuhren [29]. An der Sutura pterygomaxillaris wurden keine signifikanten Verbreiterungen festgestellt [30], dafür aber an der Synchronchondrosis sphenoccipitalis [58]. PRIYADARSHINI et al. wiesen im Zuge ihrer Finite-Elemente-Analyse Spannungen im Bereich der gesamten Maxilla bis zum Os sphenoidale nach [86]. Allerdings kamen mehrere Autoren zu dem Ergebnis, dass eine GNE stärkere Auswirkungen auf die dentoalveolären Strukturen als auf die skelettalen Strukturen hat [15][56][107].

Da der Gaumen sich in unmittelbarer anatomischer Lagebeziehung zur Nase befindet, liegt es nahe, dass beide Strukturen sich gegenseitig in ihrer Form und ihren Ausmaßen beeinflussen. Aus diesem Grund ist die forcierte Gaumennahterweiterung in der Therapie des obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms von zentraler Relevanz [105][106]. Außerdem konnte bei einem Großteil der Patienten die Umstellung von einer pathologischen Mundatmung zur physiologischen Nasenatmung dokumentiert werden [35]. BARATIERI et al. fanden moderate Beweise dafür, dass eine verbesserte Nasenatmung durch vergrößertes Nasenvolumen nach einer Behandlung mit einer GNE auch elf Monate nach Beendigung der Therapie nachweisbar ist [4].

MASPERO et al. kamen zu dem Ergebnis, dass eine GNE positiven Einfluss auf eine Septumdeviation haben kann, unter anderem durch verbessertes Längenwachstum des Septums im unteren Drittel, ebenso wie es zur Volumenzunahme der Nasenhöhle und einer verbesserten Atmung durch eine Reduktion des Atemwiderstandes kommt [71]. Zudem findet eine transversale Erweiterung im Bereich der Nase statt, die sich auch nach einem Jahr stabil darstellt [19]. PODESSER et al. beobachteten außerdem Vergrößerungen der Dimensionen der Nasenhöhle im Bereich der Sechs-Jahr-Molaren [81]. Die Erweiterung der Maxilla resultiert in einer verbesserten Nasenatmung [17], unabhängig davon, ob ein chirurgisches Vorgehen gewählt wird [111]. Allerdings mangelt es einem Großteil dieser Studien an Kontrollgruppen, weshalb die Ergebnisse mit Bedacht zu interpretieren sind [11].

2.8 Morphologische Gaumenformen und Volumen des Gaumens

MARKWARDT führte 1965 den sogenannten Gaumenquotienten ein, der die verschiedenen Gaumenformen (Flach-/Normal-/Steilgaumen) klassifiziert [69]. Die Form des Gaumens hat unterschiedliche Auswirkungen. So wurde eine abnehmende Effektivität der GNE bei Steilgaumen dokumentiert [73] oder die häufige Korrelation von rezidivierenden Mittelohrentzündungen mit eben dieser Gaumenform [51]. Die Oberfläche des Gaumens stellt einen geeigneten Parameter zur Beurteilung seines Wachstums dar [84]. In ihrem Artikel von 2011 kamen PRIMOŽIČ et al. zu dem Ergebnis, dass die Behandlung eines Kreuzbisses im posterioren Bereich neben dem Anstieg des Volumens und der Gaumenoberfläche auch Asymmetrien in der unteren Gesichtshälfte ausgleicht, wobei sie allerdings Verbesserungen in der Retention forderten, um die von ihnen beobachteten Rezidive zu verringern bzw. zu verhindern [83]. Einen Anstieg des Gaumenvolumens nach der Behandlung eines posterioren Kreuzbisses konnten PRIMOŽIČ et al. in ihrer Studie von 2009 ebenfalls verzeichnen [82]. LIONE et al. fanden heraus, dass die pathologische Mundatmung häufig mit einem tieferen und schmaleren Gaumen vergesellschaftet ist [64].

WRIEDT et al. bestimmten das Volumen des Gaumens vor und nach chirurgischer GNE mittels Füllstoffmengenmessung, wobei sie als horizontale Begrenzung die Okklusionsebene und als sagittale Begrenzung die Verbindung der distalen Flächen der Sechs-Jahr-Molaren verwendeten [111]. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine chirurgische GNE das Volumen des Gaumens signifikant vergrößerte [111]. Auch GRACCO et al. vermaßen das Volumen des Gaumens mithilfe von Gipsmodellen und einem Laser zu Beginn (T1), bei Herausnahme der GNE (T2) und nach durchschnittlich 2,6 Jahren (T3) [34]. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass es zwischen T1 und T2 zu einem signifikanten Anstieg des Volumens kam, während die Abnahme zwischen T2 und T3 als nicht signifikant und damit vernachlässigbar anzusehen ist, sodass sie alles in allem postulierten, dass eine GNE zu einem erhöhten Gaumenvolumen führt [34].

2.9 Ziel der vorliegenden Arbeit

In der Literatur findet sich keine Studie, die die Effekte einer forcierten Gaumennahterweiterung bei einer großen Patientenzahl hinsichtlich Veränderungen der Gaumenmorphologie am Modellbefund untersucht hat.

Ziel dieser Arbeit war deshalb die Beantwortung folgender Fragen:

- Ändern sich Breite und Höhe des Gaumens durch eine GNE-Behandlung im anterioren und posterioren Bereich unterschiedlich in Abhängigkeit vom Patientenalter bzw. dem Dentitionsstadium?
- Verändert sich das Gaumenvolumen?
- Sind diese möglichen Veränderungen metrisch erfassbar und zu klassifizieren?
- Lassen sich aus den Ergebnissen Rückschlüsse auf eine möglicherweise unterschiedliche Öffnung der Gaumensutur ziehen?
- Ist eine Empfehlung für den bestmöglichen Therapiezeitpunkt mit einer forcierten Gaumennahterweiterung abzuleiten?

3 Material

3.1 Ethikantrag

Der Ethikantrag wurde bei der Ärztekammer des Saarlandes eingereicht, jedoch besteht keine Notwendigkeit für ein Votum der Ethikkommission, da es sich hier um eine retrospektive und anonymisierte Studie handelt.

3.2 Patienten

In die Studie wurden Patienten beider Geschlechter einbezogen, die eine Gaumennahterweiterung im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung in einer kieferorthopädischen Facharztpraxis erhielten. Bei dem Behandlungsgerät handelte es sich um eine GNE-Apparatur mit Hyrax-Schraube, die mit zwei Auflagen an den 1. Prä- bzw. Milchmolaren und mit zwei Bändern an den Sechs-Jahr-Molaren der Oberkieferdentition befestigt wurde. Es wurde eine „Palatinalschraube Typ S“ der Firma Forestadent (FORESTADENT Bernhard Förster GmbH, Pforzheim) mit einer Hubhöhe von 0,2 mm verwendet. Die Apparatur blieb nach Erreichen der vorgegeben Aktivierung ca. ein halbes Jahr passiv Mund. Die Patienten wurden anhand von diagnostischen Unterlagen (Befund- und Behandlungsdokumentation sowie dreidimensional getrimmte Modelle) ausgewählt. Patienten, bei denen Zähne der Stützzone extrahiert wurden sowie Patienten, die im Sinne einer Umstellungsosteotomie operiert wurden, waren von der Studie ausgeschlossen. Insgesamt wurden die Daten von 114 Patienten (n=114) ausgewertet. Die Einteilung der Patienten erfolgte anhand des Dentitionsstadiums, in dem sich der Patient zum Zeitpunkt des Einsetzens der GNE befand. Ausschlaggebend für die Zuordnung zum Dentitionsstadium war die Be Zahnung im Oberkiefer. Dabei wurden Patienten, bei denen noch alle Milchmolaren neben den Sechs-Jahr-Molaren in situ waren, dem Dentitionsstadium I zugeordnet, während Patienten, bei denen mindestens die beiden ersten Prämolaren durchgebrochen war, zum Dentitionsstadium II zählten. Der jüngste Patient war zu Beginn der Therapie 7,16 Jahre alt, während das Alter des ältesten Patienten bei 17,24 Jahren lag. Im Durchschnitt waren die Patienten 11,03 Jahre alt (Patientengruppe I 9,13 Jahre; Patientengruppe II 12,93 Jahre). Die GNE wurde durchschnittlich 24,33-mal aktiviert (Patientengruppe I und Patientengruppe II ebenfalls 24,33-mal) und im Durchschnitt 6,15 Monate getragen (Patientengruppe I 6,20 Monate und Patientengruppe II 6,11 Monate). Die genauen Angaben zum Alter

der Patienten, zu der durchschnittlichen Tragedauer, zu den durchschnittlichen Aktivierungen, zu dem prozentualen Anteil an der Anzahl maximal möglichen Drehungen der GNE sowie zu dem durchschnittlichen Abstand zwischen den Modellen zu den Zeitpunkten T1 und T2 können den folgenden Tabellen entnommen werden.

- Gruppe I = Dentitionsstadium I (n=57)
- Gruppe II = Dentitionsstadium II (n=57)

	Zeitpunkt
T1 (Anfangsmodell)	Vor Therapiebeginn
T2 (Zwischenmodell)	Nach Entfernung GNE

Gesamte Patientengruppe	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)
Alter (in Jahren)	11,03	2,59
Zeitpunkt Modell T2 (Abstand nach Modell T1 in Jahren)	1,16	0,5
Tragedauer (in Monaten)	6,15	1,98
Anzahl der Aktivierungen	24,33	6,56
Anteil an der maximal möglichen Umdrehungszahl (in %)	48,67	13,12

Dentitionsstadium I	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)
Alter	9,13	1,33
Zeitpunkt Modell T2 (Abstand nach Modell T1 in Jahren)	1,17	0,55
Tragedauer (in Monaten)	6,20	2,24
Anzahl der Aktivierungen	24,33	6,47
Anteil an der maximal möglichen Umdrehungszahl (in %)	48,67	12,93

Dentitionsstadium II	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)
Alter	12,93	2,09
Zeitpunkt Modell T2 (Abstand nach Modell T1 in Jahren)	1,15	0,45
Tragedauer (in Monaten)	6,11	1,70
Anzahl der Aktivierungen	24,33	6,71
Anteil an der maximal möglichen Umdrehungszahl (in %)	48,67	13,41

Tab. 1

Zeitpunkt der Modelle T1 und T2 sowie durchschnittliches Alter, durchschnittlicher Abstand zwischen den Modellen T1 und T2, durchschnittliche Tragedauer der GNE sowie durchschnittliche Anzahl der Umdrehungen und Anteil an der maximal möglichen Umdrehungszahl in % für die gesamte Patientengruppe sowie die Dentitionsstadien I und II.



Abb. 1 Patientenbeispiel aus der Gruppe I (Wechselgebiss)

GNE mit zwei Auflagen auf den 1. Milchmolaren und zwei Bändern auf den 1. Molaren



Abb. 2 Patientenbeispiel aus der Gruppe II (bleibendes Gebiss)

GNE mit zwei Auflagen auf den 1. Prämolaren und zwei Bändern auf den 1. Molaren

Es wurden insgesamt 228 Modellpaare vermessen, wovon 114 Modellpaare dem Dentitionsstadium I und 114 Modellpaare dem Dentitionsstadium II angehörten. Die Modelle wurden retrospektiv untersucht und wurden daher nicht extra für diese Studie angefertigt, sondern im Rahmen der Behandlung von Patienten in einer kieferorthopädischen Facharztpraxis routinemäßig hergestellt. Um die Anonymität zu gewährleisten, wurden den Patienten individuelle Nummern zugeteilt.

3.3 Methode

3.3.1 Modelle

Die Abformungen erfolgten mit Alginat der Firma Kaniedenta (Yellow Print Alginat, KANIEDENTA GmbH & Co. KG, Herford) und konfektionierten Rimlocklöffeln durch eine zahnmedizinische Fachangestellte. Anschließend wurden die Abdrücke im praxiseigenen Labor mit Gips (Kanistone Classic, Hartgips Typ 3, Fa. Kaniedenta, Herford) ausgegossen und dreidimensional getrimmt.

Mithilfe des orthoX® scan 3D-Modellscanner der Firma Dentaureum (DENTAURUM GmbH & CO KG, Ispringen, Deutschland) wurden die Modellpaare in der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes eingescannt. Dafür wurden die Ober- und Unterkiefermodelle nacheinander auf einer dafür vorgesehenen Modellhalterung mittels einer Vierpunktfixierung befestigt und im Scanner platziert. Ein Magnet unter der Modellhalterung und ein Magnet im Scanner selber sorgen für die exakte Positionierung im Gerät. Der Scanvorgang wurde nach dem Schließen der Abdeckung über die Software orthoX®scan gestartet.

Die Funktionsweise des Scanners beruht auf dem Vorhandensein eines 3D-Sensors in der Scankamera sowie einer Positionierungsmechanik, die dafür sorgt, dass das Modell in verschiedenen Winkeln gescannt werden kann. Dafür sendet der 3D-Sensor ein Streifenmuster aus, das auf das jeweilige Modell trifft, wobei die Frontzähne zur Scankamera ausgerichtet sind. Die Scankamera erfasst das Streifenmuster, das an die Software weitergeleitet und anschließend in ein dreidimensionales Bild umgewandelt wird. Der Hersteller selbst gibt eine Genauigkeit von <math><20\ \mu\text{m}</math> bei einer Scandauer von 45 s pro Modell an.

3.3.2 Modellanalyse

Die so gewonnenen 3D-Datensätze der Modelle wurden mithilfe der Software OnxyCeph® 3TM (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) optimiert, gesockelt und als STL-Datei exportiert. Die anschließende Analyse der Modelle erfolgte mit der Software 3D-Tool-Free (3D-Tool-GmbH & Co. KG, Weinheim, Deutschland).

Mithilfe der Software wurde sowohl bei jedem Unterkiefer- als auch bei jedem Oberkiefermodell die Schneidezahnbreite der zentralen und lateralen Incisiven ermittelt (gemessen an der größten mesio-distalen Breite im Kronenbereich).

Die gemessenen Breiten der Oberkieferincisiven wurden addiert, um mithilfe der PONTschen Relation eine Aussage über die transversale Weite im Verhältnis zur Schneidezahnbreite treffen zu können. Dafür wurde der Wert 16 zu der Summe der Oberkieferschneidezähne addiert, was die optimale Weite im posterioren Bereich, also zwischen den oberen bzw. unteren Sechs-Jahr-Molaren, in Relation zu der tatsächlich vorhandenen Incisivenbreite setzt. Für die Weite im anterioren Bereich, also zwischen den oberen bzw. unteren 1. Prä – bzw. Milchmolaren, wurde der Wert acht zu der Summe der Breiten der Oberkieferschneidezähne addiert.

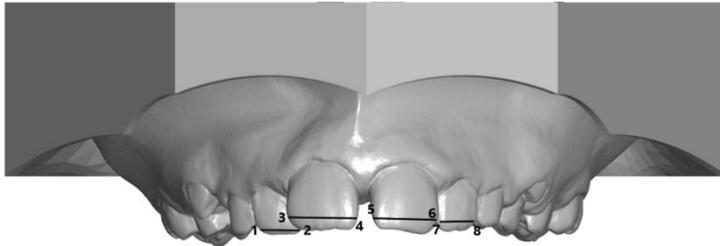


Abb. 3 Messpunkte Breite Incisiven Oberkiefer

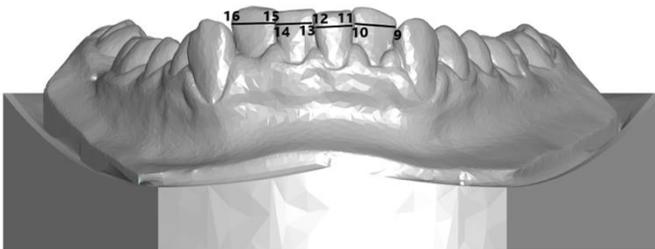


Abb. 4 Messpunkte Breite Incisiven Unterkiefer

Um diese idealen, errechneten Werte für die Weite des Ober- und Unterkiefers im anterioren und posterioren Bereich mit den tatsächlichen Werten zu vergleichen, wurde die dentale Breite der Kiefer vermessen, sowohl an den 1. Prä – bzw. Milchmolaren als auch an den Sechs-Jahr-Molaren. Im Oberkiefer wurden dabei die Mitte der zentralen Querfissur des Vierers und die zentrale Fossa des Sechzers als Messpunkte verwendet, im Unterkiefer dagegen der Kontaktpunkt zwischen 1. und 2. Prä – bzw. Milchmolaren sowie die distobukkale Höckerspitze des 1. Molaren. Zwischen den errechneten und tatsächlich gemessenen Werten wurde die Differenz, also die Zahnbogenbreitendiskrepanz, ermittelt. Die Messungen erfolgten an den entsprechenden Modellen aller Patienten.

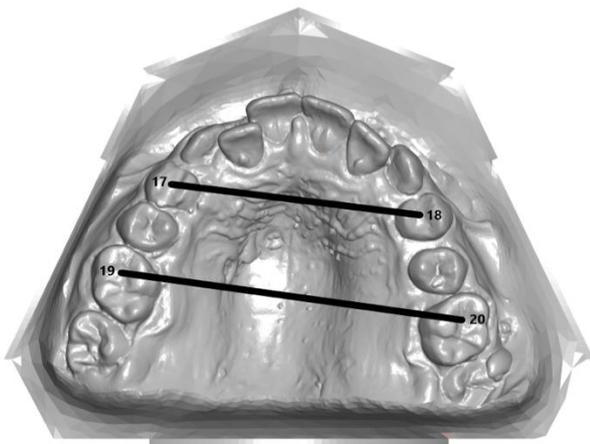


Abb. 5 Messpunkte Breite dental Oberkiefer

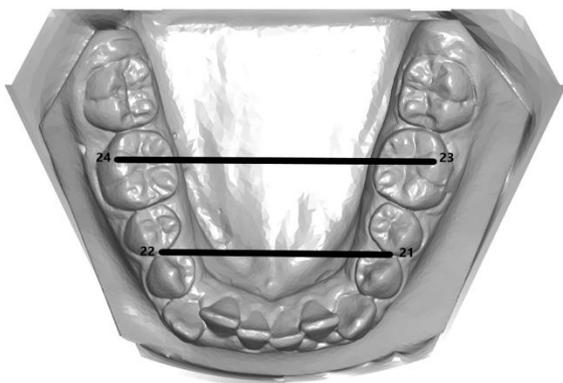


Abb. 6 Messpunkte Breite dental Unterkiefer

Außerdem wurde die Breite des Gaumens zwischen den koronalsten Punkten des Gingivasaumes an den 1. Prä – bzw. Milchmolaren und den Sechs-Jahr-Molaren vermessen (gingival/alveoläre Ebene). Von diesen Punkten ausgehend wurde jeweils in 2 mm Schritten abwärts die Breite erneut bestimmt bis zu einer Distanz von 6 mm (skelettal basale Ebene).

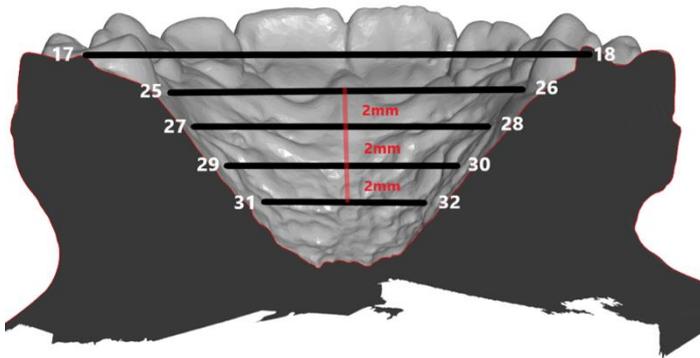


Abb. 7 Messpunkte Breite anterior

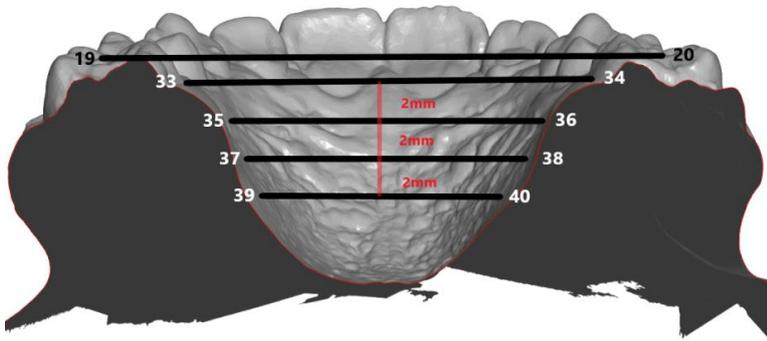


Abb. 8 Messpunkte Breite posterior

Zur Höhenbestimmung des Gaumens wurde ein Punkt mittig des Gaumens, also an der Raphe-Median-Linie, rechtwinklig mit dem koronalsten Punkt des Gingivasaumes an den 1. Prä – bzw. Milchmolaren und den Sechs-Jahr-Molaren verbunden. Für die Höhe an der Raphe-Median-Linie wurde der Mittelwert der Messungen an den jeweiligen Zähnen im 1. und im 2. Quadranten gebildet. Bei den Vierern wurde die gleiche Messung noch 5 mm rechts (1. Quadrant) und links (2. Quadrant) von der Gaumenmitte und an den Sechsern jeweils 5 mm und 10 mm rechts und links der Gaumenmitte durchgeführt.

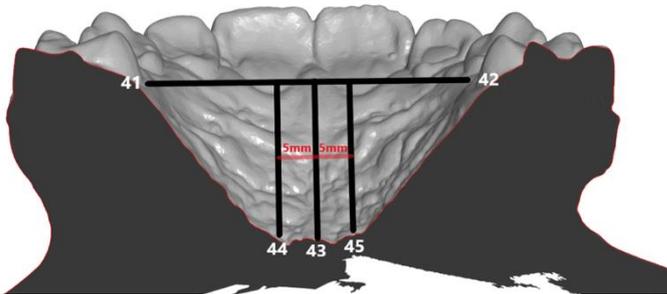


Abb. 9 Messpunkte Höhe anterior

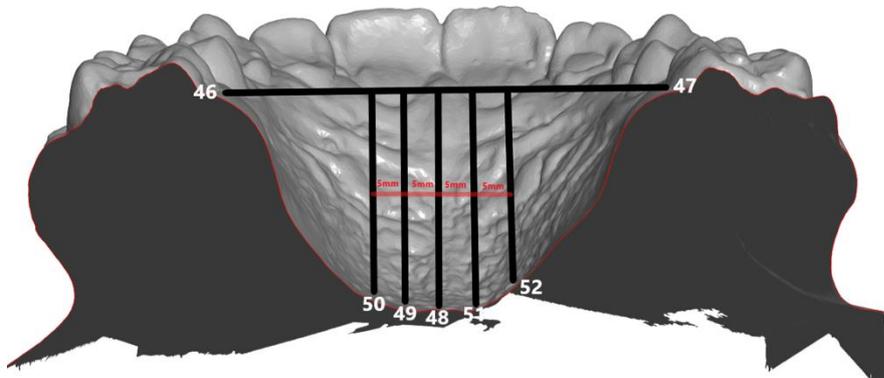


Abb. 10 Messpunkte Höhe posterior

Die Bestimmung des Volumens des Gaumens erfolgte mittels Füllstoffmengenmessung modifiziert nach WRIEDT [111]. Um eine vergleichbare Fläche zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 zu erreichen, wurde zunächst auf dem Modell T1 die Teilungsstelle des dritten Gaumenfaltenpaares sowie die distalen Flächen der beiden Sechs-Jahr-Molaren markiert. Letztere wurden miteinander verbunden. Die Mitte des dritten Gaumenfaltenpaares wurde auf Grundlage einer Studie von CHRISTOU et al. ausgewählt, die herausfanden, dass alle Gaumenfaltenpaare zwar wachstumsbedingten Änderungen unterliegen, diese jedoch am dritten Gaumenfaltenpaar am geringsten ausfallen, weshalb es sich als Messpunkt eignet [16]. Allerdings betonen die Autoren, dass dieser Messpunkt nur für Untersuchungen über einen kurzen Zeitraum, nicht aber für Langzeitstudien verwendet werden sollte, da er sich auch im Zuge des Wachstums verändert [16]. Von der Mitte des dritten Gaumenfaltenpaares wurde eine Senkrechte auf diese Verbindungslinie gezogen, sodass eine Strecke entstand, die mithilfe einer digitalen Schieblehre der Firma Burg-Wächter (PRECISE PS 7215; Ablesung in 0,01 mm Schritten) vermessen wurde. Nach dem Einzeichnen des Mittelpunktes der Mitte des dritten Gaumenfaltenpaares auf dem Modell T2 wurde die Ebene distal der Sechser anhand des zuvor ermittelten Abstandes übertragen. Die beiden Punkte an

den distalen Flächen der Sechser wurden wieder mit einer Linie verbunden. Aus Modelliermasse der Firma Betzold (Arnulf Betzold GmbH, Ellwangen) wurde auf dieser Linie der beiden Modelle die posteriore Begrenzung hergestellt, um ein Herauslaufen des Füllstoffes zu vermeiden. Mithilfe eines Geodreiecks wurde sichergestellt, dass die Begrenzung senkrecht auf der Verbindungslinie zwischen den distalen Flächen der Sechser stand. Um die Einfüllhöhe des Füllstoffes zu begrenzen, wurde an jedem Zahn der koronale Punkt des Gingivasaumes markiert und eine Verbindungslinie zwischen den Punkten gezogen. Als Füllstoff wurde Sand der Firma WFW Wasserflora (Winfried Janke, Würselen) mit einer Korngröße von 0,1 mm bis 0,2 mm verwendet. Der Sand wurde entsprechend den Markierungen eingefüllt und die oberste Schicht wurde drucklos mit dem Geodreieck geglättet. Eine Digitalwaage der Firma Dipse (TP500x0,01; SSR Produkt GmbH&Co. KG, Oldenburg) mit einer Genauigkeit von 0,01 g wurde zum Wiegen benutzt und die Werte wurden bis zur zweiten Dezimalstelle in Gramm angegeben. Mithilfe eines Messbechers der Firma Soloplast, der über eine Skalierung in cm^3 verfügt, wurde berechnet, dass 1,5 g des Aquariumsandes 1 cm^3 entsprechen. So konnten mittels Dreisatzes die Angaben in g zu Angaben in cm^3 umgewandelt werden.

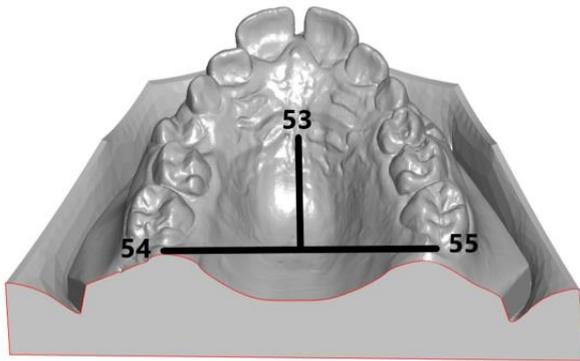


Abb. 11 Messpunkte Volumen

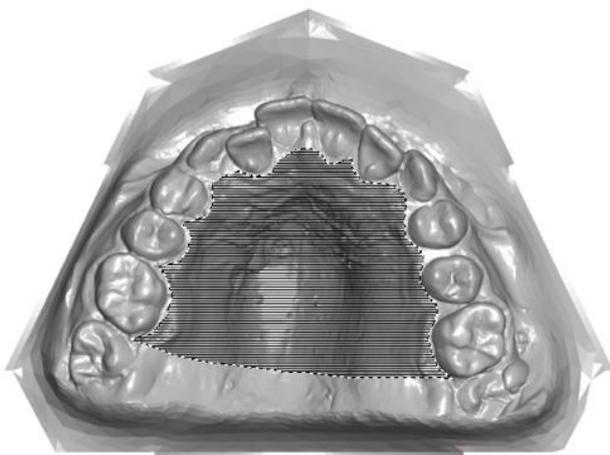


Abb. 12 Volumenmessung

Die Bestimmung der Gaumenform geschah mithilfe des modifizierten Gaumenindex nach KIM [51]. In der Literatur wurde hierfür eine Strecke von dem Gingivarand des 2. Prä- bzw. Milchmolaren zu dem tiefsten Punkt in der Gaumenmitte gezogen und der Winkel zwischen dieser Strecke und der horizontalen Verbindungslinie der oberen Sechs-Jahr-Molaren gemessen [51]. In dieser Studie wurde der Winkel auf die gleiche Art am 1. Prä- bzw. Milchmolaren und am 1. Molaren ermittelt. Dies wurde mithilfe der frei verfügbaren Software GIMP (GNU Image Manipulation Program, The GIMP Team) durchgeführt. Es wurde jeweils der koronalste Punkt des Gingivaumes am Zahn 16 (posterior) und am Zahn 14 bzw. 54 (anterior) sowie der tiefste Punkt mittig des anterioren bzw. posterioren Gaumens markiert. Mithilfe der Winkelmessfunktion wurde der Winkel zwischen den beiden Punkten bestimmt. Dabei entspricht der Steilgaumen Winkeln von über 45° , der Normalgaumen liegt zwischen 30 und 45° und bei Winkeln von unter 30° spricht man von einem Flachgaumen [51].

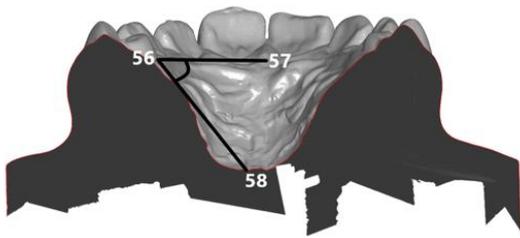


Abb. 13 Messpunkte Winkel anterior

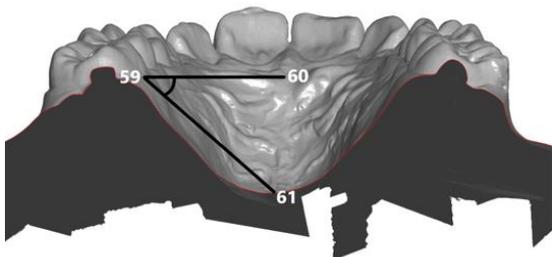


Abb. 14 Messpunkte Winkel posterior

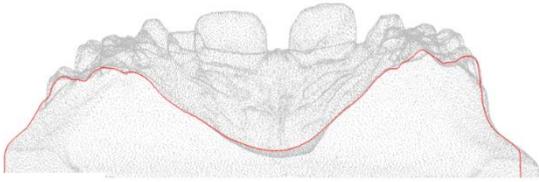


Abb. 15 Normalgaumen

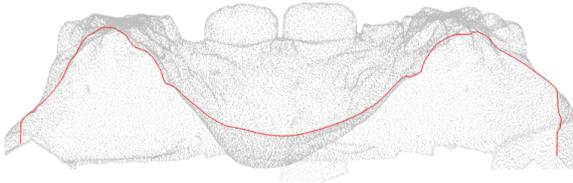


Abb. 16 Flachgaumen

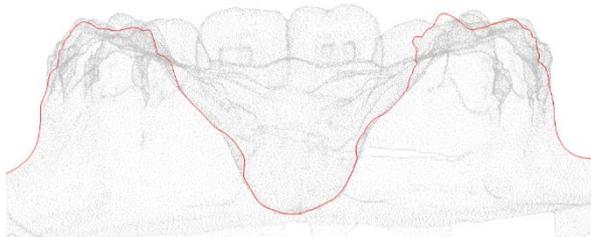


Abb. 17 Steilgaumen

Material und Methode

Messstrecke/punkte	Definition
1-2	größte mesio-distale Breite 12
3-4	größte mesio-distale Breite 11
5-6	größte mesio-distale Breite 21
7-8	größte mesio-distale Breite 22
9-10	größte mesio-distale Breite 32
11-12	größte mesio-distale Breite 31
13-14	größte mesio-distale Breite 41
15-16	größte mesio-distale Breite 42
17-18	Abstand zentrale Querfissuren 14&24 bzw. 54&64 (dentale Ebene)
19-20	Abstand zentrale Fossae 16&26 (dentale Ebene)
21-22	Abstand Kontaktpunkte zwischen 74&75 bzw. 34&35 und 84&85 bzw. 44&45
23-24	Abstand distobukkale Höckerspitzen 36&46
25-26	Abstand koronaler Gingivarand 14&24 bzw. 54&64 (gingival/alveoläre Ebene)
27-28	Abstand koronaler Gingivarand 14&24 bzw. 54&64 -2 mm
29-30	Abstand koronaler Gingivarand 14&24 bzw. 54&64 -4 mm
31-32	Abstand koronaler Gingivarand 14&24 bzw. 54&64 -6 mm (skelettal basale Ebene)
33-34	Abstand koronaler Gingivarand 16&26 (gingival/alveoläre Ebene)
35-36	Abstand koronaler Gingivarand 16&26 -2 mm
37-38	Abstand koronaler Gingivarand 16&26 -4 mm
39-40	Abstand koronaler Gingivarand 16&26 -6 mm (skelettal basale Ebene)
41	koronaler Gingivarand 14 bzw. 54
42	koronaler Gingivarand 24 bzw. 64
43	Gaumenmitte anterior
44	Gaumenmitte anterior 5 mm rechts (1. Quadrant)

45	Gaumenmitte anterior 5 mm links (2. Quadrant)
46	koronaler Gingivarand 16
47	koronaler Gingivarand 26
48	Gaumenmitte posterior
49	Gaumenmitte posterior 5 mm rechts (1. Quadrant)
50	Gaumenmitte posterior 10 mm rechts (1. Quadrant)
51	Gaumenmitte posterior 5 mm links (2. Quadrant)
52	Gaumenmitte posterior 10 mm links (2. Quadrant)
53	Mitte des 3. Gaumenfaltenpaares
54	distale Fläche 16
55	distale Fläche 26
56	koronalster Punkt des Gingivasaumes 14 bzw. 54
57	Horizontale auf der Senkrechten zur Gaumenmitte anterior
58	tiefster Punkt der Gaumenmitte anterior
59	koronalster Punkt des Gingivasaumes 16
60	Horizontale auf der Senkrechten zur Gaumenmitte posterior
61	tiefster Punkt der Gaumenmitte posterior

Tab. 3 Übersicht über die verwendeten Messpunkte

3.3.3 Diagramme

Zur Visualisierung ausgewählter Parameter wurden mithilfe von Microsoft® Office Excel (Microsoft Ireland Operations Limited, Ireland) Diagramme angefertigt. Dabei sind die Daten der Patienten, die dem Dentitionsstadium I angehören, blau dargestellt, während die Daten der Patienten des Dentitionsstadiums II rot hervorgehoben sind.

Zur Veranschaulichung der Breite in der Frontalebene wurden Diagramme, die die Mittelwerte der Breite (in mm) im anterioren und im posterioren Bereich für die Gesamtgruppe sowie für die beiden Einzelgruppen in jeweils einer eigenen Grafik abbilden, angefertigt. Dabei wurden die fünf verwendeten Messebenen dargestellt, also die dentale Ebene, die gingival/alveoläre Ebene, 2 mm bzw. 4 mm unter selbiger sowie für die skelettal basale Ebene, welche sich 6 mm unterhalb der gingival/alveolären Ebene befindet.

Die Ratio a/p, d.h. das Verhältnis der Breite zwischen den 1. Prä- bzw. Milchmolaren und der Breite zwischen den Sechs-Jahr-Molaren, wurde für alle Patienten auf der dentalen, der gingival/alveolären sowie der skelettal basalen Ebene mithilfe eines Säulendiagramms in chronologischer Sortierung dargestellt.

Die Höhe wurde sowohl in der Frontal- als auch in der Sagittalebene als Kurvendiagramm abgebildet, ebenfalls für die Gesamtgruppe sowie für die beiden Einzelgruppen. In der Frontalebene wurden die Mittelwerte der Höhe im anterioren und im posterioren Bereich auf Höhe der Raphe-Median-Linie sowie 5 mm rechts und 5 mm links von selbiger angegeben. Im posterioren Bereich wurde zusätzlich noch 10 mm links und 10 mm rechts neben der Raphe-Median-Linie gemessen. 5 mm links meint hierbei die Höhe an den jeweiligen Zähnen im 2. Quadranten, während 5 mm rechts von der Raphe-Median-Linie folglich die Höhe gemessen an den Zähnen im 1. Quadranten bedeutet. Zur Visualisierung in der Sagittalebene wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Mittelwerte der Höhe, die an der Raphe-Median-Linie gemessen wurde, jeweils im anterioren und im posterioren Bereich abgebildet.

3.3.4 Statistische Analyse

Die Erhebung der Daten erfolgte strukturiert mit einer Tabellenkalkulations-Software (Excel®, Microsoft Corporation, Redmond, USA) an einem Computer mit dem Betriebssystem Microsoft® Windows 10 (Microsoft Corporation Redmond, USA). Die erhobenen Daten wurden nachfolgend in eine Statistiksoftware (SPSS® 23, Armonk, New York, USA) für Windows® (Microsoft Corporation) importiert und mittels dieser ausgewertet. Die Normalverteilung wurde visuell und mit dem Shapiro-Wilk-Test evaluiert. Behandlungsassoziierte Veränderungen der Variablen wurden für Intragruppenvergleiche mit dem verbundenen und für Intergruppenvergleiche mit dem unabhängigen t-Test analysiert. Für jede Variable wurden Mittelwert und Standardabweichung ausgewiesen. Statistische Signifikanz wurde bei p-Werten $< 0,05$ angenommen.

Das Signifikanzniveau definierte sich wie folgt:

$p \geq 0,05$ nicht signifikant

$p < 0,05$ signifikant

$p < 0,01$ hochsignifikant

$p < 0,001$ höchstsignifikant

3.3.5 Methodenfehler nach Dahlberg

Zur Bestimmung des Methodenfehlers nach Dahlberg [21] wurden nach einem erinnerungsfreien Zeitraum von drei Monaten 25% der Modelle (29), die hierfür willkürlich ausgewählt wurden, erneut von demselben Untersucher vermessen. Dabei wurde der Methodenfehler für die Messstrecken der Höhe und der Breite, für die Winkelmessung sowie für die Bestimmung des Volumens anhand folgender Formel berechnet, um die Validität der Messmethode ermitteln zu können.

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

MF = Methodenfehler

d = Differenz der ersten Messung und der Nachmessung

n = Anzahl der Messungen

Im Folgenden findet sich die tabellarische Darstellung der Ergebnisse des Methodenfehlers nach Dahlberg. Die Ergebnisse sind sowohl bei der Messung der Breite und der Höhe als auch bei der Winkel- und Volumenbestimmung <1.

Messstrecke/Messung	Methodenfehler nach Dahlberg
Höhe (mm)	0,60
Breite (mm)	0,53
Winkel (°)	0,65
Volumen (cm ³)	0,70

Tab. 4 Methodenfehler nach Dahlberg

4 Ergebnisse

4.1 Allgemein

In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) für verschiedene Parameter zu den Zeitpunkten T1 und T2 dargestellt. Zudem wurden von den Differenzen der jeweiligen Parameter zwischen dem Anfangsmodell und dem Schlussmodell ebenfalls die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen ermittelt. Für jeden Parameter gibt es eine Tabelle, die die Mittelwerte und die Standardabweichungen sowie die p-Werte innerhalb (p intra) der gesamten Patientengruppe zeigt, eine Tabelle, die selbige Werte für die beiden Gruppen, also Dentitionsstadium I und Dentitionsstadium II, präsentiert sowie eine Tabelle, die die p-Werte zwischen (p inter) den beiden Gruppen darstellt. Signifikante Werte wurden im Intragruppenvergleich blau (Dentitionsstadium I) bzw. rot (Dentitionsstadium II) hervorgehoben, während sie im Intergruppenvergleich violett dargestellt wurden.

4.2 Dentale Zahnbogenbreite inklusive Zahnbogenbreitendiskrepanz

4.2.1 Veränderungen innerhalb der beiden Gruppen

Eine Übersicht über die dentale Zahnbogenbreite im anterioren und im posterioren Bereich sowie die Zahnbogenbreitendiskrepanz ist in der folgenden Tabelle sowohl für den Oberkiefer als auch für den Unterkiefer dargestellt. Die dentale Breite vergrößert sich anterior und posterior im Ober- und im Unterkiefer in der Gesamtgruppe wie auch in den beiden Einzelgruppen höchstsignifikant ($p=0,000$). Im anterioren Bereich im Unter- und im Oberkiefer liegt zum Zeitpunkt T1 in der Gesamtgruppe ein Platzmangel von $4,24\pm 3,28$ mm bzw. $5,29\pm 2,74$ mm vor, der sich im Rahmen der Therapie zwar verkleinert, jedoch auch zum Zeitpunkt T2 noch vorhanden ist. Dort beträgt er $2,70\pm 2,67$ mm bzw. $1,02\pm 2,70$ mm. Im posterioren Bereich kann in beiden Kiefern vor Beginn der Therapie ebenfalls ein Platzmangel zum Zeitpunkt T1 festgestellt werden. Allerdings ist hier zum Zeitpunkt T2 in beiden

Ergebnisse

Kiefern ein Platzüberschuss mit $-0,70 \pm 3,32$ mm im Unterkiefer und mit $-1,36 \pm 3,30$ mm im Oberkiefer vorhanden. Ein ähnliches Verhalten kann auch in den beiden Einzelgruppen beobachtet werden.

Während sich die dentale Breite in der Gesamtgruppe im anterioren und im posterioren Bereich des Oberkiefers mit $4,25 \pm 1,68$ mm bzw. $4,21 \pm 1,57$ mm annähernd gleich stark vergrößert, fallen Unterschiede zwischen den Dentitionsstadien I und II auf. Die dentale Breite zwischen den 1. Prä- bzw. Milchmolaren nimmt bei den jüngeren Patienten um $3,97 \pm 1,61$ mm zu. Zwischen den Sechs-Jahr-Molaren beträgt die Vergrößerung $4,42 \pm 1,47$ mm, während bei den Patienten des Dentitionsstadiums II die Zunahme mit $4,52 \pm 1,71$ mm im anterioren Bereich stärker ist als im posterioren Bereich mit $4,00 \pm 1,64$ mm. Im Unterkiefer ist die Breitenzunahme bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium I angehören, im posterioren Bereich ebenfalls geringfügig stärker ausgeprägt als im anterioren Bereich, während die älteren Patienten ein umgekehrtes Verhalten zeigen.

	Gesamt			
	T1	T2	Δ T2-T1	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
OK ant.	$32,91 \pm 2,02$	$37,23 \pm 2,32$	$4,25 \pm 1,68$	0,000
	$5,29 \pm 2,74$	$1,02 \pm 2,70$	$-4,25 \pm 1,68$	0,000
UK ant.	$33,85 \pm 2,55$	$35,45 \pm 2,08$	$1,54 \pm 2,06$	0,000
	$4,24 \pm 3,28$	$2,70 \pm 2,67$	$-1,54 \pm 2,06$	0,000
OK post.	$43,36 \pm 2,51$	$47,57 \pm 2,64$	$4,21 \pm 1,57$	0,000
	$2,84 \pm 3,32$	$-1,36 \pm 3,30$	$-4,21 \pm 1,57$	0,000
UK post.	$45,58 \pm 2,80$	$46,90 \pm 2,58$	$1,32 \pm 1,69$	0,000
	$0,61 \pm 3,58$	$-0,70 \pm 3,32$	$-1,32 \pm 1,69$	0,000

	DS I				DS II			
	T1	T2	Δ T2-T1		T1	T2	Δ T2-T1	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
OK ant.	$32,20 \pm 1,81$	$36,24 \pm 1,96$	$3,97 \pm 1,61$	0,000	$33,63 \pm 1,97$	$38,15 \pm 2,27$	$4,52 \pm 1,71$	0,000
	$5,82 \pm 2,67$	$1,86 \pm 2,49$	$-3,97 \pm 1,61$	0,000	$4,76 \pm 2,72$	$0,24 \pm 2,67$	$-4,52 \pm 1,71$	0,000
UK ant.	$33,15 \pm 2,59$	$34,56 \pm 2,08$	$1,44 \pm 2,21$	0,000	$34,55 \pm 2,34$	$36,32 \pm 1,67$	$1,64 \pm 1,91$	0,000
	$4,67 \pm 3,41$	$3,34 \pm 2,77$	$-1,44 \pm 2,21$	0,000	$3,80 \pm 3,13$	$2,06 \pm 2,43$	$-1,64 \pm 1,91$	0,000
OK post.	$42,88 \pm 2,07$	$47,30 \pm 2,15$	$4,42 \pm 1,47$	0,000	$43,84 \pm 2,82$	$47,84 \pm 3,05$	$4,00 \pm 1,64$	0,000
	$3,14 \pm 3,09$	$-1,28 \pm 3,00$	$-4,42 \pm 1,47$	0,000	$2,55 \pm 3,54$	$-1,45 \pm 3,60$	$-4,00 \pm 1,64$	0,000
UK post.	$45,26 \pm 2,50$	$46,78 \pm 2,48$	$1,52 \pm 1,59$	0,000	$45,90 \pm 3,05$	$47,02 \pm 2,68$	$1,12 \pm 1,75$	0,000
	$0,75 \pm 3,40$	$-0,76 \pm 3,32$	$-1,59 \pm 1,59$	0,000	$0,47 \pm 3,79$	$-0,63 \pm 3,35$	$-1,10 \pm 1,76$	0,000

	DS II vs. DS II
OK ant.	0,086 0,086
UK ant.	0,612 0,612
OK post.	0,150 0,150
UK post.	0,189 0,203

Tab. 5 Dentale Zahnbogenbreite inklusive Zahnbogenbreitendiskrepanz

Diese Tabelle zeigt die dentale Breite in mm (obere Zeile) inklusive der Zahnbogenbreitendiskrepanz in mm (untere Zeile). Diese wurde durch die Differenz der PONTschen Relation und der tatsächlich gemessenen Breite errechnet. Dabei gibt ein negativer Wert einen Platzüberschuss an, während ein positiver Wert einen Platzmangel zeigt.

ant. = anterior (1. Prä- bzw. Milchmolar)

post. = posterior (1. Molar)

4.2.2 Unterschiede in der Veränderung der dentalen Breite sowie der Zahnbogenbreitendiskrepanz zwischen den beiden Gruppen

Es liegen keine signifikanten Unterschiede in den Veränderungen der beiden Parameter zwischen den Gruppen vor.

4.3 Breite (dental, gingival/alveolär, skelettal basal)

4.3.1 Veränderungen der Breiten innerhalb der Gruppen

Die Messtrecken vergrößern sich sowohl in der Gesamtgruppe als auch in den beiden Einzelgruppen höchstsignifikant ($p=0,000$). In der Gesamtgruppe ist die Zunahme dabei auf allen Ebenen anterior geringfügig größer als posterior. In der Gruppe des Dentitionsstadiums II verstärkt sich dies. Im Gegensatz dazu kann bei den Patienten des Dentitionsstadiums I auf den oberen drei Ebenen im posterioren Bereich eine größere Breitenzunahme als im anterioren Bereich beobachtet werden.

	Gesamt			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
54-64/14-24, dental	32,91±2,02	37,23±2,32	4,25±1,68	0,000
54-64/14-24, GS, gingival/alveolär	24,33±1,71	28,11±1,76	3,78±1,48	0,000
54-64/14-24, GS -2 mm	20,02±1,91	22,78±2,04	2,77±1,54	0,000
54-64/14-24, GS -4 mm	15,92±2,31	18,12±2,36	2,21±1,59	0,000
54-64/14-24, GS -6 mm, skelettal basal	13,10±2,67	14,88±2,57	1,77±1,82	0,000
16-26, dental	43,36±2,51	47,57±2,64	4,21±1,57	0,000
16-26, GS, gingival/alveolär	31,75±2,45	35,23±2,87	3,47±1,59	0,000
16-26, GS -2 mm	27,01±2,34	29,08±2,29	2,07±1,58	0,000
16-26, GS -4 mm	24,29±2,56	25,70±2,72	1,41±1,85	0,000
16-26, GS -6 mm, skelettal basal	20,72±3,21	21,99±3,49	1,27±2,05	0,000

	DS I				DS II			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$		T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
54-64/14-24, dental	32,20±1,81	36,24±1,96	3,97±1,61	0,000	33,63±1,97	38,15±2,27	4,52±1,71	0,000
54-64/14-24, GS, gingival/alveolär	24,31±1,58	27,88±1,71	3,57±1,45	0,000	24,35±1,84	28,35±1,80	4,00±1,50	0,000
54-64/14-24, GS -2 mm	19,95±1,91	22,40±1,80	2,46±1,36	0,000	20,09±1,93	23,17±2,21	3,08±1,65	0,000
54-64/14-24, GS -4 mm	15,85±2,08	17,72±1,99	1,87±1,39	0,000	15,98±2,54	18,52±2,64	2,55±1,71	0,000
54-64/14-24, GS -6 mm, skelettal basal	13,22±2,39	14,66±2,31	1,43±1,79	0,000	12,98±2,95	15,10±2,81	2,11±1,81	0,000
16-26, dental	42,88±2,07	47,30±2,15	4,42±1,47	0,000	43,84±2,82	47,84±3,05	4,00±1,64	0,000
16-26, GS, gingival/alveolär	31,59±2,20	35,55±2,34	3,96±1,43	0,000	31,92±2,68	34,90±3,31	2,98±1,61	0,000
16-26, GS -2 mm	26,51±2,10	29,05±2,13	2,54±1,61	0,000	27,51±2,47	29,11±2,46	1,60±1,40	0,000
16-26, GS -4 mm	23,38±2,31	24,99±2,77	1,61±2,09	0,000	25,21±2,49	26,42±2,49	1,21±1,58	0,000
16-26, GS -6 mm, skelettal basal	19,28±2,96	20,68±3,44	1,40±2,28	0,000	22,16±2,80	23,30±3,05	1,14±1,79	0,000

	DS I vs. DS II
54-64/14-24, dental	0,086
54-64/14-24, GS, gingival/alveolär	0,125
54-64/14-24, GS -2 mm	0,031
54-64/14-24, GS -4 mm	0,022
54-64/14-24, GS -6 mm, skelettal basal	0,046
16-26, dental	0,150
16-26, GS, gingival/alveolär	0,001
16-26, GS -2 mm	0,001
16-26, GS -4 mm	0,254
16-26, GS -6 mm, skelettal basal	0,512

Tab. 6 Breite dental, gingival/alveolär, skelettal

Hier sind die Breiten im anterioren (14&24 bzw. 54&64) und im posterioren (16&26) Bereich auf fünf verschiedenen Ebenen des Oberkiefers dargestellt. Es wurden die dentale Breite (vgl. Messpunkte Tab. 3), die gingival/alveoläre Breite, die Breite 2 mm und 4 mm unterhalb der gingival/alveolären Ebene sowie die skelettal basale Breite ermittelt.

GS = Gingivasaum

4.3.2 Unterschiede in der Veränderung der gingivalen Breite zwischen den Gruppen

Die Patienten des Dentitionsstadiums II zeigen jeweils 2 mm, 4 mm und 6 mm unterhalb der koronalsten Punkte des Gingivasaumes der anterioren Verankerungszähne eine signifikant größere Zunahme der Breite als die Patienten, die dem Dentitionsstadium I angehören ($p=0,031$ bzw. $p=0,022$ bzw. $p=0,046$). Dagegen vergrößert sich die Breite zwischen den koronalsten Punkten der Gingiva der Sechs-Jahr-Molaren sowie 2 mm darunter bei den Patienten der ersten Gruppe hochsignifikant stärker ($p=0,001$).

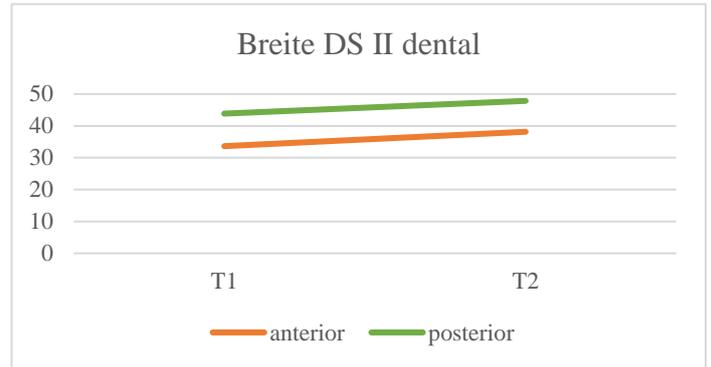
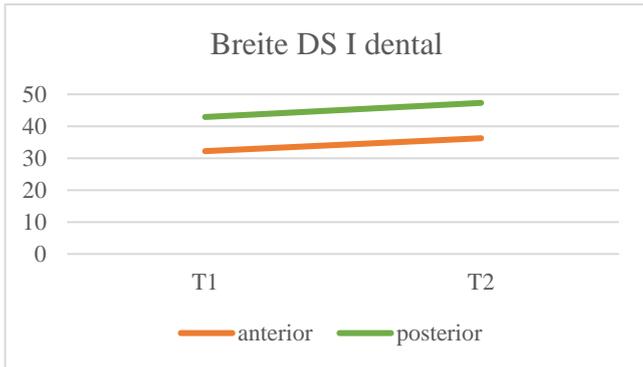
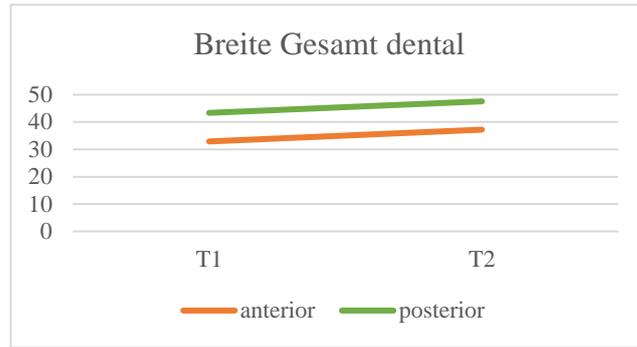


Abb. 18-20 Breite dental für die Gesamtgruppe sowie beide Dentitionsstadien (DS)

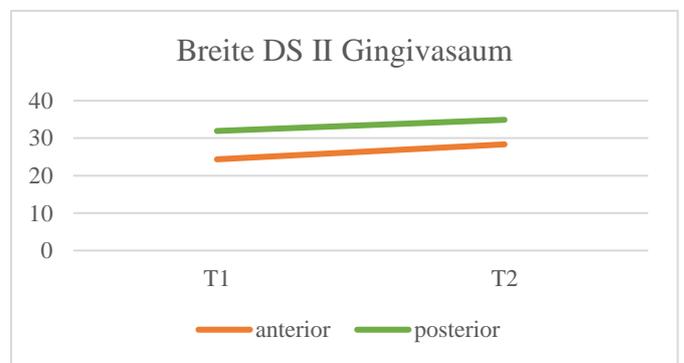
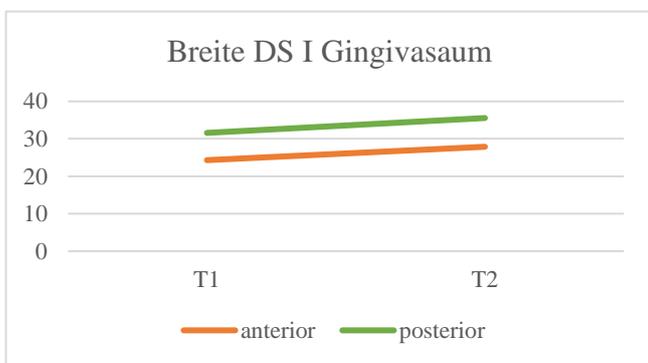
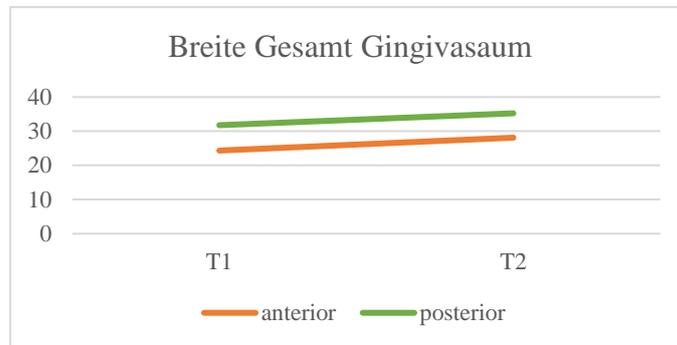


Abb. 21-23 Breite am Gingivasaum für die Gesamtgruppe sowie beide Dentitionsstadien

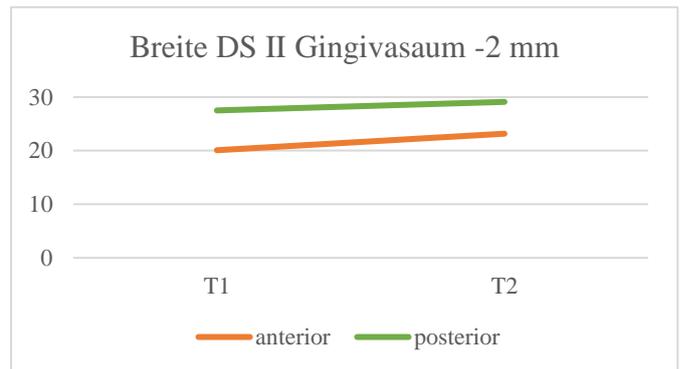
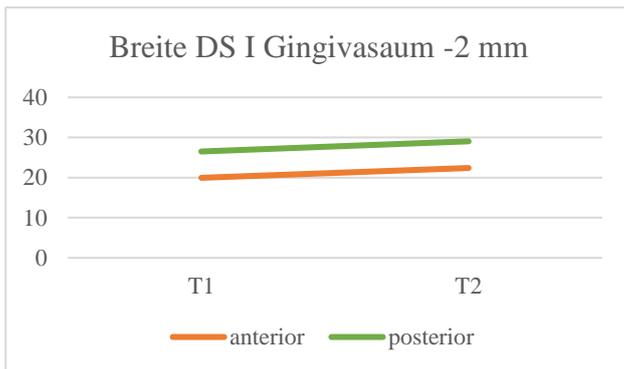
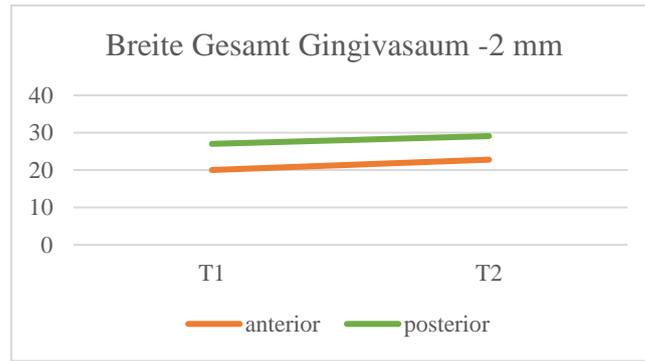


Abb. 24-26 Breite 2 mm unterhalb des Gingivasaumes für die Gesamtgruppe sowie für beide Dentitionsstadien

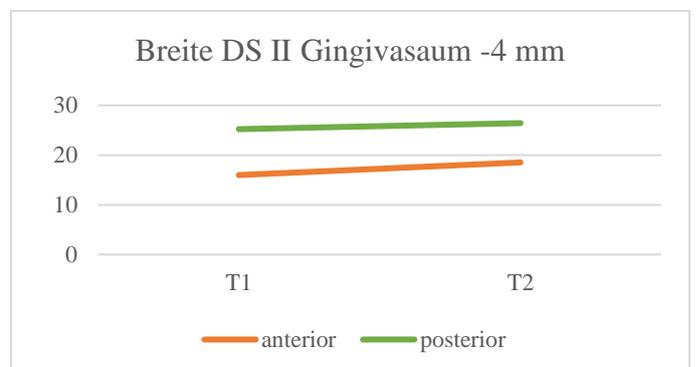
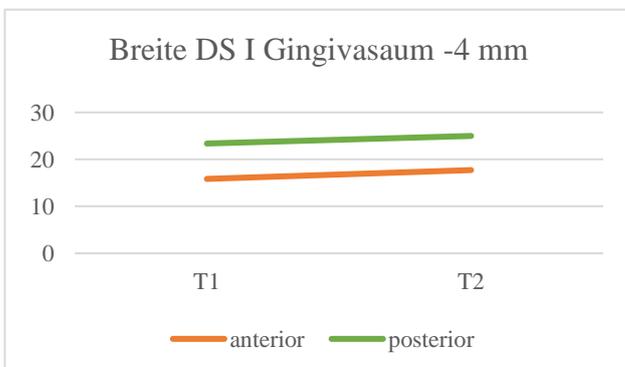
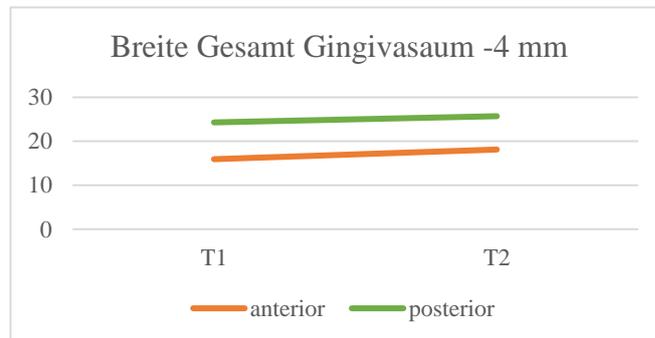


Abb. 27-29 Breite 4 mm unterhalb des Gingivasaumes für die Gesamtgruppe sowie beide Dentitionsstadien

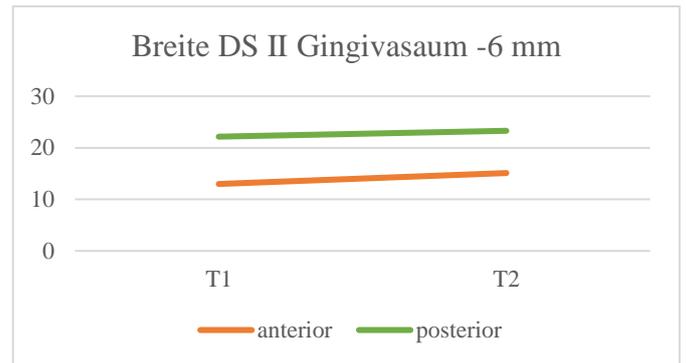
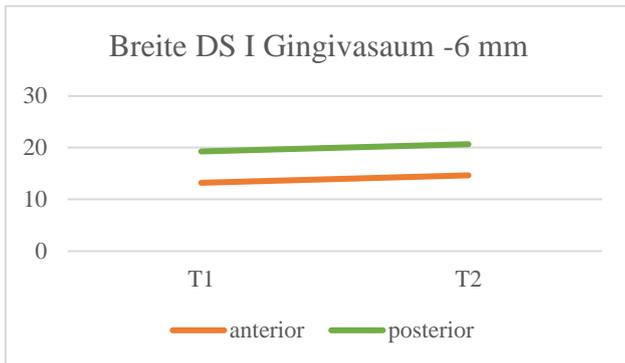
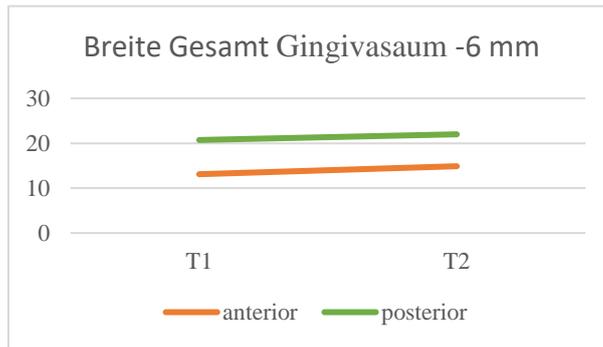


Abb. 30-32 Breite 6 mm unterhalb des Gingivasaumes für die Gesamtgruppe sowie beide Dentitionsstadien

4.4 Ratio anterior zu posterior

4.4.1 Veränderungen der Ratio anterior zu posterior innerhalb der Gruppen

Des Weiteren wurde die Ratio a/p ermittelt, also der Quotient aus den jeweiligen Differenzen der Breite, gemessen am koronalsten Gingivarand der 1. Prä – bzw. Milchmolaren und der 1. Molaren zwischen den Zeitpunkten T1 und T2.

Da $\Delta T2-T1$ (Diff.) aus den Differenzen der jeweiligen Breiten im anterioren und im posterioren Bereich berechnet wurde, können die Werte wie folgt gedeutet werden: Ein Ergebnis <1 bedeutet eine stärkere Zunahme im posterioren Bereich, ein Ergebnis $=1$ zeigt eine gleichstarke Veränderung zwischen den 1. Prä- bzw. Milchmolaren sowie zwischen den Sechs-Jahr-Molaren, während bei einem Ergebnis >1 im anterioren Bereich eine deutlichere Vergrößerung stattgefunden hat. In der Gesamtgruppe erfolgt auf den oberen beiden Ebenen im anterioren Bereich eine größere Breitenzunahme, während dies bei den Patienten des Dentitionsstadiums II auf allen drei Ebenen der Fall ist. Dagegen findet in der gesamten Patientengruppe auf der skelettal basalen Ebene sowie auf allen Ebenen der Patienten, die zum Dentitionsstadium I gehören, im posterioren Bereich eine deutlichere Breitenzunahme statt.

	Gesamt				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
Ratio a/p dental	0,77±0,04	0,79±0,05	0,02±0,04	1,26±4,23	0,000
Ratio a/p GS gingival/alveolär	0,77±0,05	0,80±0,06	0,03±0,05	1,54±1,83	0,000
Ratio a/p -6 mm skelettal basal	0,64±0,13	0,69±0,13	0,05±0,13	0,84±3,24	0,000

	DS I				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
Ratio a/p dental	0,76±0,03	0,77±0,04	0,02±0,03	0,70±1,70	0,000
Ratio a/p GS gingival/alveolär	0,77±0,05	0,79±0,05	0,01±0,04	0,97±0,45	0,017
Ratio a/p -6 mm skelettal basal	0,69±0,11	0,72±0,13	0,03±0,11	0,57±1,86	0,052

Ergebnisse

	DS II				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
Ratio a/p dental	0,78±0,04	0,81±0,05	0,03±0,04	1,78±5,62	0,000
Ratio a/p GS gingival/alveolär	0,77±0,06	0,82±0,07	0,05±0,05	2,11±2,42	0,017
Ratio a/p -6 mm skelettal basal	0,59±0,12	0,65±0,11	0,06±0,08	1,12±4,19	0,000

	DS1 vs. DS2
Ratio a/p dental	0,020
Ratio a/p GS gingival/alveolär	0,000
Ratio a/p -6 mm	0,062

Tab. 7 Ratio anterior zu posterior

Hier ist die Ratio a/p der Breite auf der dentalen, der gingival/alveolären sowie der skelettal basalen Ebene dargestellt. $\Delta T2-T1$ (Diff.) wurde aus dem Verhältnis der Differenzen der jeweiligen Breiten im anterioren und im posterioren Bereich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 ermittelt: $\frac{\text{Breite a T2} - \text{Breite a T1}}{\text{Breite p T2} - \text{Breite p T1}}$

a = anterior (1. Prä- bzw. Milchmolar)

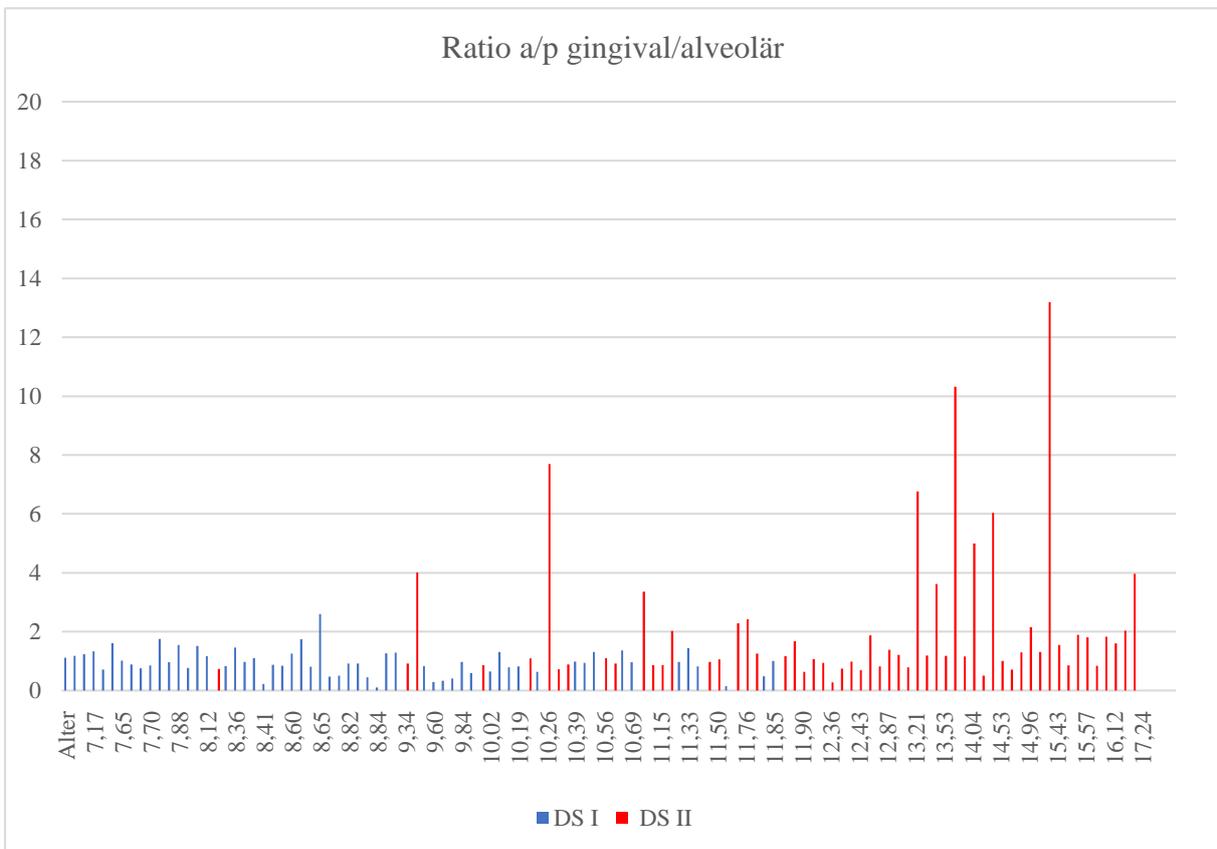
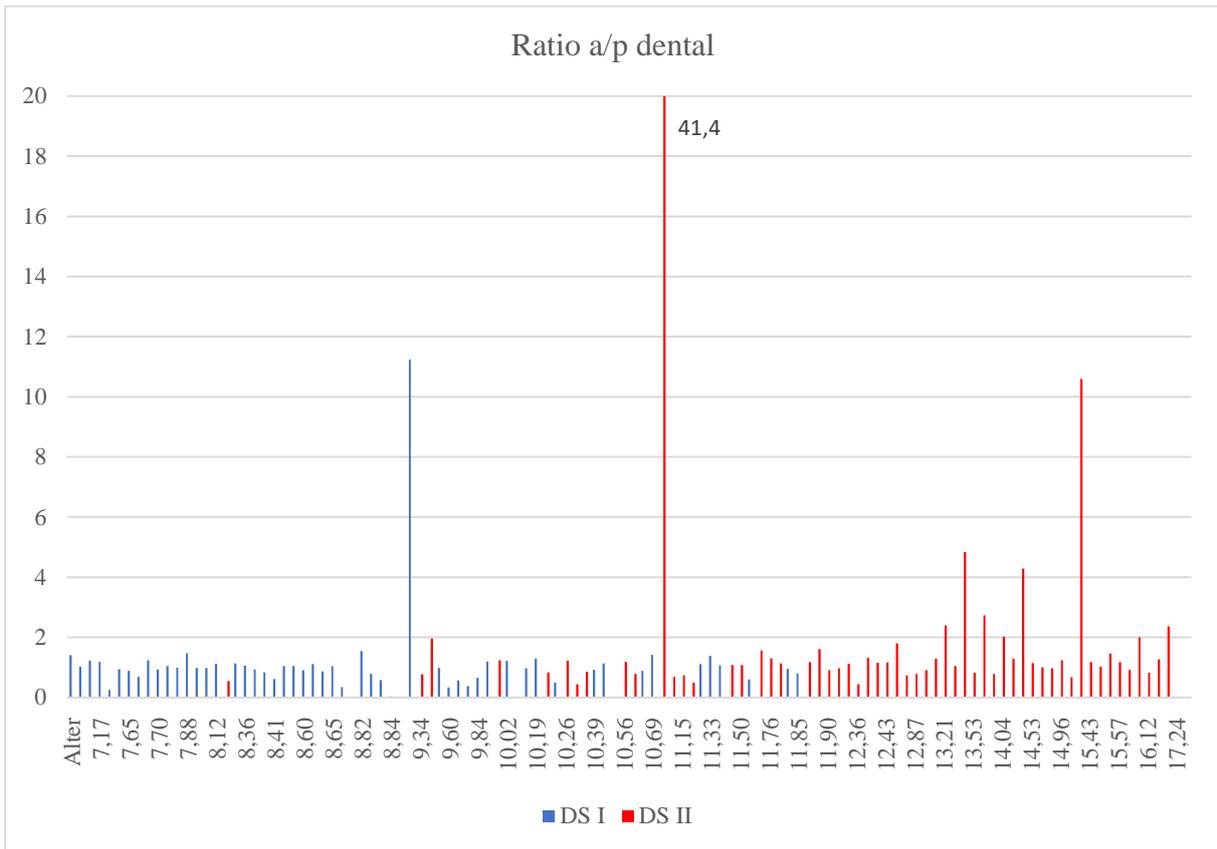
p = posterior (1. Molar)

GS = Gingivasaum

4.4.2 Unterschiede in der Veränderung der Ratio anterior zu posterior zwischen den Gruppen

Auf der dentalen Ebene sowie auf der gingival/alveolären Ebene kommt es bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium II angehören, zu einer signifikant bzw. höchstsignifikant stärkeren Vergrößerung der Ratio a/p ($p=0,020$ bzw. $p=0,000$).

Ergebnisse



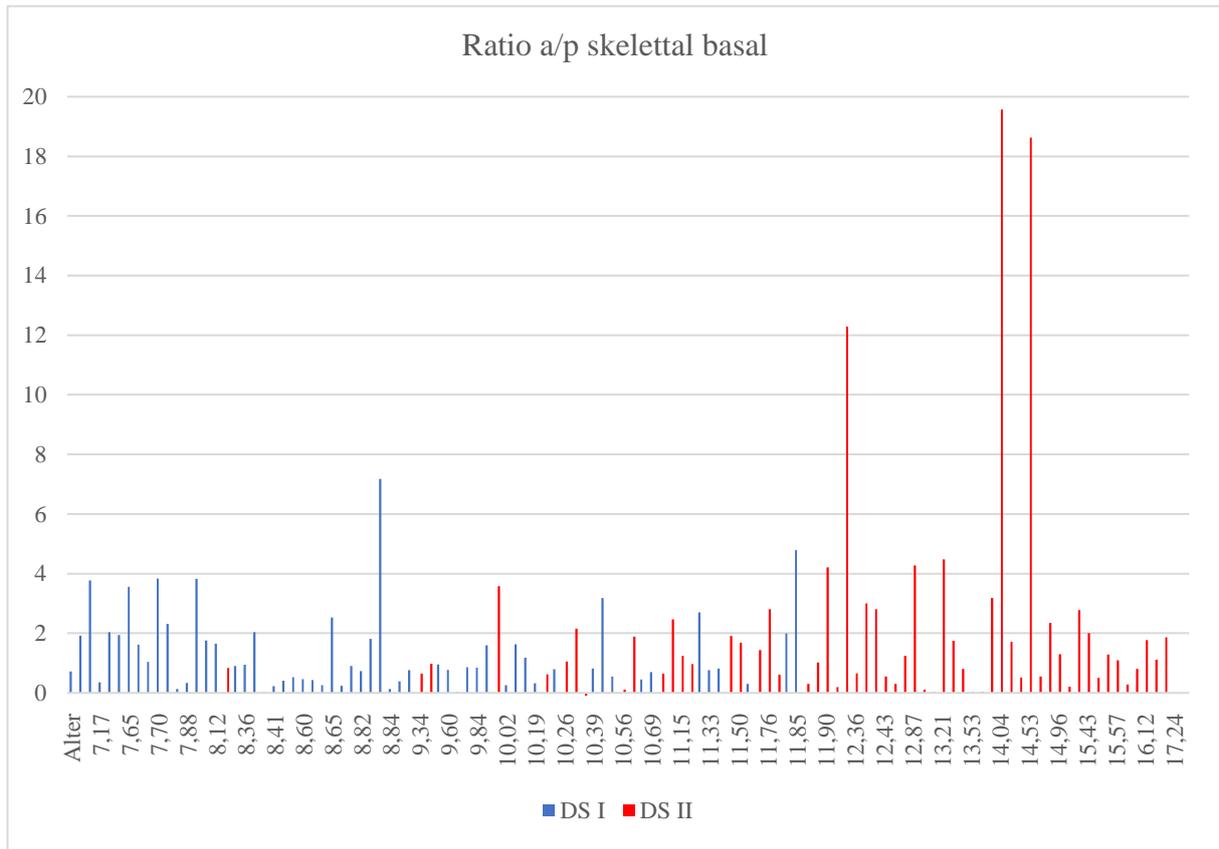


Abb. 33-35 Ratio a/p auf der dentalen, der gingival/alveolären und der skelettal basalen Ebene für die Gesamtgruppe sowie beide Dentitionsstadien

4.5 Verhältnis der dentalen zur gingivalen Breite (dental zu alveolär)

4.5.1 Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppe

$\Delta T2-T1$ (Diff.) wurde nach demselben Prinzip wie in Kap. 5.4.1 ermittelt. Somit bedeutet ein Wert <1 , dass die Breitenzunahme auf der gingival/alveolären Ebene größer ist als auf der dentalen Ebene, während ein Ergebnis $=1$ zeigt, dass die Vergrößerung der Breite auf beiden Ebenen gleichmäßig stattgefunden hat. Eine stärkere Vergrößerung auf der dentalen Ebene zeigt ein Wert >1 .

Sowohl in der Gesamtgruppe als auch in den beiden Einzelgruppen ist auf der dentalen Ebene eine deutlichere Vergrößerung der Breite zu erkennen als auf der gingival/alveolären Ebene. In der Gesamtgruppe sowie bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium I angehören, reduziert sich das Verhältnis sowohl anterior als auch posterior höchstsignifikant bzw. hochsignifikant ($p=0,000$ und $p=0,001$ bzw. $p=0,000$ und $p=0,000$). Dies zeigt, dass sich das Verhältnis der beiden Ebenen zum Zeitpunkt T2 zugunsten der Zunahme auf der gingival/alveolären Ebene verschiebt und somit nähert sich das Verhältnis der Breite auf der dentalen Ebene und auf der gingival/alveoläre Ebene einem Wert von 1, also einer ausgeglichenen Zunahme. Bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium II zugehörig sind, ist dies nur im anterioren Bereich zu beobachten, während posterior keine signifikante Änderung des Verhältnisses auftritt ($p=0,682$).

	Gesamt				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	1,34±0,13	1,31±0,13	-0,03±0,05	1,18±0,47	0,000
post.	1,34±0,13	1,33±0,13	-0,02±0,05	1,31±0,77	0,001

	DS I				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	1,32±0,03	1,30±0,04	-0,03±0,04	1,16±0,48	0,000
post.	1,35±0,06	1,32±0,05	-0,03±0,05	1,12±0,36	0,000

Ergebnisse

	DS II				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	1,38±0,06	1,35±0,05	-0,04±0,06	1,23±0,47	0,000
post.	1,36±0,06	1,36±0,06	-0,00±0,05	1,51±1,00	0,682

	DS I vs. DS II
ant.	0,146
post.	0,726

Tab. 8 Verhältnis der dentalen zur gingival/alveolären Breite

Hier ist das Verhältnis der dentalen zur gingival/alveolären Breite im anterioren und im posterioren Bereich dargestellt. $\Delta T2-T1$ (Diff.) wurde aus dem Verhältnis der Differenzen der dentalen und gingivalen Breiten im anterioren bzw. im posterioren Bereich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 ermittelt: $\frac{\text{Breite a dental T2} - \text{Breite a dental T1}}{\text{Breite a gingival T2} - \text{Breite a gingival T1}}$ bzw. $\frac{\text{Breite p dental T2} - \text{Breite p dental T1}}{\text{Breite p gingival T2} - \text{Breite p gingival T1}}$

ant. = anterior (1. Prä- bzw. Milchmolar)

post. = posterior (1. Molar)

4.5.2 Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der dentalen zur gingivalen Breite zwischen den Gruppen

In der Veränderung des Verhältnisses gibt es zwischen den Patienten des Dentitionsstadiums I und den Patienten des Dentitionsstadiums II keine signifikanten Unterschiede.

4.6 Verhältnis der dentalen zur skelettalen Breite

4.6.1 Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppen

Da $\Delta T2-T1$ (Diff.) analog zu Kap. 5.4.1 interpretiert werden kann, können hier folgende Aussagen getroffen werden: In der Gesamtgruppe sowie in beiden Einzelgruppen ist sowohl anterior als auch posterior die Breitenzunahme auf der dentalen Ebene größer als auf der skelettalen Ebene. Es kommt zu keiner signifikanten Veränderung des Verhältnisses, außer im posterioren Bereich in der Gesamtgruppe und bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium II angehören. Dort vergrößert sich das Verhältnis hochsignifikant bzw. signifikant ($p=0,001$ bzw. $p=0,003$) und verschiebt sich somit zugunsten der Zunahme auf der dentalen Ebene.

	Gesamt				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	2,66±0,84	2,56±0,50	-0,1±0,59	5,76±39,46	0,089
post.	2,11±0,32	2,19±0,35	0,07±0,23	1,93±5,18	0,001

	DS I				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	2,51±0,43	2,50±0,39	-0,01±0,05	2,34±8,12	0,785
post.	2,25±0,36	2,31±0,37	0,06±0,26	1,72±4,01	0,068

	DS II				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	2,80±1,1	2,62±0,59	-0,17±0,74	8,94±54,29	0,082
post.	1,98±0,20	2,06±0,27	0,08±0,20	2,13±6,15	0,003

	DS I vs. DS II
ant.	0,202
post.	0,002

Tab. 9 Verhältnis der dentalen zur skelettalen Breite

Hier ist das Verhältnis der dentalen zur skelettalen Breite, also 6 mm unterhalb des koronalsten Punktes des Gingivasaumes der 1. Prä- bzw. Milchmolaren und der Sechs-Jahr-Molaren dargestellt. $\Delta T2-T1$ (Diff.) wurde aus dem Verhältnis der Differenzen der dentalen und skelettalen Breiten im anterioren bzw. im posterioren Bereich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 ermittelt:
 $\frac{\text{Breite a dental T2}-\text{Breite a dental T1}}{\text{Breite a skelettal T2}-\text{Breite a skelettal T1}}$ bzw. $\frac{\text{Breite p dental T2}-\text{Breite p dental T1}}{\text{Breite p skelettal T2}-\text{Breite p skelettal T1}}$

ant. = anterior (1. Prä- bzw. Milchmolar)

post. = posterior (1. Molar)

4.6.2 Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der dentalen zur gingivalen Breite zwischen den Gruppen

Das Verhältnis vergrößert sich bei den Patienten des Dentitionsstadiums II im posterioren Bereich signifikant stärker ($p=0,002$).

4.7 Verhältnis der gingival/alveolären zur skelettalen Breite

4.7.1 Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppen

Sowohl in der Gesamtgruppe als auch in den beiden Einzelgruppen zeigen die Werte von $\Delta T2-T1$ (Diff.) im anterioren wie auch im posterioren Bereich eine größere Breitenzunahme auf der dentalen Ebene als auf der skelettalen Ebene. Im posterioren Bereich vergrößert sich das Verhältnis höchstsignifikant bzw. signifikant ($p=0,000$ bzw. $p=0,002$) und verschiebt sich somit zugunsten der Breitenzunahme auf der gingival/alveolären Ebene.

	Gesamt				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	1,96±0,6	1,95±0,60	-0,01±0,42	5,24±33,47	0,829
post.	1,56±0,24	1,64±0,28	0,08±0,18	1,38±4,44	0,000

	DS I				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	1,89±0,31	1,95±0,32	0,06±0,28	2,40±6,65	0,118
post.	1,67±0,26	1,76±0,29	0,09±0,20	1,53±3,59	0,002

	DS II				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	2,02±0,79	1,95±0,44	-0,08±0,51	8,08±46,91	0,267
post.	1,45±0,15	1,52±0,22	0,07±0,15	1,23±5,18	0,002

	DS I vs. DS II
ant.	0,084
post.	0,502

Tab. 10 Verhältnis der gingival/alveolären zur skelettalen Breite

Hier wird das Verhältnis der gingival/alveolären zur skelettalen Breite im anterioren und im posterioren Bereich, also den Quotienten aus der gingival gemessenen Breite und der Breite, die 6 mm unterhalb des koronalsten Punktes des Gingivasaumes ermittelt wurde, dargestellt. $\Delta T2-T1$ (Diff.) wurde aus dem Verhältnis der Differenzen der alveolären und skelettalen Breiten im anterioren bzw. im posterioren Bereich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 berechnet: $\frac{\text{Breite a gingival T2} - \text{Breite a gingival T1}}{\text{Breite a skelettal T2} - \text{Breite a skelettal T1}}$ bzw. $\frac{\text{Breite p gingival T2} - \text{Breite p gingival T1}}{\text{Breite p skelettal T2} - \text{Breite p skelettal T1}}$

ant. = anterior (1. Prä- bzw. Milchmolar)

post. = posterior (1. Molar)

4.7.2 Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der alveolären zur skelettalen Breite zwischen den Gruppen

Signifikante Unterschiede in der Veränderung des Quotienten zwischen den beiden Gruppen liegen nicht vor.

4.8 Höhe (Frontalebene)

4.8.1 Veränderungen der Höhe innerhalb der beiden Gruppen

Die Höhe nimmt an jedem Messpunkt sowohl anterior als auch posterior in beiden Gruppen höchstsignifikant zu ($p=0,000$). Auffällig ist, dass die Zunahme zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 5 mm bzw. 10 mm rechts und links von der Raphe-Median-Linie absolut betrachtet größer ist als an der Raphe-Median-Linie selbst. Die Höhenzunahme ist im anterioren Bereich in der gesamten Patientengruppe sowie bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium II angehören, deutlicher ausgeprägt als im posterioren Bereich. So vergrößert sie sich zwischen den 1. Prä- bzw. Milchmolaren um $0,63 \pm 1,37$ mm in der Gesamtgruppe und um $0,81 \pm 1,48$ mm bei den Patienten des Dentitionsstadiums II, während die Zunahme im posterioren Bereich $0,44 \pm 0,96$ mm bzw. $0,43 \pm 0,93$ mm beträgt. Bei den Probanden, die zum Dentitionsstadium I zählen, ist dieser Unterschied mit einer anterioren Höhenzunahme von $0,46 \pm 1,23$ mm und mit einem Anstieg von $0,44 \pm 1,00$ mm im posterioren Bereich geringer ausgeprägt.

	Gesamt			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
RML ant.	10,32±1,74	10,95±1,89	0,63±1,37	0,000
RML ant. 5 mm re	8,08±2,04	9,05±2,25	0,97±1,72	0,000
RML ant. 5 mm li	8,10±2,06	8,98±2,11	0,88±1,53	0,000
RML post.	13,11±2,38	13,55±2,62	0,44±0,96	0,000
RML post. 5 mm re	11,66±2,35	12,14±2,51	0,48±1,17	0,000
RML post. 10 mm re	6,27±1,85	6,94±2,19	0,67±1,46	0,000
RML post. 5 mm li	11,94±2,36	12,51±2,66	0,57±1,34	0,000
RML post. 10 mm li	6,79±2,26	7,55±2,56	0,76±2,01	0,000

Ergebnisse

	DS I				DS II			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$		T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
RML ant.	10,28±1,67	10,74±2,08	0,46±1,23	0,000	10,36±1,81	11,16±1,67	0,81±1,48	0,000
RML ant. 5 mm re	8,11±1,96	8,93±2,42	0,81±1,67	0,000	8,05±2,13	9,18±2,07	1,13±1,76	0,000
RML ant. 5 mm li	7,95±2,02	8,74±2,17	0,79±1,51	0,000	8,25±2,11	9,23±2,04	0,97±1,55	0,000
RML post.	12,11±2,43	12,55±2,56	0,44±1,00	0,000	14,11±1,88	14,54±2,31	0,43±0,93	0,000
RML post. 5 mm re	10,62±2,33	11,18±2,41	0,56±1,32	0,000	12,69±1,88	13,10±2,24	0,41±1,01	0,000
RML post. 10 mm re	5,53±1,41	6,05±1,68	0,52±1,26	0,000	7,02±1,95	7,83±2,30	0,82±1,63	0,000
RML post. 5 mm li	10,88±2,30	11,47±2,64	0,60±1,36	0,000	13,00±1,90	13,55±2,26	0,55±1,33	0,000
RML post. 10 mm li	6,00±1,85	6,55±2,06	0,55±1,97	0,000	7,58±2,37	8,55±2,64	0,97±2,05	0,000

	DS I vs. DS II
RML post.	0,964
RML post. 5 mm re	0,493
RML post. 10 mm re	0,277
RML post. 5 mm li	0,862
RML post. 10 mm li	0,263
RML ant.	0,178
RML ant. 5 mm re	0,337
RML ant. 5 mm li	0,520

Tab. 11 Höhe (Frontalebene)

Hier ist die Höhe des Gaumens in mm dargestellt (vgl. Messpunkte Tab. 3). Im posterioren Bereich wurde jeweils noch 5 mm bzw. 10 mm rechts und links der Raphe-Median-Linie gemessen und im anterioren Bereich jeweils 5 mm rechts und links der Raphe-Median-Linie.

RML = Raphe-Median-Linie

re = rechts (1. Quadrant)

li = links (2. Quadrant)

ant. = anterior (1. Prä- bzw. Milchmolar)

post. = posterior (1. Molar)

4.8.2 Unterschiede in der Veränderung der Höhe zwischen den Gruppen

Zwischen den beiden Gruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede in der Veränderung der Höhe.

Ergebnisse

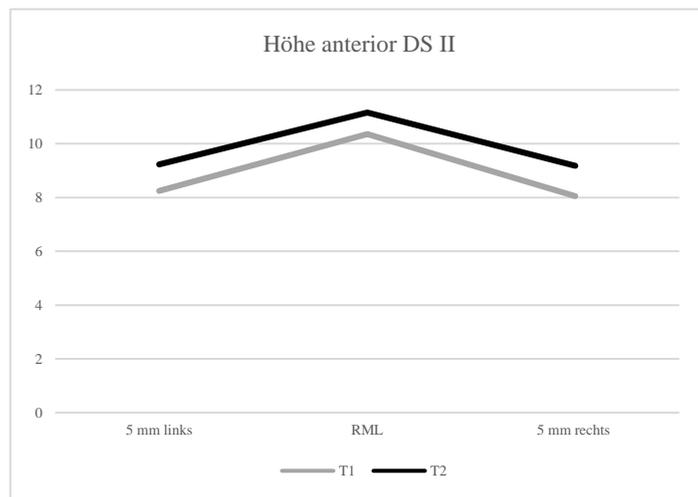
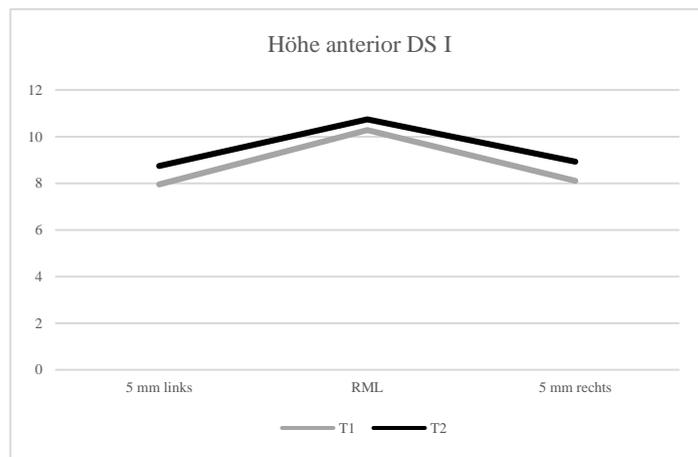
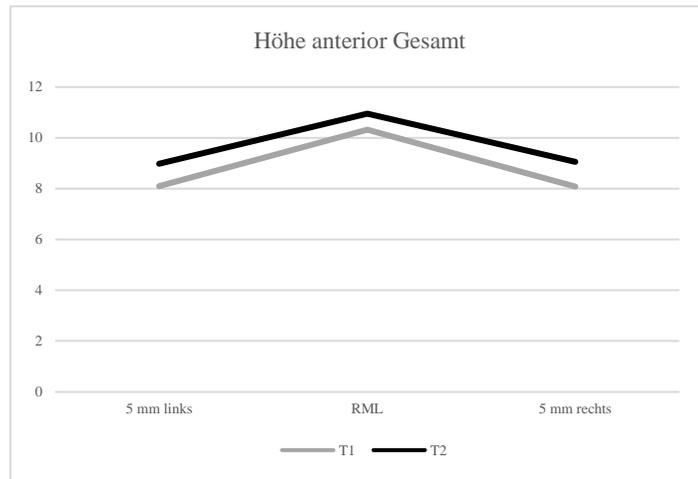


Abb. 36-38 Höhe in der Frontalebene anterior für die Gesamtgruppe und beide Dentitionsstadien

Ergebnisse

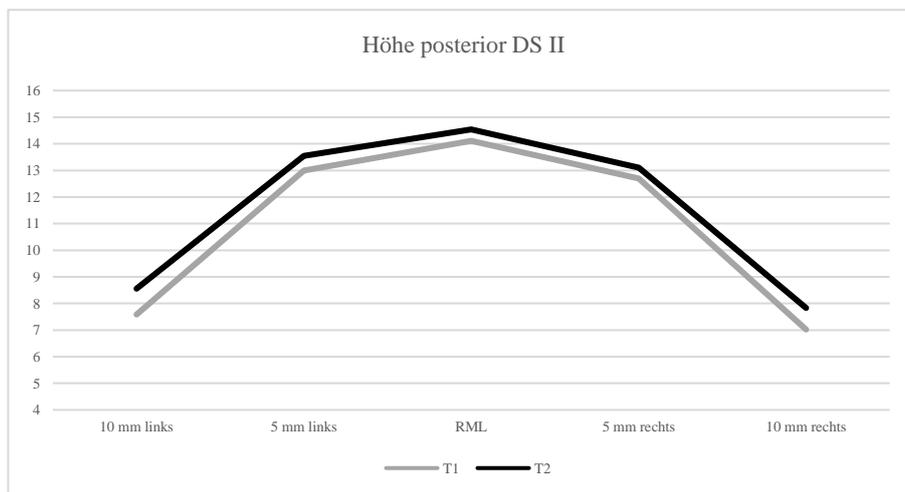
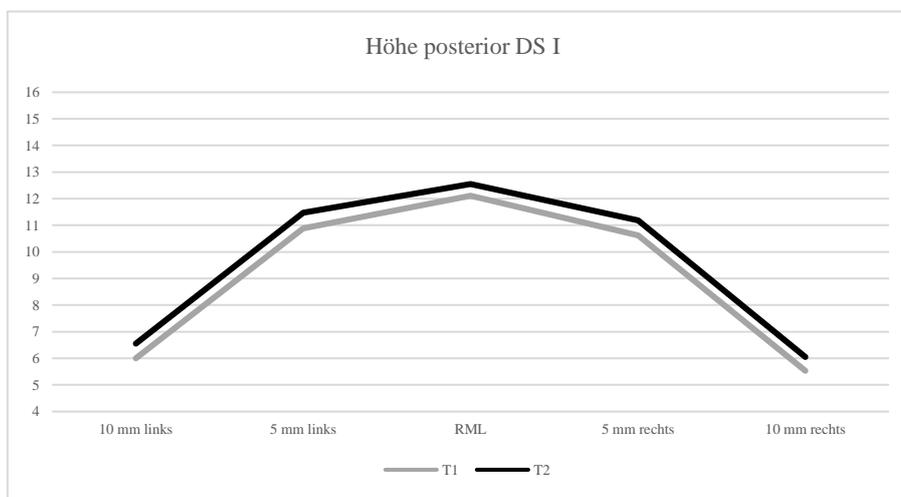
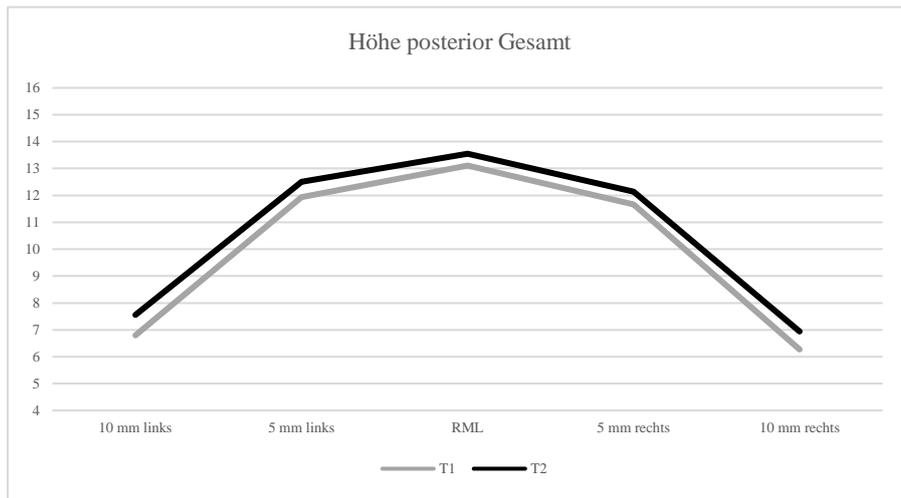


Abb. 39-41 Höhe in der Frontalebene posterior für die Gesamtgruppe und beide Dentitionsstadien

4.9 Verhältnis der Höhe a/p

4.9.1 Veränderung des Verhältnisses innerhalb der Gruppen

Die Interpretation der Werte $\Delta T2-T1$ (Diff.) lässt folgende Aussagen zu: In der Gesamtgruppe sowie bei den Patienten des Dentitionsstadiums II ist die Zunahme der Höhe an der Raphe-Median-Linie und 5 mm links von selbiger im anterioren Bereich stärker ausgeprägt als im posterioren Bereich, während 5 mm rechts von der Raphe-Median-Linie mit $0,98 \pm 11,44$ in der Gesamtgruppe eine annähernd gleichmäßige Zunahme erfolgt. An allen drei Messpunkten in der Gesamtgruppe vergrößert sich das Verhältnis signifikant ($p=0,037$) bzw. hochsignifikant ($p=0,001$), während es bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium II angehören, an der Raphe-Median-Linie zu einer signifikanten Vergrößerung kam ($p=0,006$). 5 mm rechts von der Raphe-Median-Linie nimmt das Verhältnis der Höhe a/p höchstsignifikant zu ($p=0,000$), wohingegen es sich 5 mm links von selbiger hochsignifikant vergrößert ($p=0,001$).

Die Patienten des Dentitionsstadiums I weisen keine signifikanten Veränderungen des Verhältnisses auf. $\Delta T2-T1$ (Diff.) zeigt bei diesen Patienten an der Raphe-Median-Linie und 5 mm rechts davon eine stärkere Zunahme im anterioren Bereich, während 5 mm links von der Raphe-Median-Linie die Höhe im posterioren Bereich stärker zunimmt.

	Gesamt				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	p(intra)
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	
RML	$0,80 \pm 0,13$	$0,82 \pm 0,13$	$0,02 \pm 0,12$	$2,34 \pm 16,00$	0,037
RML 5 mm re	$0,71 \pm 0,18$	$0,76 \pm 0,17$	$0,05 \pm 0,17$	$0,98 \pm 11,44$	0,001
RML 5 mm li	$0,69 \pm 0,16$	$0,73 \pm 0,16$	$0,04 \pm 0,14$	$2,63 \pm 22,52$	0,001

	DS I				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	p(intra)
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	
RML	$0,86 \pm 0,11$	$0,87 \pm 0,13$	$0,01 \pm 0,02$	$1,99 \pm 11,69$	0,726
RML 5 mm re	$0,78 \pm 0,16$	$0,81 \pm 0,17$	$0,03 \pm 0,18$	$1,12 \pm 15,35$	0,216
RML 5 mm li	$0,74 \pm 1,47$	$0,77 \pm 0,15$	$0,03 \pm 0,16$	$-0,56 \pm 6,15$	0,116

	DS II				
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	$\Delta T2-T1$ (Diff.)	
	M/SD	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
RML	0,74±0,11	0,78±0,12	0,04±0,11	2,71±19,48	0,006
RML 5 mm re	0,64±0,17	0,71±0,17	0,07±0,15	0,84±5,31	0,000
RML 5 mm li	0,64±0,15	0,69±0,16	0,05±0,12	5,82±31,06	0,001

	DS I vs. DS II
RML	0,176
RML 5 mm re	0,027
RML 5 mm li	0,134

Tab. 12 Verhältnis der Höhe a/p

Hier ist das Verhältnis der Höhe a/p an der Raphe-Median-Linie sowie jeweils 5 mm rechts und 5 mm links von selbiger dargestellt. $\Delta T2-T1$ (Diff.) wurde aus dem Verhältnis der Differenzen der Höhe im anterioren bzw. im posterioren Bereich entweder an der RML oder 5mm links bzw. 5 mm rechts davon zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 ermittelt: $\frac{\text{Höhe a T2} - \text{Höhe a T1}}{\text{Höhe p T2} - \text{Höhe p T1}}$

re = rechts (1. Quadrant)

li = links (2. Quadrant)

4.9.2 Unterschiede in der Veränderung des Verhältnisses der Höhe a/p zwischen den Gruppen

Das Verhältnis der Höhe a/p nimmt 5 mm rechts von der Raphe-Median-Linie bei den Patienten des Dentitionsstadiums II signifikant stärker zu (p=0,027).

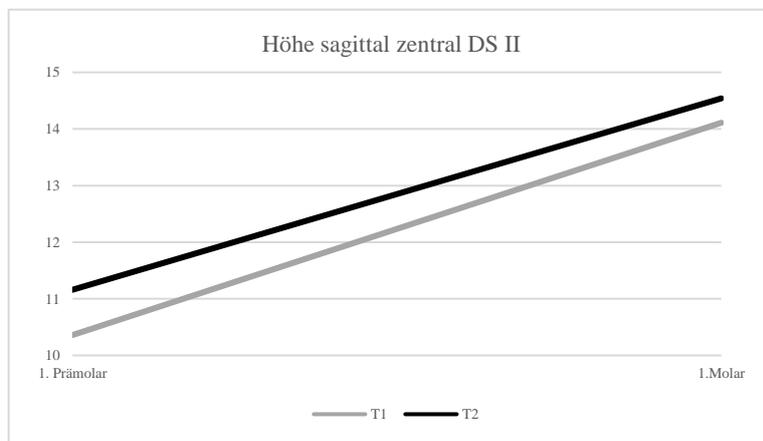
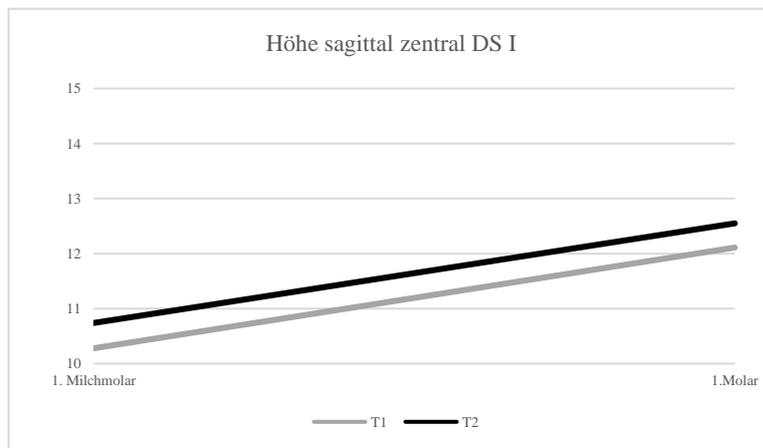
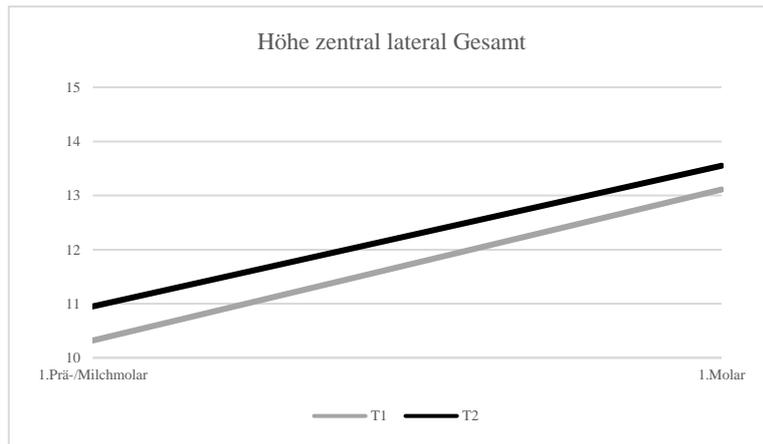


Abb. 42-44 Höhe sagittal zentral für die Gesamtgruppe und beide Dentitionsstadien

4.10 Volumen

4.10.1 Veränderungen des Volumens innerhalb der Gruppen

Das absolute Volumen vergrößert sich in beiden Gruppen höchstsignifikant ($p=0,000$). Im Mittel liegt eine Zunahme des absoluten Volumens von $1,31\pm 0,86 \text{ cm}^3$ bei den Patienten des Dentitionsstadium I und von $1,30\pm 1,07 \text{ cm}^3$ bei den Patienten, die zum Dentitionsstadium II gehören, vor. Auch die prozentuale Zunahme des Volumens ist in beiden Dentitionsstadien höchstsignifikant ($p=0,000$).

	Gesamt			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
Volumen absolut	9,16 \pm 1,63	10,46 \pm 1,77	1,30 \pm 0,97	0,000
Volumen (%)			15,03 \pm 11,70	0,000

	DS I				DS II			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$		T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
Volumen absolut	8,91 \pm 1,42	10,22 \pm 1,57	1,31 \pm 0,86	0,000	9,41 \pm 1,79	10,71 \pm 1,94	1,30 \pm 1,07	0,000
Volumen (%)			15,28 \pm 10,21	0,000			14,78 \pm 13,10	0,000

	DS1 vs. DS2
Volumen absolut	0,930
Volumen (%)	0,831

Tab. 13 Volumen

Hier sind das absolute Volumen und das prozentuale Volumen in cm^3 dargestellt. Bei $\Delta T2-T1$ bei den Patienten des Dentitionsstadiums II ist in der ersten Zeile die absolute Differenz zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 und in der zweiten Zeile die prozentuale Veränderung des Volumens dargestellt. Bei DS1 vs. DS2 zeigt die erste Zeile p(inter) für die absolute Volumenänderung und die zweite Zeile p(inter) für die prozentuale Volumenänderung

4.10.2 Unterschiede in der Veränderung des Volumens zwischen den Gruppen

Zwischen den Gruppen können weder Unterschiede in der Veränderung des absoluten Volumens noch in der des prozentualen Volumens festgestellt werden.

4.11 Winkel im Oberkiefer anterior und posterior inklusive modifiziertem Gaumenindex nach KIM

4.11.1 Veränderungen der Winkel innerhalb der Gruppen

Bei den Patienten, die zum Dentitionsstadium I gehören, verkleinert sich der Winkel sowohl im anterioren Bereich als auch im posterioren Bereich höchstsignifikant ($p=0,000$). Dabei ändert sich die Gaumenform im anterioren Bereich bei Betrachtung der Mittelwerte von einem Steilgaumen ($T1=46,60\pm4,11^\circ$) zu einem Normalgaumen ($T2=43,13\pm4,82^\circ$), wobei im posterioren Bereich sowohl zum Zeitpunkt T1 ($35,62\pm5,75^\circ$) als auch zum Zeitpunkt T2 ($33,10\pm5,07^\circ$) ein Normalgaumen vorliegt. Während der Winkel sich bei den Patienten der zweiten Gruppe im anterioren Bereich höchstsignifikant verringert ($p=0,000$), kann im posterioren Bereich keine signifikante Veränderung festgestellt werden ($p=0,225$). Wie bei den Patienten, die zum Dentitionsstadium I gehören, ändert sich die Gaumenform im anterioren Bereich vom Steilgaumen ($T1=45,55\pm5,76^\circ$) zum Normalgaumen ($T2=42,67\pm5,14^\circ$). Im posterioren Bereich liegt zu beiden Zeitpunkten ein Normalgaumen vor ($T1=40,48\pm5,16^\circ$; $T2=39,93\pm5,74^\circ$).

	Gesamt			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	46,07±5,01	42,90±4,97	-3,18±4,47	0,000
post.	38,05±5,96	36,51±6,39	-1,54±3,87	0,000

	DS I				DS II			
	T1	T2	$\Delta T2-T1$		T1	T2	$\Delta T2-T1$	
	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)	M/SD	M/SD	M/SD	p(intra)
ant.	46,60±4,11	43,13±4,82	-3,47±4,36	0,000	45,55±5,76	42,67±5,14	-2,88±4,59	0,000
post.	35,62±5,75	33,10±5,07	-2,52±4,07	0,000	40,48±5,16	39,93±5,74	-0,56±3,42	0,225

	DS1 vs. DS2
ant.	0,483
post.	0,006

Tab. 14 Winkel

Hier sind die Winkel in ° im anterioren und im posterioren Bereich dargestellt (vgl. Messpunkte Tab. 3). Laut dem modifizierten Gaumenindex nach KIM liegt bei einem Winkel $<30^\circ$ ein Flachgaumen, bei einem Winkel zwischen $30-45^\circ$ ein Normalgaumen und bei einem Winkel $>45^\circ$ ein Steilgaumen vor.

ant. = anterior (1. Prä- bzw. Milchmolar)

post. = posterior (1. Molar)

4.11.2 Unterschiede in der Veränderung der Winkel zwischen den Gruppen

Im anterioren Bereich treten keine signifikanten Unterschiede in der Änderung des Winkels auf ($p=0,428$), wohingegen bei den Patienten des Dentitionsstadiums I eine hochsignifikant stärkere Abnahme des Winkels im posterioren Bereich vorliegt ($p=0,006$).

5 Diskussion

5.1 Patientengut und Methode

Aufgrund der Tatsache, dass die Messergebnisse dieser Studie nicht nur alleine auf die therapeutischen Effekte der Behandlung zurückzuführen sind, sondern es sich vielmehr um Summationseffekte aus selbigen und dem natürlichen Wachstum handelt, müsste der Faktor „Wachstum“ zur Ermittlung der Nettoeffekte bestimmt und entsprechend subtrahiert werden. Allerdings finden sich weder in der eigenen Praxis noch in der Literatur Daten, die dem notwendigen Umfang oder den zugrunde gelegten Messstrecken bzw. Messwinkeln gerecht werden und eine solche Berechnung möglich machen würden. Da die durchschnittliche Behandlungsdauer etwas mehr als 1 Jahr betrug, kann angenommen werden, dass die Effekte, die durch das natürliche Wachstum der Patienten verursacht werden, im Vergleich zu den therapeutischen Effekten durch die GNE von geringerer Bedeutung sind. Zudem muss bedacht werden, dass die Apparatur im Durchschnitt ein halbes Jahr zur Retention im passiven Zustand im Mund verblieb. Nichtsdestotrotz sollen im Folgenden neben den differentialtherapeutischen Effekten zwischen den beiden Behandlungsgruppen Vergleiche zu den Ergebnissen bereits publizierter Studien mit einer ähnlichen Fragestellung diskutiert werden.

5.2 Aktueller Stand der Literatur zur Öffnung der Sutura palatina mediana

In der Literatur finden sich unterschiedliche Ergebnisse, was die Auswirkungen einer GNE auf die Maxilla betrifft, wobei zwischen den Effekten auf die Sutura palatina mediana in der Transversalebene und den Effekten auf die Maxilla in der Frontalebene unterschieden werden muss. So fanden sowohl BAZARGANI et al. [6] als auch LIU et al. [66] in ihren systematischen Reviews keinen Konsens darüber, ob eine GNE zu einer triangulären, also anterior größeren, Dehnung oder zu einer parallelen Erweiterung der Sutura palatina mediana führt. In der Studie von PODESSER et al. wurden neun Patienten mit einem chronologischen Alter von 6,1-9,75 Jahren mit einer GNE mit geklebten Aufbissen behandelt und ebenfalls zwei CT-Untersuchungen unterzogen, von denen eine vor Beginn der Therapie und die andere nach der Herausnahme der Apparatur stattfand [81]. Die Ergebnisse sind zwar von großer Varianz geprägt, zeigen aber eine beinahe parallele Öffnung in der Transversalebene [81].

CHRISTIE et al. fertigten DVT-Aufnahmen vor und nach der Behandlung mit einer GNE mit geklebten Aufbissen von Patienten an, die im Durchschnitt ein chronologisches Alter von 9,9 Jahren und ein skelettales Alter von 10,1 Jahren hatten, und kamen nach der Vermessung dieser Aufnahmen zu dem Schluss, dass sich die Sutura palatina mediana parallel öffnet [15]. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen HABERSACK et al., die allerdings CT-Aufnahmen anstelle von DVT-Aufnahmen auswerteten [36]. Sie verwendeten eine GNE mit geklebten Aufbissen und eine Hyrax mit zwei Bändern und zwei palatinal anliegenden Ärmchen [36]. Allerdings wurden in dieser Studie nur zwei Patienten untersucht, von denen der jüngere eine parallel Öffnung der Sutura aufweist [36]. Zu dem Zeitpunkt der Therapie war dieser Patient zehn Jahre alt [36].

Der zweite Patient in der Studie von HABERSACK et al. zeigte dagegen im anterioren Bereich eine stärkere Öffnung als im posterioren Bereich, also eine trianguläre Erweiterung der Sutura [36]. Auch BALLANTI et al. [3] sowie LIONE et al. [63], die dasselbe Patientengut mit Butterfly-Expandern behandelten und CT-Untersuchungen unterzogen, postulierten eine trianguläre Dehnung in der Transversalebene. WEISSHEIMER et al. untersuchten 33 Patienten, die zufällig in zwei verschiedene Gruppen eingeteilt wurden, von denen eine mit einer GNE nach HAAS und die andere mit einer Hyrax-Apparatur behandelt wurde [107]. Bei der Vermessung der DVT-Aufnahmen, die sie vor Beginn der Therapie und am Ende der 19-tägigen Aktivierungsphase der GNE anfertigten, kamen sie zu dem Schluss, dass die Sutura palatina mediana im anterioren Bereich eine stärkere Dehnung erfährt als im posterioren Bereich und die Öffnung somit triangulär geschieht [107]. Auch DA SILVA FILHO et al. beschrieben die Öffnung der Sutura palatina mediana an CT-Bildern in ihrer Studie, die sie an im Durchschnitt 8,2 Jahre alten Patienten mit einer GNE nach HAAS durchführten, als triangulär [20]. Die Studie von GHONEIMA et al., deren Patienten im Durchschnitt 12,3 Jahre alt waren und die mit einer Hyrax therapiert wurden, dokumentierte ebenfalls eine trianguläre Öffnung der Sutura in der Transversalebene auf den angefertigten CT-Bildern [30]. DAVIDOVITCH et al. beurteilten die Auswirkungen einer GNE mittels klassischer oder modifizierter Hyrax anhand von zweidimensionalen Oberkieferaufbissaufnahmen und stellten ebenso fest, dass die Erweiterung im anterioren Bereich stärker ausgeprägt ist als im posterioren Bereich [22]. Eine trianguläre Öffnung der Sutura wurde auch in der Studie von LAMPARSKI et al. anhand von zweidimensionalen Röntgenbildern unter Verwendung einer klassischen oder einer modifizierten Hyrax beobachtet [57].

Während PODESSER et al. in der Transversalebene eine annähernd parallele Öffnung der Sutura palatina mediana postulierten, beschrieben sie die Erweiterung in der Frontalebene als triangulär mit abnehmender Dehnung zur Sutura hin [81]. Dabei nahm die Dehnung von den klinischen Kronen der Sechsjähr-Molaren in Richtung des Gaumens, also zur Sutura hin, ab [81]. Die Basis des gedachten Dreiecks liegt also kaudal, während die Spitze nach kranial weist. Nebenbefundlich wurde ein Kippen der Sechsjähr-Molaren festgestellt, allerdings nicht nur nach bukkal [81].

Dagegen zeigten die Ergebnisse der Studie von BALLANTI et al. ein umgekehrtes Verhalten, nämlich eine trianguläre Erweiterung in der Transversalebene und eine parallele Öffnung in der Frontalebene [3]. Es ist allerdings anzumerken, dass die Messungen zwischen der palatinalen und nasalen Seite der Sutura palatina mediana durchgeführt wurden und somit die Distanz zwischen den Messpunkten um ein Vielfaches geringer ist als bei PODESSER et al. [3]. Die Ergebnisse von WEISSHEIMER et al. offerierten in beiden Ebenen eine trianguläre Öffnung, wobei die Effekte auf der dentalen Ebene denen auf der skelettalen Ebene überwogen [107]. Viele Studien erweiterten diese Aussage um einen abnehmenden Wirkungsgrad von der Okklusionsebene bis hin zur Nasenhöhle und beschrieben ebenfalls die trianguläre Öffnung der Maxilla sowie des Cavum nasi [29][44][45][108]. Die Auswirkungen auf die Breite im Bereich der klinischen Kronen unterlagen größeren Schwankungen als die Auswirkungen auf die Weite der Nasenhöhle [81].

Tab. 15 bietet einen Überblick über den Einfluss einer Therapie mittels GNE, wie er in der Literatur beschrieben wird.

Autor	Anzahl der Patienten	Alter der Patienten (Jahre)	Methode	Art der GNE	Morphologische Veränderungen der Sutur und des Gaumens
Ballanti et al. [3]	17	11,2 (c)	CT	BE	triangulär (S; T) parallel (S; F)
Christie et al. [15]	24	9,9 (c) 10,1 (s)	DVT	GNE (bo)	parallel (S)
da Silva Filho et al. [20]	18	8,2	CT	Haas	triangulär
Davidovitch et al. [22]	28	8-20	OK-A.	Hyrax (4B) Hyrax (2B)	triangulär (S; T)
Ghoneima et al. [30]	20	12,3	CT	Hyrax	triangulär (S; T)
Habersack et al. [36]	1	10 (c)	CT	GNE (bo)	parallel (S)
Habersack et al. [36]	1	16 (c)	CT	Hyrax (2A, 2B)	triangulär (S)
Lamparski et al. [57]	30	11,06	OK.-A.	Hyrax (4B) Hyrax (2B)	triangulär (S; T)

Lione et al. [63]	17	11,2 (c)	CT	BE	triangulär (S; T)
Podesser et al. [81]	9	6,1-9,75	CT	GNE (bo)	parallel (S; T) triangulär (G; F)
Weissheimer et al. [107]	33	10,7 (c) 10,9 (s)	DVT	Haas und Hyrax	triangulär (S; T) triangulär (G; F)

Tab. 15

Hier ist ein Überblick über die Literatur, die den Einfluss einer Therapie mittels GNE auf die Maxilla (Frontalebene) sowie die Sutura palatina mediana (Transversalebene) untersucht, dargestellt.

S = Sutura; G = Gaumen; F = Frontalebene; T = Transversalebene; c = chronologisch; s = skelettal; bo = geklebte Auflagen (bonded); A = Auflagen; B = Bänder

Die Therapie mit einer GNE führte zu signifikanten Vergrößerungen des Gaumenvolumens, unabhängig davon, ob die Messungen digital oder analog durchgeführt wurden [12][78][68][111]. Auch im Vergleich mit unbehandelten Kontrollgruppen kam es zu einer signifikanten Zunahme des Volumens [12][85]. Anhand Tab. 15 wird deutlich, dass sich die Messmethoden der verschiedenen Studien unterscheiden, weshalb ein Vergleich der absoluten Volumenwerte nicht sinnvoll erscheint. Zudem ist die Wahl der Okklusionsebene als horizontale Begrenzung kritisch zu betrachten, da diese zum Beispiel durch Elongationen, Abnutzungen der Kaufläche oder Kippungen keine genauen Vergleiche zwischen den Zeitpunkten vor und nach der Expansion erlaubt. SHAHEN et al. führten an, dass ein Großteil der Messmethoden der Studien, die die Veränderungen des Volumens untersuchen, aufgrund mangelnder lateraler Begrenzungen fehlerbehaftet sind oder dass die Ergebnisse dadurch, dass die Gingivalebene jeweils am Prä- und am Postexpansionsmodell definiert wurde, nicht eindeutig vergleichbar sind [92]. Sie postulierten, dass mithilfe ihrer Messmethode reproduzierbare Daten gewonnen werden können [92]. Aus diesem Grund definierten sie die gingivalen Messpunkte an den Eckzähnen, Prämolaren sowie an den distopalatinalen Höckerspitzen der Sechs-Jahr-Molaren lediglich am Präexpansionsmodell und übertrugen sie anschließend auf das Postexpansionsmodell [92].

Autor	Anzahl der Patienten	Alter der Patienten	Methode	Art der GNE	Ergebnis
Bukhari et al. [12]	30 (Bg), 30 (Kg)	9 (d)	Digitalisierung d. Modelle, Aufteilung des Gaumens in Segmente, alveoläre Begrenzung nach horizontal; mesiopalatinaler Gingivasaum	Haas	signifikante Vergrößerung im Vergleich zur Kg

Diskussion

			des Sechs-Jahr-Molaren als distale Begrenzung		
Gohl et al. [32]	19 (Bg), 19 (bKg)	12,8- 12,9 (c)	DVT (Patient); alveolär, skelettal, anteriore, posteriore, laterale und horizontale Begrenzung	Hyrax	signifikante Vergrößerung im Vergleich zur bKg (auch prozentuale Angabe)
Marini et al. [68]	30	7,5 (c)	Digitalisierung d. Modelle; alveoläre Begrenzung nach horizontal, distale Fläche des Sechlers als distale Begrenzung	GNE (bo)	signifikante Vergrößerung
Oliveira De Felipe et al. [78]	38	13 (c)	Laserscanner (Modelle); alveoläre Begrenzung nach horizontal; Verbindungslinie zwischen letzten Molaren am Übergang vom Hart -zum Weichgaumen als distale Begrenzung	Haas, Hyrax, GNE (bo)	signifikante Vergrößerung (auch prozentuale Angabe)
Primožič et al. [85]	30 (Bg), 30 (Kg)	5,2 (c)	Laserscanner (Modelle), Digitalisierung, alveoläre Begrenzung nach horizontal, distale Begrenzung hinter den zweiten Milchmolaren	GNE (bo)	signifikante Vergrößerung im Vergleich zur Kg
Shahen et al. [92]	10	k.A.	DVT (Modelle); Digitalisierung, Überlagerung der Prä- und Postexpansionsmodelle, alveoläre Begrenzung nach horizontal, distale Begrenzung zwischen den distopalatinalen Höckerspitzen der ersten Molaren, laterale Begrenzung anhand der Gingivalebene	Haas	Fokus lag auf der Entwicklung einer zuverlässigen Messmethode, daher k.A.
Wriedt et al. [111]	10	28,5 (c)	Füllstoffmengenmessung; Okklusionsebene als horizontale Begrenzung; Verbindung der Distalflächen als distale Begrenzung	chirurgisch	signifikante Vergrößerung

Tab. 16

Diese Darstellung bietet einen Überblick über die Literatur zur Veränderung des Gaumenvolumens nach der Behandlung mit einer GNE

c = chronologisch; d = dental; bo = geklebte Auflagen (bonded); Bg = Behandlungsgruppe; Kg = Kontrollgruppe; bKg = behandelte Kontrollgruppe, aber keine GNE

5.3 Ergebnisse dieser Studie

Die Ergebnisse dieser Studie legen die Vermutung nahe, dass sich die Sutura palatina mediana in der Transversalebene bei den Patienten, die zum Dentitionsstadium II gehören, triangulär öffnet und dass bei den Patienten des Dentitionsstadiums I eine annähernd parallele Öffnung vorliegt, allerdings ohne einen radiologischen Beweis (vgl. Tab. 6). Letztere tritt sowohl in dieser Studie als auch in den Studien von CHRISTIE et al. [15], PODESSER et al. [81] und HABERSACK et al. [36] bei Patienten mit einem chronologischen Alter von maximal zehn Jahren auf, sodass ein möglicher Zusammenhang zwischen dem Alter und der Art der Öffnung der Sutur bestehen kann. CHRISTIE et al. vermuteten das junge skelettale Alter als Ursache, jedoch liegen in dieser Studie keine Röntgenbilder vor, die eine Feststellung des skelettalen Alters erlauben, sodass nur das chronologische Alter als Referenz herangezogen werden kann [15]. Gegen diese Hypothese spricht die Studie von DA SILVA FILHO et al., deren Patienten trotz ihres Alters von 8,2 Jahren eine trianguläre Erweiterung der Sutura palatina mediana zeigten [20]. Da mit zunehmendem Alter der Grad der Ossifikation steigt und mehrere Autoren die Ossifikation der Sutura palatina mediana als im posterioren Bereich beginnend beschrieben haben, legen die Ergebnisse dieser Studie die Hypothese nahe, dass die abnehmende Dehnung im Bereich der Sechs-Jahr-Molaren mit fortschreitendem Alter auf die dort einsetzende Ossifikation zurückzuführen ist [18][47][52][79]. Allerdings ist unbedingt zu bedenken, dass die Sutura palatina mediana nicht die einzige Sutur ist, die für den Erfolg einer GNE entscheidend ist so wie es in Kap. 2.6 beschrieben wird [47].

DAVIDOVITCH et al. stellten die Hypothese auf, dass die Öffnung der Sutura palatina mediana parallel verlaufen würde, wenn die Kraft näher am Widerstandszentrum ansetzen würde, allerdings widerlegten sie diese in ihrer eigenen Studie, in der auch die Gruppe mit der modifizierten Hyrax, die lediglich mit zwei Bändern an den Sechs-Jahr-Molaren befestigt ist, eine trianguläre Erweiterung der Sutur zeigte [22]. Die Ergebnisse von LAMPARSKI et al. widersprechen dieser Hypothese ebenfalls, da auch sie zwei Gruppen verglichen, von denen eine mit einer Hyrax und die andere mit einer modifizierten Hyrax behandelt wurde und bei beiden Gruppen eine trianguläre Öffnung der Sutur anhand von zweidimensionalen Röntgenaufnahmen dokumentiert wurde [57]. Das Widerstandszentrum befindet

sich in frontaler Richtung zwischen dem 1. und 2. Prämolaren und in sagittaler Richtung zwischen dem Unterrand der Orbita und dem Apex der distalen Wurzel des 1. Molaren [106]. Eine weitere mögliche Begründung für die trianguläre Erweiterung ist, dass die unmittelbare anatomische Lagebeziehung der Maxilla zu den Processus pterygoidei des Os sphenoidale der Öffnung der Sutur im posterioren Bereich einen erhöhten Widerstand entgegenbringt [107]. Diese These unterstützen GAUTAM et al. [29].

DA SILVA FILHO et al. äußerten in ihrer Studie die Vermutung, dass die trianguläre Öffnung der Sutura palatina mediana umso deutlicher ausgeprägt ist, je größer das Ausmaß der Expansion ist [20]. Dagegen sprechen jedoch die Ergebnisse von HABERSACK et al., die bei einem Patienten mit einer Aktivierung von 6,4 mm eine parallele Öffnung dokumentierten, während sie bei einem Patienten mit einer Aktivierung von 5,2 mm eine trianguläre Öffnung feststellten [36]. Allerdings muss bedacht werden, dass die genannten Studien aufgrund unterschiedlicher Messpunkte und Therapieprotokollen nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit aufweisen [6].

In der Frontalebene zeigt sich im anterioren und im posterioren Bereich in den Dentitionsstadien I und II eine trianguläre Erweiterung der Maxilla von der dentalen Ebene über die gingival/alveoläre Ebene bis hin zur skelettal basalen Ebene (vgl. Tab. 6). Aufgrund der Tatsache, dass in dieser Studie keine Röntgenaufnahmen zur Beurteilung der Öffnung der Sutura palatina mediana angefertigt wurden, können anhand der Breite, die 6 mm unterhalb der gerade genannten Punkte gemessen wurde und die der skelettal basalen Ebene entspricht, nur Rückschlüsse auf die Art der Öffnung der Sutur gezogen werden. Da das natürliche Wachstum natürlich ebenfalls zu einer Breitenzunahme der Maxilla führt, erscheint die Gegenüberstellung einer Kontrollgruppe sinnvoll. In der Literatur finden sich zwar mehrere Studien, die unbehandelte Patienten untersuchten, jedoch ist die Vergleichbarkeit aufgrund anderer Messpunkte oder fehlender Daten zu bestimmten Zeitpunkten limitiert [40][97][100]. Somit ist also der Bedarf für weitere Langzeitstudien gegeben, um eruieren zu können, inwiefern der therapeutisch bedingte Breitenzuwachs vom natürlichen Wachstum differiert.

In der Sagittalebene zeigt sich bei den Patienten des Dentitionsstadiums II eine im anterioren Bereich größere Höhenzunahme, während sie bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium I angehören, nahezu gleichmäßig ausfällt (vgl. Tab. 11). Das Wachstum des Gaumens wird zwar hauptsächlich genetisch bestimmt, jedoch spielen auch andere Faktoren wie anatomisch angrenzende Strukturen, wachstums- oder therapiebedingte Veränderungen in der Zahnstellung oder die Zungenlage eine Rolle [41][46]. Es fällt somit schwer, die Veränderungen des Parameters Höhe einzig auf die Therapie mit einer GNE zurückzuführen. In der Literatur finden sich keine vergleichbaren Studien, die die Auswirkungen einer derartigen Behandlung auf die Höhe des Gaumens untersuchen.

YANG et al. führten zwar eine Longitudinalstudie durch und dokumentierten das Wachstum des Gaumens bei unbehandelten Patienten zwischen sechs und 14 Jahren an digitalisierten Modellen, jedoch liegen aufgrund der koreanischen Herkunft der Probanden ethnische Gründe vor, die den Vergleich mit

den Teilnehmern dieser Studie erschweren [112]. Zudem gibt es bisher keine standardisierten Messmethoden zur dreidimensionalen Vermessung des Gaumens [112]. So können auch nur die Messpunkte von der Raphe-Median-Linie bis zum koronalsten Punkt des Gingivasaumes an den 1. Prä- bzw. Milchmolaren sowie den Sechs-Jahr-Molaren aus dieser Studie denen von YANG et al. gegenübergestellt werden. Es fällt auf, dass die Höhe bei den Patienten von YANG et al. im posterioren Bereich stärker zunimmt als im anterioren Bereich [112]. Folglich ist auch hier der Bedarf für weitere Studien mit standardisierter Messmethode gegeben, um eine Differenzierung zwischen den wachstumsbedingten und den therapieinduzierten Veränderungen der Höhe treffen zu können.

In dieser Studie ist die absolute und die prozentuale Volumenzunahme in beiden Dentitionsstadien höchstsignifikant, allerdings gibt es zwischen ihnen keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tab. 13). Somit lässt sich anhand dieser Ergebnisse keine eindeutige Empfehlung für eine Frühbehandlung mit einer GNE aussprechen. Da die Genauigkeit der Bestimmung des Volumens mittels Füllstoffmengenmessung limitiert ist [111], wurden die Messpunkte zur Erhöhung der Reproduzierbarkeit jeweils am Präexpansionsmodell markiert und anschließend auf das Postexpansionsmodell übertragen. Die Ermittlung der absoluten sowie der prozentualen Volumenwerte dient der erleichterten Vergleichbarkeit zwischen den beiden Patientengruppen. In der Literatur findet sich keine Studie, die die Veränderung des Gaumenvolumens nach der Therapie mit einer GNE bei Patienten, die eine Frühbehandlung erhielten und bei Patienten, deren Behandlung erst nach dem Durchbruch eines oberen, bleibenden Prämolars begann, untersucht. Die Untersuchung dieser Fragestellung in einem Studiendesign mit möglichst geringem Methodenfehler wie etwa bei SHAHEN et al. würde weitere Informationen über mögliche Unterschiede in der Früh- bzw. Hauptbehandlung liefern [92].

Der modifizierte Gaumenindex nach KIM offeriert höchstsignifikante Veränderungen der Gaumenmorphologie im anterioren und im posterioren Bereich bei den Patienten des Dentitionsstadiums I (vgl. Tab. 14). Die Patienten, die dem Dentitionsstadium II angehören, zeigen lediglich im Bereich zwischen den 1. Prä- bzw. Milchmolaren höchstsignifikante Änderungen. KIM et al. führten ihre Messungen allerdings an der tiefsten Stelle des Gaumens, also etwa an den 2. Prä- bzw. Milchmolaren durch, sodass die Übertragung der Ergebnisse dieser Studie eingeschränkt ist [51]. Nichtsdestotrotz ist in weiteren Studien zu untersuchen, ob eine Frühbehandlung bei Patienten mit einem hohen Gaumen zu einer Abflachung desselbigen führt, so wie es diese Ergebnisse nahelegen. Der Steilgaumen ist häufig mit Mittelohrentzündungen vergesellschaftet, sodass bei Bestätigung dieser Hypothese eine frühe, gemeinsame Behandlung durch einen Hals-Nasen-Ohren-Arzt sowie einen Kieferorthopäden angeraten wäre [51].

5.4 Rückschlüsse dieser Studie

In der vorliegenden Studie konnten erstmals umfassende Erkenntnisse zu den Auswirkungen einer forcierten Gaumennahterweiterung auf die verschiedenen Ebenen der Maxilla gewonnen werden. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass keine Strahlenexposition der Patienten nötig war, da retrospektiv Gipsmodelle vermessen wurden.

Die Ergebnisse lassen Interpretationen auf die Art der Öffnung der Sutura palatina mediana zu, die sich in der Frühbehandlung eher parallel und in der Spätbehandlung eher triangulär, also anterior stärker als posterior, zu öffnen scheint. Nichtsdestotrotz sind die Effekte auf die gesamte Gaumenmorphologie von klinisch höherer Relevanz.

Die Breitenzunahme ist in beiden Gruppen und für alle Messstrecken höchstsignifikant, wobei bei den Patienten, die dem Dentitionsstadium II angehören, im anterioren Bereich eine stärkere Zunahme als im posterioren Bereich zu beobachten ist. Im Gegensatz dazu zeigen die Patienten des Dentitionsstadiums I auf allen fünf Ebenen eine nahezu gleiche Zunahme der Breite. Auch die Höhe vergrößert sich sowohl anterior als auch posterior in beiden Gruppen höchstsignifikant, wobei dies im anterioren Bereich stärker ausgeprägt ist als im posterioren Bereich. Auffällig ist, dass 5 mm rechts und links neben der Raphe-Median-Linie eine absolut betrachtet stärkere Zunahme stattfindet als an der Raphe-Median-Linie selbst. Das Gaumenvolumen wurde sowohl absolut als auch prozentual dargestellt, um eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen, da bei den Patienten des Dentitionsstadiums I altersbedingt ein kleineres Ausgangsvolumen vorlag. In beiden Gruppen nimmt das Volumen höchstsignifikant zu. Anhand des modifizierten Gaumenindex nach KIM konnten sowohl bei den Patienten des Dentitionsstadiums I als auch bei den Patienten des Dentitionsstadiums II morphologische Veränderungen im anterioren Bereich detektiert werden. Dabei änderte sich die Form des Gaumens von einem Steil- zu einem Normalgaumen.

Die beschriebenen Effekte einer forcierten Gaumennahterweiterung in der Transversal- und in der Frontalebene sowie die Auswirkungen auf das Gaumenvolumen legen nahe, dass eine derartige Therapie in der Frühbehandlung von größerem Vorteil ist, da die Verbreiterung der Maxilla sich gleichmäßiger zu vollziehen scheint. In weiteren Studien gilt es zu überprüfen, ob so auch sekundär positive Effekte auf das weitere Wachstum erzielt werden können und ob und wenn ja, die Frühbehandlung niedrigere Rezidivraten aufweist.

6 Literatur- und Abkürzungsverzeichnis

6.1 Literaturverzeichnis

1. Angle EH (ed) (1908) *Behandlung der Okklusionsanomalien der Zähne. Angle's System*. 7th edition. Hermann Meusser, Berlin, Germany
2. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA JR (2001) Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 71:343–350
3. Ballanti F, Lione R, Baccetti T, Franchi L, Cozza P (2010) Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion investigated with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:311–317
4. Baratieri C, Alves M JR, Gomes de Souza MM, Araujo M, Maia LC (2011) Does rapid maxillary expansion have long-term effects on airway dimensions and breathing? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:146–156
5. Barber AF, Sims MR (1981) Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 79:630–652
6. Bazargani F, Feldmann I, Bondemark L (2013) Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial sutures and bones: A systematic review. *Angle Orthod* 83:1074–1083
7. Bazargani F, Magnuson A, Ludwig B (2018) Effects on nasal airflow and resistance using two different RME appliances: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod* 40:281–284
8. Bell WH, Epker BN (1976) Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 70:517–528
9. Bishara SE, Staley RN (1987) Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91:3–14
10. Brown GVI (ed) (1938) *The surgery of oral and facial diseases and malformations: their diagnosis and treatment including plastic surgical reconstruction*. Lea&Febiger, London
11. Buck LM, Dalci O, Darendeliler MA, Papageorgiou SN, Papadopoulou AK (2017) Volumetric upper airway changes after rapid maxillary expansion: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 39:463–473

12. Bukhari A, Kennedy D, Hannam A, Aleksejūnienė J, Yen EHK (2018) Dimensional changes in the palate associated with slow maxillary expansion for early treatment of posterior crossbite. *Angle Orthod* 88:390–396
13. Canan S, Şenişik NE (2017) Comparison of the treatment effects of different rapid maxillary expansion devices on the maxilla and the mandible. Part 1: Evaluation of dentoalveolar changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 151:1125–1138
14. Chaconas SJ, Caputo AA (1982) Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 82:492–501
15. Christie KF, Boucher N, Chung CH (2010) Effects of bonded rapid palatal expansion on the transverse dimensions of the maxilla: a cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:79–85
16. Christou P, Kiliaridis S (2008) Vertical growth-related changes in the positions of palatal rugae and maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:81–86
17. Compadretti GC, Tasca I, Bonetti GA (2006) Nasal airway measurements in children treated by rapid maxillary expansion. *Am J Rhinol* 20:385–393
18. Cross DL, McDonald JP (2000) Effect of rapid maxillary expansion on skeletal, dental, and nasal structures: a postero-anterior cephalometric study. *Eur J Orthod* 22:519–528
19. da Luz Baratieri C, Alves M, Mattos CT, Lau GW, Nojima LI, de Souza MM (2014) Transverse effects on the nasomaxillary complex one year after rapid maxillary expansion as the only intervention: A controlled study. *Dent Press J Orthod* 19:79–87
20. da Silva Filho OG, Lara TS, de Almeida AM, da Silva HC (2005) Evaluation of the midpalatal suture during rapid palatal expansion in children: A CT study. *J Clin Pediatr Dent* 29:231–238
21. Dahlberg G (ed) (1940) *Statistical methods for medical and biological students*. Interscience Publications, New York
22. Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD (2005) Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127:483–492
23. Derichsweiler H (ed) (1956) *Gaumennahterweiterung- Methode, Indikation und klinische Bedeutung*. Carl Hanser Verlag, München
24. Diedrich P (ed) (2000) *Kieferorthopädie II Therapie*. 4th edition. Urban&Fischer
25. Digregorio MV, Fastuca R, Zecca PA, Caprioglio A., Lagravère MO (2019) Buccal bone plate thickness after rapid maxillary expansion in mixed and permanent dentitions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 155:201–205

26. Fuck LM, Wilmes B, Drescher D (2008) Die forcierte Gaumennahterweiterung mit Hilfe eines Transpalatinaldistraktors. *Kieferorthopädie* 22:251–258
27. Gardner GE, Kronman JH (1971) Cranioskeletal displacements caused by rapid palatal expansion in the rhesus monkey. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 59:146–155
28. Garib DG, Menezes MH, Silva Filho OG, Santos PB (2014) Immediate periodontal bone plate changes induced by rapid maxillary expansion in the early mixed dentition: CT findings. *Dent Press J Orthod* 19:36–43
29. Gautam P, Valiathan A, Adhikari R (2007) Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132:e1-11
30. Ghoneima A, Abdel-Fattah E, Hartsfield J, El-Bedwehi A, Kamel A, Kula K (2011) Effects of rapid maxillary expansion on the cranial and circummaxillary sutures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:510–519
31. Gianelly AA (2003) Rapid palatal expansion in the absence of crossbites: added value? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124:362–365
32. Gohl E, Nguyen M, Enciso R (2010) Three-dimensional computed tomography comparison of the maxillary palatal vault between patients with rapid palatal expansion and orthodontically treated controls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:477–485
33. Grabowski R, Hinz R, Stahl de Castrillon F (eds) (2009) Das kieferorthopädische Risikokind: Gebissentwicklung und Funktionsstörungen- KFO-Prävention und Frühbehandlung. Zahnärztlicher Fach-Verlag, Herne
34. Gracco A, Malaguti A, Lombardo L, Mazzoli A, Raffaeli R (2010) Palatal volume following rapid maxillary expansion in mixed dentition. *Angle Orthod* 80:153–159
35. Gray LP (1975) Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons. *J Laryngol Otol* 89:601–614
36. Habersack K, Karoglan A, Sommer B, Benner KU (2007) High-resolution multislice computerized tomography with multiplanar and 3-dimensional reformation imaging in rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131:776–781
37. Hansen L, Tausche E, Hietschold V, Hotan T, Lagravère MO, Harzer W (2007) Skeletally-anchored Rapid Maxillary Expansion using the Dresden Distractor. *J Orofac Orthop* 68:148–157

38. Haralambidis A, Demirkaya AA, Acar A, Küçükkeles N, Ateş M, Özkaya S (2009) Morphologic changes of the nasal cavity induced by rapid maxillary expansion: A study on 3-dimensional computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 136:815–821
39. Harzer W, Schneider M, Gedrange T (2004) Rapid maxillary expansion with palatal anchorage of the hyrax expansion screw - pilot study with case presentation. *J Orofac Orthop* 65:419–424
40. Heikinheimo K, Nyström M, Heikinheimo T, Pirttiniemi P, Pirinen S (2012) Dental arch width, overbite, and overjet in a Finnish population with normal occlusion between the ages of 7 and 32 years. *Eur J Orthod* 34:418–426
41. Heiser W, Niederwanger A, Bancher B, Bittermann G, Neunteufel N, Kulmer S (2004) Three-dimensional dental arch and palatal form changes after extraction and nonextraction treatment. Part 3. Transversal and sagittal palatal form. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126:91–99
42. Hershey HG, Stewart BL, Warren DW (1976) Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 69:274–284
43. Hourfar J, Kinzinger GSM, Ludwig B, Spindler J, Lisson JA (2016) Differential treatment effects of two anchorage systems for rapid maxillary expansion: a retrospective cephalometric study. *J Orofac Orthop* 77:314–324
44. Isaacson RJ, Ingram AH (1964) Forces produced by rapid maxillary expansion. II. Forces present during treatment. *Angle Orthod* 34:261–270
45. Işeri H, Tekkaya AE, Oztan O, Bilgiç S (1998) Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *Eur J Orthod* 20:347–356
46. Jimenez P, Martinez-Insua A, Franco-Vazquez J, Otero-Cepeda XL, Santana U (2012) Maxillary changes and occlusal traits in crania with artificial fronto-occipital deformation. *Am J Phys Anthropol* 147:40–51
47. Kajan ZD, Nasab NK, Eghrari N (2018) Quantitative Evaluation of Midpalatal Suture Opening and Its Relation with Zygomaticomaxillary Suture Status in Patients Aged 7-25 Years Using Cone Beam Computed Tomography Images: In an Iranian Population. *Contemp Clin Dent* 9:89–94
48. Kalra V, Burstone CJ, Nanda R (1989) Effects of a fixed magnetic appliance on the dentofacial complex. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 95:467–478
49. 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

50. Kim KB (ed) (2014) Temporary Skeletal Anchorage Devices. A Guide to Design and Evidence-Based Solution. Springer-Verlag, Berlin, Germany
51. Kim SJ, Donovan DM, Blanchard SB, Kowolik JE, Eckert GJ (2008) The relationship between acute otitis media and the anatomic form of the hard palate. *Pediatr Dent* 30:9–14
52. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H (2004) Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop* 65:467–474
53. Kokich VG (1976) Age changes in the human frontozygomatic suture from 20-95 years. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 69:41–430
54. Korbmacher H, Huck L, Kahl-Nieke B (2005) Das klinische Profil der Gaumennahterweiterung - Ergebnisse einer nationalen Umfrage. *J Orofac Orthop* 66:455–468
55. 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* 20:1–12
56. Lagravère MO, Carey J, Heo G, Toogood RW, Major PW (2010) Transverse, vertical and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:304.e1–12
57. Lamparski DG Jr, Rinchuse DJ, Close JM, Sciote JJ (2003) Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 123:321–328
58. Leonardi R, Cutrera A, Barbato E (2010) Rapid maxillary expansion affects the sphenoccipital synchondrosis in youngsters. A study with low-dose computed tomography. *Angle Orthod* 80:106–110
59. Leonardi R, Sicurezza E, Cutrera A, Barbato E (2011) Early post-treatment changes of circumaxillary sutures in young patients treated with rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 81:36–41
60. Linder-Aronson S, Aschan G (1963) Nasal resistance to breathing and palatal height before and after expansion of the median palatal suture. *Odontol Revy* 14:254
61. Lindorf HH, Müller-Herzog R (2006) Die chirurgisch gesteuerte maxilläre Expansion (GME) durch selektive Schwächung der Gesichtspfeiler. *Zahnheilkd Manag Kult* 22:6–18
62. Lines PA (1975) Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 67:44–56

63. Lione R, Ballanti F, Franchi L, Baccetti T, Cozza P (2008) Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion studied with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:389–392
64. Lione R, Buongiorno M, Franchi L, Cozza P (2013) Evaluation of maxillary arch dimensions and palatal morphology in mouth-breathing children by using digital dental casts. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 78:91–95
65. Lione R, Ghislanzoni LTH, Defraia E, Franchi L, Cozza P (2016) Bonded versus banded rapid palatal expander followed by facial mask therapy: analysis on digital dental casts. *Eur J Orthod* 38:217–222
66. Liu S, Xu T, Zou W (2015) Effects of rapid maxillary expansion on the midpalatal suture: a systematic review. *Eur J Orthod* 37:651–655
67. Luebbert J, Ghoneima A, Lagravère MO (2016) Skeletal and dental effects of rapid maxillary expansion assessed through three-dimensional imaging: A multicenter study. *Int Orthod* 14:15–31
68. Marini I, Bonetti GA, Achilli V, Salemi G (2007) A photogrammetric technique for the analysis of palatal three-dimensional changes during rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 29:26–30
69. Markwardt AW (1965) Vorschlag zur Bestimmung des Gaumenquotienten. Johann Ambrosius Barth, Leipzig
70. Marsh PD (2003) Are dental diseases examples of ecological catastrophes? *Microbiology* 149:279–294
71. Maspero C, Galbiati G, Del Rosso E, Farronato M, Giannini L (2019) RME: effects on the nasal septum. A CBCT evaluation. *Eur J Paediatr Dent* 20:123–126
72. Masucci C, Cipriani L, Defraia E, Franchi L (2017) Transverse relationship of permanent molars after crossbite correction in deciduous dentition. *Eur J Orthod* 39:1–7
73. Matsuyama Y, Motoyoshi M, Tsurumachi N, Shimizu N (2015) Effects of palate depth, modified arm shape, and anchor screw on rapid maxillary expansion: a finite element analysis. *Eur J Orthod* 37:188–193
74. Melsen B. (1975) Palatal growth studied on human autopsy material. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 68:42–54
75. Mommaerts MY (1999) Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 37:268–272
76. Mutinelli S, Cozzani M, Manfredi M, Bee M, Siciliani G (2008) Dental arch changes following rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 30:469–476

77. Mutinelli S, Manfredi M, Guiducci A, Denotti G, Cozzani M (2015) Anchorage onto deciduous teeth: effectiveness of early rapid maxillary expansion in increasing dental arch dimension and improving anterior crowding. *Prog Orthod*
78. Oliveira De Felipe NL, Da Silveira AC, Viana G, Kusnoto B, Smith B, Evans CA (2008) Relationship between rapid maxillary expansion and nasal cavity size and airway resistance: short- and long-term effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:370–382
79. Persson M, Thilander B (1977) Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 72:42–52
80. Petré S, Bondemark L, Soderfeldt B (2003) A systematic review concerning early orthodontic treatment of unilateral posterior crossbite. *Angle Orthod* 73:588–596
81. Podesser B, Williams S, Crismani AG, Bantleon HP (2007) Evaluation of the effects of rapid maxillary expansion in growing children using computer tomography scanning: a pilot study. *Eur J Orthod* 29:37–44
82. Primožič J, Ovsenik M, Richmond S, Kau CH, Zhurov A (2009) Early crossbite correction: a three-dimensional evaluation. *Eur J Orthod* 31:352–356
83. Primožič J, Richmond S, Kau CH, Zhurov A, Ovsenik M (2011) Three-dimensional evaluation of early crossbite correction: a longitudinal study. *Eur J Orthod* 35:7–13
84. Primožič J, Perinetti G, Richmond S, Ovsenik M (2012) Three-dimensional longitudinal evaluation of palatal vault changes in growing subjects. *Angle Orthod* 82:632–636
85. 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
86. Priyadarshini J, Mahesh CM, Chandrashekar BS, Sundara A, Arun AV, Reddy VP (2017) Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion- a finite element method study. *Prog Orthod* 18:1–8
87. Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M (eds) (2011) *Zahn-Mund und Kieferheilkunde-Kieferorthopädie*. 2nd edition. Georg Thieme Verlag AG, Stuttgart
88. Sandikçioğlu M, Hazar S (1997) Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111:321–327
89. Santos-Pinto A, Buschang PH, Throckmorton GS, Chen P (2001) Morphological and positional asymmetry of young children with functional unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120:513–520
90. Sayar G, Kiliç DD (2019) Rapid maxillary expansion outcomes according to midpalatal suture maturation levels. *Prog Orthod* 20:27

91. Seif-Eldin NF, Elkordy SA, Fayed MS, Elbeialy AR, Eid FH (2019) Transverse Skeletal Effects of Rapid Maxillary Expansion in Pre and Post Pubertal Subjects: A Systematic Review. *Maced J Med Sci* 15:467–477
92. Shahen S, Carinno G, Carrino R, Abdelsalam R, Flores-Mir C, Perillo L (2018) Palatal volume and area assessment on digital casts generated from cone-beam computed tomography scans. *Angle Orthod* 88:397–402
93. Shetty V, Caridad JM, Caputo AA, Chaconas SJ (1994) Biomechanical rationale for surgical-orthodontic expansion of the adult maxilla. *J Oral Maxillofac Surg* 52:742–749
94. Skieller V (1964) Expansion of the midpalatal suture by removable plates, analysed by the implant method. *Trans Eur Orthod Soc* 40:143–158
95. Starnbach H, Bayne D, Cleall J, Subtelny JD (1966) Facioskeletal and dental changes resulting from rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 36:152–164
96. Steinhauser EW (1972) Midline splitting of the maxilla for correction of malocclusion. *J Oral Surg* 30:413–422
97. Stern S, Finke H, Strosinski M, Mueller-Hagedorn S, McNamara JA, Stahl F (2020) Longitudinal changes in the dental arches and soft tissue profile of untreated subjects with normal occlusion. *J Orofac Orthop* 81:192–208
98. Suri L, Taneja P (2007) Surgically assisted rapid palatal expansion: A literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133:290–302
99. Tausche E, Harzer W, Schneider M (2006) Gaumennahterweiterung mittels implantatverankertem Distraktor bei Patienten mit offenem Biss. *Dtsch Zahnärztliche Z* 61:197–199
100. Thilander B (2009) Dentoalveolar development in subjects with normal occlusion. A longitudinal study between the ages of 5 and 31 years. *Eur J Orthod* 31:109–120
101. Timms DJ, Moss JP (1971) An histological investigation into the effects of rapid maxillary expansion on the teeth and their supporting tissues. *Trans Eur Orthod Soc* 263–271
102. Timms DJ, Vero D (1981) The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. *J Oral Surg* 19:180–196
103. Timms DJ (ed) (1986) *Forcierte Gaumennahterweiterung*. Quintessenz-Verlags-GmbH, Berlin, Germany
104. Vardimon AD, Graber TM, Voss LR, Lenke J (1991) Determinants controlling iatrogenic external root resorption and repair during and after palatal expansion. *Angle Orthod* 61:113–224

105. Villa MP, Malagola C, Pagani J, Montesano M, Rizzoli A, Guilleminault C, Ronchetti R (2007) Rapid maxillary expansion in children with obstructive sleep apnea syndrome: 12-month follow-up. *Sleep Med* 8:128–134
106. Villa MP, Rizzoli A, Miano S, Malagola C (2011) Efficacy of rapid maxillary expansion in children with obstructive sleep apnea syndrome: 36 months of follow-up. *Sleep Breath* 15:179–184
107. Weissheimer A, de Menezes LM, Mezomo M, Dias DM, de Lima EM, Rizzato SM (2011) Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: a randomized clinical trial. *Angle Orthod* 140:366–376
108. Wertz RA. (1970) Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 58:41–66
109. Wichelhaus A, Eichenberg T, Günter A (eds) (2012) *Kieferorthopädie - Therapie*. Thieme, Stuttgart
110. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D (2010) Application and effectiveness of a mini-implant- and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World J Orthod* 11:323–330
111. Wriedt S, Kunkel M, Zentner A, Wahlmann UW (2001) Surgically assisted rapid palatal expansion. An acoustic rhinometric, morphometric and sonographic investigation. *J Orofac Orthop* 62:107–115
112. Yang ST, Kim HK, Lim YS, Chang MS, Lee SP, Park YS (2013) A three dimensional observation of palatal vault growth in children using mixed effect analysis: A 9 year longitudinal study. *Eur J Orthod* 35:832–840

6.2 Abkürzungsverzeichnis

A = Auflagen

Abb. = Abbildung

ant. /a = anterior

B = Bänder

Bg = Behandlungsgruppe

bKG = behandelte Kontrollgruppe, die aber keine Gaumennahterweiterung erhielt

bo = geklebte Auflage (bonded)

c = chronologisch

d = dental

Diff. = Differenz

DS = Dentitionsstadium

F = Frontalebene

G = Gaumen

GNE = Gaumennahterweiterung

GS = Gingivasaum

Kg = Kontrollgruppe

li = links

post. /p = posterior

re = rechts

RML = Raphe Median Linie

s = skelettal

S = Sutur

SARME = surgically assisted rapid maxillary expansion

SARPE = surgically assisted rapid palatal expansion

T = Transversalebene

Tab. = Tabelle

7 Publikation/ Danksagung

7.1 Publikation

Mehre wissenschaftliche Publikationen sind in Planung.

7.2 Danksagung

Herrn Professor Dr. Jörg Lisson danke ich für die Möglichkeit, in der Klinik für Kieferorthopädie zu promovieren.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Gero Kinzinger zunächst für die freundliche Überlassung des Themas dieser Dissertation sowie für die Patientenunterlagen, die er mir gemeinsam mit Herrn Dr. Ansgar Schroeder aus der kieferorthopädischen Facharztpraxis Apl.-Professor Dr. Gero Kinzinger und Dr. Ansgar Schroeder, Willicher Straße 12, 47918 Tönisvorst zur Verfügung gestellt hat. Zudem danke ich ihm von ganzem Herzen für die ausgezeichnete Betreuung, die konstruktive Kritik und die fachliche Unterstützung.

Herrn Dr. Jan Hourfar danke ich für die freundliche Unterstützung während der statistischen Auswertung.

Außerdem bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir das Studium und die Promotion überhaupt erst ermöglicht haben und immer hinter mir stehen. Meinem Bruder möchte ich dafür danken, dass er mich immer zum Lachen bringt. Zu guter Letzt bedanke ich mich bei meinem Freund für seine liebevolle Unterstützung und Motivation.

8 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.