

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

Morphologische Veränderungen des Gaumens bei forcierter
Gaumennahterweiterung in Kombination mit maxillärer
Protraktion

Morphologic changes of the palate after rapid maxillary
expansion combined with maxillary protraction therapy

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes
2023

Vorgelegt von: Joana Nanina Sommer
Geb. am 17.09.1986 in Heidelberg

Tag der Promotion: 08.02.2024

Dekan: Prof. Dr. Michael D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Gero Kinzinger
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Kolja Freier

*Für
meinen geliebten Mann,
meinen geliebten Sohn
und meine geliebten Eltern*

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
1.1. Deutsche Zusammenfassung.....	1
1.2. Abstract	2
2. Einleitung	4
2.1. Grundlagen der Klasse III Anomalie.....	4
2.1.1. Morphologische Klassifikation in der Literatur mit klinischem Befund	4
2.1.2. Ätiologie.....	5
2.1.3. Epidemiologie	6
2.1.4. Therapiemöglichkeiten der Klasse III	7
2.2. Gesichtsmaske.....	8
2.2.1. Indikation und Anwendungsgebiete.....	8
2.2.2. Historische Entwicklung.....	8
2.2.2.1. Gesichtsmasken	8
2.2.2.2. Weiterentwicklung der Behandlungsmethoden	9
2.2.3. Skelettale und dentale Effekte der maxillären Protraktion mittels Gesichtsmaske.....	10
2.2.3.1. Skelettale Effekte.....	10
2.2.3.2. Dentale Effekte	10
2.2.4. Behandlungszeitpunkt	11
2.3. Forcierte Gaumennahterweiterung.....	12
2.3.1. Indikation und Anwendungsgebiete.....	12
2.3.2. Historie der suturalen Distraction mittels dentaler Verankerung	13
2.3.3. Wirkung der forcierten Gaumennahterweiterung mittels dentaler Verankerung.....	14
2.3.3.1. Histologische Aspekte	14
2.3.3.2. Skelettale Effekte.....	14
2.3.3.3. Dentale Effekte	15
2.3.4. Behandlungszeitpunkt	16
2.3.5. Ziel der vorliegenden Arbeit.....	17
3. Material und Methodik	18
3.1. Ethikantrag	18
3.2. Patienten	18
3.2.1. Studiengruppe	18
3.3. Methode	21
3.3.1. Modelle.....	21
3.3.1.1. Studiengruppe	21
3.3.2. Modellanalyse.....	22
3.3.2.1. Transversale Messungen	24
3.3.2.2. Gaumenhöhe.....	26
3.3.2.3. Längenmessung	27
3.3.2.4. Gaumenquotient	28
3.3.2.5. Alveolarfortsatzwinkel.....	29
3.3.2.6. Gaumenbasiswinkel	31
3.3.2.7. Volumenmessung und Flächenmessung	32
3.3.3. Diagramme	39
3.3.4. Statistische Analyse	39
3.3.5. Methodenfehler nach Dahlberg	40
4. Ergebnisse	42
4.1. Allgemein.....	42

4.2.	Gaumenbreite	42
4.2.1.	Veränderungen der Gaumenbreite innerhalb der Gruppen.....	42
4.2.2.	Veränderung der Gaumenbreite zwischen den Gruppen.....	44
4.3.	Gaumenhöhe (Frontalebene).....	47
4.3.1.	Veränderungen in der Gaumenhöhe innerhalb der Gruppen.....	47
4.3.2.	Veränderung in der Gaumenhöhe zwischen den Gruppen.....	49
4.4.	Gaumenlänge.....	52
4.4.1.	Veränderung in der Gaumenlänge innerhalb der Gruppen.....	52
4.4.2.	Veränderungen in der Gaumenlänge zwischen den Gruppen.....	54
4.5.	Gaumenquotient.....	57
4.5.1.	Veränderungen des Gaumenquotienten innerhalb der Gruppen.....	57
4.5.2.	Veränderungen des Gaumenquotienten zwischen den Gruppen.....	59
4.6.	Alveolarfortsatzwinkel.....	60
4.6.1.	Veränderungen des Alveolarfortsatzwinkels innerhalb der Gruppen.....	60
4.6.2.	Veränderungen des Alveolarfortsatzwinkels zwischen den Gruppen.....	62
4.7.	Gaumenbasiswinkel.....	63
4.7.1.	Veränderungen des Gaumenbasiswinkels innerhalb der Gruppen.....	63
4.7.2.	Veränderungen des Gaumenbasiswinkels zwischen den Gruppen.....	64
4.8.	Volumen und Gaumenfläche.....	65
4.8.1.	Veränderung des Volumens und der Gaumenfläche innerhalb der Gruppen.....	65
4.8.2.	Veränderung des Volumens und der Gaumenfläche zwischen den Gruppen.....	66
5.	Diskussion	69
5.1.	Patientengut, Vergleichbarkeit der Ergebnisse und Messmethode.....	69
5.2.	Aktueller Stand der Literatur zur Veränderung der Gaumenmorphologie, des Volumens und der Fläche während der Kombinationstherapie (GNE, Delaire-Maske).....	70
5.3.	Transversale Messungen.....	71
5.3.1.	Literarischer Überblick über den Öffnungsmodus der Sutura palatina mediana.....	71
5.3.2.	Ergebnisse dieser Studie.....	72
5.4.	Messungen der Gaumenhöhe, des Gaumenquotienten, des Alveolarfortsatzwinkels und des Gaumenbasiswinkel.....	73
5.4.1.	Literarischer Überblick.....	73
5.4.2.	Ergebnisse dieser Studie.....	74
5.5.	Längenmessung.....	75
5.5.1.	Literarischer Überblick.....	75
5.5.2.	Ergebnisse dieser Studie.....	76
5.6.	Volumen- und Flächenmessung.....	77
5.6.1.	Literarischer Überblick.....	77
5.6.2.	Ergebnisse dieser Studie.....	78
5.7.	Rückschlüsse dieser Studie.....	79
6.	Literatur- und Abkürzungsverzeichnis.....	80
6.1.	Abkürzungsverzeichnis.....	80
6.2.	Literaturverzeichnis.....	82
7.	Publikation / Danksagung	92
7.1.	Publikation.....	92
7.2.	Danksagung.....	92

1. Zusammenfassung

1.1. Deutsche Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel:

Die Behandlung der skelettalen Klasse III stellt bei wachsenden Patienten im kieferorthopädischen Behandlungsalltag eine große Herausforderung dar. Der therapeutische Behandlungsansatz bei Patienten mit maxillärer Retrognathie und transversalem Defizit im Oberkiefer umfasst die sagittale und transversale Nachentwicklung der Maxilla. Viele klinische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Effektivität dieser Kombinationsbehandlung aus suturaler Distraction mittels forcierter Gaumennahterweiterung und maxillärer Protraktion mittels Delaire-Maske vom Patientenalter abhängig sind. Die Ergebnisse basieren bislang mehrheitlich auf zweidimensionalen radiologischen Untersuchungen mittels Fernröntgenseitenanalyse. Eine dreidimensionale Untersuchung der morphologischen Veränderungen des Gaumens ist bislang in der Literatur nicht beschrieben. Ziel dieser Studie war es deshalb, die morphologischen Veränderungen des Gaumens durch eine dreidimensionale Modellvermessung zu untersuchen mit der Fragestellung, ob diese Veränderungen altersabhängig unterschiedlich auftreten.

Patienten und Methoden: Im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung wurden die Modelle von insgesamt 40 Patienten digitalisiert und retrospektiv untersucht. Die Analyse umfasste dabei lineare Messungen in der Transversalen, Vertikalen und Sagittalen, Winkelmessungen am Alveolarfortsatz und an der Gaumenbasis sowie Volumen- und Flächenmessungen. Der Untersuchungszeitraum umfasste die Zeitpunkte T1 vor Behandlungsbeginn und T2 nach Entfernen der eingesetzten Apparaturen (GNE, Delaire-Maske). Das Patientenkollektiv wurde gemäß dem chronologischen Alter (PG1 < 12 Jahre; PG2 ≥ 12 Jahre) in zwei gleich große Patientengruppen PG1 (n=20) und PG2 (n=20) unterteilt.

Ergebnisse: In der Transversalebene nimmt in PG1 die Breite im posterioren Bereich mehr zu als anterior. Im Gegensatz dazu zeigt sich in der Patientengruppe PG2 posterior eine vergleichsweise geringere Breitenzunahme als anterior. Die Längenzunahmen sind immer signifikant, dabei sind diese jedoch in PG1 posterior größer als in PG2.

Die Gaumenhöhe, der Gaumenquotient (Ratio aus Breite und Höhe) und der Alveolarfortsatzwinkel weisen im Vergleich der Patientengruppen nur anterior signifikante Veränderungen auf. Die Volumenveränderung ist in beiden Gruppen, die Veränderung der Gaumenfläche nur in PG1 signifikant. Trotz anatomisch bedingt geringeren Ausgangswerten

sind bei den Absolutwerten und Prozentwerten die Volumen- und Flächenzunahmen in der jüngeren Gruppe tendenziell größer.

Schlussfolgerungen: Die gleichförmigere Breitenzunahme des Gaumens sowie die größeren Zunahmen der Gaumenlänge, des Gaumenvolumens und der Gaumenoberfläche im jüngeren Patientenkollektiv sprechen für eine bessere Reaktionslage dieser Gruppe auf die Therapie der suturalen Distraction mittels GNE und maxillären Nachentwicklung mit einer Gesichtsmaske. Aus diesem Grund erscheint eine Frühbehandlung besonders empfehlenswert.

1.2. Abstract

Objectives:

The correction of skeletal class III in growing patients is a major challenge in orthodontic treatment. The treatment approach in patients with maxillary retrognathia and transverse deficiency includes sagittal and transverse growth enhancement. Many clinical studies have shown that the effectiveness of combination treatment of sutural distraction with rapid palatal expansion and maxillary protraction with a Facemask is age dependent. To date, the majority of results has been based on two-dimensional radiographic examinations using cephalometric measurements. A three-dimensional examination of the morphological changes of the palate has not been described in the literature so far. Therefore, the aim of this study was to investigate the morphological changes of the palate using a three-dimensional model measurement to evaluate whether these changes differ according to age.

Methods:

During orthodontic treatment, the models of 40 patients were digitized and retrospectively analyzed. The analysis included linear measurements in the transverse, vertical and sagittal planes, angular measurements at the alveolar process and at the palatal base and volume and area measurements. The study period included the time points T1 prior to the start of treatment and T2 after removal of the appliances used (GNE, Delaire mask). The patient collective was divided according to chronological age (PG1 < 12 years; PG2 ≥ 12 years) into two equally sized patient groups PG1 (n=20) and PG2 (n=20).

Results:

In the transverse plane, width increases more in the posterior than anterior region in PG1. In contrast, the PG2 patient group shows comparatively less width increase posteriorly than anteriorly. The increases in length are always significant, but they are greater in PG1 posterior than in PG2. Palatal height, palatal quotient (ratio of width to height), and alveolar process

angle only shows significant changes anteriorly when comparing the two groups. The volume change is significant in both groups, the change in palatal surface area only in PG1. Despite anatomically lower baseline values, absolute values and percentages tend to show greater increases in volume and surface area in the younger group.

Conclusions:

The more consistent increase in palatal width, as well as the greater increases in palatal length, palatal volume and palatal surface area in the younger patient population, suggest that this group is more responsive to sutural distraction therapy using rapid palatal expansion and maxillary growth promotion with a facemask. For this reason, early treatment seems to be highly recommended.

2. Einleitung

2.1. Grundlagen der Klasse III Anomalie

Im kieferorthopädischen Behandlungsalltag stellt die Therapie der skelettalen Klasse III eine große Herausforderung dar. Die Komplexität der Anomalie liegt zum einen an der Varianz der anatomischen Gegebenheiten und zum anderen an der Abhängigkeit der Therapieoptionen vom skelettalen Alter der Patienten. Die anatomische Heterogenität zeigt sich darin, dass sowohl die Maxilla als auch die Mandibula in ihrer Größe und in ihrer Position zur Schädelbasis betroffen sein können. Auch sind Kombinationen dieser Fehlstellungen bzw. Fehlentwicklungen möglich. In der Literatur ist beschrieben, dass die mandibuläre Prognathie und die maxilläre Retrognathie etwa gleich häufig bei Klasse III Patienten auftreten (WILLIAMS et al., 1997; WILLIAMS, ANDERSEN, 1986). Häufig ist weiterhin ein anteriorer oder posteriorer Kreuzbiss auf Grund eines transversalen Defizits der Maxilla mit der Dysgnathie vergesellschaftet. Zusätzlich treten dentoalveoläre Kompensationen im Sinne von proklinierten Oberkieferfrontzähnen und reklinierten Unterkieferfrontzähnen sowie funktionelle Störungen auf, die die Komplexität der Behandlung erhöhen (HAAS, 1970, 1973; HOPKIN, 1966; WILLIAMS, ANDERSEN, 1986). Die Therapie mittels maxillärer Protraktion in Kombination mit einer Gaumennahterweiterung ist insbesondere bei wachsenden Patienten eine gebräuchliche und effektive Behandlungsmethode (BACCETTI et al., 1998; CORDASCO et al., 2014; DA SILVA FILHO et al., 1998; FRANCHI et al., 2011).

2.1.1. Morphologische Klassifikation in der Literatur mit klinischem Befund

Historisch betrachtet war die Klasse III bis in die 1970er Jahre eine Fehlentwicklung und Fehlstellung der Mandibula. Die Begriffe der skelettalen Klasse III und der mandibulären Prognathie wurden synonym verwendet (JACOBSON et al., 1974).

Eine morphologische Klassifikation der Klasse III unterteilt die Anomalie nach BIMLER in vier Gruppen: dem frontalen Kreuzbiss, dem progenem Zwangsbiss, der Mikrognathie der Maxilla und der echten Prognathie der Mandibula (ROTH, BIMLER, 1979).

Der frontale Kreuzbiss ist eine Zahnfehlstellung der Zahnachsen der Inzisivi im Ober- und Unterkiefer. Bei gegebener negativer Frontzahnstufe stehen die Oberkieferfrontzähne prokliniert und die Unterkieferfrontzähne rekliniert. Es liegt dabei keine Zwangsbissführung durch okklusale Interferenzen vor. Die Bisslage beim frontalen Kreuzbiss ist neutral.

Beim prognen Zwangsbiss kann der Patient eine Kopfbissstellung einnehmen. Die Bissluxation in die negative Frontzahnstufe erfolgt im Schlussbiss auf Grund okklusaler Interferenzen. Auch der progene Zwangsbiss kann ohne kieferorthopädische Behandlung zu einer Unterentwicklung der Maxilla führen, da der Zwangsbiss das physiologische Wachstum der Maxilla hemmt.

Die Mikrognathie der Maxilla zeigt sich in der Betrachtung von extraoral durch eine Mittelgesichtshypoplasie mit zurückgelagerter Subnasalregion. In radiologischen Untersuchungen mittels Fernröntgenseitenanalysen liegt die Maxilla bezüglich der Schädelbasis zu weit posterior, während die Mandibula physiologisch eingelagert ist.

Die mandibuläre Prognathie ist durch ein exzessives Unterkieferwachstum gekennzeichnet und meist mit einer positiven Familienanamnese vergesellschaftet. Dies führt zu einem progredienten Unterkieferwachstum mit einem prominenten Kinn. Intraoral zeigt sich eine mesiale Bisslage. Die Unterkieferzähne stehen nach Rekonstruktion der Okklusion bezüglich der Oberkieferzähne weiter anterior. Häufig ist dies mit einer negativen Frontzahnstufe und einem seitlichen Kreuzbiss vergesellschaftet. Im Orthopantomogramm zeigen sich eine weite Keimlage im retromolaren Bereich sowie eine lückige Zahnstellung der Unterkieferfront. Auch der Zahndurchbruch im Unterkiefer ist häufig beschleunigt. In der Fernröntgenseitenanalyse ist der Unterkiefer bezüglich der Schädelbasis weiter anterior eingelagert.

Zusammenfassend ist die Klasse III eine sagittale Anomalie mit drei Problemfeldern: der Zahnfehlstellung der Ober- und Unterkieferinzisivi, der skelettalen Abweichung des Ober- und des Unterkiefers und der daraus resultierenden funktionellen Dysfunktion.

2.1.2. Ätiologie

Die Ätiologie der Klasse III ist vielgestaltig und unmittelbar abhängig von ihrer morphologischen Einteilung.

Als Ursachen für einen frontalen Kreuzbiss werden in der Literatur die Persistenz von Milchzähnen, eine palatinale Keimlage der Oberkieferinzisivi, ein vorzeitiger Milchzahnverlust und eine zeitliche Diskrepanz zwischen dem Durchbruch der Ober- und Unterkieferfrontzähne genannt.

Der progene Zwangsbiss entsteht durch okklusale Interferenzen. Auch fehlende Inzisivi beim Zahnwechsel, persistierende Milchzähne und eine Schonstellung nach Frontzahntrauma stellen Risikofaktoren für die Entwicklung eines Zwangsbisses dar.

Die Ätiologie einer Mikrognathie des Oberkiefers kann sowohl dentale als auch funktionelle oder syndromale Ursachen haben. Aplasien oder Zahnverluste, eine chronische Mundatmung sowie diverse Syndrome (Morbus Apert, Dysostosis cleidocranialis, Dysostosis cleidofacialis, Achondrodysplasie und Trisomie 21) können eine sagittale und transversale Unterentwicklung

des Oberkiefers bewirken. Bei Lippen-Kiefer-Gaumenspalten wird die Mikrognathie durch den genetischen Defekt bestimmt. Zusätzlich verhindern postoperative Narbenzüge des Spaltverschlusses eine weitere physiologische Entwicklung der Maxilla.

Eine Vererbung der mandibulären Prognathie wurde anfänglich kontrovers diskutiert. So nahm beispielsweise ANGLE an, dass es keine familiäre Disposition gäbe (BELL, 1977). Studien haben gezeigt, dass sowohl Umwelteinflüsse als auch Vererbung eine Rolle in der Ätiologie der Klasse III spielen. Zu den Umwelteinflüssen zählen beispielsweise Habits. Vergrößerte Tonsillen und eine chronische Mundatmung, die sowohl zu einer Unterentwicklung der Maxilla als auch zu einer clockwise Rotation der Mandibula führen, werden als äußere Einflussfaktoren benannt. Auch Traumata, endokrine Störungen und Zungendysfunktionen werden in der Literatur beschrieben. Die Rolle dieser Einflüsse ist jedoch nur in einigen wenigen Studien beobachtet worden (EL-GHERIANI et al., 2003). Mittlerweile gilt es als erwiesen, dass es insbesondere bei der mandibulären Prognathie eine hereditäre Komponente gibt. STROHMAYER war 1937 der Erste, der über die Vererbung der mandibulären Prognathie in der Habsburger Familie berichtete (WOLFF et al., 1993). Es ist jedoch wahrscheinlich, dass das autosomal-rezessive Vererbungsmuster der Habsburger Familie durch Inzucht stark beeinflusst wurde. Andere familiäre Gruppenanalysen zeigen in der Regel ein autosomal-dominantes Muster der Vererbung mit unvollständiger Penetranz, einer variablen Expressivität und einer multifaktoriellen Beeinflussung (NGAN, MOON, 2015).

2.1.3. Epidemiologie

Die Prävalenz der Klasse III Anomalie weist weltweit große Schwankungen auf und liegt im Mittelwert bei 7,04% (FÖRSCH et al., 2015). Einheitlich werden in der Literatur höhere Werte für die asiatische Bevölkerung beschrieben. In Südostasien wurde die höchste Prävalenz mit einem Wert von 16% ermittelt (LEW et al., 1993; SOH et al., 2005; TANG, 1994; WOON et al., 1989). Auch weitere Autoren beziffern einen Wert von ungefähr 14% für die asiatische Bevölkerung (COZZA et al., 2004).

In der kaukasischen Bevölkerung liegt die Prävalenz bei 1-5 % und macht damit etwa 10-12% aller kieferorthopädisch behandlungsbedürftigen Anomalien aus (COZZA et al., 2004; PERILLO et al., 2010; SIDLAUSKAS, LOPATIENE, 2009).

Das Auftreten einer Klasse III Anomalie in Kombination mit einer maxillären Retro- oder Mikrognathie wird in der Literatur häufig beobachtet und unterliegt einer starken Varianz von 32-63% (JACOBSON et al., 1974; WILLIAMS et al., 1997; WILLIAMS, ANDERSEN, 1986).

2.1.4. Therapiemöglichkeiten der Klasse III

Die Therapieoptionen sind abhängig vom skelettalen Alter des Patienten und der Morphologie der Anomalie. Sie werden in drei Behandlungsphasen unterteilt: der Frühbehandlung vor dem Wachstumsgipfel, der Behandlung im Wechselgebiss bei ausreichendem Restwachstum und der Behandlung von adulten Patienten mit abgeschlossenem skelettalem Körperwachstum.

Innerhalb der Frühbehandlung liegt der Fokus auf der Vermeidung von progressiven, skelettalen und dentalen Adaptationsprozessen. Es werden drei Problemfelder betrachtet: die ausgeprägten skelettalen Anomalien, die funktionellen Störungen und der Zwangsbiss.

Bei ausgeprägten Dysgnathien mit Tendenz zur Progredienz insbesondere bei positiver Familienanamnese ist der therapeutische Ansatz der Kieferorthopädie zum einen der Bereich der Funktionskieferorthopädie und zum anderen die Kombination aus maxillärer Protraktion und einer forcierten Gaumennahterweiterung.

Auch die Zungendysfunktion mit Zungenruhelage im Unterkiefer und hypotonem Muskeltonus spielen eine entscheidende Rolle bei der Manifestation einer Klasse III Anomalie. Der Sigmatismus, das viszerale Schluckmuster, eine Mentalishyperaktivität und die Mundatmung sind zusätzliche Risikofaktoren, die im Rahmen der Prophylaxe betrachtet werden. Der therapeutische Ansatz ist dabei die Wiederherstellung eines funktionellen Gleichgewichts mit kompetentem Mundschluss, physiologischem Schluckmuster und Zungenruhelage im Oberkiefer.

Der Zwangsbiss führt ohne therapeutische Intervention zu einer skelettalen Adaptation der ursprünglich funktionellen Störung. Ziel der Behandlung ist somit die Korrektur der okklusalen Interferenzen.

Im späten Wechselgebiss ist keine Funktionskieferorthopädie mehr möglich. Der therapeutische Ansatz ist bei gegebenem Restwachstum die maxilläre Protraktion in Kombination mit einer forcierten Gaumennahterweiterung. Der singuläre Einsatz einer forcierten Gaumennahterweiterung ist bei einem späteren chirurgischen Vorgehen mittels Umstellungsosteotomie möglich, um das transversale Defizit zu korrigieren und die Einordnung aller Zähne zu ermöglichen. Eine dentoalveoläre Kompensation der skelettalen Klasse III sowie Extraktionstherapien sollten in dieser Entwicklungsphase vermieden werden. Nach Abschluss des Wachstums verbleibt als Therapieoption die dentale Kompensation der skelettalen Anomalie unter Berücksichtigung der anatomischen Grenzen der Zahnbewegung insbesondere bei erwachsenen Patienten. Falls die anatomischen Grenzen einer Kompensation überschritten werden, kann eine kombinierte kieferorthopädische/kieferchirurgische Therapie mit Umstellungsosteotomie zur Korrektur der Anomalie durchgeführt werden (BACCETTI et al., 1998; DELAIRE, 1971; JÄGER et al., 2001; KIM et al., 1999; WICHELHAUS, 2017).

2.2. Gesichtsmaske

2.2.1. Indikation und Anwendungsgebiete

In der Klasse III Therapie kann durch suturales Wachstum die Position der Maxilla positiv beeinflusst werden. Bei Vorliegen einer maxillären Mikro- und/oder Retrognathie ist der Einsatz einer Gesichtsmaske zur Protraktion in Kombination mit einer forcierten Gaumennahterweiterung eine der am weitesten verbreiteten Therapieansätze (MARTINA et al., 2020).

Die Hauptindikation der Gesichtsmaske umfasst auf skelettaler Ebene die maxilläre Protraktion bei moderaten Klasse III Anomalien mit maxillärer Retro- oder Mikrognathie. Die dabei wirkenden Kräfte sind orthopädisch wirksame Kräfte. Insbesondere bei Lippen-Kiefer-Gaumenspalten liegt eine Mikrognathie des Oberkiefers auf Grund des genetischen Defektes und der postoperativen Narbenzüge durch den Spaltverschluss vor. Hier ist die Gesichtsmaske das Mittel der Wahl zur Nachentwicklung und Vorverlagerung der Maxilla.

Therapeutische Grenzen, die das Indikationsgebiet einer Behandlung mittels Gesichtsmaske eingrenzen, sind das progressive, autonome Unterkieferwachstum bei hereditärer skelettaler Klasse III ohne maxilläre Beteiligung und ein ungünstiges, dolichofaziales Wachstumsmuster dieser Patientengruppe (DELAIRE et al., 1978; HAGG et al., 2003; NGAN et al., 1996; NGAN, MOON, 2015).

Auf dentaler Ebene können Kreuzbissrelationen im Frontzahnbereich mittels orthodontisch wirksamer Kräfte korrigiert werden. Auch Behandlungsprotokolle zur Mesialbewegung von Zähnen zum ein- oder beidseitigen Lückenschluss bei Nichtanlagen, Zahnextraktionen oder vorzeitigem Zahnverlust werden in der Literatur beschrieben (WICHELHAUS, 2017).

2.2.2. Historische Entwicklung

2.2.2.1. Gesichtsmasken

Die Anfänge der Entwicklung einer Apparatur zur maxillären Protraktion gehen auf die 1875 beschriebene Gesichtsmaske von POTPESCHNIGG zurück (POTPESCHNIGG, 1875).

1944 veröffentlichte OPPENHEIM et al. umfassende Fallstudien, in denen Patienten mit einer Gesichtsmaske behandelt wurden. Ein gelöteter maxillärer Bogen stellte dabei die intraorale Verankerung dar. Über einen Gummizug wurde eine Verbindung zwischen der extraoralen Apparatur und der intraoralen Verankerung hergestellt (OPPENHEIM, 1945). Auch KETTLE

und BURNAPP, die 1955 in einem Londoner Krankenhaus arbeiteten, verwendeten eine Gesichtsmaske zur Vorverlagerung und Nachentwicklung der Maxilla bei Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten (NGAN et al., 2014). Die 1971 veröffentlichte und bis heute gebräuchliche Gesichtsmaske des französischen Kieferorthopäden JEAN DELAIRE ist eine Weiterentwicklung dieser Behandlungsgeräte (DELAIRE, 1971). Die Behandlung mittels Delaire Maske setzte sich aus drei Bestandteilen zusammen: einer soliden Verankerung am oberen Zahnbogen, einer orthopädischen Gesichtsmaske mit einer Stirn-Kinnabstützung und elastischen Gummizügen, die die intra- und extraorale Verankerung miteinander verbinden. Zur intraoralen Verankerung befestigte DELAIRE einen Metalldoppelbogen aus einem runden 0,8 oder 0,9 mm starken Draht vestibulär und palatinal auf Höhe der Zahnhäuse. Mittels 0,3 mm starken Drahtligaturen wurde der Bogen an allen Zähnen fixiert. Alternativ beschreibt er zur intraoralen Verankerung die Verwendung eines Doppelbogens mit zwei Molarenbändern, herausnehmbaren Platten oder Kappenschienen mit dem Nachteil der reduzierten Stabilität bei den herausnehmbaren Geräten. Die intraorale Verankerung wurde mit Häkchen in der Region der lateralen Schneidezähne versehen. Die extraorale Stirn-Kinn-Abstützung erfolgte mittels individuell angefertigten oder mit vofabrizierten Elementen. Eine vor den Lippen verschiebbare Vorrichtung ermöglichte eine Adaptation der Gummizugrichtung für das gewünschte Behandlungsziel. Die elastischen Gummizüge waren das Verbindungselement zwischen der extra- und intraoralen Verankerung und wurden mit einer Kraft von 5-15 N eingespannt (DELAIRE, 1971; DELAIRE et al., 1978).

2.2.2.2. Weiterentwicklung der Behandlungsmethoden

McNAMARA et al. veröffentlichten 1987 einen Fallbericht, in dem Patienten bei vorliegender Klasse III und maxillärer Mikro- und/oder Retrognathie erfolgreich mit einer zahngetragenen, konventionellen Gaumennahterweiterung in Kombination mit einer Delaire-Maske behandelt wurden. Als Vorteil der Kombination dieser Behandlungsgeräte beschreibt er die Möglichkeit, das häufig mit einer Mikrognathie vergesellschaftete transversale Defizit über die Gaumennahterweiterung (GNE) zu korrigieren und gleichzeitig über die suturale Distraction die Effektivität der maxillären Protraktion mit Ventralverlagerung der Maxilla zu verbessern (MCNAMARA, 1987). Diese Effektivitätssteigerung wird auf eine Disartikulation der Suturen des Mittelgesichts während der forcierten Gaumennahterweiterung zurückgeführt (BACCETTI et al., 2000; DA SILVA FILHO et al., 1998; NGAN et al., 1996; TURLEY, 1988, 1996). Jedoch wurde der positive Einfluss einer raschen Gaumennahterweiterung auf die Vorverlagerung der Maxilla in der Literatur kontrovers diskutiert und konnte in anderen Untersuchungen nicht nachgewiesen werden (CORDASCO et al., 2014; JÄGER et al., 2001; KIM et al., 1999; VAUGHN et al., 2005).

Ein neues Behandlungsprotokoll zur suturalen Distraction und insbesondere zur suturalen Disartikulation des Mittelgesichts, stellten 2005 LIOU et al. vor. Ziel war es dabei, die Effektivität der maxillären Protraktion zu steigern. Das Protokoll sieht eine achtwöchige Phase mit alternierender Expansion und Konstriktion (alt-RAMEC) mittels forcierter Gaumennahterweiterung vor. Im Anschluss wurde die Vorverlagerung mit intermaxillären Federn beschrieben (LIOU, 2005a). Eine Verbesserung der Effektivität durch dieses Protokoll konnte auch von anderen Autoren in späteren Untersuchungen festgestellt werden (PITHON et al., 2016).

2.2.3. Skelettale und dentale Effekte der maxillären Protraktion mittels Gesichtsmaske

2.2.3.1. Skelettale Effekte

Der Einsatz einer Gesichtsmaske in Kombination mit einer konventionellen GNE führt zu einer Protraktion der Maxilla nach anterior und kaudal und zu einer Verbesserung der maxillo-mandibulären Relation. Unter Verwendung des alt-RAMEC Protokolls nach LIOU können durchschnittlich höhere Werte in Bezug auf die Oberkieferverlagerung erzielt werden. Auch eine deutlichere Verbesserung der sagittalen Lagebeziehung des Oberkiefers zum Unterkiefer wird beschrieben (FÖRSCH et al., 2015; LIOU, 2005a; VAUGHN et al., 2005). Bei einer Angulation der Gummizüge von 20°- 30° zur Okklusionsebene liegt der resultierende Kraftvektor der Gesichtsmaske unterhalb des Widerstandszentrums der Maxilla. Die Maxilla rotiert in Folge counterclockwise. Da der Unterkiefer clockwise rotiert, resultiert in der Summe über die Vergrößerung der unteren Gesichtshöhe eine bissöffnende Wirkung, die besonders bei Patienten mit dolichofazialer Schädelstruktur unerwünscht ist (FÖRSCH et al., 2015; JÄGER et al., 2001; VAUGHN et al., 2005).

2.2.3.2. Dentale Effekte

Die Verwendung einer Delaire-Maske führt in Kombination mit einer zahngetragenen GNE-Apparatur zu einer Mesialwanderung der Oberkieferdentition mit Proklination der Oberkieferfront. Auch eine Extrusion der Oberkieferseitenzähne und eine Reklination der Unterkieferfront wird in der Literatur beschrieben (FÖRSCH et al., 2015; JÄGER et al., 2001; VAUGHN et al., 2005).

2.2.4. Behandlungszeitpunkt

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Effektivität der skelettalen Beeinflussung über orthopädisch applizierte Kräfte ab einem Alter von acht Jahren zu sinken beginnt (KIM et al., 1999). Die S3-Leitlinie zum idealen Behandlungszeitpunkt kieferorthopädischer Anomalien bestätigt die geringere skelettale Wirkung bei Behandlungsstart im späten Wechselgebiss und legt die positiven Effekte einer Frühbehandlung im Milch- bzw. frühen Wechselgebiss dar (DGKFO, DGZMK, 2021).

Bei positiver Familienanamnese für die Entwicklung einer mandibulären Prognathie wird in der Literatur ein Behandlungsbeginn bereits ab dem fünften Lebensjahr empfohlen (DELAIRE, 1971; JÄGER et al., 2001). Entscheidend ist also in Abhängigkeit von der Ätiologie der Anomalie ein möglichst früher Behandlungsbeginn im Milchgebiss oder frühen Wechselgebiss. Ziel ist es dabei die erreichbaren, skelettalen Effekte zu maximieren (FRANCHI et al., 1998; FRANCHI et al., 2004; HICKHAM, 1991; JÄGER et al., 2001; TAKADA et al., 1993). JÄGER et al. beobachteten, dass eine Behandlung vor dem achten Lebensjahr unter Ausnutzung der natürlichen Translation des nasomaxillären Komplexes besonders effektiv ist (JÄGER et al., 2001). Auch BACCETTI und KIM et al. beschreiben, dass die Effektivität der maxillären Protraktion zwischen dem achten und zehnten Lebensjahr am größten ist (BACCETTI et al., 1998; KIM et al., 1999).

In der zweiten Wechselgebissphase kann der pubertäre Wachstumsspurts der Patienten für eine positive Beeinflussung der maxillo-mandibulären Relation genutzt werden. MERVIN et al. beschreiben, dass ähnliche orthopädische Effekte in Patientengruppen von fünf bis acht Jahren (vor dem Wachstumsgipfel) und im Alter von acht bis zwölf Jahren (auf dem Wachstumsgipfel) erzielt werden konnten (MERWIN et al., 1997).

Durch Abnahme der skelettalen Effekte findet die maxilläre Protraktion bei adulten Patienten weniger Anwendung. Jedoch werden in der Literatur positive Effekte im Sinne von anterior-posterioren Veränderungen der Maxilla bis ins beginnende Erwachsenenalter beschrieben (JÄGER et al., 2001). Unter Berücksichtigung des Ausprägungsgrades der Anomalie sowie der therapeutischen und anatomischen Grenzen erfolgt eine dentoalveoläre Kompensation der Anomalie oder ein kombiniertes kieferchirurgisch/kieferorthopädisches Vorgehen (JÄGER et al., 2001).

2.3. Forcierte Gaumennahterweiterung

2.3.1. Indikation und Anwendungsgebiete

In der Literatur wird die Indikation für eine forcierte Gaumennahterweiterung (GNE) nach ANGELL 1860 zunächst ausschließlich zur Behandlung eines transversalen Defizits der Maxilla beschrieben (ANGELL, 1860a, b; GIANELLY, 2003). Dieses Defizit kann nach heutigem Stand der Erkenntnisse sowohl auf dentaler als auch auf skelettaler Ebene in Erscheinung treten. Klinisch zeigt sich die dentale Fehlstellung in Form eines ein- oder beidseitigen Kreuz- oder Kopfbisses. Auf skelettaler Ebene kann bei einer defizitären apikalen Basis eine Kreuz- oder Kopfbissrelation vorliegen, jedoch ist auch eine dentoalveoläre Kompensationsstellung der ursächlich skelettalen Abweichung möglich. Eine Studie unter deutschen Zahnärzten hat gezeigt, dass die primäre Indikation für eine Behandlung mittels Gaumennahterweiterung bis heute die transversale Unterentwicklung der Maxilla ist (KORBMACHER et al., 2005).

Auf Grund der zunehmenden wissenschaftlichen Anerkennung der Behandlung der transversalen Anomalien mittels GNE wurden in der Literatur weitere positive Effekte auf die benachbarten anatomischen Strukturen beschrieben. Insbesondere eine Verbesserung der nasalen Ventilation durch eine Absenkung des Gaumendaches und Verbreiterung des Nasenbodens konnte früh in der Literatur nachgewiesen werden und erweiterten das Indikationsgebiet der Gaumennahterweiterung um rhinologische Aspekte (BICAKCI et al., 2005; DORUK et al., 2004; GODDARD, 1893; KORBMACHER et al., 2005; TECCO et al., 2005; TIMMS, 1986). Bis heute hat sich das Indikationsgebiet für eine Gaumennahterweiterung vergrößert. Es existieren klinische Studien zur Gaumennahterweiterung, die therapeutische Erfolge bei Patienten mit nächtlichem Schnarchen beschreiben (SOREL, 2004). Auch bei schwerhörigen Kindern mit Schalleitungsstörungen konnte eine Verbesserung der Mittelohrbelüftung und der Schalleitung erzielt werden (TAŞPINAR et al., 2003). Besonders effektiv ist der Einsatz der GNE bei Patienten mit Lippenkiefergaumenspalten, um die maxilläre Mikrognathie zu behandeln (CAMERON et al., 2002).

Kontrovers wurde in den letzten Jahren der Einsatz einer Gaumennahterweiterung in Kombination mit einer Gesichtsmaske bei Klasse III Patienten diskutiert. Ziel ist es, durch die suturale Distraction die Effektivität der maxillären Protraktion zu steigern. Ein zunehmendes Interesse gilt dabei dem alt-RAMEC-Protokoll mit einer alternierenden Kombination aus Expansion und Kompression der Sutur (FÖRSCH et al., 2015; JÄGER et al., 2001; KIM et al., 1999; LIOU, 2005a; PITHON et al., 2016; VAUGHN et al., 2005).

2.3.2. Historie der suturalen Distraction mittels dentaler Verankerung

Im kieferorthopädischen Behandlungsalltag ist der gebräuchliche apparative Therapieansatz zur Distraction der Sutura palatina mediana eine bändergetragene Hyrax-GNE nach BIEDERMANN. In Abhängigkeit von der Verankerungssituation und dem Dentitionsstatus werden in der Literatur zwei Apparaturen unterschieden, deren dentale Verankerung entweder mittels Metallbänder („banded“ Expander) oder über eine Kunststofffassung („bonded“ Expander) erfolgt. Eine weit verbreitete Modifikation des „banded“ Expander verzichtet zur dentalen anterioren Verankerung auf Prämolarenbänder und verankert die Apparatur direkt an der Okklusionsfläche der ersten Milch- oder Prämolaren. Der „bonded“ Expander wird insbesondere im Milchgebiss oder bei schwierigen Verankerungssituationen eingesetzt. Eine Hyraxschraube, die BIEDERMANN 1968 entwickelte, sitzt an der tiefsten Stelle des Gaumens und aktiviert die Apparatur (SANDER et al., 2011; TIMMS, 1986).

Die Historie der GNE geht auf FAUCHARD (1728) und LEFOULON (1839) zurück. ANGELL veröffentlichte 1860 aus San Francisco, USA, den ersten Fallbericht im Journal „Dental Cosmos“ über die forcierte Gaumennahterweiterung. Die verwendete Apparatur setzte sich aus zwei gegenläufigen Gewinden zusammen. Die dentale Abstützung erfolgte an den Zahnhälsen der Prämolaren mittels Klemmpassung. In seinem Fallbericht öffnete er die Sutura palatina mediana bei einem 14 ½ Jahre alten Mädchen innerhalb von zwei Wochen um 0,64 cm. Die Entstehung des Diastema mediale erklärte ANGELL zur „Sprengung der Sutura palatina mediana“. Diese Erkenntnisse fanden jedoch ohne radiologischen Nachweis im kollegialen Umfeld keine Anerkennung und wurden kritisch diskutiert (TIMMS, 1986).

Den radiologischen Nachweis über die Erweiterung der Sutura palatina mediana gelang LANDSBERGER 1909 in seinen Veröffentlichungen (TIMMS, 1986; WILMES et al., 2010).

DERICHSWEILER (1956) und HAAS (1961) setzen die Untersuchungen zur Gaumennahterweiterung fort und stellten erstmals biomechanische Aspekte in den Vordergrund. Für eine optimale Kraftübertragung auf die knöchernen Strukturen der Maxilla wurden die Verankerungszähne nun möglichst körperlich gefasst und die Aktivierungsschraube an der tiefsten Stelle des Gaumens platziert. Die häufig in der Literatur kritisierte Hygienefähigkeit der damals verwendeten Apparaturen konnte erst mit der bis heute gebräuchlichen Apparatur nach BIEDERMANN deutlich verbessert werden (DERICHSWEILER, 1956; HAAS, 1965, 1970, 1973, 1980; SANDER et al., 2011; TIMMS, 1986)

2.3.3. Wirkung der forcierten Gaumennahterweiterung mittels dentaler Verankerung

Beim Einsatz einer GNE-Apparatur wird mittels suturaler Distraction die Erweiterung der Sutura palatina mediana angestrebt. Die Anatomie und Histologie der Sutura ist bis heute in der Literatur von Interesse und Bestandteil umfangreicher Untersuchungen, da die histologische Beschaffenheit über den Zeitpunkt der Insertion und den therapeutischen Erfolg entscheidet. 1975 veröffentlichte MELSEN et al., dass die Sutura palatina mediana mit fortschreitendem Alter von posterior nach anterior interdigitiert (MELSEN, 1975). Bis heute ist der genaue altersabhängige Modus der Suturenöffnung (parallel, triangulär) Bestandteil der Forschung.

2.3.3.1. Histologische Aspekte

Die dental verankerte Apparatur zur forcierten Gaumennahterweiterung nutzt die Phase der Hyalinisation, in der die Zahnbewegung sistiert mit einer Kraftgröße bis 150 N, um die applizierte Kraft auf die Sutura zu übertragen. Die Sutura öffnet sich, bevor die indirekte Resorption an den Zahnwurzeln der Verankerungszähne zwei bis drei Wochen später einsetzt. In der Sutura palatina mediana kommt es im Rahmen der suturalen Distraction zu einer Ansammlung von Osteoblasten entlang der gestreckten kollagenen Fasern. Das gebildete Osteoid mineralisiert nach 3 Monaten. Neu gebildeter Lamellenknochen in der Sutura zeigt sich in Untersuchungen erst nach einem Jahr.

2.3.3.2. Skelettale Effekte

Auf Grund der engen anatomischen Lagebeziehung der Maxilla zu den umgebenden Strukturen des Mittelgesichts beeinflusst die Durchführung einer suturalen Distraction auch die zirkummaxillären Strukturen. Das V-förmige Öffnungsprinzip bei der suturalen Distraction verläuft nach gängiger Lehrmeinung von anterior nach posterior und von kaudal nach kranial mit einer maximalen Öffnung anterior und kaudal. Aktuelle Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass der Modus der Suturenerweiterung bei jüngeren Patienten nahezu parallel verläuft, während sich die Sutura bei älteren Patienten triangulär erweitert. Der Öffnungsmodus ist in diesem Patientenkollektiv anterior größer als posterior (KINZINGER et al., 2022a; KINZINGER et al., 2023; KINZINGER et al., 2022b). Ursächlich für die morphologischen Veränderungen des Gaumens und damit für die Qualität des Öffnungsmodus sind altersbedingte Veränderungen der transversal verlaufenden pterygopalatinalen und palatomaxillären Suturen (KINZINGER et al., 2022a).

Im Rahmen der suturalen Distraction rotieren beide Kieferhälften um einen Drehpunkt in der frontomaxillären Suture sowohl in der Frontalebene als auch in der Sagittalebene. Mit zunehmendem Alter wandert die Drehachse weiter nach kaudal zum Kraftansatz und erhöht dadurch den Widerstand. Der Hauptwiderstand entsteht demnach in der Sutura zygomaticomaxillaris und in der Sutura frontomaxillaris. Die Sutura zygomaticofrontalis, die Sutura zygomaticotemporalis, die Sutura nasomaxillaris, die Sutura frontonasalis und die Sutura internasalis sind auf Grund der zunehmenden anatomischen Distanz zum Kraftansatz weniger stark beeinflusst (CHACONAS, CAPUTO, 1982; GARDNER, KRONMAN, 1971; LEONARDI et al., 2011; SHETTY et al., 1994; STARNBACH et al., 1966). 1965 beschreiben HAAS et al., dass es allein durch eine Expansion im Oberkiefer zu einer spontanen, sagittalen und vertikalen Positionsänderung der Maxilla kommt (HAAS, 1965). Dieser Effekt ist jedoch in Langzeituntersuchungen nicht mehr nachweisbar (LAGRAVERE et al., 2005b, a).

Im juvenilen Alter führt die forcierte Gaumennahterweiterung im Bereich der Schädelbasis zu moderaten Spannungen und Verformungen. Auf Grund der zunehmenden Rigidität des Keilbeinpfiebers im Erwachsenenalter nehmen diese Spannungen jedoch zu und können zu Mikrofrakturen mit neuralen Schädigungen an der Schädelbasis führen. Insbesondere Spannungen am Foramen rotundum und der Fissura orbitalis superior konnten in einer Finite-Elemente-Analyse von HOHLBERG et al. nachgewiesen werden (HOLBERG, 2005).

Die enge anatomische Lagebeziehung der Maxilla zum Nasenboden führt bei einer Erweiterung der Suture zu einer Abflachung des Gaumendaches und damit zu einer Verbreiterung des Nasenbodens. Da nach dem Hagen-Poiseuillesches Gesetz der Volumenstrom pro Zeit proportional von der 4. Potenz des Radius abhängig ist, hat eine Erweiterung der Suture einen großen Einfluss auf den nasalen Luftstrom. In der Literatur werden positive Effekte bei der Therapie des obstruktiven Schlafapnoesyndroms beschrieben und bei der Umstellung einer pathologischen Mundatmung zur physiologischen Nasenatmung beobachtet (GRAY, 1975; VILLA et al., 2007; VILLA et al., 2011).

Eine teilweise oder vollständige Lösung des Vomers und ein ausgeprägteres Längenwachstum im unteren Drittel des Septums können zu einer spontanen Korrektur einer Septumsdeviation führen (MASPERO et al., 2019).

Die Mandibula rotiert auf Grund der Extrusion der Molaren clockwise nach posterior und kaudal.

2.3.3.3. Dentale Effekte

Die Insertion einer festsitzenden GNE führt zu einer Veränderung der oralen Mundflora. Diese kann in ihrem Gleichgewicht gestört werden. Es bilden sich vermehrt pathogene Mikroorganismen. In der Folge besteht ein höheres Risiko für Erkrankungen des

Zahnhalteapparates (Parodontitis) oder für kariöse Läsionen (BISHARA, STALEY, 1987; MARSH, 2003; SANDIKÇIOĞLU, HAZAR, 1997).

Als Nebenwirkungen einer dental getragenen GNE beschreiben WILMES et al. und MOMMAERTS et al. die Extrusion und Bukkalkippung der Verankerungszähne mit der Gefahr der Gingiva-Rezessionsbildung, der Fenestration der vestibulären Kortikalis und der Resorption der bukkalen Wurzel der Verankerungszähne (MOMMAERTS, 1999; WILMES et al., 2011). Nachgewiesen wurde in Untersuchungen eine Verringerung der vestibulären Knochendicke bei einer Verankerung in der permanenten Dentition. Es ist jedoch noch nicht abschließend geklärt, ob eine Verringerung der vestibulären Knochendicke um 0,73-1,25 mm eine klinische Relevanz hat. Bei einer Verankerung im Milchgebiss veränderte sich die Knochendicke nicht signifikant. Eine Reduktion der vestibulären Knochendicke wurde hier insbesondere an der mesialen Wurzel beobachtet (DIGREGORIO et al., 2019; GARIB et al., 2014).

2.3.4. Behandlungszeitpunkt

Die Distraktion der Sutura palatina mediana ist mit fortschreitendem Alter auf Grund der zunehmenden Interdigitation der Sutura erschwert (MELSEN, 1975). Der Beginn und das Fortschreiten der knöchernen Verzahnung unterliegen starken interindividuellen Schwankungen. Aus diesem Grund gibt es keinen einheitlichen Konsens in der Literatur darüber bis zu welchem Alter eine forcierte Gaumennahterweiterung möglich ist. Nach BACCETTI et al. werden signifikant höhere skelettale Effekte vor dem pubertären Wachstumsgipfel erzielt (BACCETTI et al., 2001). Weitere Untersuchungen kommen in der Literatur auch zu dem Ergebnis, dass eine GNE im Milch- oder frühen Wechselgebiss besonders effektiv ist (PRIMOŽIČ et al., 2012; PRIMOŽIČ et al., 2013b). Bei sehr frühen Behandlungen im reinen Milchgebiss wurde jedoch beobachtet, dass nach transversaler Erweiterung die Sechsjahrmolaren in 34,4% der Fälle wieder eine Kreuzbissrelation und damit ein transversales Defizit aufweisen (MASUCCI et al., 2017). ALPERN et al. empfehlen eine forcierte Gaumennahterweiterung bei weiblichen Patienten bis zu einem Alter von 20 Jahren und bei männlichen Patienten bis zu einem Alter von 25 Jahren (ALPERN, YUROSKO, 1987). Diese wesentlich weiter gefasste Empfehlung zeigt sich auch in den Ergebnissen von KNAUP et al. die feststellten, dass das zunehmende Alter nicht mit der Interdigitation der Sutura korrelieren muss und die Rigidität bei der Erweiterung der Sutura möglicherweise eine andere Ursache haben könnte (KNAUP et al., 2004). Als mögliche Ursache für den zunehmenden Widerstand werden in der Literatur insbesondere die zirkummaxillären Strukturen wie das Sphenoid und das Os zygomaticum genannt (HOLBERG, 2005; KNAUP et al., 2004; KOKICH, 1976; MELSEN, 1975; WERTZ, 1970). Auf Grund der auftretenden Spannungen an der

Schädelbasis wird bei Erwachsenen im Rahmen einer angestrebten Gaumennahterweiterung die chirurgische Trennung der Maxilla vom Keilbein empfohlen (HOLBERG, 2005). Unter einer chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung versteht man eine subtotale Le-Fort-I-Osteotomie. Dabei erfolgt eine Osteotomie entlang der Crista zygomaticoalveolaris, der Apertura piriformis, der Sutura palatina mediana und der pterygomaxillären Pfeiler. Anschließend wird die Suture mittels GNE erweitert.

2.3.5. Ziel der vorliegenden Arbeit

In der Literatur findet sich bisher noch keine morphologische Untersuchung des Gaumens hinsichtlich sagittaler Veränderungen bei Patienten mit Klasse III Anomalie, die mittels maxillärer Protraktion in Kombination mit forcierter Gaumennahterweiterung behandelt wurden. Ziel dieser Arbeit war es somit folgende Fragen zu beantworten:

- Ändern sich Breite, Höhe, Länge, Oberfläche und Volumen des Gaumens durch eine kombinierte forcierte skelettale Erweiterung und postero-anteriore Nachentwicklung des Oberkieferkomplexes unterschiedlich in Abhängigkeit vom Patientenalter?
- Lassen sich die therapeutischen Effekte der forcierten Gaumennahterweiterung bei der transversalen Erweiterung von denen der Gesichtsmaske bei der postero-anterioren Nachentwicklung voneinander differenzieren?
- Sind die Veränderungen metrisch erfassbar und zu klassifizieren?
- Lässt sich eine Empfehlung für den Therapiezeitpunkt ableiten?

3. Material und Methodik

3.1. Ethikantrag

Ein Votum der Ethikkommission war für diese Studie nicht erforderlich, da es sich um eine retrospektive und anonymisierte Studie handelt.

3.2. Patienten

3.2.1. Studiengruppe

Das Patientengut der Studiengruppe umfasste 40 Patienten mit einer Angle Klasse III - Anomalie. 19 weibliche und 21 männliche Patienten wurden innerhalb der Studie untersucht. Die kieferorthopädische Behandlung und Dokumentation des Patientenkollektivs erfolgte in einer Fachzahnarztpraxis für Kieferorthopädie. Alle Teilnehmer der Studie wurden im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung mittels maxillärer Protraktion in Kombination mit einer forcierten Gaumennahterweiterung behandelt. Als Behandlungsgeräte dienten eine GNE-Apparatur mit Hyraxschraube und eine Gesichtsmaske nach Delaire (ORTHANA GmbH, Recklinghausen, Deutschland). Die GNE-Apparatur wurde mit zwei Auflagen an den 1. Milch- bzw. Prämolaren und mit zwei Bändern an den Sechsjahrmolaren der Oberkieferdentition befestigt. Die dabei verwendete „Palatinalschraube Typ S“ der Firma Forestadent (FORESTADENT Bernhard Förster GmbH, Pforzheim, Deutschland) hat eine Hubhöhe von 0,2 mm. Nach Aktivierung der GNE-Apparatur erfolgte eine Retentionszeit von ungefähr sechs Monaten.

Die verwendete Gesichtsmaske nach Delaire wurde mit 400 g pro Seite (AMERICAN ORTHODONTICS, Sheboygan, blue whale, 14 Oz, 5/16) nach der erfolgten forcierten Gaumennahterweiterung eingesetzt.

Einschlusskriterien für das Patientengut war das Vorliegen einer Angle Klasse III. Die Anomalie manifestierte sich in einer maxillären Mikro- und/oder Retrognathie. Es bestand zusätzlich ein transversales Defizit im Oberkiefer (Zahnbogenenge $\geq 3\text{mm}$). Die Auswahl der Patienten erfolgte an Hand der diagnostischen Unterlagen (Befund- und Behandlungsdokumentation sowie dreidimensionaler Modelle). Auf eine vollständige

Oberkieferdentition wurde geachtet. Ausgeschlossen von der Studie wurden Patienten, bei denen ein chirurgisches Vorgehen im Sinne einer Umstellungsosteotomie zur Korrektur der Klasse III notwendig war. Zudem wurden Patienten mit Nichtanlagen in der Oberkieferdentition sowie symmetrischen oder asymmetrischen Seitenzahnaufwanderungen auf Grund eines vorzeitigen Zahnverlustes oder kariöser Läsionen ausgeschlossen.

Das Patientengut wurde entsprechend des chronologischen Alters zum Zeitpunkt der Insertion der GNE-Apparatur in zwei Gruppen unterteilt. Es erfolgte eine Zuordnung in die Gruppe PG1 (Patientengruppe 1) für Patienten <12 Jahre und eine Zuordnung in die Gruppe PG2 (Patientengruppe 2) für Patienten ≥12 Jahre. Das Probandengut der Gruppe PG1 bestand mit neun weiblichen und elf männlichen Probanden insgesamt aus 20 Patienten. Auch die Gruppe PG2 bestand aus 20 Probanden, von denen zehn weiblich und zehn männlich waren. Das durchschnittliche Alter bei Insertion der GNE-Apparatur betrug in der Gruppe PG1 $9,93 \pm 1,36$ Jahre und in der Gruppe PG2 $13,29 \pm 1,03$ Jahre. Die GNE-Apparatur wurde durchschnittlich 22,83-mal aktiviert (PG1 22,80-mal; PG2 22,85-mal). Die Tragedauer der GNE und der Gesichtsmaske betrug durchschnittlich 6,57 Monate (PG1 6,56 Monate; PG2 6,85 Monate). Exakte Angaben zum Alter der Patienten, zur Tragedauer der GNE-Apparatur und der Delaire Maske, zur Aktivierung der GNE-Apparatur, sowie zum Abstand zwischen den dokumentierten Modellen zum Zeitpunkt T1 und T2 können den folgenden Tabellen entnommen werden.

- PG1 = Patientengruppe 1 < 12 Jahre (n = 20)
- PG2 = Patientengruppe 2 ≥ 12 Jahre (n = 20)

	Zeitpunkt
T1 (Anfangsmodell)	Vor Behandlungsbeginn
T2 (Zwischenmodell)	Nach forcierter GNE und Delaire-Maske

Tabelle 1: Zeitpunkt der Modelle T1 und T2

GNE = Gaumennahterweiterung

Gesamte Patientengruppe	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)
Alter bei Insertion GNE (in Jahren)	11,61	± 2,05
Abstand T1 zu T2 (in Monaten)	18,15	± 9,46
Tragedauer GNE (in Monaten)	6,57	± 1,19
Tragedauer Delaire-Maske (in Monaten)	6,13	± 1,24
Anzahl der Aktivierungen GNE	22,83	± 3,73

Tabelle 2: durchschnittliches Alter, durchschnittlicher Abstand T1 zu T2, durchschnittliche Tragedauer der GNE und der Delaire-Maske, durchschnittliche Aktivierung der GNE für die gesamte Patientengruppe

GNE = Gaumennahterweiterung; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung

PG1	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)
Alter bei Insertion GNE (in Jahren)	9,93	± 1,36
Abstand T1 zu T2 (in Monaten)	18,10	± 10,09
Tragedauer GNE (in Monaten)	6,56	± 1,36
Tragedauer Delaire-Maske (in Monaten)	6,14	± 1,20
Anzahl der Aktivierungen GNE	22,80	± 3,91

Tabelle 3: durchschnittliches Alter, durchschnittlicher Abstand T1 zu T2, durchschnittliche Tragedauer der GNE und der Delaire-Maske und durchschnittliche Aktivierung der GNE für die Gruppe PG1

GNE = Gaumennahterweiterung; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung

PG2	Mittelwert (M)	Standardabweichung (SD)
Alter bei Insertion GNE (in Jahren)	13,29	± 1,03
Abstand T1 zu T2 (in Monaten)	18,20	± 8,77
Tragedauer GNE (in Monaten)	6,85	± 1,13
Tragedauer Delaire-Maske (in Monaten)	6,12	± 1,26
Anzahl der Aktivierungen GNE	22,85	± 3,54

Tabelle 4: durchschnittliches Alter, durchschnittlicher Abstand T1 zu T2, durchschnittliche Tragedauer der GNE und der Delaire-Maske und durchschnittliche Aktivierung der GNE für die Gruppe

GNE = Gaumennahterweiterung; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Insgesamt wurden 80 Oberkiefermodelle (40 Modelle der Gruppe PG1 und 40 Modelle der Gruppe PG2) retrospektiv untersucht. Die Modellherstellung erfolgte routinemäßig im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung in einer Fachpraxis für Kieferorthopädie und wurden demnach nicht extra für diese Studie angefertigt. Um die Anonymität der Patienten zu wahren wurden den Patienten individuelle Nummer zugeordnet.

3.3. Methode

3.3.1. Modelle

3.3.1.1. Studiengruppe

Die Modellherstellung des Probandengutes der Studiengruppe erfolgte in einer Fachzahnarztpraxis für Kieferorthopädie. Zu zwei Zeitpunkten wurden im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung zur Dokumentation und Verlaufskontrolle Alginatabformungen des Ober- und Unterkiefers durch eine zahnmedizinische Fachangestellte erstellt. Die Abdrucknahmen erfolgten mittels konfektioniertem Rimlocklöffel. Als Abdruckmaterial wurde das Alginat der Firma Kaniedenta (Yellow Print Alginat, KANIEDENTA GmbH & Co. KG, Herford) verwendet. Im hauseigenen Praxislabor wurden die Abformungen mit Gips der Firma Kaniedenta (Kanistone Classic, Hartgips Typ 3, KANIEDENTA GmbH & Co, Herford) ausgegossen.

Die Herstellung der Modelle erfolgte zu den Zeitpunkten T1 und T2. Der Zeitpunkt T1 beschreibt dabei den Zustand vor der kieferorthopädischen Behandlung. Der Zeitpunkt T2 beschreibt den Zustand nach erfolgter Behandlung mittels Gaumennahterweiterung und maxillärer Protraktion. Die Gipsmodelle wurden anschließend für die digitale Vermessung mit dem iTero element 2+ der Firma Align Technology (Align Technology, Inc., San Jose, CA) eingescannt und der Scan als .stl-Datei gespeichert. Der iTero element 2+ nutzt als Aufnahmetechnik das Verfahren der konfokalen Lasermikroskopie.

3.3.2. Modellanalyse

Die digitalen Datensätze der Oberkiefermodelle der Studiengruppe wurden als .stl-Datei exportiert und in die Software Blender® (Version 2.93; Blender Foundation, Amsterdam, Niederlande) importiert, um eine reproduzierbare Modellvermessung zu ermöglichen.

Die Modelle wurden in der Software dreidimensional ausgerichtet, so dass in der x-Achse die sagittalen Messungen, in der y-Achse die transversalen Messungen und in der z-Achse die vertikalen Messungen erfolgen konnten.

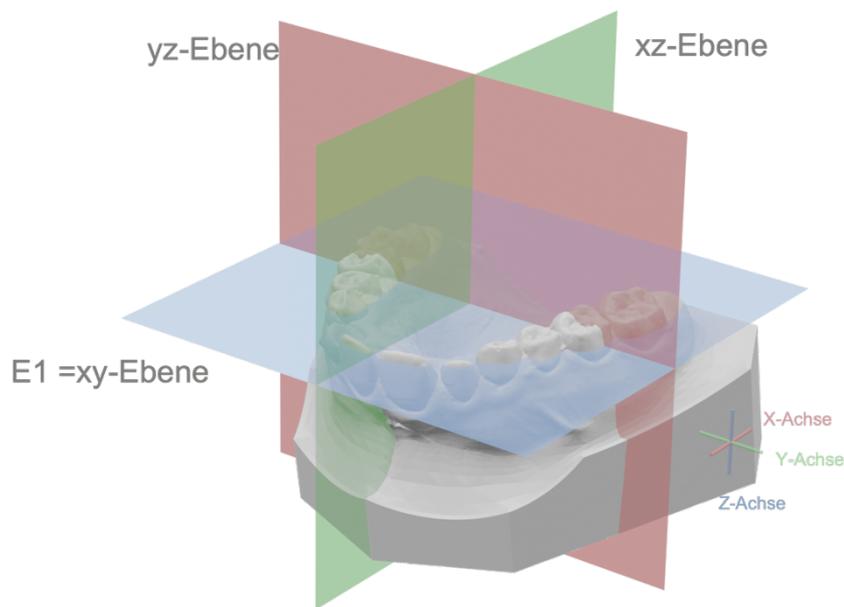


Abbildung 1: dreidimensionale Ausrichtung der Modelle

Die vertikale Ausrichtung der Modelle erfolgte zu einer definierten Gingivaebene E1 (xy-Ebene). Die Bezugspunkte für E1 waren die koronalsten Punkte des palatinalen Gingivasaumes an den ersten Milch- bzw. Prämolaren und der Sechsjahrmolaren.

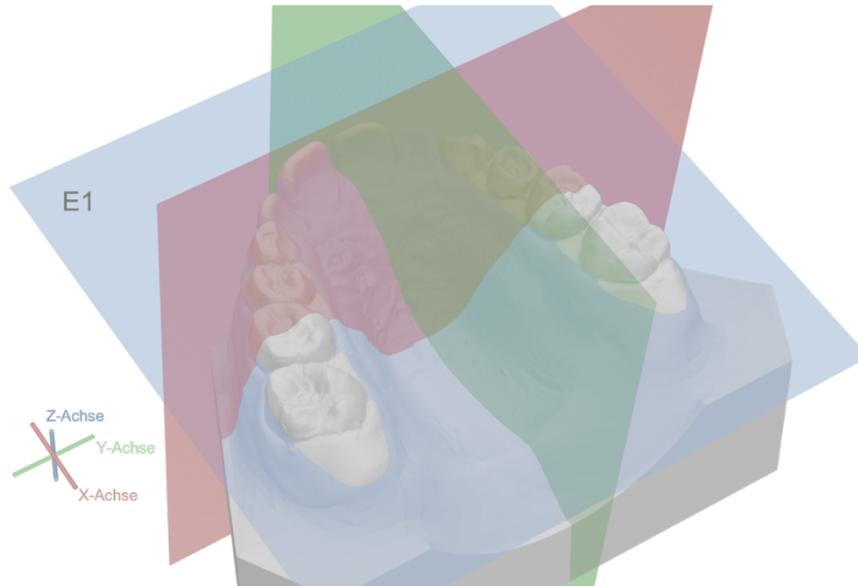


Abbildung 2: Gingivaebene E1

Zusätzlich benötigte man eine Ausrichtung in der y-Achse. Bezugspunkt für diese Ausrichtung war die dentoalveoläre Mittellinie des Oberkiefers. Bei vorhandener dentoalveolärer Mittellinienverschiebung wurde die Mittellinie, um die Abweichung rekonstruiert (Abbildung 1 und 2).

Die dreidimensional ausgerichteten Modelle wurden mit der konstruierten Gingivaebene E1 als .stl-Datei gespeichert und zur Analyse und Vermessung in die Software 3D-Tool-Free (Version 15. 40, 3D-Tool-GmbH & Co. KG, Weinheim, Deutschland) importiert.

3.3.2.1. Transversale Messungen

Mit Hilfe der Software 3D-Tool-Free wurden die anteriore Breite in der zentralen Querfissur des ersten Milch-bzw. Prämolaren und die posteriore Breite der Sechsjahrmolaren in der Kreuzungsstelle der vorderen Längsfissur mit der bukkalen Querfissur gemessen (PONT, 1909).

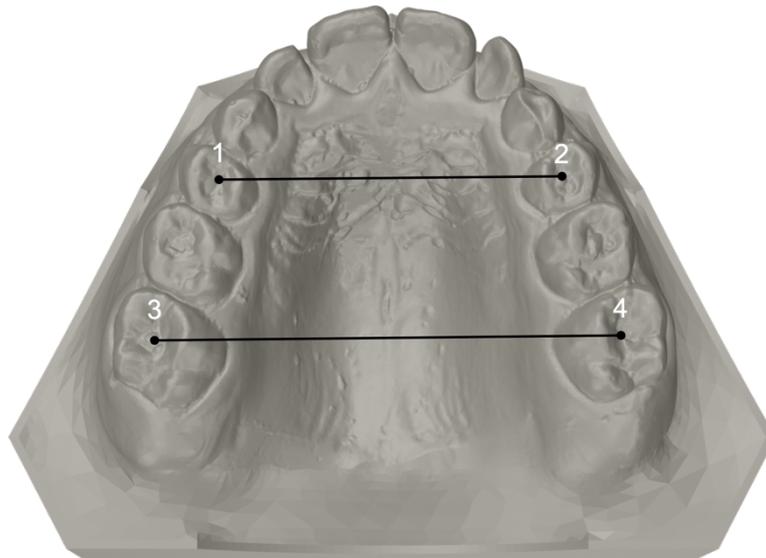


Abbildung 3: Messpunkte Gaumenbreite nach PONT

Zusätzlich wurde die Gaumenbreite palatinal auf Höhe des koronalsten Punktes des Gingivasaumes anterior am 1. Prä- bzw. Milchmolaren und posterior am Sechsjahrmolaren bestimmt (gingival/alveoläre Ebene). Ausgehend von dieser Messung wurde in einem vertikalen Abstand von 6 mm eine weitere Messung in der Transversalen anterior und posterior vorgenommen (skelettale/basale Ebene).

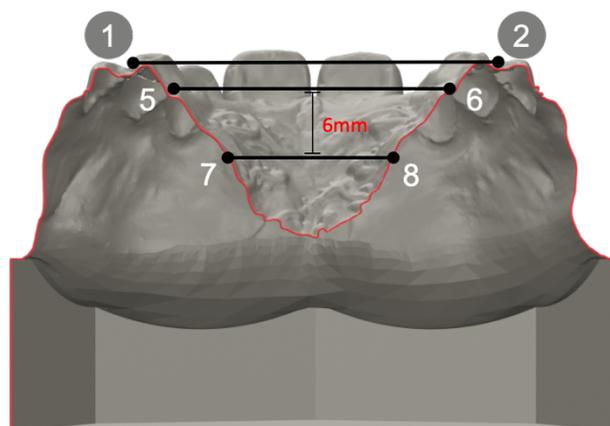


Abbildung 4: Messpunkte Gaumenbreite anterior

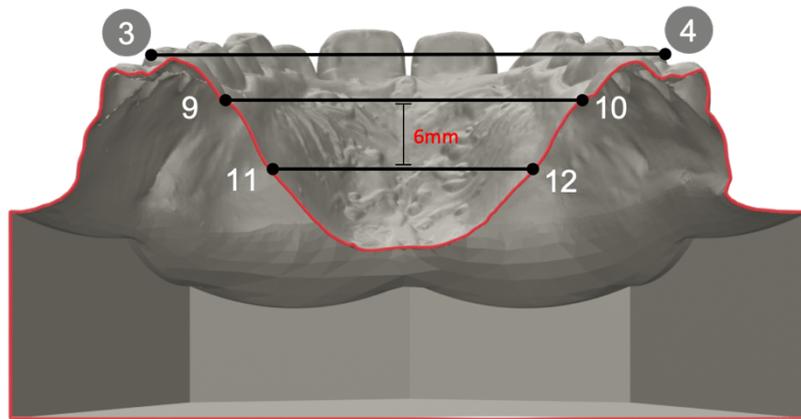


Abbildung 5: Messpunkte Gaumenbreite posterior

3.3.2.2. Gaumenhöhe

Die Gaumenhöhe wurde mit Hilfe eines digitalen Sägeschnittmodells in der yz-Ebene auf Höhe des koronalsten Punktes des Gingivasaumes des 1. Prä- bzw. Milchmolaren (anteriore Gaumenhöhe) bzw. des Sechsjahrmolaren (posteriore Gaumenhöhe) bestimmt. Dabei wurde die Strecke orthogonal zur Gingivaebene E1 gemessen. Als Bezugspunkt für die Höhenmessung galt die Raphe-Median-Linie.

Ausgehend von diesem Bezugspunkt erfolgten zwei weitere Gaumenhöhenmessungen sowohl anterior als auch posterior. In der y-Achse wurde jeweils in einem Abstand von 5 mm zum festgelegten Punkt auf der Raphe-Median-Linie die Gaumenhöhe im ersten als auch im zweiten Quadranten bestimmt.

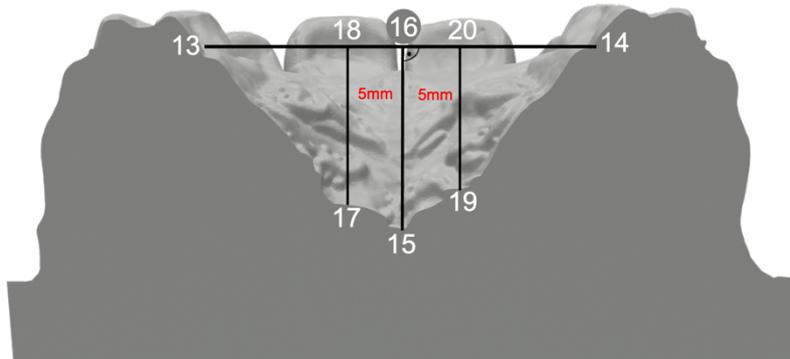


Abbildung 6: Messpunkte Höhe anterior

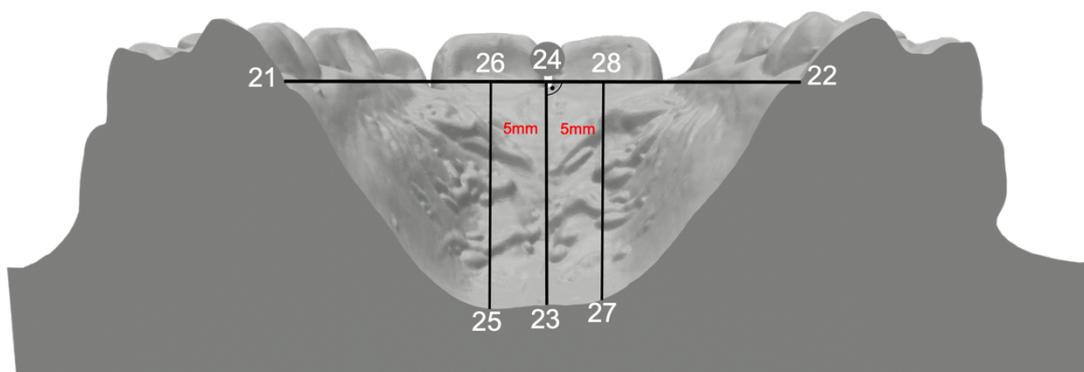


Abbildung 7: Messpunkte Höhe posterior

3.3.2.3. Längenmessung

Die Längenmessung der Oberkiefermodelle erfolgte entlang der Raphe-Median-Linie. Aufgeteilt wurden die Messungen in eine anteriore Strecke und eine posteriore Strecke. Die anteriore Strecke wurde in der x-Achse ausgehend vom 3. Gaumenfaltenpaar bis zur Schneidekante der mittleren Inzisivi gemessen. Zusätzlich erfolgte ausgehend vom Messpunkt am 3. Gaumenfaltenpaar in einem Abstand von 5 mm in der y-Achse jeweils eine zusätzliche Längenmessung im ersten und zweiten Quadranten. Bezugspunkt war auch dabei die Inzisalkante der mittleren Schneidezähne.

Die posteriore Längenmessung erfolgte in der x-Achse ausgehend vom 3. Gaumenfaltenpaar bis zur Tuberebene. Auch posterior erfolgte jeweils im ersten und zweiten Quadranten eine weitere Längenmessung in einem Abstand von 5 mm in der y-Achse vom zweiten Gaumenfaltenpaar ausgehend sowohl im ersten und als auch im zweiten Quadranten.

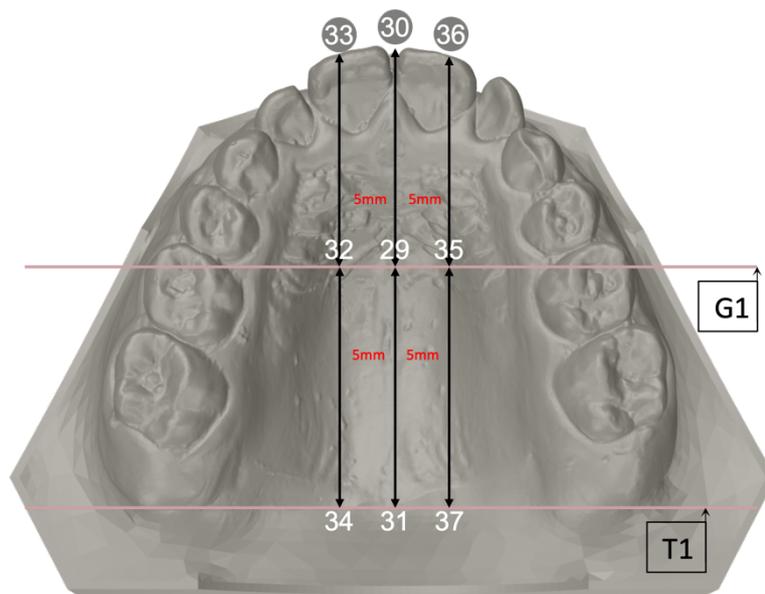


Abbildung 8: Messpunkte Längenmessung

3.3.2.4. Gaumenquotient

Zur Beurteilung der anterioren und posterioren morphologischen Veränderungen des Gaumens wurde der modifizierte Index nach Markwardt verwendet (MARKWARDT, 1965). Mit Hilfe von zwei Streckenmessungen wurde ein Gaumenquotient erstellt, der eine Klassifikation der zugrundeliegenden Gaumenmorphologie ermöglichte. Die gingivale, transversale Streckenmessung in der y-Achse erfolgt auf Höhe der definierten Messpunkte nach PONT anterior an den Milch- bzw. Prämolaren und posterior an den Sechsjähr-Molaren jeweils am koronalsten Punkt des Gingivasaumes (PONT, 1909). Ausgehend von dieser gingivalen Breitenmessung (g) erfolgt die Höhenmessung (h) in der z-Achse rechtwinklig zur Raphe-Median-Linie sowohl anterior als auch posterior median an der tiefsten Stelle des Gaumens. Der errechnete Quotient aus der gemessenen Breite und Höhe (g/h) ermöglicht eine Einteilung in drei Gaumenformen: dem Steilgaumen (anterior bis 2, posterior bis 2,5), dem Normalgaumen (anterior 2,1 bis 2,9, posterior 2,6 bis 3,4) und dem Flachgaumen (anterior ab 3, posterior ab 3,5).

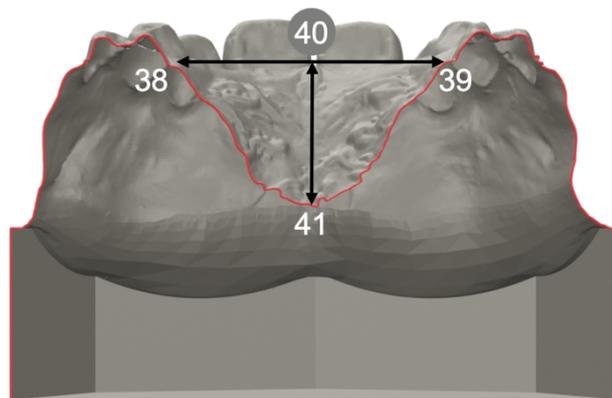


Abbildung 9: Messpunkte Gaumenquotient anterior

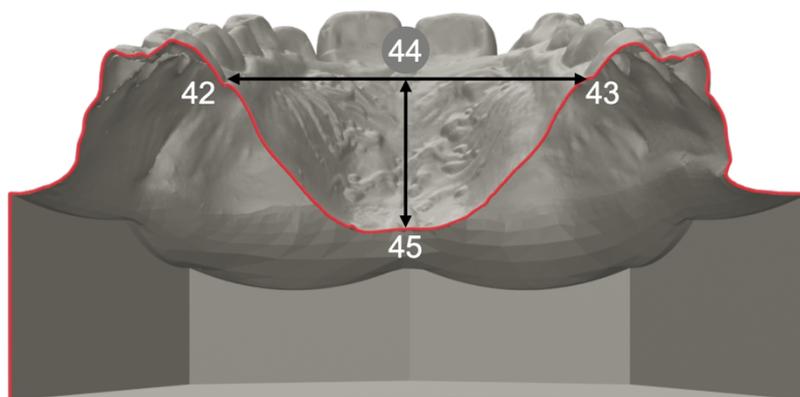


Abbildung 10: Messpunkte Gaumenquotient posterior

3.3.2.5. Alveolarfortsatzwinkel

Die Beurteilung der Gaumenform im Alveolarfortsatzbereich erfolgte nach dem modifizierten Klassifikationsschema nach KIM et al., um morphologische Veränderungen dieser anatomischen Strukturen erfassen zu können (KIM et al., 2008).

In unserer Studie wurde ausgehend vom ersten Quadranten ein Winkel anterior auf Höhe des ersten Prä- bzw. Milchmolaren und ein Winkel posterior auf Höhe des ersten Sechsjahrmolaren bestimmt. Dafür wurde ein Dreieck konstruiert. Die Höhe (h) ausgehend vom tiefsten Punkt des Gaumens ist dabei die Gegenkathete im Dreieck und bildet einen rechten Winkel zur horizontalen Verbindungslinie auf Niveau der gingivalen Breite. Die Länge (l) ausgehend vom koronalsten Punkt des Gingivasaumes bis zum tiefsten Punkt des Gaumens ist die Hypotenuse im Dreieck. Der gesuchte Winkel (α), der sich zwischen der horizontalen Strecke und der Länge ergibt, wurde mit der folgenden Formel berechnet:

$$\text{ArcSin}(\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete (h)}}{\text{Hypotenuse (l)}})$$

In Abhängig vom gemessenen Winkel werden drei Gaumenformen unterschieden. Eine hohe Gaumenform entspricht einem Winkelwert über 45° anterior und 40° posterior, ein flacher Gaumen entspricht einem Winkelwert unter 30° anterior und 25° posterior. Dazwischenliegende Winkelwerte entsprechen einer physiologisch ausgeformten Gaumenform und werden als Normalgaumen bezeichnet.

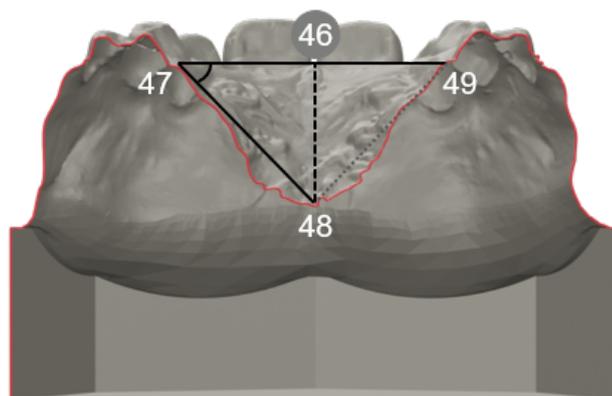


Abbildung 11: Messpunkte Alveolarfortsatzwinkel anterior

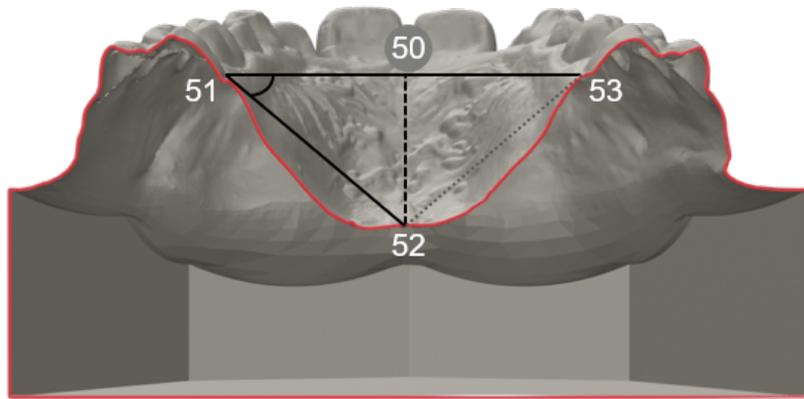


Abbildung 12: Messpunkte Alveolarfortsatzwinkel posterior

3.3.2.6. Gaumenbasiswinkel

Zur Beurteilung der Veränderungen im Gaumengewölbebereich wurde der Winkel β nach LIONE et al. bestimmt (LIONE et al., 2015). Zur Bestimmung des Winkels wurde anterior und posterior ein Dreieck konstruiert: anterior auf Höhe der koronalsten Punkte des Gingivasaumes der ersten Prä- bzw. Milchmolaren und posterior auf Höhe des koronalsten Punkte der Sechsjahrmolaren.

Die gingivale Breite wurde anterior und posterior eingezeichnet. Von den Zentren der dento-gingivalen Übergänge anterior und posterior des ersten und zweiten Quadranten ausgehend spannt sich das Dreieck in Richtung Gaumengewölbe auf und verbindet sich in einem gemeinsamen Punkt: dem tiefsten Punkt des Gaumengewölbes auf der Raphe-Median-Ebene. Zwischen diesen beiden Schenkeln liegt der gemessene Winkel Beta.

Winkelwerte über 120° anterior und 130° posterior entsprechen einem Flachgaumen, unter 90° anterior und 100° posterior einem Steilgaumen. Ein Normalgaumen liegt jeweils bei den dazwischenliegenden Winkelwerten vor.

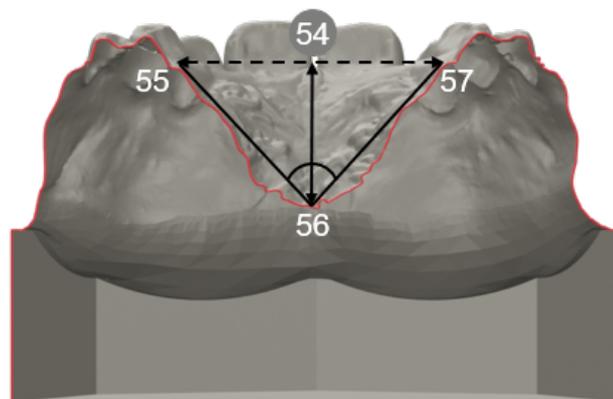


Abbildung 13: Messpunkte Gaumenbasiswinkel anterior

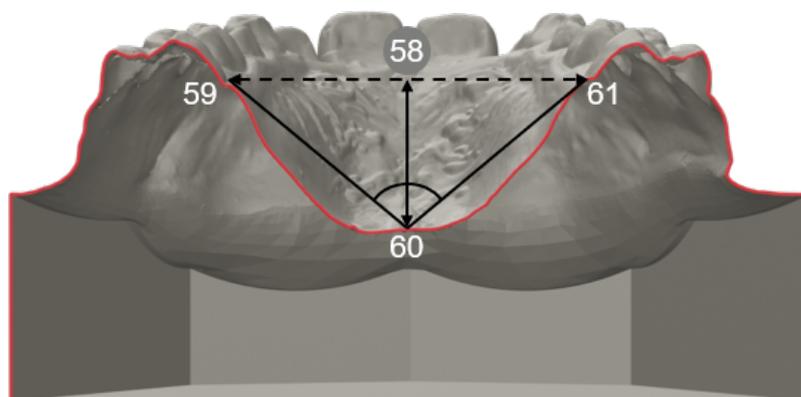


Abbildung 14: Messpunkte Gaumenbasiswinkel posterior

3.3.2.7. Volumenmessung und Flächenmessung

Für die Volumenbestimmung wurde die Software Blender® (Version 2.93; Blender Foundation, Amsterdam, Niederlande) verwendet. Die dreidimensional ausgerichteten Modelle wurden in die Software reimportiert. Die Methodik der Volumen- und Flächenmessungen erfolgte analog zu GRACCO (GRACCO et al., 2010).

Am Oberkiefermodell wurde ein Volumenkörper konstruiert. Dieser Volumenkörper bestand aus drei begrenzenden Oberflächen: der errechneten, gingivalen Oberfläche F1, der konstruierten dorsalen Abschlussebene D1 und der durch das digitale Modell vorgegebenen anatomischen Gaumenoberfläche F2.

Für die gingivale Begrenzung wurden an allen Zähnen Linien am koronalsten Punkt des Gingivasaumes vom ersten zum zweiten Quadranten gezogen und anschließend zu der Gingiva-Oberfläche F1 vereint. Die dorsale Abschlussebene D1 verlief senkrecht zur Gingivaebene E1 und durch die zwei distalsten Punkte der Sechsjahrmolaren. Die dritte Oberfläche entsprach der anatomischen Gaumenoberfläche F2 des jeweiligen Patienten.

Die Volumina wurden in mm³ angegeben.

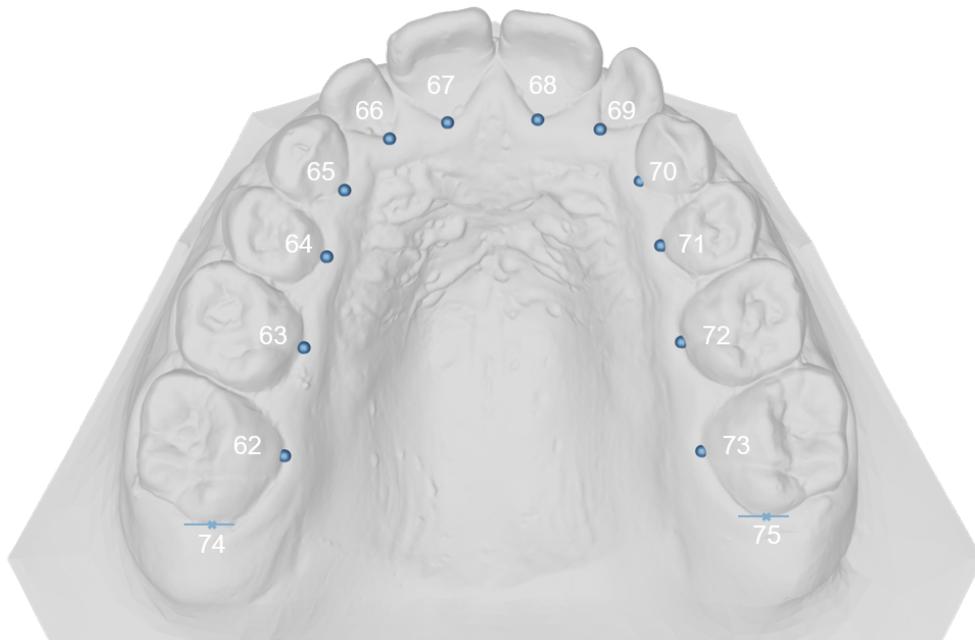


Abbildung 15: Messpunkte Volumenmessung

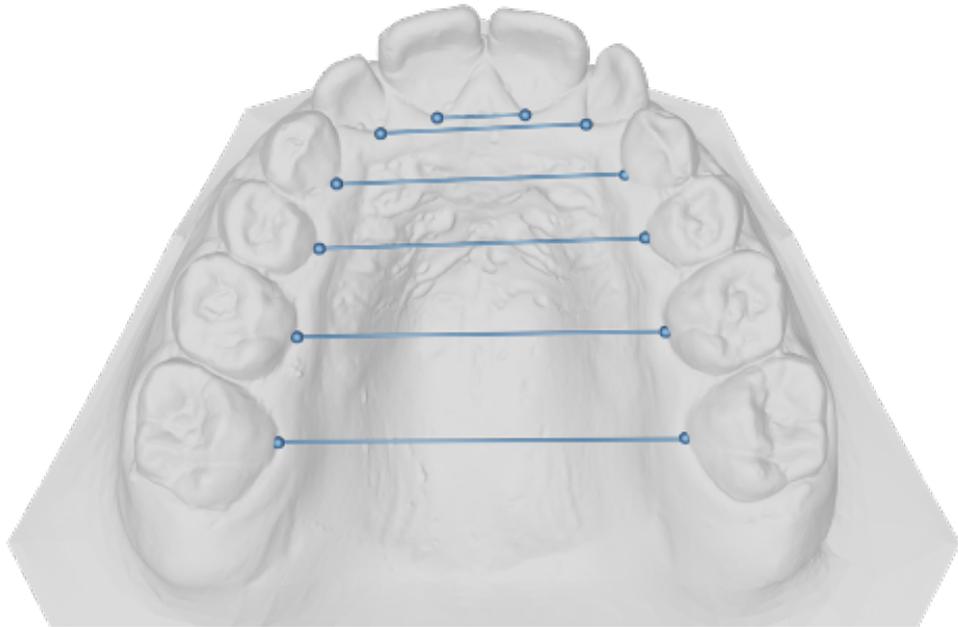


Abbildung 16: Verbindungslinien der Messpunkte Volumenmessung

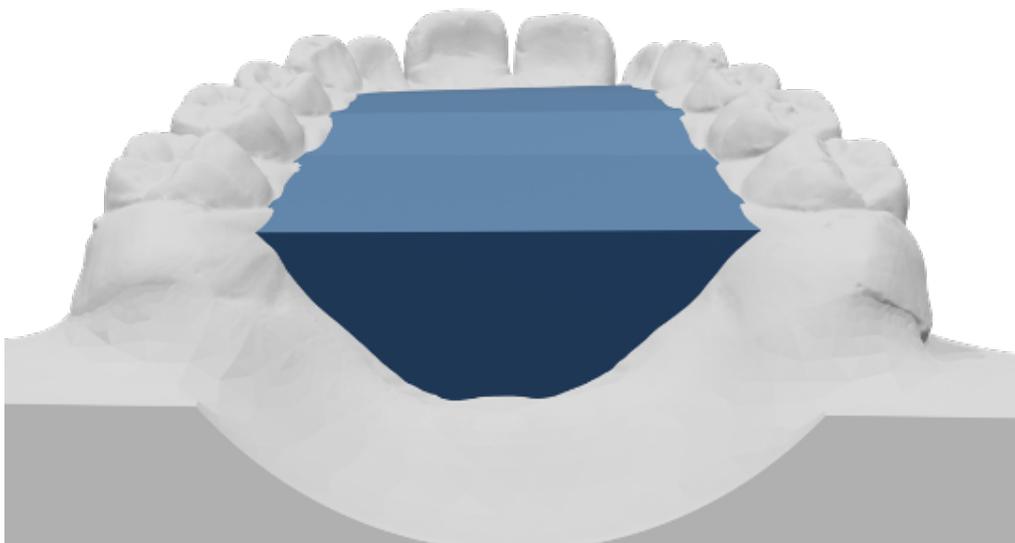


Abbildung 17: Volumenmessung

Die Oberflächenmessung des Gaumens errechnete sich aus dem gemessenen Volumen. Um die Oberfläche des Gaumens zu berechnen wurde vom Volumenhohlkörper die dorsale Begrenzungs-Ebene D1 und die Gingivaoberfläche F1 entfernt, um die Oberfläche des digitalen Oberkiefermodells zu erhalten. Der Flächeninhalt wurde in mm² angegeben.

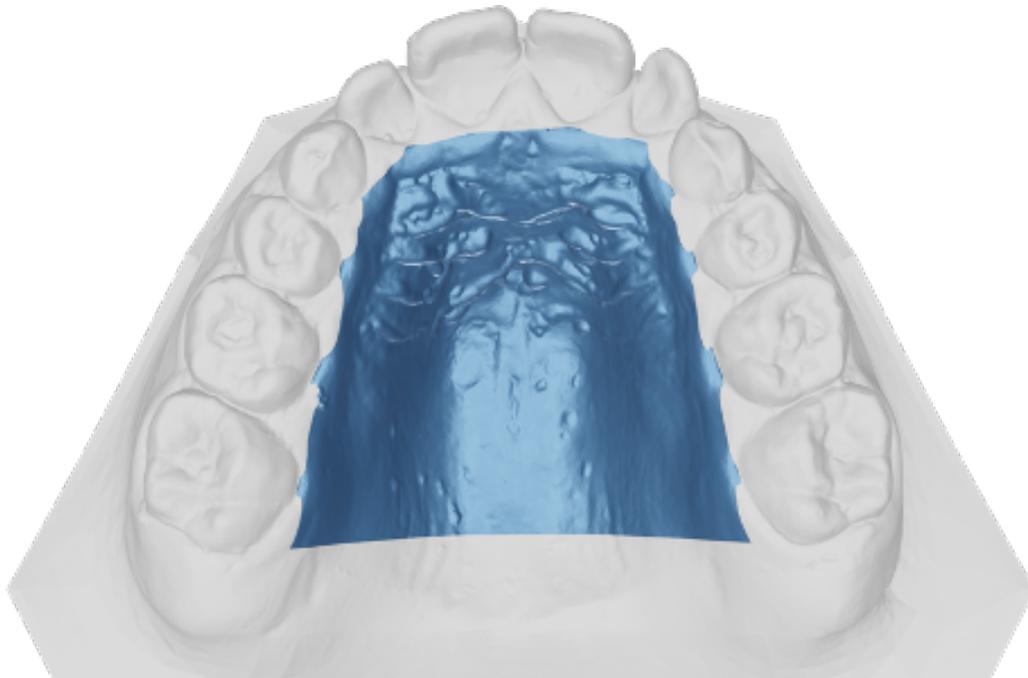


Abbildung 18: Flächenmessung

Messstrecke/ -punkte	Definition
Transversale Messungen	
1-2	Breite: zentrale Querfissur von 54&64 bzw. 14&24
3-4	Breite: Kreuzungsstelle der vorderen Längsfissur mit der bukkalen Querfissur von 16&26
5-6	Breite: koronaler Punkt am Gingivaum 54&64 bzw. 14&24
7-8	Breite: Gingivaum -6 mm 54&64 bzw. 14&24
9-10	Breite: koronaler Punkt am Gingivaum 16&26
11-12	Breite: Gingivaum -6 mm 16&26
Gaumenhöhe	
13	koronaler Gingivarand 54 bzw. 14
14	koronaler Gingivarand 64 bzw. 24
15	Gaumenmitte anterior auf der Raphe-Median-Linie
16	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
15/16	Höhe anterior median
17	Gaumenmitte anterior 5 mm rechts der Raphe-Median-Linie
18	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
17/18	Höhe anterior 5 mm rechts der Raphe-Median-Linie
19	Gaumenmitte anterior 5 mm links der Raphe-Median-Linie
20	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
19/20	Höhe anterior 5 mm links der Raphe-Median-Linie
21	koronaler Gingivarand 16
22	koronaler Gingivarand 26
23	Gaumenmitte posterior auf der Raphe-Median-Linie
24	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
23/24	Höhe posterior median
25	Gaumenmitte posterior 5 mm rechts der Raphe-Median-Linie
26	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
25/26	Höhe posterior 5 mm rechts der Raphe-Median-Linie
27	Gaumenmitte anterior 5 mm links der Raphe-Median-Linie
28	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
27/28	Höhe posterior 5 mm links der Raphe-Median-Linie
Längenmessung	
29	Gaumenmitte auf RML regio 3. GFP
30	Schneidekante der mittleren Inzisivi

31	Schnittpunkt mit der Tuberebene
29/30	Länge anterior median
29/31	Länge posterior median
32	Gaumenmitte 5 mm rechts der RML regio 3. GFP
33	Schneidekante der mittleren Inzisivi
34	Schnittpunkt mit der Tuberebene
32/33	Länge anterior 5 mm rechts der RML
32/34	Länge posterior 5 mm rechts der RML
35	Gaumenmitte 5 mm links der RML regio 3. GFP
36	Schneidekante der mittleren Inzisivi
37	Schnittpunkt mit der Tuberebene
35/36	Länge anterior 5 mm links der RML
35/37	Länge posterior 5 mm links der RML
Gaumenquotient	
38	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 54/14
39	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 64/24
38-39	anteriore gingivale Breitenmessung (g)
40	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
41	tiefster medianer Punkt des Gaumens
40/41	Höhenmessung (h) senkrecht zur Gingivaebene
42	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 16
43	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 26
42-43	posteriore gingivale Breitenmessung (g)
44	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
45	tiefster medianer Punkt des Gaumens
44/45	Höhenmessung (h) senkrecht zur Gingivaebene
Alveolarfortsatzwinkel	
46	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
47	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 54 bzw. 14
48	tiefster Punkt der Gaumenmitte anterior
47/48	Diagonale durch die Punkte 47 und 48 (l)
46/48	Vertikale senkrecht zur Gingivaebene E1 durch den Punkt 48 (h)
49	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 64 bzw. 24
48/49	Diagonale durch die Punkte 48 und 49
50	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1

51	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 16
52	tiefster Punkt der Gaumenmitte posterior
51/52	Diagonale durch die Punkte 51 und 52 (l)
50/52	Vertikale senkrecht zur Gingivaebene E1 durch den Punkt 52 (h)
53	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 26
52/53	Diagonale durch die Punkte 52 und 53
Gaumenbasiswinkel	
54	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
55	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 54 bzw. 14
56	tiefster Punkt der Gaumenmitte anterior
55/56	Diagonale durch die Punkte 55 und 56 (l)
54/56	Vertikale senkrecht zur Gingivaebene E1 durch den Punkt 56 (h)
57	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 64 bzw. 24
56/57	Diagonale durch die Punkte 56 und 57
58	Schnittpunkt mit der Gingivaebene E1
59	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 16
60	tiefster Punkt der Gaumenmitte posterior
59/60	Diagonale durch die Punkte 59 und 60 (l)
58/60	Vertikale senkrecht zur Gingivaebene E1 durch den Punkt 60 (h)
61	koronalster Punkt des Gingivasaumes an Zahn 26
60/61	Diagonale durch die Punkte 60 und 61
Volumen/Fläche	
62	koronalster Punkt des Gingivasaumes 16
63	koronalster Punkt des Gingivasaumes 15/55
64	koronalster Punkt des Gingivasaumes 14/54
65	koronalster Punkt des Gingivasaumes 13/53
66	koronalster Punkt des Gingivasaumes 12
67	koronalster Punkt des Gingivasaumes 11
68	koronalster Punkt des Gingivasaumes 21
69	koronalster Punkt des Gingivasaumes 22
70	koronalster Punkt des Gingivasaumes 23/63
71	koronalster Punkt des Gingivasaumes 24/64
72	koronalster Punkt des Gingivasaumes 25/65

73	koronalster Punkt des Gingivasaumes 26
74	distalster Punkt 16
75	distalster Punkt 26

Tab. 5a: Übersicht über die verwendeten Messpunkte;

3. GFP = 3. Gaumenfaltenpaar, RML = Raphe-Median-Linie

Ebene	Definition
E1	Gingivaebene: koronalster Punkt Gingivasaum 54/14; 64/24; 16,26
D1	dorsale Abschlussebene: senkrecht zur Ebene E1 durch die distalsten Punkte 16 und 26

Tabelle 5b: Übersicht über die verwendeten Ebenen

3.3.3. Diagramme

Die grafische Aufbereitung ausgewählter Parameter erfolgte mithilfe der Software Microsoft® Office Excel (Microsoft Ireland Operations Limited, Ireland).

Alle Diagramme unterscheiden farblich die Zeitpunkte T1 und T2, um einen direkten Vergleich der prä- und posttherapeutischen Messergebnisse zu veranschaulichen. Die Daten, die dem Zeitpunkt T1 zugeordnet sind werden farblich blau hervorgehoben. Die Daten des Zeitpunktes T2 werden dagegen orange visualisiert. Von den Parametern Gaumenbreite, Gaumenhöhe, Gaumenlänge und Gesamtvolumen/Gesamtfläche werden die Daten in vier Diagrammen für jeden Parameter dargestellt. Die Gaumenbreite wird auf dentaler, gingivaler/alveolärer und basaler/skelettaler Ebene zu den Zeitpunkten T1 und T2 für die Patientengruppe PG1 und PG2 in Form eines Balkendiagrammes dargestellt. Zusätzlich erfolgt eine Unterteilung der Variablen für die anterioren und die posterioren Daten. Diese werden in separaten Grafiken voneinander betrachtet. Die Gaumenhöhe wird analog dazu innerhalb der Gruppe PG1 und der Gruppe PG2 als Säulendiagramm visualisiert. Zusätzlich werden ebenso die anterioren und posterioren Daten getrennt voneinander betrachtet. Veranschaulicht werden die Messdaten auf der Raphe-Median-Linie sowie 5 mm rechts und links davon.

Die Gaumenlänge wird für die Gruppe PG1 und die Gruppe PG2 als Balkendiagramm dargestellt. Ausgehend vom 3. Gaumenfaltenpaar werden die Daten anterior und posterior für die drei Variablen 3. Gaumenfaltenpaar sowie 5 mm rechts und links des 3. Gaumenfaltenpaares aufgezeigt.

Beim Gesamtvolumen und bei der Gesamtfläche werden die Diagramme für die Gruppe PG1 und PG2 als Flächendiagramm visualisiert. Innerhalb der Gruppen erfolgte ebenso eine grafisch differenzierte Aufbereitung an Hand der Zeitpunkte T1 und T2.

3.3.4. Statistische Analyse

Die Datenerhebung erfolgte mit Hilfe der 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 Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mittels Shapiro-Will-Test. Intragruppenvergleiche zu T1 und T2 wurde mittels abhängigem t-test berechnet. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen wurden mit Hilfe der ANOVA Varianzanalyse ermittelt. Für die Varianzhomogenität kam der Levene-Test und für den paarweisen Mittelwertvergleich der Tukey-Test zur Anwendung.

Für jede Variable wurden Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) sowie das Konfidenzintervall 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 kombinierten Methodenfehlers (MF) nach DAHLBERG (DAHLBERG, 1940) wurden nach einem Zeitraum von drei Monaten 20% der Modelle willkürlich ausgewählt und erneut von demselben Untersucher vermessen. Dabei wurde der Methodenfehler für die Messstrecken der Höhe, der Breite und der Länge, für die Winkelmessung und die Messung der Fläche und des Volumens mit folgender Formel berechnet:

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

MF = Methodenfehler

d = Differenz der ersten Messung und der Nachmessung

n = Anzahl der Messungen

Ziel war es die Validität der Messmethode zu ermitteln, wobei d die Differenz zwischen zwei Messergebnissen und n die Zahl der Zweifachmessungen sind. Der MF lag in der vorliegenden Studie für die linearen und angulären sowie für die Prozentwerte der Volumen- und Flächenmessungen <1.

Messtrecke/Messung	Methodenfehler nach Dahlberg
Breite (mm)	0,32
Höhe (mm)	0,28
Länge (mm)	0,23
Winkel (°)	0,24
Fläche (cm ²)	0,42%
Volumen (cm ³)	0,53%

Tab. 6: Methodenfehler nach Dahlberg

4. Ergebnisse

4.1. Allgemein

In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) für die Parameter Gaumenbreite, Gaumenhöhe, Gaumenlänge, Gaumenquotient, Alveolarfortsatzwinkel, Gaumenbasiswinkel, Gaumenfläche und Gaumenvolumen zu den Zeitpunkten T1 und T2 dargestellt. Zudem wurden von den Differenzen der jeweiligen Parameter zwischen dem Anfangsmodell und dem Zwischenmodell ebenfalls die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen bestimmt. Für jeden Parameter gibt es eine Tabelle, der die Mittelwerte und die Standardabweichungen sowie die p-Werte innerhalb (p intra) für die gesamte Patientengruppe sowie die Gruppe PG1 und PG2 zeigt. Zusätzlich gibt es für jeden Parameter eine Tabelle, der die p-Werte zwischen (p inter) den beiden Gruppen darstellt. Signifikante Werte wurden im Intragruppenvergleich und im Intergruppenvergleich farblich rot dargestellt.

4.2. Gaumenbreite

4.2.1. Veränderungen der Gaumenbreite innerhalb der Gruppen

In der Gesamtgruppe vergrößert sich die gemessene, Gaumenbreite im Rahmen des Beobachtungszeitraums von T1 zu T2 auf dentaler, gingivaler und basaler Ebene sowohl anterior als auch posterior höchstsignifikant ($p < 0,001$).

Die Beträge auf skelettaler Ebene sind in allen Behandlungsgruppen sowohl anterior als auch posterior geringer als auf den dentalen und gingivalen Ebenen.

Die Breitenzunahme auf skelettaler Ebene liegt in der Gesamtgruppe anterior bei $1,24 \pm 1,94$ mm und posterior bei $1,12 \pm 1,56$ mm, während auf dentaler Ebene eine Breitenzunahme anterior von $3,21 \pm 1,98$ mm und posterior von $2,88 \pm 2,67$ mm beobachtet wird.

In der Gruppe PG1 werden auf allen drei Ebenen posterior größere, höchstsignifikante ($p < 0,001$) Messwerte für die Breitenzunahme gemessen als anterior. Auf gingivaler Ebene nimmt in der Gruppe PG1 zum Beispiel posterior die Breite um $3,04 \pm 2,12$ mm und anterior um $2,10 \pm 1,66$ mm zu.

Im Gegensatz dazu zeigt sich in der Gruppe PG2 anterior auf allen drei Ebenen eine größere Breitenzunahme. In dieser Gruppe liegt zum Beispiel die Breitenzunahme anterior auf gingivaler Ebene bei $3,09 \pm 1,95$ mm und posterior auf gingivaler Ebene bei $2,31 \pm 2,31$ mm. Diese Zunahme der Messwerte ist in der Gruppe PG2 auf dentaler und gingivaler Ebene sowohl anterior als auch posterior höchstsignifikant ($p < 0,001$).

Gaumenbreite				
Variable linear [mm]	T1 (M ± SD)	T2 (M ± SD)	$\Delta T2-T1$ (M ± SD)	p (intra)
Gesamt				
anterior, dental	$34,69 \pm 2,63$	$37,91 \pm 3,03$	$3,21 \pm 1,98$	<0,001 ***
anterior, gingival/alveolär, GS	$26,68 \pm 2,41$	$29,28 \pm 2,72$	$2,60 \pm 1,86$	<0,001 ***
anterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	$13,09 \pm 3,12$	$14,33 \pm 3,25$	$1,24 \pm 1,94$	<0,001 ***
posterior, dental	$45,75 \pm 3,44$	$48,63 \pm 3,43$	$2,88 \pm 2,67$	<0,001 ***
posterior, gingival/alveolär, GS	$33,08 \pm 2,70$	$35,75 \pm 3,00$	$2,67 \pm 2,22$	<0,001 ***
posterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	$22,70 \pm 4,18$	$23,82 \pm 4,41$	$1,12 \pm 1,56$	<0,001 ***
PG 1				
anterior, dental	$33,92 \pm 2,77$	$36,94 \pm 3,72$	$3,02 \pm 1,80$	<0,001 ***
anterior, gingival/alveolär, GS	$26,35 \pm 2,71$	$28,45 \pm 3,32$	$2,10 \pm 1,66$	<0,001 ***
anterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	$12,37 \pm 3,37$	$13,23 \pm 3,33$	$0,86 \pm 1,65$	0,031 *
posterior, dental	$44,22 \pm 3,46$	$47,58 \pm 3,09$	$3,36 \pm 2,56$	<0,001 ***
posterior, gingival/alveolär, GS	$31,73 \pm 2,42$	$34,77 \pm 2,78$	$3,04 \pm 2,12$	<0,001 ***
posterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	$20,34 \pm 3,97$	$22,02 \pm 4,34$	$1,68 \pm 1,11$	<0,001 ***
PG 2				
anterior, dental	$35,46 \pm 2,31$	$38,87 \pm 1,76$	$3,41 \pm 2,17$	<0,001 ***
anterior, gingival/alveolär, GS	$27,02 \pm 2,07$	$30,11 \pm 1,63$	$3,09 \pm 1,95$	<0,001 ***
anterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	$13,82 \pm 2,74$	$15,44 \pm 2,82$	$1,62 \pm 2,17$	0,003 **
posterior, dental	$47,28 \pm 2,73$	$49,67 \pm 3,51$	$2,40 \pm 2,75$	<0,001 ***
posterior, gingival/alveolär, GS	$34,43 \pm 2,30$	$36,74 \pm 2,95$	$2,31 \pm 2,31$	<0,001 ***
posterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	$25,05 \pm 2,91$	$25,61 \pm 3,80$	$0,57 \pm 1,77$	0,167 NS

Tabelle 7: Gaumenbreite

Darstellung der Breitenmessungen anterior (54-64, 14-24) und posterior (16-26) auf drei Ebenen: dental, gingival/alveolär; und basal/skelettal für die Gruppe PG1, PG2 und die Gesamtgruppe (vgl. Messpunkte Tab. 5)

GS = Gingivasaum; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS = nicht signifikant

4.2.2. Veränderung der Gaumenbreite zwischen den Gruppen

Der Intergruppenvergleich zeigt in der jüngeren Gruppe PG1 (Alter < 12 Jahre) posterior auf skelettaler Ebene eine signifikant ($p=0,024$) größere Breitenzunahme als in der älteren Gruppe PG2 (Alter ≥ 12 Jahre).

Variable	Intergruppenvergleich (p inter) PG1 versus PG2
anterior, dental	0,541 ^{NS}
anterior, gingival/alveolär, GS	0,093 ^{NS}
anterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	0,221 ^{NS}
posterior, dental	0,258 ^{NS}
posterior, gingival/alveolär, GS	0,306 ^{NS}
posterior, basal/skelettal, GS – 6 mm	0,024 *

Tabelle 8: Gaumenbreite

Intergruppenvergleich der Breitenveränderung anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26) auf dentaler, gingivaler/alveolärer und skelettaler/basaler Ebene

GS = Gingivasaum; Signifikanzbereiche: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$; NS= nicht signifikant.

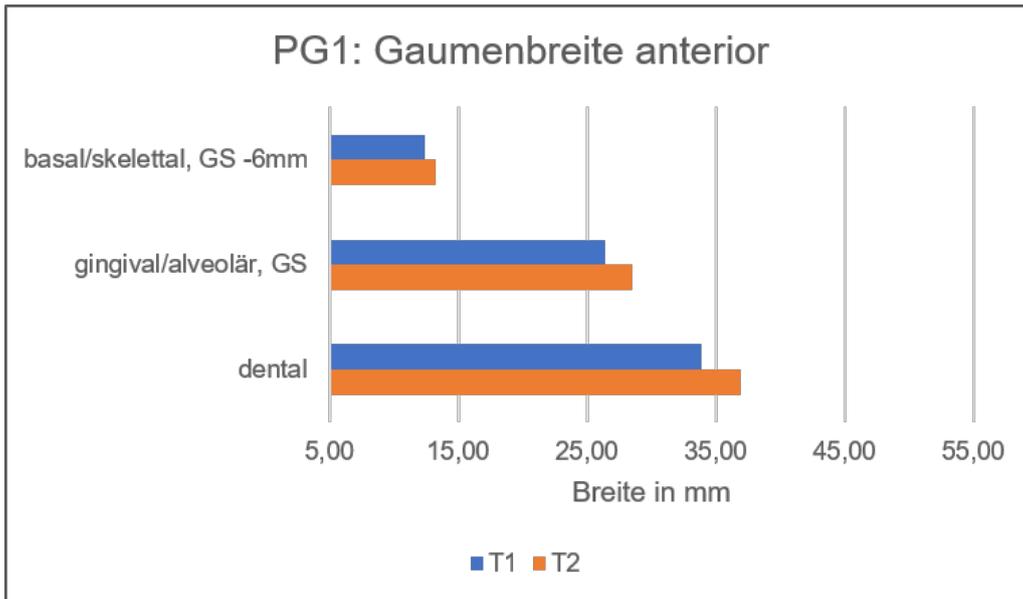


Abbildung 19: anteriore Gaumenbreite der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

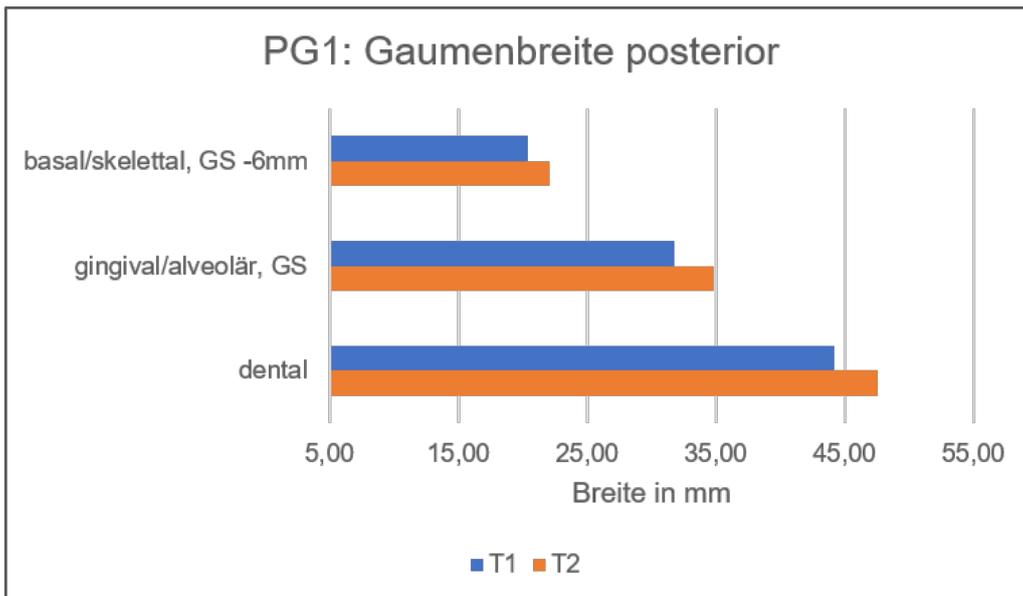


Abbildung 20: posteriore Gaumenbreite der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

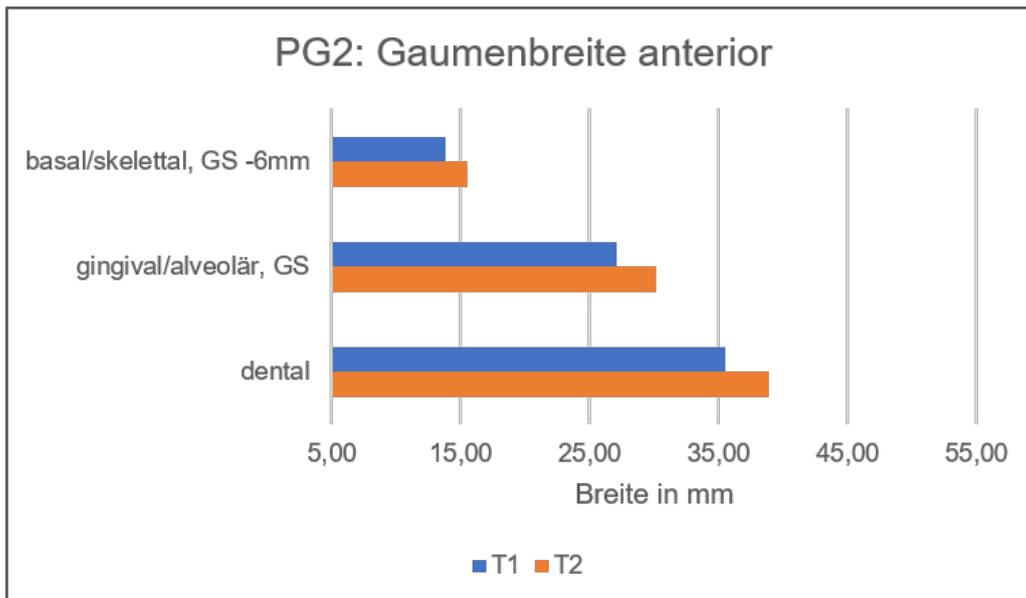


Abbildung 21: anteriore Gaumenbreite der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

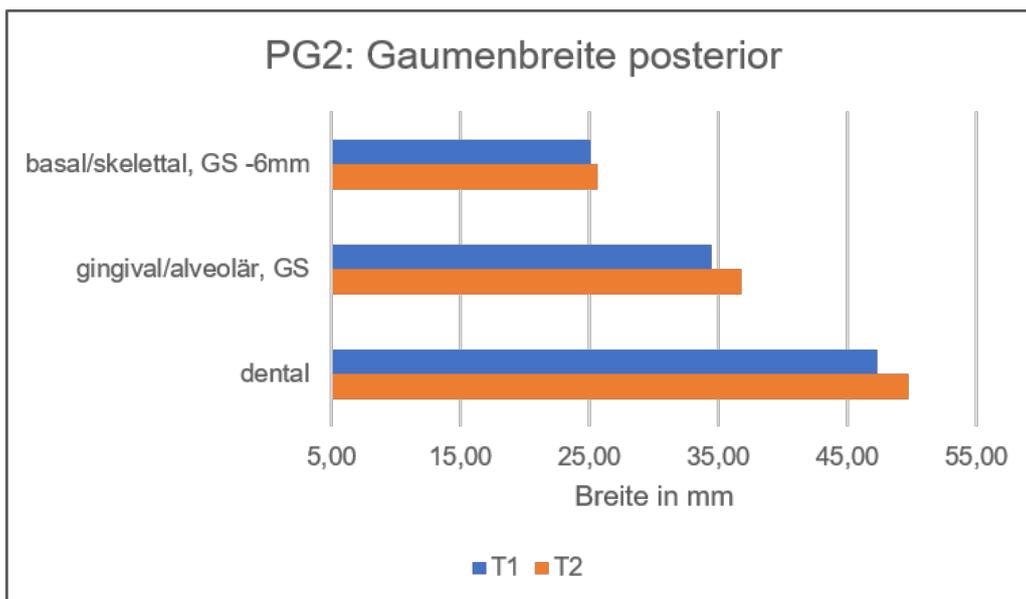


Abbildung 22: posteriore Gaumenbreite der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

4.3. Gaumenhöhe (Frontalebene)

4.3.1. Veränderungen in der Gaumenhöhe innerhalb der Gruppen

In der Gesamtgruppe zeigt sich im posterioren Bereich unter der Behandlung eine höchstsignifikante ($p < 0,001$) Zunahme der Höhen sowohl median ($1,01 \pm 0,91$ mm) als auch für die zwei Messungen jeweils 5 mm rechts ($0,98 \pm 1,04$ mm) und 5 mm links ($1,02 \pm 0,99$ mm) der Raphe-Median-Linie. Im anterioren Bereich sind die Veränderungen der Höhen 5 mm rechts der Raphe-Median-Linie hochsignifikant, 5 mm links der Raphe-Median-Linie signifikant und median nicht signifikant.

Das geringe Signifikanzniveau der anterioren Höhenzunahme der Gesamtgruppe zeigt sich insbesondere in den anterioren Messergebnissen Gruppe PG1. Es fällt im anterioren Bereich auf, dass es an allen drei Messpunkten zu keiner signifikanten Höhenzunahme kommt, während die Höhenzunahme im posterioren Bereich an allen drei Messpunkten höchstsignifikant ($P < 0,001$) zunimmt.

Auch in der Gruppe PG2 zeigt sich anterior ein niedrigeres Signifikanzniveau der Höhenzunahme als posterior. Der Niveauunterschied ist jedoch deutlich geringer als in der jüngeren Gruppe PG1. Es wird anterior in der Gruppe PG2 an allen Messpunkten eine hochsignifikante ($p < 0,01$) Höhenzunahme beobachtet und posterior eine höchstsignifikante ($p < 0,001$) Höhenzunahme. Median nimmt die Gaumenhöhe in dieser Gruppe anterior um $0,73 \pm 1,09$ mm und posterior um $0,98 \pm 0,96$ mm zu.

Gaumenhöhe				
Variable linear [mm]	T1 (M ± SD)	T2 (M ± SD)	ΔT2-T1 (M ± SD)	p (intra)
Gesamt				
anterior, median, RML	10,03 ± 2,15	10,34 ± 2,14	0,31 ± 1,21	0,110 ^{NS}
anterior, 5 mm rechts RML	8,05 ± 2,17	8,50 ± 2,31	0,45 ± 1,32	0,037 *
anterior, 5 mm links RML	8,17 ± 2,17	8,77 ± 2,27	0,60 ± 1,27	0,005 **
posterior, median, RML	13,18 ± 2,21	14,18 ± 2,43	1,01 ± 0,91	<0,001 ***
posterior, 5 mm rechts RML	12,13 ± 2,37	13,11 ± 2,65	0,98 ± 1,04	<0,001 ***
posterior, 5 mm links RML	12,18 ± 2,42	13,20 ± 2,47	1,02 ± 0,99	<0,001 ***
PG1				
anterior, median, RML	9,29 ± 1,71	9,19 ± 1,55	-0,10 ± 1,20	0,714 ^{NS}
anterior, 5 mm rechts RML	7,51 ± 2,03	7,54 ± 2,19	0,03 ± 1,25	0,913 ^{NS}
anterior, 5 mm links RML	7,54 ± 2,17	7,74 ± 2,22	0,19 ± 1,11	0,445 ^{NS}
posterior, median, RML	12,10 ± 1,56	13,14 ± 1,95	1,04 ± 0,87	<0,001 ***
posterior, 5 mm rechts RML	10,87 ± 1,92	11,84 ± 2,43	0,98 ± 0,96	<0,001 ***
posterior, 5 mm links RML	10,87 ± 1,89	11,94 ± 2,11	1,06 ± 0,93	<0,001 ***
PG2				
anterior, median, RML	10,76 ± 2,33	11,49 ± 2,05	0,73 ± 1,09	0,008 **
anterior, 5 mm rechts RML	8,59 ± 2,21	9,46 ± 2,05	0,87 ± 1,29	0,007 **
anterior, 5 mm links RML	8,80 ± 2,03	9,81 ± 1,85	1,01 ± 1,31	0,003 **
posterior, median, RML	14,25 ± 2,27	15,23 ± 2,45	0,98 ± 0,96	<0,001 ***
posterior, 5 mm rechts RML	13,38 ± 2,13	14,38 ± 2,27	0,99 ± 1,13	<0,001 ***
posterior, 5 mm links RML	13,48 ± 2,21	14,46 ± 2,17	0,98 ± 1,07	<0,001 ***

Tabelle 9: Gaumenhöhe

Darstellung der Gaumenhöhe anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26): median sowie 5 mm rechts und links der Raphe-Median-Linie für die Gesamtgruppe, die Gruppe PG1 und die Gruppe PG2 (vgl. Messpunkte Tab. 5)

RML = Raphe-Median-Linie; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * p<0,05; ** p<0,01; ***p<0,001; NS= nicht signifikant

4.3.2. Veränderung in der Gaumenhöhe zwischen den Gruppen

Im Intergruppenvergleich fällt auf, dass die anteriore Höhenzunahme in der Gruppe PG 1 an allen drei Messpunkten signifikant ($p < 0,05$) kleiner ist als in der Gruppe PG2. Posterior besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

Variable	Intergruppenvergleich (p inter) <i>PG1 versus PG2</i>
anterior median, RML	0,029 *
anterior 5 mm rechts RML	0,042 *
anterior 5 mm links RML	0,040 *
posterior median, RML	0,828 ^{NS}
posterior 5 mm rechts RML	0,961 ^{NS}
posterior 5 mm links RML	0,787 ^{NS}

Tabelle 10: Gaumenhöhe

Intergruppenvergleich der Höhenveränderung anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26:) median, sowie 5 mm rechts und 5 mm links der Raphe-Median-Linie

*RML = Raphe-Median-Linie; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant*

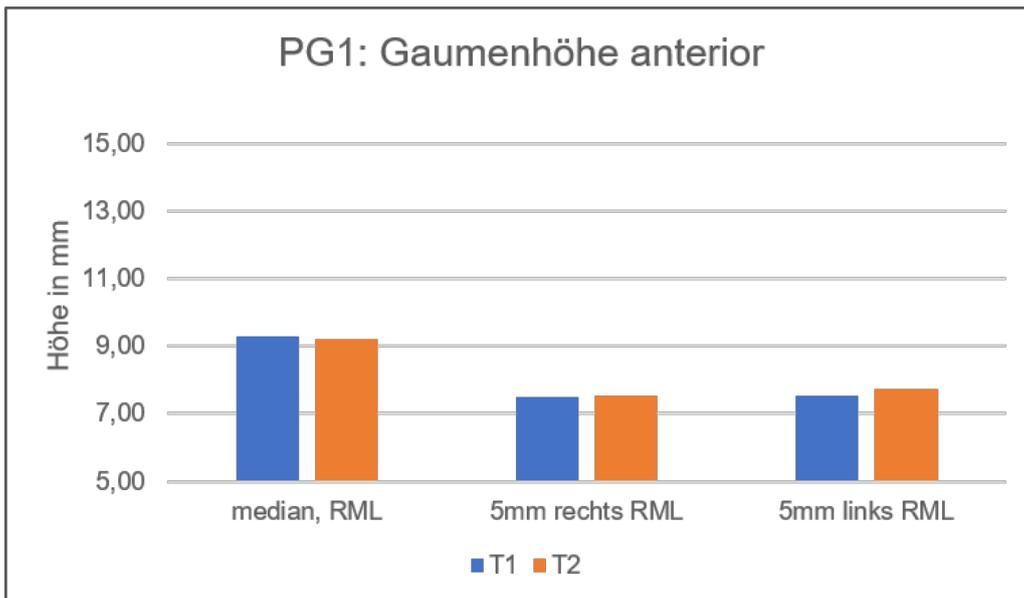


Abbildung 23: anteriore Gaumenhöhe der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

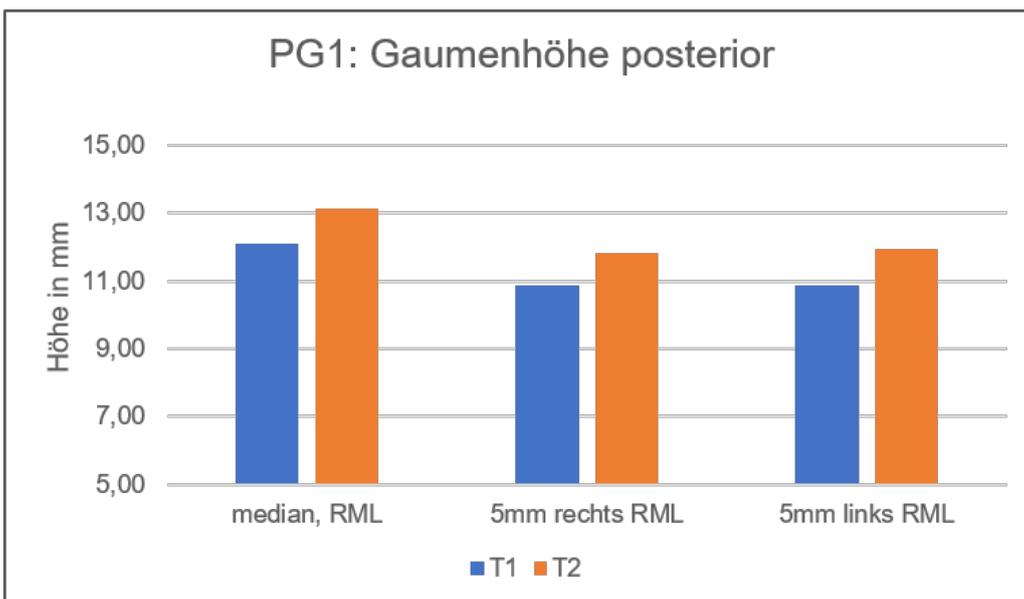


Abbildung 24: posteriore Gaumenhöhe der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

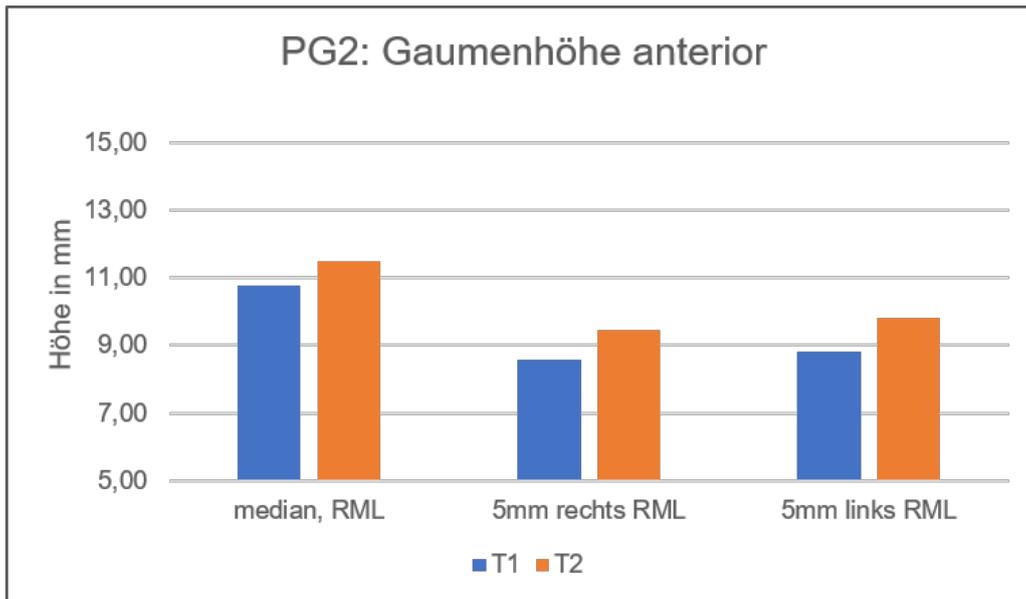


Abbildung 25: anteriore Gaumenhöhe der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

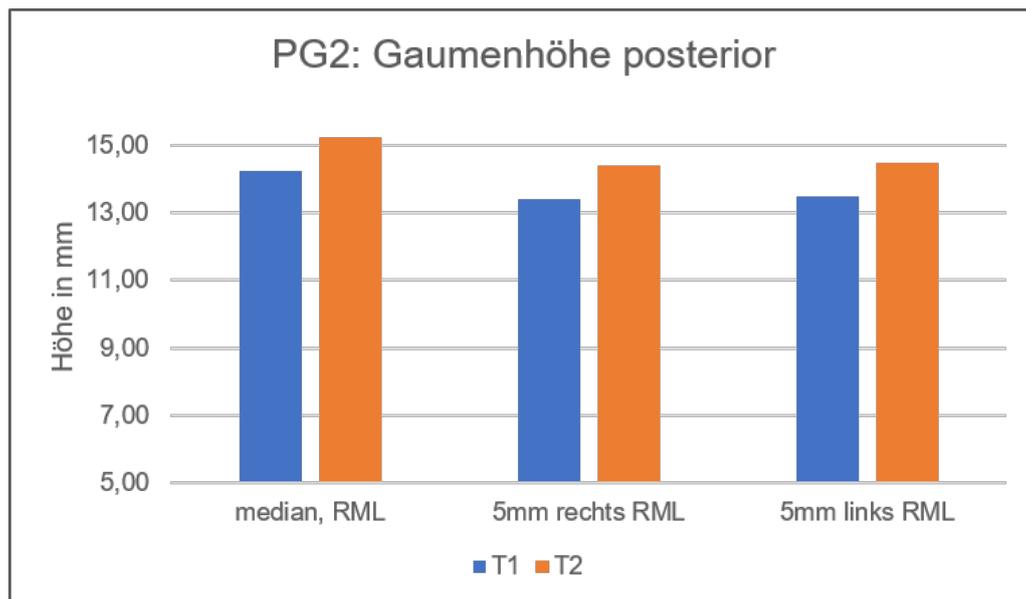


Abbildung 26: posteriore Gaumenhöhe der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

4.4. Gaumenlänge

4.4.1. Veränderung in der Gaumenlänge innerhalb der Gruppen

In der Gesamtgruppe nehmen sowohl die anterioren als auch die posterioren Längenmessungen des Gaumens unter der Kombinationsbehandlung höchstsignifikant ($p < 0,001$) zu. Der Betrag der Längenzunahme ist für alle Gruppen anterior kleiner als posterior. Somit zeigt sich in der Gesamtgruppe anterior median eine gemessene Längenzunahme von $1,09 \pm 0,95$ mm und posterior median eine Längenzunahme von $1,99 \pm 1,31$ mm. Dementsprechend nimmt auch die Gesamtlänge des Gaumens in der Gesamtgruppe höchstsignifikant ($p < 0,001$) zu.

In der Gruppe PG1 wird für alle posterioren Längenmessungen eine höchstsignifikante ($p < 0,001$) therapeutische Längenveränderung des Gaumens beobachtet. Anterior zeigt sich für die mediane Messung und die Messung 5 mm links des dritten Gaumenfaltenpaares eine höchstsignifikante Längenzunahme ($p < 0,001$). Die Längenzunahme anterior 5 mm rechts des dritten Gaumenfaltenpaares ist hochsignifikant. Übereinstimmend mit der Gesamtgruppe zeigen sich in der Gruppe PG1 anterior kleinere Beträge für die Längenzunahmen als posterior. Die mediane Längenzunahme der Gruppe PG1 beträgt anterior $1,30 \pm 0,89$ mm und posterior $2,52 \pm 1,38$ mm. Die gemessenen Gesamtlängen des Gaumens nimmt in der Gruppe PG1 an allen Messpunkten höchstsignifikant ($P < 0,001$) zu.

In der Gruppe PG2 zeigt sich wie bereits in der Gruppe PG1 eine höchstsignifikante ($p < 0,001$) Längenzunahme für alle posterioren Messungen und die Messungen der Gesamtlänge des Gaumens. Anterior ist die Längenzunahme median und 5 mm rechts des Gaumenfaltenpaares höchstsignifikant ($p < 0,001$). Die Längenzunahme anterior 5 mm links des 3. Gaumenfaltenpaares ist hochsignifikant ($p < 0,01$). In Übereinstimmung mit der PG1 und der Gesamtgruppe sind in der Gruppe PG2 anterior geringere Beträge für die Längenzunahme zu beobachten als posterior. Die anteriore Längenzunahme liegt median bei $0,89 \pm 0,98$ mm und posterior bei $1,45 \pm 0,99$ mm.

Gaumenlänge				
Variable linear [mm]	T1 (M ± SD)	T2 (M ± SD)	ΔT2-T1 (M ± SD)	p (intra)
Gesamt				
anterior, median 3.GFP - inzisal	16,99 ± 1,80	18,09 ± 1,99	1,09 ± 0,95	< 0,001 ***
anterior, 3. GFP 5 mm re - inzisal	17,02 ± 1,97	17,99 ± 2,08	0,97 ± 1,04	< 0,001 ***
anterior, 3. GFP 5 mm li - inzisal	16,78 ± 1,93	17,83 ± 1,99	1,05 ± 0,98	< 0,001 ***
posterior, median 3.GFP - TE	28,51 ± 3,20	30,50 ± 2,88	1,99 ± 1,31	< 0,001 ***
posterior, 3. GFP 5 mm re - TE	28,48 ± 3,10	30,43 ± 2,86	1,95 ± 1,21	< 0,001 ***
posterior, 3.GFP 5 mm li -TE	27,72 ± 5,42	29,75 ± 5,58	2,02 ± 1,36	< 0,001 ***
Gesamtlänge median: inzisal - TE	45,51 ± 3,61	48,59 ± 3,33	3,08 ± 1,66	< 0,001 ***
Gesamtlänge 5 mm re: inzisal - TE	45,50 ± 3,67	48,42 ± 3,48	2,92 ± 1,50	< 0,001 ***
Gesamtlänge 5 mm li: inzisal - TE	44,50 ± 5,80	47,58 ± 6,00	3,08 ± 1,66	< 0,001 ***
PG1				
anterior, median 3.GFP - inzisal	16,64 ± 1,62	17,94 ± 1,99	1,30 ± 0,89	< 0,001 ***
anterior, 3. GFP 5 mm re - inzisal	16,57 ± 1,93	17,55 ± 2,10	0,97 ± 1,20	0,002 **
anterior, 3.GFP 5 mm li - inzisal	16,26 ± 1,70	17,53 ± 1,99	1,27 ± 0,97	< 0,001 ***
posterior, median 3.GFP - TE	26,30 ± 2,08	28,82 ± 2,11	2,52 ± 1,38	< 0,001 ***
posterior, 3. GFP 5 mm re - TE	26,31 ± 2,03	28,77 ± 2,08	2,46 ± 1,20	< 0,001 ***
posterior, 3.GFP 5 mm li -TE	26,35 ± 1,98	28,94 ± 2,10	2,59 ± 1,28	< 0,001 ***
Gesamtlänge median: inzisal - TE	42,93 ± 2,26	46,76 ± 2,97	3,82 ± 1,74	< 0,001 ***
Gesamtlänge 5 mm re: inzisal - TE	42,88 ± 2,53	46,31 ± 3,12	3,43 ± 1,57	< 0,001 ***
Gesamtlänge 5 mm li: inzisal - TE	42,61 ± 2,63	46,47 ± 3,06	3,86 ± 1,59	< 0,001 ***
PG2				
anterior, median 3.GFP - inzisal	17,35 ± 1,93	18,24 ± 2,02	0,89 ± 0,98	< 0,001 ***
anterior, 3. GFP 5 mm re - inzisal	17,46 ± 1,96	18,44 ± 2,01	0,97 ± 0,89	< 0,001 ***
anterior, 3.GFP 5 mm li - inzisal	17,29 ± 2,05	18,13 ± 1,99	0,84 ± 0,97	0,001 **
posterior, median 3.GFP - TE	30,73 ± 2,50	32,18 ± 2,57	1,45 ± 0,99	< 0,001 ***
posterior, 3. GFP 5 mm re - TE	30,65 ± 2,39	32,10 ± 2,57	1,45 ± 1,02	< 0,001 ***
posterior, 3.GFP 5 mm li -TE	29,10 ± 7,24	30,56 ± 7,63	1,45 ± 1,22	< 0,001 ***
Gesamtlänge median: inzisal - TE	48,08 ± 2,78	50,42 ± 2,63	2,34 ± 1,20	< 0,001 ***
Gesamtlänge 5 mm re: inzisal - TE	48,12 ± 2,63	50,54 ± 2,41	2,42 ± 1,26	< 0,001 ***
Gesamtlänge 5 mm li: inzisal - TE	46,39 ± 7,39	48,68 ± 7,86	2,29 ± 1,35	< 0,001 ***

Tabelle 11: Gaumenlänge

Darstellung der Gaumenlänge anterior mit jeweils drei Messstrecken: median vom 3. GFP bis zur Inzisalkante sowie 5 mm rechts und 5 mm links des 3. GFPs bis zur Inzisalkante. Darstellung der posterioren Gaumenlänge mit jeweils drei Messstrecken: median vom 3. GFP bis zur Tuberebene sowie 5 mm rechts und 5 mm links des 3. GFP's bis zur Tuberebene. Darstellung der Gesamtlänge des Gaumens. Alle Messungen werden für die Gesamtgruppe, die Gruppe PG1 und PG2 aufgezeigt (vgl. Messpunkte Tab. 5).

3. GFP = 3. Gaumenfaltenpaar; re = rechts; li = links; TE = Tuberebene; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * p<0,05; ** p<0,01; ***p<0,001; NS= nicht signifikant

4.4.2. Veränderungen in der Gaumenlänge zwischen den Gruppen

Im Intergruppenvergleich liegt zwischen den Gruppen PG1 und PG2 für alle anterioren Längenveränderungen kein signifikanter Unterschied vor. Jedoch zeigen die posterioren Längenzunahmen und die Gesamtlängenzunahme für alle Messungen einen hochsignifikanten ($p < 0,01$) Unterschied. Es ist eine größere posteriore Längenzunahme und eine größere Gesamtlängenzunahme in der Gruppe PG1 ersichtlich. Die posteriore, mediane Längenzunahme beträgt in der jüngeren Gruppe PG1 (< 12 Jahre) $3,82 \pm 1,74$ mm und in der älteren Gruppe PG2 (≥ 12 Jahre) $1,45 \pm 0,99$ mm. Die Gesamtlänge nimmt in der PG1 median um $3,82 \pm 1,74$ mm und in der Gruppe PG2 um $2,34 \pm 1,20$ mm zu.

Variable	Intergruppenvergleich (p inter) PG1 versus PG2
anterior, median 3.GFP - inzisal	0,171 ^{NS}
anterior, 3. GFP 5 mm re - inzisal	0,996 ^{NS}
anterior, 3.GFP 5 mm li - inzisal	0,164 ^{NS}
posterior, median 3.GFP - TE	0,008 ^{**}
posterior, 3. GFP 5 mm re - TE	0,007 ^{**}
posterior, 3.GFP 5 mm li -TE	0,006 ^{**}
Gesamtlänge median: inzisal - TE	0,003 ^{**}
Gesamtlänge 5 mm re: inzisal - TE	0,031 ^{**}
Gesamtlänge 5 mm li: inzisal - TE	0,002 ^{**}

Tabelle 12: Gaumenlänge

Intergruppenvergleich der Längenveränderung anterior mit jeweils drei Messstrecken: median am 3. GFP, sowie 5 mm rechts und 5mm links des 3. GFP's bis zur Inzisalkante der Schneidezähne. Darstellung des Intergruppenvergleiches für die drei posterioren Messstrecken ausgehend vom 3. GFP und 5 mm rechts und 5mm links des 3. GFPs bis zur Tuberebene

3. GFP = 3. Gaumenfaltenpaar; re = rechts; li = links; TE = Tuberebene; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant

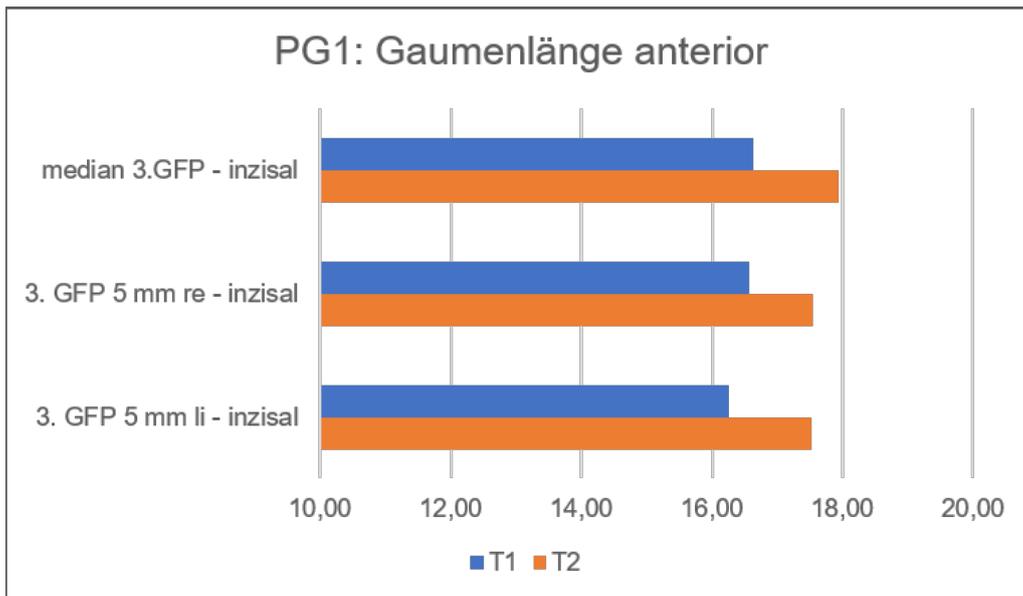


Abbildung 27: anteriore Gaumenlänge der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

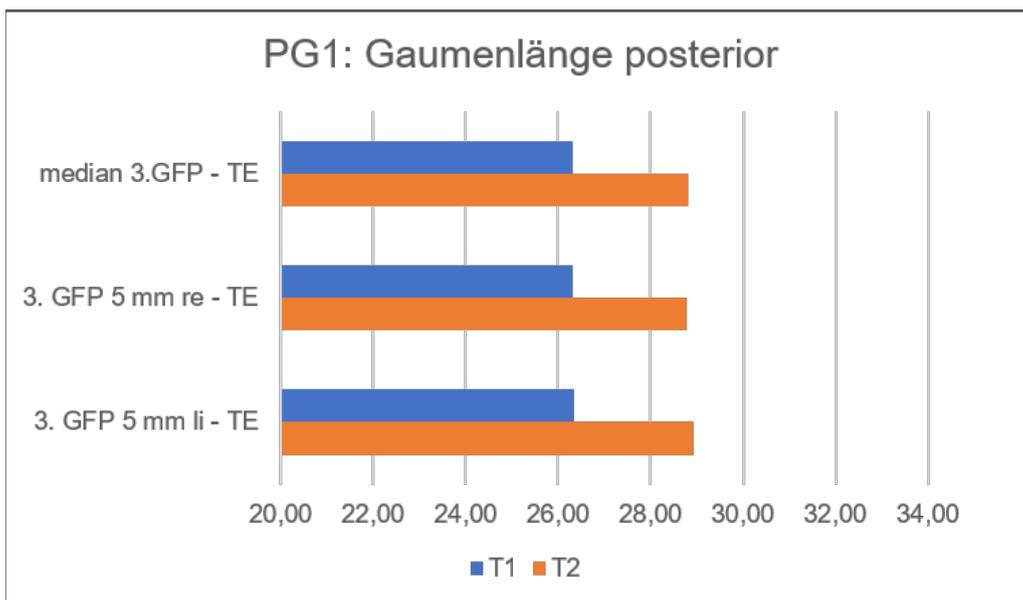


Abbildung 28: posteriore Gaumenlänge der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

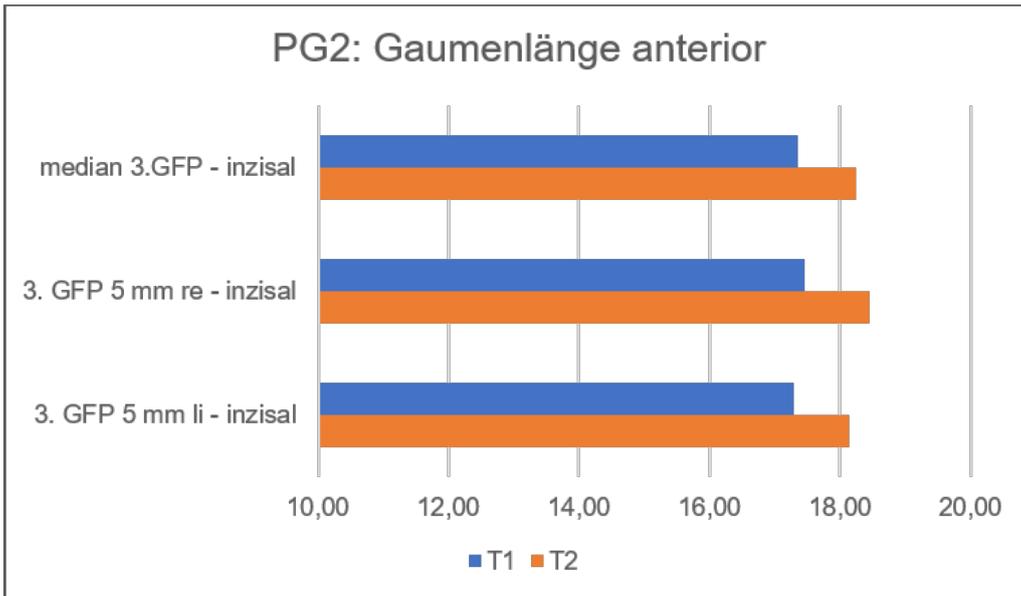


Abbildung 29: anteriore Gaumenlänge der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

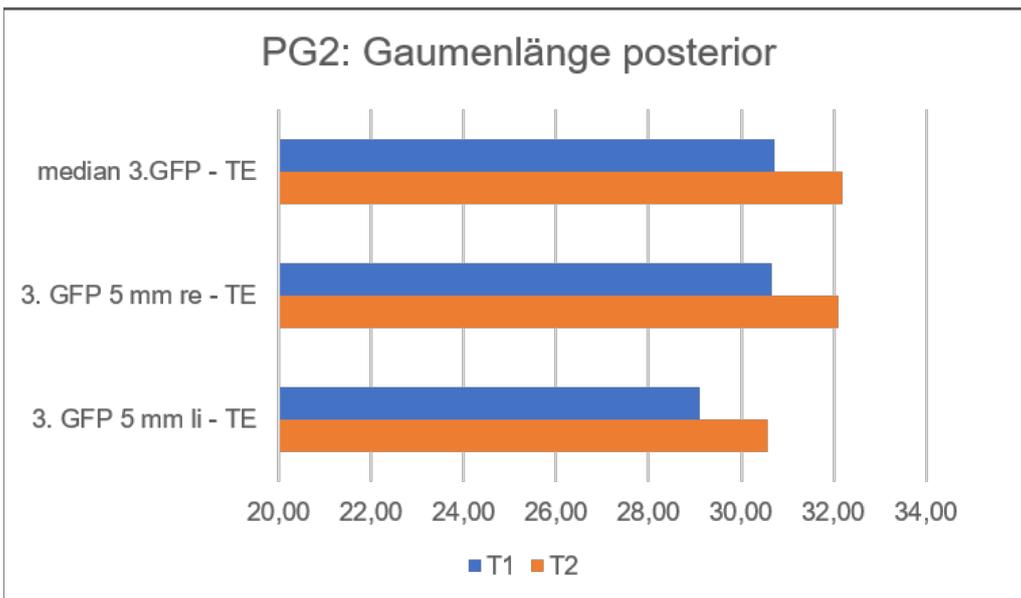


Abbildung 30: posteriore Gaumenlänge der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

4.5. Gaumenquotient

4.5.1. Veränderungen des Gaumenquotienten innerhalb der Gruppen

Die Veränderung des Gaumenquotienten aus der jeweils anterior und posterior gemessenen Breite und Höhe (g/h) ist in der Gesamtgruppe anterior hochsignifikant ($p < 0,01$) und posterior nicht signifikant.

Die in der Gesamtgruppe beobachtete anteriore Veränderung des Gaumenquotienten spiegelt sich in der Gruppe PG1 wider. Hier verändert sich der Gaumenquotient anterior therapeutisch signifikant ($p < 0,05$) von T1 zu T2 von $2,91 \pm 0,52$ zu $3,15 \pm 0,46$. Dies entspricht einer morphologischen Veränderung des Gaumens im anterioren Bereich von einem Normalgaumen zu einem Flachgaumen.

In der Gruppe PG2 sind die anterioren und posterioren Veränderungen des Gaumenquotienten nicht signifikant. Die Gaumenmorphologie bleibt demnach vor und nach der Kombinationstherapie unverändert.

Gaumenquotient				
Variable linear [mm]	T1 (M ± SD)	T2 (M ± SD)	ΔT2-T1 (M ± SD)	p (intra)
Gesamt				
GB anterior, gingival, GS (g)	26,68 ± 2,41	29,28 ± 2,72	2,60 ± 1,86	< 0,001 ***
Höhe anterior, median, RML (h)	10,03 ± 2,15	10,34 ± 2,14	0,31 ± 1,21	0,110 NS
GB posterior, gingival, GS (g)	33,08 ± 2,70	35,75 ± 3,00	2,67 ± 2,22	< 0,001 ***
Höhe posterior, median, RML (h)	13,18 ± 2,21	14,18 ± 2,43	1,01 ± 0,91	< 0,001 ***
Gaumenquotient anterior (g/h)	2,77 ± 0,59	2,93 ± 0,54	0,16 ± 0,36	0,009 **
Gaumenquotient posterior (g/h)	2,57 ± 0,41	2,59 ± 0,44	0,02 ± 0,27	0,681 NS
PG1				
GB anterior, gingival, GS (g)	26,35 ± 2,71	28,45 ± 3,32	2,10 ± 1,66	< 0,001 ***
Höhe anterior, median, RML (h)	9,29 ± 1,71	9,19 ± 1,55	-0,10 ± 1,20	0,714 NS
GB posterior, gingival, GS (g)	31,73 ± 2,42	34,77 ± 2,78	3,04 ± 2,12	< 0,001 ***
Höhe posterior, median, RML (h)	12,10 ± 1,56	13,14 ± 1,95	1,04 ± 0,87	< 0,001 ***
Gaumenquotient anterior (g/h)	2,91 ± 0,52	3,15 ± 0,46	0,24 ± 0,37	0,010 *
Gaumenquotient posterior (g/h)	2,66 ± 0,34	2,69 ± 0,39	0,04 ± 0,27	0,553 NS
PG2				
GB anterior, gingival, GS (g)	27,02 ± 2,07	30,11 ± 1,63	3,09 ± 1,95	< 0,001 ***
Höhe anterior, median, RML (h)	10,76 ± 2,33	11,49 ± 2,05	0,73 ± 1,09	0,008 **
GB posterior, gingival, GS (g)	34,43 ± 2,30	36,74 ± 2,95	2,31 ± 2,31	< 0,001 ***
Höhe posterior, median, RML (h)	14,25 ± 2,27	15,23 ± 2,45	0,98 ± 0,96	< 0,001 ***
Gaumenquotient anterior (g/h)	2,63 ± 0,64	2,71 ± 0,54	0,08 ± 0,35	0,323 NS
Gaumenquotient posterior (g/h)	2,48 ± 0,45	2,48 ± 0,46	0,00 ± 0,27	0,981 NS

Tabelle 13: Gaumenquotient

Darstellung des Gaumenquotienten anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26); Alle Messungen werden für die Gesamtgruppe, die Gruppe PG1 und PG2 aufgezeigt (vgl. Messpunkte Tab. 5).

GB = Gaumenbreite; GS = Gingivasaum; RML = Raphe-Median-Linie; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * p<0,05; ** p<0,01; ***p<0,001; NS= nicht signifikant.

4.5.2. Veränderungen des Gaumenquotienten zwischen den Gruppen

Im Intergruppenvergleich zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe PG1 und PG2 für die anterioren und posterioren Veränderungen des Gaumenquotienten.

Variable	Intergruppenvergleich (p inter) <i>PG1 versus PG2</i>
GB anterior, gingival, GS (g)	0,093 ^{NS}
Höhe anterior, median, RML (h)	0,029 *
GB posterior, gingival, GS (g)	0,306 ^{NS}
Höhe posterior, median, RML (h)	0,828 ^{NS}
Gaumenquotient anterior (g/h)	0,169 ^{NS}
Gaumenquotient posterior (g/h)	0,660 ^{NS}

Tabelle 14: Gaumenquotient

Darstellung des Gaumenquotienten im Intergruppenvergleich anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26)

GB = Gaumenbreite; GS = Gingivasaum; RML = Raphe-Median-Linie; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant.

4.6. Alveolarfortsatzwinkel

4.6.1. Veränderungen des Alveolarfortsatzwinkels innerhalb der Gruppen

In der Gesamtgruppe zeigt sich im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung sowohl anterior als auch posterior eine Zunahme der medianen Höhe und der Alveolarfortsatzlänge. Der Alveolarfortsatzwinkel verringert sich in der Gesamtgruppe anterior signifikant ($p < 0,05$) um $-1,42^\circ \pm 3,78^\circ$ und posterior nur um $-0,14^\circ \pm 2,40^\circ$.

Auch in der Gruppe PG1 nimmt die Alveolarfortsatzlänge anterior hochsignifikant ($p < 0,01$) um $0,88 \pm 1,36$ mm und posterior höchstsignifikant ($p < 0,001$) um $1,97 \pm 0,99$ mm zu. Die mediane Höhe nimmt nur posterior höchstsignifikant ($p < 0,001$) um $1,04 \pm 0,87$ mm zu. Anterior ist eine signifikante ($p < 0,01$) Abflachung des Alveolarfortsatzwinkels um $-2,03^\circ \pm 3,39^\circ$ zu erkennen. Posterior flacht wie auch in der Gesamtgruppe der Alveolarfortsatzwinkel nur tendenziell um $-0,50^\circ \pm 2,46^\circ$ ab.

In der Gruppe PG2 nimmt die Alveolarfortsatzlänge anterior und posterior höchstsignifikant ($p < 0,001$) zu. Auch die mediane Höhe verändert sich anterior hochsignifikant um $0,73 \pm 1,09$ mm und posterior höchstsignifikant um $0,98 \pm 0,96$ mm. Der Alveolarfortsatzwinkel verändert sich in dieser Patientengruppe anterior und posterior nicht signifikant.

Eine morphologische Veränderung des Gaumens im Sinne einer Abflachung des Alveolarfortsatzes liegt somit in der jüngeren Gruppe PG1 (<12 Jahre) anterior und posterior vor, während in der älteren Gruppe PG2 (≥ 12 Jahre) diese Abflachung nur noch anterior zu beobachten ist. Sowohl prä- als auch posttherapeutisch liegt in beiden Behandlungsgruppen ein Normalgaumen in allen Messbereichen vor.

Alveolarfortsatzwinkel (α)				
Variable linear [mm] Winkel [°]	T1 (M \pm SD)	T2 (M \pm SD)	Δ T2-T1 (M \pm SD)	p (intra)
Gesamt				
Alveolarfortsatzlänge anterior (l)	16,57 \pm 1,77	17,86 \pm 2,26	1,29 \pm 1,28	<0,001 ***
Höhe anterior,median, RML (h)	10,03 \pm 2,15	10,34 \pm 2,14	0,31 \pm 1,21	0,110 NS
Alveolarfortsatzlänge posterior (l)	21,10 \pm 2,15	22,80 \pm 2,20	1,69 \pm 1,08	<0,001 ***
Höhe posterior,median, RML (h)	13,18 \pm 2,21	14,18 \pm 2,43	1,01 \pm 0,91	< 0,001 ***
Alveolarfortsatzwinkel anterior (α)	34,43 \pm 4,85	33,01 \pm 4,88	-1,42 \pm 3,78	0,023 *
Alveolarfortsatzwinkel posterior (α)	35,66 \pm 3,52	35,51 \pm 3,82	-0,14 \pm 2,40	0,714 NS
PG1				
Alveolarfortsatzlänge anterior (l)	15,93 \pm 1,69	16,81 \pm 2,17	0,88 \pm 1,36	0,009 **
Höhe anterior,median, RML (h)	9,29 \pm 1,71	9,19 \pm 1,55	-0,10 \pm 1,20	0,714 NS
Alveolarfortsatzlänge posterior (l)	19,66 \pm 1,66	21,63 \pm 1,88	1,97 \pm 0,99	<0,001 ***
Höhe posterior,median, RML (h)	12,10 \pm 1,56	13,14 \pm 1,95	1,04 \pm 0,87	< 0,001 ***
Alveolarfortsatzwinkel anterior (α)	33,25 \pm 3,87	31,22 \pm 3,71	-2,03 \pm 3,39	0,015 *
Alveolarfortsatzwinkel posterior (α)	35,24 \pm 3,10	34,73 \pm 3,50	-0,50 \pm 2,46	0,371 NS
PG2				
Alveolarfortsatzlänge anterior (l)	17,22 \pm 1,65	18,92 \pm 1,87	1,70 \pm 1,08	< 0,001 ***
Höhe anterior,median, RML (h)	10,76 \pm 2,33	11,49 \pm 2,05	0,73 \pm 1,09	0,008 **
Alveolarfortsatzlänge posterior (l)	22,55 \pm 1,53	23,96 \pm 1,88	1,41 \pm 1,12	< 0,001 ***
Höhe posterior,median, RML (h)	14,25 \pm 2,27	15,23 \pm 2,45	0,98 \pm 0,96	< 0,001 ***
Alveolarfortsatzwinkel anterior (α)	35,61 \pm 5,52	34,81 \pm 5,32	-0,80 \pm 4,13	0,395 NS
Alveolarfortsatzwinkel posterior (α)	36,07 \pm 3,93	36,30 \pm 4,05	0,22 \pm 2,35	0,676 NS

Tabelle 15: Alveolarfortsatzwinkel

Darstellung des Alveolarfortsatzwinkels anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26); Alle Messungen werden für die Gesamtgruppe, die Gruppe PG1 und PG2 aufgezeigt (vgl. Messpunkte Tab. 5).

RML = Raphe-Median-Linie; M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS = nicht signifikant.

4.6.2. Veränderungen des Alveolarfortsatzwinkels zwischen den Gruppen

Im Intergruppenvergleich gab es keinen signifikanten Unterschied in der Veränderung des Alveolarfortsatzwinkels anterior und posterior zwischen der Gruppe PG1 und PG2.

Variable	Intergruppenvergleich (p inter) <i>PG1 versus PG2</i>
Alveolarfortsatzlänge anterior (l)	0,043 *
Höhe anterior, median, RML (h)	0,029 *
Alveolarfortsatzlänge posterior (l)	0,104 ^{NS}
Höhe posterior, median, RML (h)	0,828 ^{NS}
Alveolarfortsatzwinkel anterior (α)	0,310 ^{NS}
Alveolarfortsatzwinkel posterior (α)	0,345 ^{NS}

Tabelle 16: Alveolarfortsatzwinkel

Darstellung des Alveolarfortsatzwinkels im Intergruppenvergleich anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26)

*RML = Raphe-Median-Linie; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant.*

4.7. Gaumenbasiswinkel

4.7.1. Veränderungen des Gaumenbasiswinkels innerhalb der Gruppen

In der Gesamtgruppe zeigt sich anterior eine signifikante Vergrößerung des Gaumenbasiswinkels um $2,77^\circ \pm 7,48^\circ$ ($p < 0,05$). Posterior ist nur eine tendenzielle, nicht signifikante Vergrößerung des Gaumenbasiswinkels um $0,28^\circ \pm 4,75^\circ$ zu beobachten.

In der Gruppe PG1 nehmen die Werte für den Gaumenbasiswinkel ebenso anterior signifikant um $4,07^\circ \pm 6,61^\circ$ ($p < 0,05$) und posterior tendenziell um $1,01^\circ \pm 4,79^\circ$ zu, während in der Gruppe PG2 nur noch anterior eine nicht signifikante Zunahme des Gaumenbasiswinkels um $1,60^\circ \pm 8,04^\circ$ zu beobachten ist. Demnach sind morphologische Veränderungen im Sinne einer Abflachung des Gaumengewölbes in der jüngeren Behandlungsgruppe PG1 (<12 Jahre) anterior und posterior zu erkennen, während in der älteren Behandlungsgruppe dieser Effekt nur noch anterior nachzuweisen ist. Die morphologische Einteilung der Gaumenbasis entspricht prä- und posttherapeutisch einem Normalgaumen.

Gaumenbasiswinkel (β)				
Variable Winkel [°]	T1 (M \pm SD)	T2 (M \pm SD)	Δ T2-T1 (M \pm SD)	p (intra)
Gesamt				
Gaumenbasiswinkel anterior	111,14 \pm 9,71	113,97 \pm 9,75	2,77 \pm 7,48	0,023 *
Gaumenbasiswinkel posterior	108,69 \pm 7,04	108,97 \pm 7,64	0,28 \pm 4,75	0,714 ^{NS}
PG1				
Gaumenbasiswinkel anterior	113,50 \pm 7,55	117,57 \pm 7,22	4,07 \pm 6,61	0,015 *
Gaumenbasiswinkel posterior	109,53 \pm 6,04	110,54 \pm 6,82	1,01 \pm 4,79	0,371 ^{NS}
PG2				
Gaumenbasiswinkel anterior	108,77 \pm 10,76	110,38 \pm 10,37	1,60 \pm 8,04	0,395 ^{NS}
Gaumenbasiswinkel posterior	107,85 \pm 7,67	107,40 \pm 7,90	-0,45 \pm 4,59	0,676 ^{NS}

Tabelle 17: Gaumenbasiswinkel

Darstellung des Gaumenbasiswinkels anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26); Alle Messungen werden für die Gesamtgruppe, die Gruppe PG1 und PG2 aufgezeigt (vgl. Messpunkte Tab. 5).

M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant.

4.7.2. Veränderungen des Gaumenbasiswinkels zwischen den Gruppen

Im Intergruppenvergleich liegen zwischen den Gruppen PG1 und PG2 anterior und posterior keine Unterschiede in der Veränderung des Gaumenbasiswinkels vor.

Variable	Intergruppenvergleich (p inter) <i>PG1 versus PG2</i>
Gaumenbasiswinkel anterior	0,309 ^{NS}
Gaumenbasiswinkel posterior	0,345 ^{NS}

Tabelle 18: Gaumenbasiswinkel

Darstellung des Gaumenbasiswinkels im Intergruppenvergleich anterior (54-64/14-24) und posterior (16-26)

*Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant.*

4.8. Volumen und Gaumenfläche

4.8.1. Veränderung des Volumens und der Gaumenfläche innerhalb der Gruppen

In der Gesamtgruppe nehmen die Volumenmessungen höchstsignifikant ($p < 0,001$) um $440,45 \pm 714,36 \text{ mm}^3$ zu. In der jüngeren Gruppe PG1 beobachtet man eine hochsignifikante ($p < 0,01$) Zunahme des Gesamtvolumens um $441,30 \pm 646,25 \text{ mm}^3$ und im älteren Patientenkollektiv PG2 um $439,60 \pm 793,63 \text{ mm}^3$. Alle Volumenveränderungen sind signifikant. Dem chronologischen Alter und den anatomischen Begebenheiten entsprechend ist das Ausgangsvolumen in der Gruppe PG1 insgesamt geringer als in der Gruppe PG2. Die Zunahme des Gesamtvolumens ist dennoch sowohl in den Absolutwerten als auch in den Prozentwerten in der Gruppe PG1 mit $8,65 \pm 11,23\%$ größer als in der Gruppe PG2 mit $6,86 \pm 11,42\%$.

Im Rahmen der Kombinationstherapie sind ähnliche therapeutische Effekte unter den Messwerten der Gesamtfläche des Gaumens zu erkennen. In der Gesamtgruppe nimmt die Gesamtfläche des Gaumens höchstsignifikant ($p < 0,001$) zu. Auch in der Gruppe PG1 ist die Zunahme der Gaumenfläche hochsignifikant ($p < 0,01$) mit $61,36 \pm 82,23 \text{ mm}^2$ während die Zunahme in der Gruppe PG2 mit $42,33 \pm 99,25 \text{ mm}^2$ nicht signifikant ist.

Gaumenfläche und Gaumenvolumen				
Variable	T1 (M ± SD)	T2 (M ± SD)	ΔT2-T1 (M ± SD)	p (intra)
Fläche [mm ²]				
Volumen [mm ³]				
Gesamt				
Gesamtfläche	1232,74 ± 171,82	1284,59 ± 180,35	51,85 ± 90,47	< 0,001 ***
Gesamtvolumen	5813,92 ± 1507,26	6254,37 ± 1616,99	440,45 ± 714,36	< 0,001 ***
PG1				
Gesamtfläche	1161,60 ± 146,80	1222,96 ± 181,40	61,36 ± 82,23	0,003 **
Gesamtvolumen	5135,51 ± 1294,24	5576,82 ± 1558,18	441,30 ± 646,25	0,007 **
PG2				
Gesamtfläche	1303,89 ± 168,50	1346,22 ± 160,82	42,33 ± 99,25	0,072 NS
Gesamtvolumen	6492,32 ± 1421,01	6931,91 ± 1404,46	439,60 ± 793,63	0,023 *

Tabelle 19: Gaumenfläche und Gaumenvolumen

Darstellung der Absolutwerte des Gesamtvolumens und der Gesamtfläche. Alle Messungen werden für die Gesamtgruppe, die Gruppe PG1 und PG2 aufgezeigt (vgl. Messpunkte Tab. 5).

M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant.

Gaumenfläche und Gaumenvolumen			
	Gesamt	PG1	PG2
Variable [%]	(M ± SD)	(M ± SD)	(M ± SD)
Δ Gesamtfläche	4,30 ± 7,14	5,34 ± 7,09	3,26 ± 7,22
Δ Gesamtvolumen	7,76 ± 11,21	8,65 ± 11,23	6,86 ± 11,42

Tabelle 20: Gaumenfläche und Gaumenvolumen

Darstellung der prozentualen Veränderung des Gesamtvolumens und der Gesamtfläche. Alle Messungen werden für die Gesamtgruppe, die Gruppe PG1 und PG2 aufgezeigt (vgl. Messpunkte Tab. 5).

M = Mittelwert; SD = Standardabweichung; Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant.

4.8.2. Veränderung des Volumens und der Gaumenfläche zwischen den Gruppen

Im Intergruppenvergleich der Gruppe PG1 und PG2 zeigt sich sowohl für die Absolutwerte als auch für die Prozentwerte kein signifikanter Unterschied zwischen in den Gruppen für die Zunahme der Gesamtfläche und des Gesamtvolumens.

Variable	Intergruppenvergleich der Absolutwerte (p inter) PG1 versus PG2	Intergruppenvergleich prozentuale Veränderung (p inter) PG1 versus PG2
Gesamtfläche	0,513 ^{NS}	0,364 ^{NS}
Gesamtvolumen	0,994 ^{NS}	0,621 ^{NS}

Tabelle 21: Gesamtvolumen und Gesamtfläche

Darstellung des Gesamtvolumens und der Gesamtfläche für die Absolutwerte und die prozentuale Veränderung im Intergruppenvergleich.

Signifikanzbereiche: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; NS= nicht signifikant.

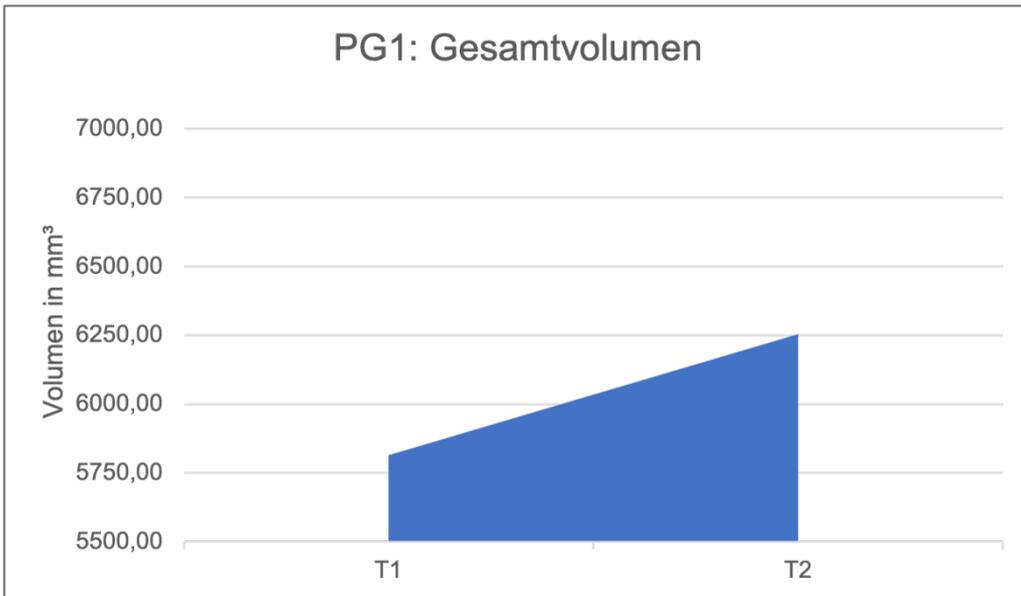


Abbildung 31: Gesamtvolumen der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

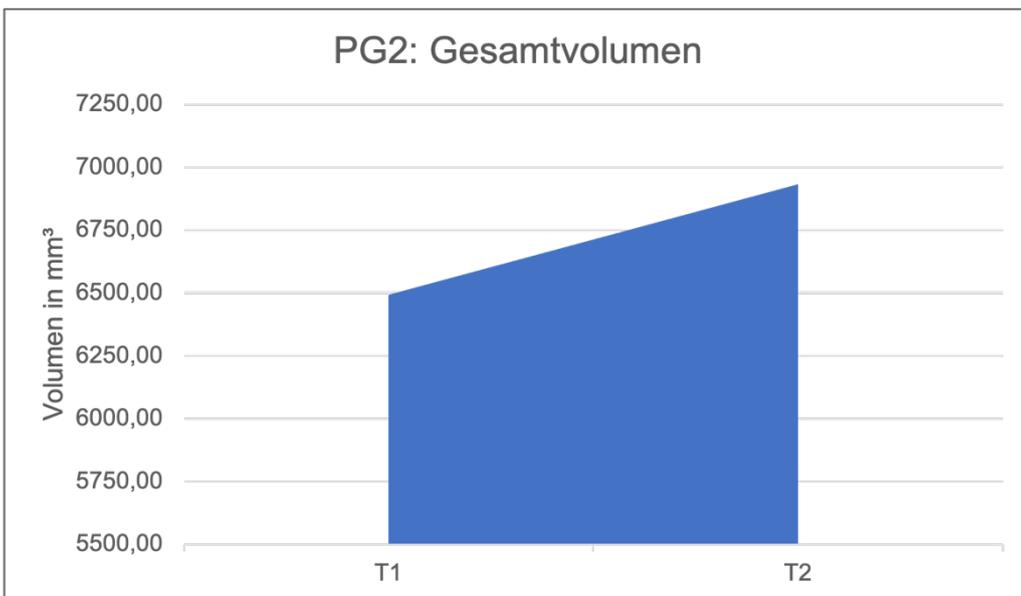


Abbildung 32 Gesamtvolumen der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

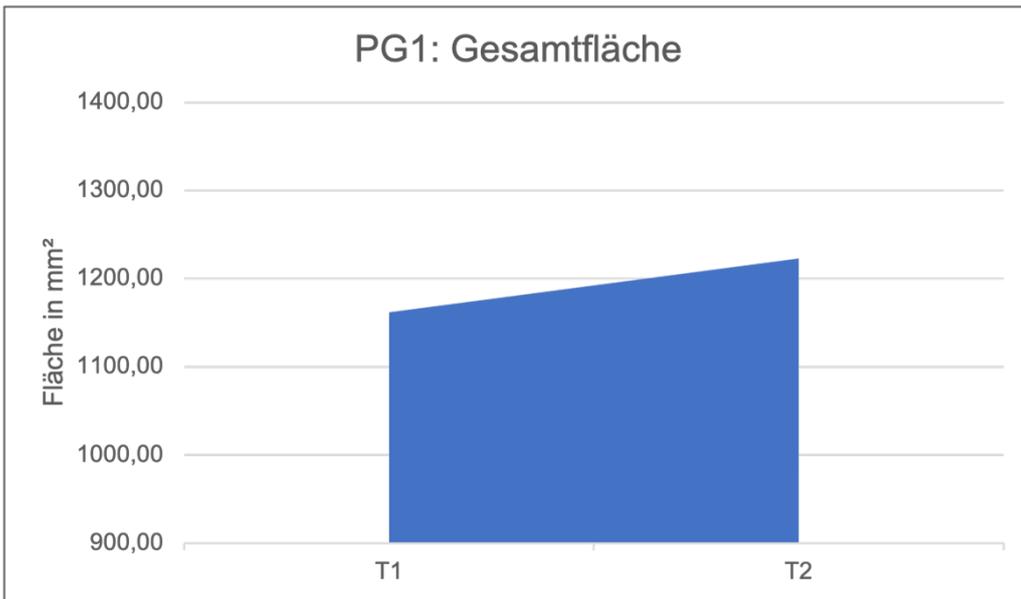


Abbildung 33: Gesamtfläche der Gruppe PG1 zu den Zeitpunkten T1 und T2

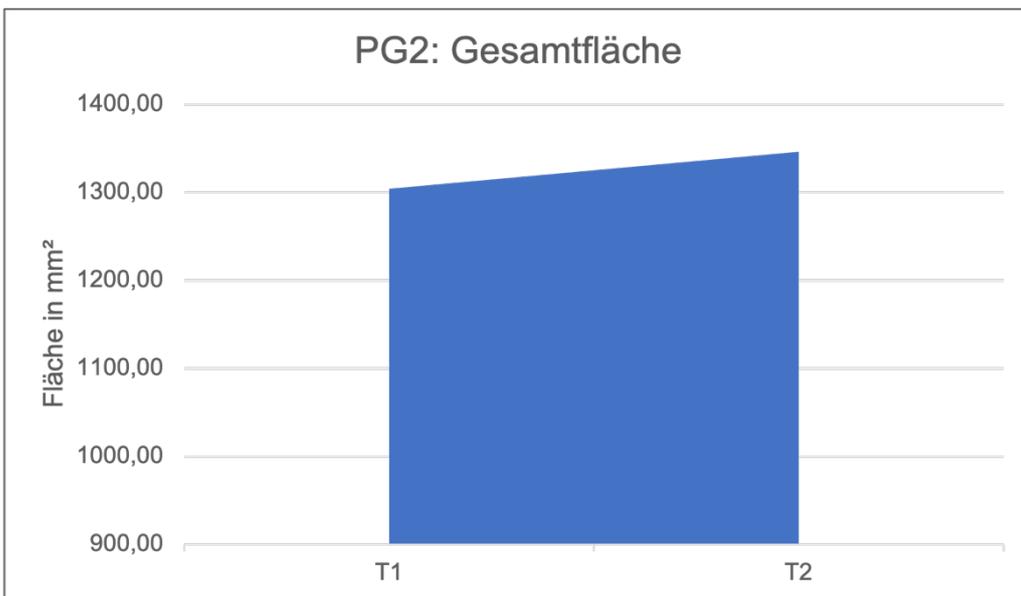


Abbildung 34: Gesamtfläche der Gruppe PG2 zu den Zeitpunkten T1 und T2

5. Diskussion

5.1. Patientengut, Vergleichbarkeit der Ergebnisse und Messmethode

Grundsätzlich sind alle Messergebnisse dieser retrospektiven Studie Summationseffekte aus therapeutisch induzierten Veränderungen der Kombinationstherapie und dem natürlichen Wachstum der Patienten. Das natürliche Wachstum müsste demnach subtrahiert werden, um ausschließlich die morphologischen Veränderungen des Gaumens unter der Therapie widerzuspiegeln.

Vergleichende Messdaten einer unbehandelten Kontrollgruppe mit einer ähnlichen zugrundeliegenden Klasse III Anomalie in Kombination mit einem transversalen, maxillären Defizit lagen jedoch nicht in notwendigem Umfang aus einer eigenen Vergleichsgruppe vor. Ebenso konnten sie nicht aus einer historischen Wachstumsstudie entnommen werden auf Grund der Heterogenität der Messmethoden oder der ethnischen Unterschiede des Patientenkollektivs (HEIKINHEIMO et al., 2012; STERN et al., 2020; THILANDER, 2009; YANG et al., 2013). Es ist zudem davon auszugehen, dass das natürliche Wachstum innerhalb des durchschnittlichen Behandlungszeitraumes (Abstand T1/T2 in Monaten: PG1 $18,10 \pm 10,09$; PG2 $18,20 \pm 8,77$) im Vergleich zu den therapeutisch induzierten Effekten gering ausfällt.

Das Probandengut der Studie weist innerhalb und zwischen den Gruppen (PG1, PG2) eine große Homogenität auf. Das chronologische Alter beträgt innerhalb der Patientengruppe PG1 $9,93 \pm 1,36$ Jahre und innerhalb der Patientengruppe PG2 $13,29 \pm 1,03$ Jahre.

Zwischen den Patientengruppen PG1 und PG2 besteht auf Grund der gleichen Patientenanzahl (PG1 $n = 20$; PG2 $n = 20$) und der einheitlichen Geschlechterverteilung (PG1 9 weiblich, 11 männlich; PG2 10 weiblich, 10 männlich) eine gute Vergleichbarkeit der Messergebnisse. Auch die Parameter der Tragedauer der GNE-Apparatur und Delaire-Maske (PG1 Tragedauer GNE $6,56 \pm 1,36$ Monate; PG1 Tragedauer Delaire-Maske $6,14 \pm 1,20$ Monate; PG2 Tragedauer GNE $6,85 \pm 1,13$ Monate; PG2 Tragedauer Delaire-Maske $6,12 \pm 1,26$ Monate), der durchschnittlichen Aktivierung der GNE (PG1 $22,80 \pm 3,91$; PG2 $22,85 \pm 3,54$) sowie des durchschnittlichen Beobachtungszeitraums (PG1 $18,10 \pm 10,09$ Monate; PG2 $18,20 \pm 8,77$ Monate) weisen eine große Homogenität und damit eine gute Vergleichbarkeit der morphologischen Gaumenveränderungen zwischen den Behandlungsgruppen PG1 und PG2 auf.

Die in der Literatur beschriebenen Methoden zur Erfassung der morphologischen Veränderungen des Gaumenquotienten, des Alveolarfortsatzwinkels und des Gaumenbasiswinkels wurden für diese Studie modifiziert (KIM et al., 2008; LIONE et al., 2015; MARKWARDT, 1965). Um eine differenzierte Betrachtung der Veränderungen zu ermöglichen, erfolgte für alle angulären und linearen Messungen sowohl eine anteriore als auch eine posteriore Messung am Gaumen. Die Normwerte zur Klassifizierung der Gaumenform in Flach-, Normal-, und Spitzgaumen wurden entsprechend angepasst.

Die in der Literatur beschriebenen Methoden zur Evaluierung der Veränderung der Gaumenfläche und des Gaumenvolumens variieren stark (ABDELSALAM et al., 2023; GRACCO et al., 2010; KINZINGER et al., 2023; OLIVEIRA DE FELIPPE et al., 2008; SHAHEN et al., 2018; TÜRKYILMAZ, 2022; WRIEDT et al., 2001). Aus diesem Grund sind die Absolutwerte der Messergebnisse zwischen den Studien schwierig zu vergleichen und sollten daher anhand der prozentualen Veränderung verglichen und diskutiert werden.

Einschränkend kann diskutiert werden, dass die Analyse an Gips- und digitalen Modellen durchgeführt wurde. Knöcherne Strukturen können demnach nicht exakt erfasst werden. Zudem kann die Schleimhautdicke zu den verschiedenen Behandlungszeitpunkten minimal variieren. Dennoch ermöglicht diese Analyse eine dreidimensionale Erfassung der anatomischen Strukturen im Vergleich zu einer zweidimensionalen kephalometrischen Röntgenanalyse.

5.2. Aktueller Stand der Literatur zur Veränderung der Gaumenmorphologie, des Volumens und der Fläche während der Kombinationstherapie (GNE, Delaire-Maske)

Bisher gibt es keine vergleichenden Studien, die mittels dreidimensionaler, digitaler Modellvermessung die morphologischen Veränderungen des Gaumens nach erfolgter suturaler Erweiterung und maxillärer Protraktion beschreiben.

In der Literatur liegen bisher überwiegend zweidimensionale radiologische Untersuchungen vor, die mittels Fernröntgenseitenanalyse die Effekte dieser Kombinationstherapie erörtern (FÖRSCH et al., 2015; JÄGER et al., 2001; KIM et al., 1999; LIOU, 2005b). Vergleichbare Studien, die die morphologischen Veränderungen des Gaumens anhand einer dreidimensionalen Modellvermessung evaluierten, liegen nur für die alleinige Behandlung mittels forcierter Gaumennahterweiterung von KINZINGER et al. vor (KINZINGER et al., 2022a; KINZINGER et al., 2023; KINZINGER et al., 2022b).

Da in der vorliegenden Studie die beiden Behandlungsgeräte (GNE, Delaire-Maske) zweizeitig zum Einsatz kamen, können auch die therapeutischen Effekte teilweise voneinander getrennt betrachtet werden. Manche Ergebnisse sind jedoch auch als Summationseffekte der beiden Geräte zu interpretieren.

5.3. Transversale Messungen

5.3.1. Literarischer Überblick über den Öffnungsmodus der Sutura palatina mediana

Der Öffnungsmodus der Sutura palatina mediana mittels forcierter Gaumennahterweiterung wurde in der Literatur kontrovers diskutiert. Dabei wird die morphologische Veränderung in der Transversalebene und in der Frontalebene differenziert voneinander betrachtet.

In den systematischen Reviews von BAZARGANI und LIU et al. konnte kein einheitlicher Konsens über den Öffnungsmodus der Sutura in der Transversalebene gefunden werden (BAZARGANI et al., 2013; LIU et al., 2015). Diskutiert wurde dabei ein paralleler und ein triangulärer Modus mit einer größeren anterioren Öffnung als posterior.

Während PODESSER und CHRISTIE et al. in ihren DVT- und CT- Untersuchungen zu dem Ergebnis kamen, dass sich die Sutura in der Transversalebene parallel öffnet, zeigen die Untersuchungen von BALLANTI sowie LIONE et al. eine trianguläre Erweiterung (BALLANTI et al., 2010; CHRISTIE et al., 2010; LIONE et al., 2008; PODESSER et al., 2007). Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit den CT-Untersuchungen von DA SILVA FILHO und GHONEIMA et al. (DA SILVA FILHO et al., 2005; GHONEIMA et al., 2011). Auch die DVT-Untersuchung von WEISSHEIMER et al. und die zweidimensionalen röntgenologischen Untersuchungen von DAVIDOVITCH und LAMPARSKI et al. beobachteten eine trianguläre Erweiterung der Sutura palatina mediana (DAVIDOVITCH et al., 2005; LAMPARSKI et al., 2003; WEISSHEIMER et al., 2011).

In der CT-Studie von HABERSACK et al. wird ein unterschiedlicher Öffnungsmodus der Sutura beschrieben. Die Studie beobachtet bei einem jüngeren Patienten eine parallele Erweiterung, während sich die Sutura bei einem älteren Patienten triangulär erweitert (HABERSACK et al., 2007).

Der Öffnungsmodus der Sutura palatina mediana in der Frontalebene war ebenso Bestandteil umfangreicher Forschung. Dabei kamen WEISSHEIMER und PODESSER et al. zu dem Ergebnis, dass sich die Morphologie des Gaumens während der suturalen Distraction in der

Frontalebene triangulär verändert. Es wurden die größten messbaren Veränderungen auf dentaler Ebene beobachtet, während diese therapeutisch induzierten Effekte in der Sutur selbst geringer ausfielen. Dies entspricht in der Frontalebene einer triangulären morphologischen Veränderung des Gaumens mit abnehmenden skelettalen Effekten in der Vertikalen (PODESSER et al., 2007; WEISSHEIMER et al., 2011).

Die dreidimensionalen Modelluntersuchungen in Kombination mit DVT-Analysen von KINZINGER et al. haben gezeigt, dass es eine Korrelation zwischen dem Öffnungsmodus der medianen Sutur und insbesondere den Breitenveränderungen des Gaumens gibt. Die suturale Erweiterung und die morphologische Nachentwicklung des Gaumens erfolgt bei Kindern in der Transversalebene eher gleichförmig (parallel). Mit zunehmendem Alter der Patienten verändert sich die Qualität dann zu triangulär (V-förmig) mit einer größeren anterioren Erweiterung als posterior (KINZINGER et al., 2022a)

5.3.2. Ergebnisse dieser Studie

Die morphologischen Veränderungen der vorliegenden Studie in der Gaumenbreite stimmen mit den Ergebnissen der Untersuchungen von KINZINGER et al. überein (KINZINGER et al., 2022a). Aus diesem Grund können die Ergebnisse allein auf die erste Phase der Kombinationsbehandlung in Form der suturalen Distraction durch Aktivierung der Hyraxschraube zurückgeführt werden.

Die gemessenen Veränderungen in der Transversalebene zeigten in dieser Studie im jüngeren Patientenkollektiv PG1 posterior eine größere Breitenzunahme als anterior.

In der älteren Patientengruppe PG2 dagegen zeigte sich posterior vergleichsweise eine geringere Gaumenbreitenzunahme und damit eine trianguläre Erweiterung des Gaumens. Das Ausmaß der Breitenzunahme ist in der PG2 zudem geringer ausgeprägt als in der PG1.

In der Vertikalen betrachtet nimmt in Übereinstimmung mit KINZINGER et al. ausgehend von der dentalen Ebene über die gingivalen/alveoläre Ebene bis hin zur skelettalen/basalen Ebene die therapeutisch induzierte Breitenzunahme in beiden Gruppen nach nach kranial ab (KINZINGER et al., 2022a).

Diese Ergebnisse lassen in Übereinstimmung mit KINZINGER et al. eine altersabhängige Veränderung im Öffnungsmodus der Suturen vermuten (KINZINGER et al., 2022a).

In dieser Untersuchung liegen jedoch keine radiologischen Untersuchungsdaten vor. Aus diesem Grund können nur Vermutungen über die altersabhängigen Veränderungen in den Gaumensuturen vorgenommen werden.

In der Literatur wurde beschrieben, dass es mit zunehmendem Alter zu einer vermehrten Interdigitation der Sutura palatina mediana kommt. Diese histologische Veränderung beginnt im posterioren Bereich und setzt sich nach anterior fort. Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich möglicherweise auch auf die posterior beginnende zunehmende Interdigitation und damit geringere Erweiterung im posterioren Bereich zurückführen (KIM et al., 2008; MELSEN, 1975; PERSSON, THILANDER, 1977). Untersuchungen von KINZINGER et al. beobachteten zudem, dass ursächlich für Qualität des Öffnungsmodus nicht nur die Sutura palatina mediana selbst ist, sondern auch die transversal verlaufenden pterygopalatinen und palatomaxillären Suturen sein können (KINZINGER et al., 2022a). Die Beträge der Messdaten fallen in dieser Untersuchung insgesamt etwas geringer aus. Eine mögliche Ursache für die vergleichsweise geringeren Beträge könnte die geringere Aktivierung der Hyraxschraube sein. In den Studien zur forcierten Gaumennahterweiterung von KINZINGER et al. wurde die Hyraxschraube durchschnittlich im Gesamtpatientenkollektiv $24,33 \pm 6,56$ -mal aktiviert. In dieser Studie erfolgte im Gesamtpatientenkollektiv eine Aktivierung von $22,83 \pm 3,73$ Umdrehungen (KINZINGER et al., 2022a; KINZINGER et al., 2022b).

Zu beachten ist auch, dass physiologische Wachstumsprozesse des Oberkiefers zu einer Zunahme der Gaumenbreite führen. Um den effektiven Breitengewinn auf allen drei Ebenen zu ermitteln bedarf es an dieser Stelle einer Gegenüberstellung mit einer Kontrollgruppe. Wie bereits einleitend in der Diskussion beschrieben, lagen Daten für diese Gegenüberstellung nicht vor.

5.4. Messungen der Gaumenhöhe, des Gaumenquotienten, des Alveolarfortsatzwinkels und des Gaumenbasiswinkel

5.4.1. Literarischer Überblick

Für die Höhenmessung und die Messung des Alveolarfortsatzwinkels des Gaumens lagen vergleichbare Modelluntersuchungen von KINZINGER et al. für die alleinige Behandlung mittels forcierter GNE vor.

Die Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass die Gaumenhöhe in beiden Altersgruppen signifikant zunimmt. Jedoch wurde im älteren Patientenkollektiv anterior eine größere Höhenzunahme beobachtet als posterior. Die anteriore Höhenzunahme betrug $0,81 \pm 1,48$ mm, während die posteriore Höhenzunahme zwischen den gemessenen Zeitpunkten T1 (vor Behandlungsbeginn) und T2 (nach Entfernung der GNE) nur $0,43 \pm 0,93$ mm betrug. Im jüngeren Patientenkollektiv nahm die anteriore Gaumenhöhe um $0,46 \pm 1,23$ mm und posterior

um $0,44 \pm 1,00$ mm zu (KINZINGER et al., 2022b). Auch in einer weiteren Untersuchung von KINZINGER et al. nahm die anteriore Gaumenhöhe für alle Patienten signifikant zu. Posterior war diese Zunahme nur in der jüngeren Patientengruppe signifikant. Die posterioren Veränderungen der Gaumenhöhe war in den älteren Patientengruppen vergleichsweise gering (KINZINGER et al., 2022a).

Auch der Alveolarfortsatzwinkel verkleinerte sich folgerichtig in den Untersuchungen von BUSCHOFF im jüngeren Patientenkollektiv anterior und posterior. In dieser Patientengruppe veränderte sich die Gaumenmorphologie von einem Steilgaumen zu einem Normalgaumen. Im älteren Patientenkollektiv war diese Veränderung nur noch im anterioren Bereich nachweisbar (BUSCHHOFF, 2021).

5.4.2. Ergebnisse dieser Studie

Die Veränderung der Gaumenhöhe unter der Kombinationstherapie unterscheidet sich von den Messungen der Studien zur forcierten Gaumennahterweiterung von KINZINGER et al. (KINZINGER et al., 2022a; KINZINGER et al., 2023; KINZINGER et al., 2022b). Demnach sind die Effekte auf die zweite Behandlungsphase unter Verwendung der Delaire-Maske zur maxillären Protraktion zurückzuführen. Während KINZINGER et al. eine signifikante anteriore und posteriore Höhenzunahme in beiden Patientengruppen beschreibt, zeigt sich in dieser Studie in der Gruppe PG1 und PG2 vergleichsweise eine geringere anteriore Höhenzunahme als posterior. Dieser Effekt ist in der Gruppe PG1 deutlicher als in der Gruppe PG2. In Übereinstimmung mit den bisher beschriebenen Ergebnissen dieser Studie zeigt sich auch im Gaumenquotienten (Quotient aus Breite/Höhe) anterior eine signifikante Zunahme in der Gruppe PG1. Eine Veränderung der Gaumenmorphologie von einem Normalgaumen zu einem Flachgaumen tritt folgerichtig auch nur an dieser Stelle in Erscheinung. Auch der Alveolarfortsatzwinkel und der Gaumenbasiswinkel verändern sich anterior in der Gruppe PG1 signifikant um $-2,03^\circ \pm 3,99^\circ$ ($p=0,015$) und um $4,07^\circ \pm 6,61^\circ$ ($p=0,015$). Insgesamt beschreiben demnach alle Messergebnisse dieser Studie übereinstimmend eine anteriore Abflachung der Gaumenmorphologie in der Gruppe PG1.

Ursächlich für die geringere anteriore Höhenzunahme in der jüngeren Patientengruppe könnte der in vielen kephalometrischen Studien untersuchte Verankerungsverlust der Seitenzähne mit Mesialmigration der Oberkieferdentition sein (CHA, 2003; FRANCHI et al., 2004; KAPUST et al., 1998; MERWIN et al., 1997; NARTALLO-TURLEY, TURLEY, 1998). Auch MERWIN et al. stellten in ihren Untersuchungen fest, dass die dentalen Nebenwirkungen im Sinne eines Verankerungsverlustes der Inzisivi und der Molaren bei einer Behandlung mittels forciertes Gaumennahterweiterung und maxillärer Protraktion bei der jüngeren Patientengruppe tendenziell größer war als bei der älteren Patientengruppe (MERWIN et al., 1997). Jedoch ist

zu beachten, dass das Patientenkollektiv dieser Studie nur Patienten bis zu einem chronologischen Alter von 12 Jahren inkludiert hat. Im Gegensatz zu dieser Untersuchung hat bereits DELAIRE et al. in seinen Untersuchungen dargelegt, dass sich der Verankerungsverlust bei einer Behandlung mittels Gesichtsmaske mit zunehmendem Alter erhöht und skelettale Effekte zunehmend in Kombination mit dentalen Effekten in Erscheinung treten (DELAIRE et al., 1978). Insbesondere nach Abschluss des Wachstums ist eine dentoalveoläre Kompensationsstellung der Dentition zu beobachten, während die skelettale Beeinflussung abnimmt. Weitere Untersuchungen wären demnach notwendig, um mit einem größeren Patientenkollektiv den anterioren Verankerungsverlust in der jüngeren Patientengruppe zu untersuchen.

Im Vergleich mit den Studien zur forcierten Gaumennahterweiterung von KINZINGER et al. könnte auch die bereits erwähnte geringere Aktivierung der Hyraxschraube ein Grund für die geringere anteriore Höhenzunahme darstellen (KINZINGER et al., 2022a; KINZINGER et al., 2022b). Zusätzlich verursacht das Tragen einer Gesichtsmaske auf Grund des Verlaufes der Kraftwirkungslinie unterhalb des Widerstandszentrums der Maxilla eine counterclockwise Rotation des Oberkiefers, die möglicherweise auch die Gaumenhöhe beeinflussen könnte (ABDELSALAM et al., 2023).

Bei der Veränderung der Gaumenhöhe muss wie anfangs beschrieben zudem beachtet werden, dass auch hier das physiologische Oberkieferwachstum berücksichtigt werden müsste.

5.5. Längenmessung

5.5.1. Literarischer Überblick

In der Literatur gibt es noch keine digitale Modelluntersuchung, die die Längenveränderung der Maxilla vor und nach der Kombinationstherapie aus suturaler Distraction und maxillärer Protraktion untersucht. Jedoch erörtern eine Vielzahl zweidimensionaler radiologischer Untersuchungen mittels Fernröntgenseitenanalyse die Veränderung der Gaumenmorphologie. Insbesondere die Rolle der forcierten Gaumennahterweiterung auf die Effektivitätssteigerung der Oberkieferverlagerung bzw. der maxillären Nachentwicklung wurde kontrovers diskutiert. Eine häufig zitierte Studie von KIM et al. beschreibt, dass die skelettalen und dentalen Veränderungen der Gruppen mit und ohne Expansion vergleichbar sind. Es zeigte sich im Vergleich der beiden Gruppen, dass es in der Fernröntgenseitenanalyse bei den sagittalen Parametern keine signifikante Veränderung bezüglich der Parameter: SNA, SNB, ANB, WITS-Wert gab. Eine Sonderstellung hatte dabei die Proklination der

Oberkieferfrontzähne, die in der Gruppe ohne Expansion größer ausfiel (KIM et al., 1999). JÄGER et al. veröffentlichten eine Studie, die mit den Ergebnissen der Studie von KIM et al. übereinstimmt. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen mit und ohne Expansion in Bezug auf die Oberkieferverlagerung nachgewiesen (JÄGER et al., 2001). Bei den dentalen Veränderungen zeigten FÖRSCH et al. in einem systematischen Review in Übereinstimmung mit KIM et al. in der Gruppe ohne Expansion eine signifikant stärkere Proklination der Oberkiefer Inzisivi. Es kam zu einer Proklination durchschnittlich um $5,17^\circ$ ohne Expansion und um $2,51^\circ$ mit Expansion, während die sagittalen Parameter in Übereinstimmung mit KIM und JÄGER et al. in der Fernröntgenanalyse keinen signifikanten Unterschied aufwiesen. Eine positive Beeinflussung des Längenwachstums allein auf Grundlage der suturalen Distraction mittels forcierter Gaumennahterweiterung ist demnach nicht zu erwarten (FÖRSCH et al., 2015; JÄGER et al., 2001; KIM et al., 1999).

BACCETTI et al. untersuchten Patienten, die mittels forcierter Gaumennahterweiterung und einer Gesichtsmaske behandelt wurden. Im frühen Wechselgebiss konnten in der jüngeren Patientengruppe bessere Behandlungsergebnisse bezüglich der maxillären Nachentwicklung erzielt werden. Die Autoren vermuteten, dass die positive Wachstumsbeeinflussung der Maxilla über die Gesichtsmaske auf Wachstumsprozesse im Tuberbereich zurückzuführen sei (BACCETTI et al., 1998). Im Gegensatz dazu haben Untersuchungen an Humanschädeln von TSCHECHNE gezeigt, dass die Sutura palatina transversa deutliche altersbedingte Unterschiede im suturalen Wachstum bis zum 12. Lebensjahr aufweist (TSCHECHNE, 2005). Somit könnten auch transversal verlaufende Suturen und deren alterabhängige zunehmende Interdigitation ursächlich für die geringere therapeutische Beeinflussbarkeit der maxillären Nachentwicklung unter der Kombinationstherapie sein.

5.5.2. Ergebnisse dieser Studie

In der zweiten Behandlungsphase der Kombinationstherapie wurde über die Gesichtsmaske die sagittale Nachentwicklung und Vorverlagerung der Maxilla durch Aktivierung der Suturen als Wachstumszentrum des Mittelgesichts angestrebt (DELAIRE, 1971; DELAIRE et al., 1978). Es fällt dabei auf, dass sich die Zunahme der Längen zwischen den beiden Patientengruppen signifikant voneinander unterscheiden. Insbesondere in der jüngeren Gruppe PG1 ist die Längenzunahme posterior signifikant größer als in der älteren Patientengruppe PG2. Ursächlich für die signifikant geringere Längenzunahme und damit eine geringere therapeutisch induzierte maxilläre Nachentwicklung könnten neben der altersabhängigen zunehmenden Rigidität des pterygomaxillären Komplexes auch transversal verlaufende Suturen sein. Diese Suturen könnten mit zunehmendem Alter dem Kraftvektor der

Gesichtsmaske und damit der Vorverlagerung des Oberkiefers mehr Widerstand entgegenbringen (KINZINGER et al., 2022a; TSCHECHNE, 2005).

Zusätzlich sollte der Verankerungsverlust der Inzisivi bei der anterioren Längenmessung diskutiert werden. Jedoch haben viele Studien bereits gezeigt, dass der Verankerungsverlust im Sinne einer Proklination der Oberkieferinzisivi bei einer Kombinationsbehandlung aus forcierter GNE und einer Gesichtsmaske vergleichsweise gering ausfällt. Die Proklination in der Studie von KIM et al. betrug $1,3^\circ \pm 8,3^\circ$ in der Gruppe mit forcierter Gaumennahterweiterung und $4,1^\circ \pm 5,7^\circ$ in der Gruppe ohne transversale Expansion (KIM et al., 1999).

5.6. Volumen- und Flächenmessung

5.6.1. Literarischer Überblick

Die Therapie der suturalen Distraction mittels GNE führt in der Literatur einheitlich zu einer signifikanten Zunahme des Gaumenvolumens und der Gaumenfläche. Auf Grund der großen Variation der Messmethoden unterliegen die Absolutwerte der Volumenmessungen jedoch großen Schwankungen (BUKHARI et al., 2018; GRACCO et al., 2010; KINZINGER et al., 2023; LIONE et al., 2015; MARINI et al., 2007; OLIVEIRA DE FELIPPE et al., 2008; PRIMOŽIČ et al., 2013; PRIMOŽIČ et al., 2013a; PRIMOŽIČ et al., 2012; PRIMOŽIČ et al., 2013b; TÜRKYILMAZ, 2022; WRIEDT et al., 2001). Aus diesem Grund ist wie schon beschrieben ein direkter Vergleich der Absolutwerte nicht sinnvoll. Zudem muss die Wahl der Okklusionsebene als okklusale Begrenzung kritisch diskutiert werden, da sie abhängig von dentalen Parametern wie der Elongation, Abnutzung der Kaufläche oder Zahnkippen ist. Damit ist ein exakter prä- und posttherapeutischer Vergleich der Volumenzunahme nur bedingt möglich. In den Untersuchungen von KINZINGER et al. mittels forcierter GNE wurden verschiedene Altersgruppen betrachtet. Es konnte in Übereinstimmung mit der Literatur für alle Altersgruppen ein signifikanter Anstieg des Gaumenvolumens gezeigt werden. Auch hier konnte eine Korrelation zwischen dem Patientenalter und der Veränderung der Volumenzunahme festgestellt werden. In der älteren Patientengruppe war die Zunahme des Gesamtvolumens geringer als in der jüngeren Patientengruppe (KINZINGER et al., 2023).

5.6.2. Ergebnisse dieser Studie

Die Ergebnisse der Volumen- und Oberflächenmessungen dieser Studie sind vergleichbar mit den Studien von ABDELSALAM, GRACCO, KINZINGER, OLIVEIRA DE FELIPPE, SHAHEN und WRIEDT et. al.. Wobei die Absolutwerte und Prozentwerte der Volumen- und Flächenveränderung jedoch insgesamt etwas geringer ausfallen. Dabei ist zu beachten, dass die Methodik zwischen den Studien bezüglich der horizontalen und dorsalen Begrenzungsebenen, der Anzahl der Patienten, dem Alter der Patienten und der eingesetzten Expansions-Apparatur stark variieren. (ABDELSALAM et al., 2023; GRACCO et al., 2010; KINZINGER et al., 2023; OLIVEIRA DE FELIPPE et al., 2008; SHAHEN et al., 2018; WRIEDT et al., 2001). Jedoch fallen auch im direkten Vergleich mit der Studie von KINZINGER et al. die geringeren Absolutwerte der Volumenmessungen bei einer annähernd gleichen Methodik zur Vermessung auf (KINZINGER et al., 2023). Ursächlich hierfür wird der bereits beschriebene dentale Verankerungsverlust durch das Tragen der Gesichtsmaske und die geringe Anzahl der Hyraxschraubenaktivierung sein.

5.7. Rückschlüsse dieser Studie

In dieser Studie wurden erstmals die morphologischen Veränderungen der Maxilla infolge einer Kombinationsbehandlung mit GNE und Delaire-Maske durch eine umfassende Modellanalyse untersucht. Es erfolgten transversale, vertikale und sagittale Streckenmessungen als auch Volumen- und Flächenmessungen und somit eine umfassende dreidimensionale Analyse des Gaumens.

Die gleichförmigere Breitenzunahme des Gaumens sowie die größeren Zunahmen der Gaumenlänge, des Gaumenvolumens und der Gaumenoberfläche im jüngeren Patientenkollektiv sprechen für eine bessere Reaktionslage dieser Gruppe auf die Therapie der suturalen Distraction mittels GNE und maxillären Nachentwicklung mit einer Gesichtsmaske. Aus diesem Grund erscheint eine Frühbehandlung besonders empfehlenswert. Untersuchungen zur Langzeitstabilität der Klasse III Anomalie bei Patienten, die mit diesen Behandlungsapparaturen therapiert wurden, haben gezeigt, dass neben dem Wachstumsmuster und dem gesicherten Overjet und Overbite die Zungenruhelage zur Stabilisierung des Behandlungsergebnisses eine entscheidende Rolle spielt (FRANCHI et al., 2004; HAGG et al., 2003; MASUCCI et al., 2011; NGAN et al., 1996; NGAN et al., 1997; VOLK et al., 2010). Deswegen sind die Veränderungen der Gaumenmorphologie und des Gaumenvolumens von besonderer Bedeutung, da die Parameter über die Beeinflussung der Zungenruhelage das Behandlungsergebnis langfristig stabilisieren können. Die Wiederherstellung eines funktionellen Gleichgewichts mit einem physiologischen Schluckmuster und einer physiologischen Zungenruhelage ist eher bei Patienten mit einer gleichmäßigen Nachentwicklung der Maxilla gewährleistet und für die Langzeitstabilität von entscheidender Bedeutung. Bei einer eher V-förmigen Erweiterung des Gaumens, wie sie sich verstärkt im älteren Patientenkollektiv (≥ 12 Jahre) zeigt, ist verstärkt mit einer kaudalen Zungenruhelage und damit einem erhöhten Rezidivrisiko auf Grund des fehlenden funktionellen Gleichgewichts zu rechnen (VOLK et al., 2010).

6. Literatur- und Abkürzungsverzeichnis

6.1. Abkürzungsverzeichnis

alt-RAMEC	alternate rapid maxillary expansion und constriction
ANB	Winkel in der Fernröntgenseitenanalyse zwischen <ul style="list-style-type: none">- A-Punkt- B-Punkt- Nasion
ant	anterior
d	Differenz der ersten Messung und der Nachmessung
D1	dorsale Abschlussebene
E1	Gingivaebene
F1	Gingivaoberfläche
F2	Gaumenoberfläche
g	Gaumenbreite alveolär anterior/posterior
GB	Gaumenbreite
GNE	Gaumennahterweiterung
GS	Gingivasaum
h	Höhe median anterior/posterior
l	Länge koronalster Punkt Gingivasaum bis zum tiefsten Punkt des Gaumens
li	links
M	Mittelwert
MF	Methodenfehler
n	Anzahl der Messungen
PG1	Patientengruppe 1
PG2	Patientengruppe 2
post	posterior
re	rechts
RML	Raphe-Median-Linie
SD	Standartabweichung
SNA	Winkel in der Fernröntgenseitenanalyse zwischen <ul style="list-style-type: none">- Sella- Nasion

	- A-Punkt
SNB	Winkel in der Fernröntgenseitenanalyse zwischen <ul style="list-style-type: none"> - Sella - Nasion - B-Punkt
WITS-Wert	Sagittaler Parameter für die Lagebeziehung des Oberkiefers und des Unterkiefers im Bezug zur Okklusionsebene mit den Referenzpunkten <ul style="list-style-type: none"> - A-Punkt - B-Punkt
α	Alpha
β	Beta

6.2. Literaturverzeichnis

1. Abdelsalam R, Nucci L, Carrino R, Shahen S, Abdelaziz F, Fahim F, Perillo L (2023) Comparison of palatal volume and surface changes between bone-borne and tooth-tissue-borne maxillary expansion on cone beam computed tomography digital cast models. *Angle Orthod* 93:282-288
2. Alpern MC, Yurosko JJ (1987) Rapid palatal expansion in adults with and without surgery. *Angle Orthod* 57:245-263
3. Angell EC (1860a) The permanent or adult teeth. *San Fran Med Press* 1:83:145
4. Angell EC (1860b) Treatment of irregularities of the permanent or adult teeth. *Dental Cosmos* 1:540-544:599-601
5. Baccetti T, McGill JS, Franchi L, McNamara JA, Jr., Tollaro I (1998) Skeletal effects of early treatment of Class III malocclusion with maxillary expansion and face-mask therapy. *Am J of Orthod Dentofacial Orthop* 113:333-343
6. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA, Jr. (2000) Treatment and posttreatment craniofacial changes after rapid maxillary expansion and facemask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 118:404-413
7. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA, Jr. (2001) Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 71:343-350
8. 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
9. Bazargani F, Feldmann I, Bondemark L (2013) Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial sutures and bones. *Angle Orthod* 83:1074-1082
10. Bell WH (1977) Correction of the short-face syndrome-vertical maxillary deficiency: a preliminary report. *J Oral Surg* 35:110-120
11. Bicakci AA, Agar U, Sökücü O, Babacan H, Doruk C (2005) Nasal airway changes due to rapid maxillary expansion timing. *Angle Orthod* 75:1-6
12. Bishara SE, Staley RN (1987) Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91:3-14
13. Bukhari A, Kennedy D, Hannam A, Aleksejūnienė J, Yen E (2018) Dimensional changes in the palate associated with slow maxillary expansion for early treatment of posterior crossbite. *Angle Orthod* 88:390-396
14. Buschhoff C (2021) Auswirkungen der forcierten Gaumennahterweiterung auf die Morphologie des Gaumens, Inaugural Dissertation, Homburg/Saar

15. Cameron CG, Franchi L, Baccetti T, McNamara JA, Jr. (2002) Long-term effects of rapid maxillary expansion: a posteroanterior cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121:129-135
16. Cha KS (2003) Skeletal changes of maxillary protraction in patients exhibiting skeletal class III malocclusion: a comparison of three skeletal maturation groups. *Angle Orthod* 73:26-35
17. Chaconas SJ, Caputo AA (1982) Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Am J Orthod* 82:492-501
18. 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:S79-85
19. Cordasco G, Matarese G, Rustico L, Fastuca S, Caprioglio A, Lindauer SJ, Nucera R (2014) Efficacy of orthopedic treatment with protraction facemask on skeletal Class III malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res* 17:133-143
20. Cozza P, Marino A, Mucedero M (2004) An orthopaedic approach to the treatment of Class III malocclusions in the early mixed dentition. *Eur J of Orthod* 26:191-199
21. da Silva Filho OG, Magro AC, Capelozza Filho L (1998) Early treatment of the Class III malocclusion with rapid maxillary expansion and maxillary protraction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 113:196-203
22. da Silva Filho OG, Lara TS, de Almeida AM, da Silav HC (2005) Evaluation of the midpalatal suture during rapid palatal expansion in children: a CT study. *J Clin Pediatr Dent* 29:231-238
23. Dahlberg G (1940) Statistical Methods for Medical and Biological Students. *Br Med J* 2:358-359
24. 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
25. Delaire J (1971) Manufacture of the "orthopedic mask". *Revue de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale* 72:579-582
26. Delaire J, Verdon P, Flour Nantes J (1978) Möglichkeiten und Grenzen extraoraler Kräfte in postero-anteriorer Richtung unter Verwendung der orthopädischen Maske. *Fortschr Kieferorthop* 39:27-45
27. Derichsweiler H (1956) Gaumennahterweiterung- Methode, Indikation und klinische Bedeutung (München, Carl Hanser Verlag)

28. DGKFO, DGZMK (2021): S3 Leitlinie Ideale Behandlungszeitpunkte kieferorthopädischer Anomalien, Langversion 1.0, 2021, AWMF-Registriernummer: 083-038, <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/083-038>
29. 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* 155:198-206
30. Doruk C, Sökücü O, Sezer H, Canbay EI (2004) Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry. *Eur J Orthod* 26:397-401
31. El-Gheriani AA, Maher BS, El-Gheriani AS, Sciote JJ, Abu-Shahba FA, Al-Azemi R, Marazita ML (2003) Segregation analysis of mandibular prognathism in Libya. *J Dent Res* 82:523-527
32. Försch M, Jacobs C, Wriedt S, Hechtner M, Wehrbein H (2015) Effectiveness of maxillary protraction using facemask with or without maxillary expansion: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig* 19:1181-1192
33. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA, Jr. (1998) Shape-coordinate analysis of skeletal changes induced by rapid maxillary expansion and facial mask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114:418-426
34. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA (2004) Postpubertal assessment of treatment timing for maxillary expansion and protraction therapy followed by fixed appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 126:555-568
35. Franchi L, Baccetti T, Masucci C, Defraia E (2011) Early Alt-RAMEC and facial mask protocol in class III malocclusion. *J Clin Orthod* 45:601-609
36. Gardner GE, Kronman JH (1971) Cranioskeletal displacements caused by rapid palatal expansion in the rhesus monkey. *Am J Orthod* 59:146-155
37. 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. *Dental Press J Orthod* 19:36-43
38. 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
39. Gianelly AA (2003) Rapid palatal expansion in the absence of crossbites: added value? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124:362-365
40. Goddard DL (1893) Separation of the superior maxilla at the symphysis. *Dental Cosmos* 2:170-173
41. Gracco A, Malaguti A, Lombardo L, Mazzoli A, Raffaelli R (2010) Palatal volume following rapid maxillary expansion in mixed dentition. *Angle Orthod* 80:153-159

42. Gray LP (1975) Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons. *J Laryngol Otol* 89:601-614
43. Haas AJ (1965) The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 35:200-217
44. Haas AJ (1970) Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod* 57:219-255
45. Haas AJ (1973) Rapid palatal expansion: A recommended prerequisite to Class III treatment. *Trans Eur Orthod Soc* 49:311-318
46. Haas AJ (1980) Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *Angle Orthod* 50:189-217
47. 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
48. Hagg U, Tse A, Bendeus M, Rabie AB (2003) Long-term follow-up of early treatment with reverse headgear. *Eur J Orthod* 25:95-102
49. 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
50. Hickham JH (1991) Maxillary protraction therapy: diagnosis and treatment. *J Clin Orthod* 25:102-113
51. Holberg C (2005) Effects of rapid maxillary expansion on the cranial base--an FEM-analysis. *J Orofac Orthop* 66:54-66
52. Hopkin GB (1966) Craniofacial pattern in mesioocclusion. *American Journal of Orthodontics* 52:927-928
53. Jacobson A, Evans WG, Preston CB, Sadowsky PL (1974) Mandibular prognathism. *Am J Orthod* 66:140-171
54. Jäger A, Braumann B, Kim C, Wahner S (2001) Skeletal and dental effects of maxillary protraction in patients with angle class III malocclusion. A meta-analysis. *J Orofac Orthop* 62:275-284
55. Kapust AJ, Sinclair PM, Turley PK (1998) Cephalometric effects of face mask/expansion therapy in Class III children: a comparison of three age groups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 113:204-212
56. Kim J-H, Viana MAG, Graber TM, Omerza FF, BeGole EA (1999) The effectiveness of protraction face mask therapy: A meta-analysis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 115:675-685

57. 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
58. Kinzinger GSM, Hourfar J, Buschhoff C, Heller F, Korbmacher-Steiner HM, Lisson JA (2022a) Age-dependent interactions of maxillary sutures during RME and their effects on palatal morphology: CBCT and dental cast analysis. *J Orofac Orthop* 83:412-431
59. Kinzinger GSM, Lisson JA, Buschhoff C, Hourfar J, Korbmacher-Steiner H (2022b) Impact of rapid maxillary expansion on palatal morphology at different dentition stages. *Clin Oral Investig* 26:4715-4725
60. Kinzinger GSM, Lisson JA, Buschhoff C, Hourfar J (2023) Age-dependent effects on palate volume and morphology during orthodontic RME treatment. *Clin Oral Investig* 27:2641-2652
61. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H (2004) Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop* 65:467-474
62. Kokich VG (1976) Age changes in the human frontozygomatic suture from 20 to 95 years. *Am J Orthod* 69:411-430
63. Korbmacher H, Huck L, Merkle T, Kahl-Nieke B (2005) Clinical profile of rapid maxillary expansion--outcome of a national inquiry. *J Orofac Orthop* 66:455-468
64. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C (2005a) Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review. *Angle Orthod* 75:1046-1052
65. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C (2005b) Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *Angle Orthod* 75:155-161
66. 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
67. 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
68. Lew KK, Foong WC, Loh E (1993) Malocclusion prevalence in an ethnic Chinese population. *Aust Dent J* 38:442-449
69. 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
70. Lione R, Franchi L, Huanca Ghislanzoni LT, Primožic J, Buongiorno M, Cozza P (2015) Palatal surface and volume in mouth-breathing subjects evaluated with three-

- dimensional analysis of digital dental casts-a controlled study. *Eur J Orthod* 37:101-104
71. Liou EJ (2005a) Effective maxillary orthopedic protraction for growing Class III patients: a clinical application simulates distraction osteogenesis. *Prog Orthod* 6:154-171
 72. Liou EJ (2005b) Toothborne orthopedic maxillary protraction in Class III patients. *J Clin Orthod* 39:68-75
 73. 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
 74. 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
 75. Markwardt AW (1965) Vorschlag zur Bestimmung des Gaumenquotienten. *Fortschr Kieferorthop* 26:48-49
 76. Marsh PD (2003) Are dental diseases examples of ecological catastrophes? *Microbiology (Reading)* 149:279-294
 77. Martina R, D'Antò V, De Simone V, Galeotti A, Rongo R, Franchi L (2020) Cephalometric outcomes of a new orthopaedic appliance for Class III malocclusion treatment. *Eur J Orthod* 42:187-192
 78. 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
 79. Masucci C, Franchi L, Defraia E, Mucedero M, Cozza P, Baccetti T (2011) Stability of rapid maxillary expansion and facemask therapy: a long-term controlled study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:493-500
 80. Masucci C, Cipriani L, Defraia E, Franchi L (2017) Transverse relationship of permanent molars after crossbite correction in deciduous dentition. *Eur J Orthod* 39:560-566
 81. McNamara JA, Jr. (1987) An orthopedic approach to the treatment of Class III malocclusion in young patients. *J Clin Orthod* 21:598-608
 82. Melsen B (1975) Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod* 68:42-54
 83. Merwin D, Ngan P, Hagg U, Yiu C, Wei SH (1997) Timing for effective application of anteriorly directed orthopedic force to the maxilla. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112:292-299
 84. Mommaerts MY (1999) Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 37:268-272

85. Nartallo-Turley PE, Turley PK (1998) Cephalometric effects of combined palatal expansion and facemask therapy on Class III malocclusion. *Angle Orthod* 68:217-224
86. Ngan P, Hagg U, Yiu C, Merwin D, Wei SH (1996) Treatment response to maxillary expansion and protraction. *Eur J Orthod* 18:151-168
87. Ngan P, Wang A, Martin CA, Razmus T, Musich D, Gunel E, Tremont T (2014) Treatment Outcomes of Stable and Unstable Class III Patients (AADR Annual Meeting & Exhibition)
88. Ngan P, Moon W (2015) Evolution of Class III treatment in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 148:22-36
89. Ngan PW, Hagg U, Yiu C, Wei SH (1997) Treatment response and long-term dentofacial adaptations to maxillary expansion and protraction. *Semin Orthod* 3:255-264
90. 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
91. Oppenheim A (1945) A possibility for physiologic orthodontic movement. *Dent Rec (London)* 65:278-280
92. Perillo L, Masucci C, Ferro F, Apicella D, Baccetti T (2010) Prevalence of orthodontic treatment need in southern Italian schoolchildren. *Eur J Orthod* 32:49-53
93. Persson M, Thilander B (1977) Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod* 72:42-52
94. Pithon MM, Santos NL, Santos CR, Baiao FC, Pinheiro MC, Matos MN, Souza IA, Paula RP (2016) Is alternate rapid maxillary expansion and constriction an effective protocol in the treatment of Class III malocclusion? A systematic review. *Dental Press J Orthod* 21:34-42
95. 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
96. Pont A (1909) Der Zahnindex in der Orthodontie. *Zeitschr Zahnärztl Orthop* 3:306–315
97. Potpeschnigg H (1875) Eine Zahnrichtmaschine. *Dtsch Vierteljahrschr Zahnheilkd* 15:34–36
98. Primožic J, Baccetti T, Franchi L, Richmond S, Farcnik F, Ovsenik M (2013) Three-dimensional assessment of palatal change in a controlled study of unilateral posterior crossbite correction in the primary dentition. *Eur J Orthod* 35:199-204

99. 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
100. Primožič J, Perinetti G, Contardo L, Ovsenik M (2013a) Diagnostic performance of 3-dimensional evaluation of palatal vault changes in assessing successful treatment of constricted maxilla in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 143:42-49
101. Primožič J, Richmond S, Kau CH, Zhurov A, Ovsenik M (2013b) Three-dimensional evaluation of early crossbite correction: a longitudinal study. *Eur J Orthod* 35:7-13
102. Roth R, Bimler HP (1979) Kriterien am Fernröntgenbild für die Differentialdiagnose des progenen Formenkreises. *Fortschr Kieferorthop* 40:186-196
103. Sander F, Schwenzler N, Ehrenfeld M (2011) Zahn- Mund und Kieferheilkunde- Kieferorthopädie, Vol 2nd edition (Stuttgart, Georg Thieme Verlag AG)
104. Sandikçioğlu M, Hazar S (1997) Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111:321-327
105. Shahen S, Carrino 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
106. 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; discussion 750-741
107. Sidlauskas A, Lopatiene K (2009) The prevalence of malocclusion among 7-15-year-old Lithuanian schoolchildren. *Medicina (Kaunas)* 45:147-152
108. Soh J, Sandham A, Chan YH (2005) Occlusal status in Asian male adults: prevalence and ethnic variation. *Angle Orthod* 75:814-820
109. Sorel O (2004) [Rapid palatal expansion for the treatment of maxillary constriction]. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 105:26-36
110. Starnbach H, Bayne D, Cleall J, Subtelny JD (1966) Facioskeletal and dental changes resulting from rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 36:152-164
111. 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
112. Takada K, Petdachai S, Sakuda M (1993) Changes in dentofacial morphology in skeletal Class III children treated by a modified maxillary protraction headgear and a chin cup: a longitudinal cephalometric appraisal. *Eur J Orthod* 15:211-221
113. Tang EL (1994) Occlusal features of Chinese adults in Hong Kong. *Aust Orthod J* 13:159-163

114. Taşpinar F, Uçüncü H, Bishara SE (2003) Rapid maxillary expansion and conductive hearing loss. *Angle Orthod* 73:669-673
115. Tecco S, Festa F, Tete S, Longhi V, D'Attilio M (2005) Changes in head posture after rapid maxillary expansion in mouth-breathing girls: a controlled study. *Angle Orthod* 75:171-176
116. 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
117. Timms TJ (1986) *Forcierte Gaumennahterweiterung*. Quintessenz-Verlags-GmbH, Berlin, Germany
118. Tschechne S (2005) *Die sagittale Entwicklung des Oberkiefers*, Inaugural Dissertation, Marburg
119. Türkyilmaz C (2022) *Effekte und Langzeitstabilität der Behandlung des einseitigen Kreuzbisses vor der zweiten Phase des Wechselgebisses*, Inaugural Dissertation, Homburg/Saar
120. Turley PK (1988) Orthopedic correction of Class III malocclusion with palatal expansion and custom protraction headgear. *J Clin Orthod* 22:314-325
121. Turley PK (1996) Orthopedic correction of Class III malocclusion: retention and phase II therapy. *J Clin Orthod* 30:313-324
122. Vaughn GA, Mason B, Moon HB, Turley PK (2005) The effects of maxillary protraction therapy with or without rapid palatal expansion: a prospective, randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128:299-309
123. 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
124. 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
125. Volk J, Kadivec M, Mušič MM, Ovsenik M (2010) Three-dimensional ultrasound diagnostics of tongue posture in children with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:608-612
126. 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. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:366-376
127. Wertz RA (1970) Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod* 58:41-66
128. Wichelhaus PDA (2017) *Kieferorthopädie - Therapie Band 1, Vol 2., unveränderte Auflage* (Stuttgart, Germany, Georg Thieme Verlag)

129. Williams MD, Sarver DM, Sadowsky PL, Bradley E (1997) Combined rapid maxillary expansion and protraction facemask in the treatment of Class III malocclusions in growing children: a prospective long-term study. *Semin Orthod* 3:265-274
130. Williams S, Andersen CE (1986) The morphology of the potential Class III skeletal pattern in the growing child. *Am J Orthod* 89:302-311
131. 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
132. Wilmes B, Nienkemper M, Ludwig B, Kau CH, Drescher D (2011) Early Class III treatment with a hybrid hyrax-mentoplate combination. *J Clin Orthod* 45:15-21
133. Wolff G, Wienker TF, Sander H (1993) On the genetics of mandibular prognathism: analysis of large European noble families. *J Med Genet* 30:112-116
134. Woon KC, Thong YL, Abdul Kadir R (1989) Permanent dentition occlusion in Chinese, Indian and Malay groups in Malaysia. *Aust Orthod J* 11:45-48
135. 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
136. 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

7. Publikation / Danksagung

7.1. Publikation

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 Dank gilt Herrn Professor Dr. Gero Kinzinger für die diagnostischen Unterlagen aus der kieferorthopädischen Facharztpraxis Apl.-Professor Dr. Gero Kinzinger und Dr. Ansgar Schroeder in Tönisvorst. Ich bedanke mich von ganzem Herzen für die herausragende Betreuung, die konstruktive Kritik und die fachliche Unterstützung bei der Verfassung dieser Arbeit.

Zudem bedanke ich mich bei Herrn PD Dr. Jan Hourfar für die freundliche Unterstützung während der statistischen Auswertung.

Auch bei meinen Eltern, die mir das Studium, die Weiterbildung und die Promotion ermöglicht haben, möchte ich mich bedanken. Ich danke meinem wunderbaren Mann für die liebevolle Begleitung in dieser Zeit.

8. Lebenslauf

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