

Aus der Klinik für Kieferorthopädie

Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. J.A. Lisson

**Morphologische Veränderungen des Gaumens  
nach transversaler Erweiterung  
mit kieferorthopädischen Plattenapparaturen –  
Kurzeiteffekte und Langzeitstabilität.**

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde  
der Medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2024

vorgelegt von: Hee Jung Kim

geb. am: 21.02.1978 in Seoul, Süd-Korea

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	6
1 Zusammenfassung/Summary .....	8
2 Einleitung .....	10
2.1 Postnatale Entwicklung und Wachstum des Oberkiefers .....	10
2.2 Ätiologie und Epidemiologie eines schmalen Oberkiefers.....	11
2.2.1 Ursachen .....	12
2.2.2 Häufigkeit.....	13
2.2.3 Zusammenhang mit anderen Pathologien.....	14
2.3 Durchführung der transversalen Gaumenerweiterung.....	15
2.3.1 Erweiterung mit festsitzenden Apparaturen.....	16
2.3.2 Erweiterung mit abnehmbaren Apparaturen.....	16
2.3.3 Chirurgisch unterstützte Erweiterung.....	17
2.4 Indikation und Anwendung der transversalen Gaumenerweiterung .....	17
2.4.1 Verbesserung der Okklusion .....	17
2.4.2 Korrektur von Engständen.....	18
2.4.3 Verbesserung der Nasenatmung.....	18
2.5 Fragestellung .....	18
3 Material und Methodik.....	20

3.1	Patienten.....	20
3.1.1	Einschlusskriterien.....	20
3.1.2	Ausschlusskriterien.....	21
3.1.3	Ethikvotum .....	21
3.2	Kieferorthopädische Behandlungen.....	21
3.3	Datenerhebung .....	22
3.3.1	3D-Modelle .....	22
3.3.2	Vermessung des Oberkiefers .....	23
3.4	Statistische Auswertungen, Methodenfehler.....	27
4	Ergebnisse .....	28
4.1	Charakterisierung der Patientenkohorte .....	28
4.1.1	Patientengruppe 1 .....	28
4.1.2	Patientengruppe 2 .....	29
4.1.3	Patientengruppe 3 .....	29
4.1.4	Statistischer Vergleich der Patientengruppen und Behandlungsdaten .....	30
4.2	Entwicklungen und Veränderungen.....	31
4.2.1	Allgemein .....	31
4.2.2	Breite (dental, gingival/alveolär) .....	32
4.2.3	Höhe (Frontalebene).....	42
4.2.4	Gaumenfläche .....	50
5	Diskussion.....	58

5.1	Stärken und Limitationen der Studie.....	59
5.2.	Bewertung der Veränderungen.....	59
5.2.1.	Langsame transversale Gaumenerweiterungen mit herausnehmbaren Apparaturen sind möglich .....	60
5.2.2.	Die Erweiterungen sind stabil.....	62
5.3.	Schlussfolgerung und Ausblick.....	62
6	Literaturverzeichnis .....	63
	Dank .....	70
	Lebenslauf.....	73

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur der Sutura palatina mediana in unterschiedlichem Alter .....	15
Abbildung 2: Verwendete Schrauben und Apparaturen zur transversalen Kiefererweiterung	22
Abbildung 3: 3D Scanner iTero Element™ 2 und 3 Shape Trios (in der Praxis,2022) .....	23
Abbildung 4: Vermessung der dentalen Breite an einem digitalen Modell des Oberkiefers. .	25
Abbildung 5: Vermessung der gingivalen Breite an einem digitalen Modell des Oberkiefers.	25
Abbildung 6: Vermessung der Gaumenhöhe an einem digitalen Modell des Oberkiefers.....	26
Abbildung 7: Vermessung der Gaumenfläche (grün); links Gesamtfläche, rechts anteriorer Teil. .....	26
Abbildung 8: Zeitlicher Abstand zwischen T1 und T2 (Kurzeiteffekt der Plattenapparaturen) in den verschiedenen Patientengruppen.....	30
Abbildung 9: Zeitlicher Abstand zwischen T2 und T3 (Kurzeiteffekt der Weiterbehandlung mit FKO / MBA) in den verschiedenen Patientengruppen .....	31
Abbildung 10: Entwicklung der dentalen und gingivalen Breite in der <b>Patientengruppe 1</b> ...	35
Abbildung 11: Entwicklung der dentalen und gingivalen Breite in der <b>Patientengruppe 2</b> ...	37
Abbildung 12: Entwicklung der dentalen und gingivalen Breite in der <b>Patientengruppe 3</b> ...	40
Abbildung 13: Entwicklung der Gaumenhöhe in der <b>Patientengruppe 1</b> .....	44
Abbildung 14: Entwicklung der Gaumenhöhe in der <b>Patientengruppe 2</b> .....	46
Abbildung 15: Entwicklung der Gaumenhöhe in der <b>Patientengruppe 3</b> .....	49
Abbildung 16: Entwicklung der Gaumenflächen in der <b>Patientengruppe 1</b> .....	52
Abbildung 17: Entwicklung der Gaumenflächen in der <b>Patientengruppe 2</b> .....	54
Abbildung 18: Entwicklung der Gaumenflächen in der <b>Patientengruppe 3</b> .....	56

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientengruppen (PG) 1, 2 und 3.....	20
Tabelle 2: Einschlusskriterien für die Patientenauswahl .....	20
Tabelle 3: Zeitpunkte der Datenerhebung.....	21
Tabelle 4: Definition der Messpunkte im Oberkiefer .....	23
Tabelle 5: Charakterisierung der Gesamtstudiengruppe (n=90).....	28
Tabelle 6: Charakterisierung der Patientengruppe 1 (n=30).....	29
Tabelle 7: Charakterisierung der Patientengruppe 2 (n=30).....	29
Tabelle 8: Charakterisierung der Patientengruppe 3 (n=30).....	30
Tabelle 9: Differenz der dentalen und gingivalen Breiten in der <b>Patientengruppe 1</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	32
Tabelle 10: Differenz der dentalen und gingivalen Breiten in der <b>Patientengruppe 2</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	35
Tabelle 11: Differenz der dentalen und gingivalen Breiten in der <b>Patientengruppe 3</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	38
Tabelle 12: Statistischer Vergleich der Entwicklung der dentalen bzw. gingivalen Breite zwischen den unterschiedlichen Patientengruppen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 (p inter) .....	41
Tabelle 13: Differenz der Gaumenhöhe in der <b>Patientengruppe 1</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	42
Tabelle 14: Differenz der Gaumenhöhe in der <b>Patientengruppe 2</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	45
Tabelle 15: Differenz der Gaumenhöhe in der <b>Patientengruppe 3</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	47

Tabelle 16: Statistischer Vergleich der Entwicklung der Gaumenhöhe zwischen den unterschiedlichen Patientengruppen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 (p inter) .....	49
Tabelle 17: Differenz der Gaumenflächen in der <b>Patientengruppe 1</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	50
Tabelle 18: Differenz der Gaumenflächen in der <b>Patientengruppe 2</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	53
Tabelle 19: Differenz der Gaumenflächen in der <b>Patientengruppe 3</b> zwischen den drei Messzeitpunkten .....	54
Tabelle 20: Statistischer Vergleich der Entwicklung der Gaumenflächen zwischen den unterschiedlichen Patientengruppen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 (p inter) .....	57

# 1 Zusammenfassung/Summary

Hintergrund und Ziel: Konstriktionen des Oberkiefers führen nicht nur zu einem relativen Missverhältnis zum Unterkiefer, sondern können auch die Nasenatmung beeinträchtigen und bereits im Kindesalter Schnarchen begünstigen. Die Behandlung erfolgt oft mit festsitzenden Apparaturen, die durch die Art der Aktivierung entweder innerhalb von Tagen (schnell) oder innerhalb mehrerer Wochen und Monate (langsam) durch Kombination dentoalveolärer und skelettaler Effekte zu einer Erweiterung des Oberkiefers führt. Als Alternative ist eine Behandlung mit abnehmbaren Plattenapparaturen möglich. Bislang liegen jedoch keine Daten zur Veränderung der Gaumenmorphologie infolge Behandlung mit herausnehmbaren Apparaturen zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers vor. Ziel der vorliegenden Studie war deshalb zu überprüfen, wie sich die dentalen und gingivalen Abstände im Oberkiefer, Gaumenflächen und Gaumenhöhen bei Kindern und Jugendlichen während der Behandlung mit Plattenapparaturen, die Dehnschrauben als aktive Elemente enthalten, verändern und ob diese langfristig stabil bleiben.

Patienten und Methoden: In der vorliegenden monozentrischen retrospektiven Studie wurden die Daten von insgesamt 90 Patienten (je 30 pro Patientengruppe, PG: PG1 unter 10 Jahre, PG2 zwischen 10 und 12 Jahren, PG3 älter als 12 Jahre) ausgewertet. Der Mundraum wurde entweder direkt intraoral gescannt oder es wurden Gipsmodelle, die nach Alginatabformung erstellt wurden, eingescannt. Die Auswertung erfolgte digital mittels einer Diagnosesoftware. Folgende Daten wurden erhoben: dentale und gingivale Breiten zwischen den Eckzähnen, den ersten und zweiten Milch- bzw. Prämolaren sowie den ersten Molaren, Gaumenhöhen zwischen den jeweils genannten Zähnen und Gaumenflächen (anterior, posterior, gesamt).

Ergebnisse: Während der Aktivierungsphase, die im Durchschnitt  $16,8 \pm 7,4$  Monate dauerte, vergrößerten sich alle untersuchten Parameter in den 3 Patientengruppen statistisch signifikant. Während der Weiterbehandlungsphase ( $21,5 \pm 9,8$  Monate) veränderten sich die Werte in der Regel nicht.

Schlussfolgerungen: Die transversale Gaumenerweiterung mit Plattenapparaturen ist bei Kindern und Jugendlichen unterschiedlichen Alters vergleichbar effizient und bleibt langfristig stabil. Allerdings konnte mit der angewendeten Methode nicht überprüft werden, ob und in welchem Ausmaß es sich dabei nur um dentoalveoläre oder auch um skelettale Effekte handelte.

**Background and Aim:** Narrowing of the upper jaw not only leads to a relative disproportion to the lower jaw but can also impair nasal breathing and promote snoring even in childhood. Treatment is often carried out with a fixed palatal expander appliance, which, depending on the type of activation, leads to an expansion of the upper jaw either within days (fast) or within several weeks to months (slow) through a combination of dentoalveolar and skeletal effects. Alternatively, treatment with removable plate appliances is also possible. To date, however, no data are available on the change in palatal morphology following treatment with removable appliances for transversal expansion of the maxilla. The aim of the present study was therefore to investigate how the dental and gingival distances in the maxilla, the palatal surfaces and the palatal heights in children and adolescents change during treatment with removable plate appliances with expansion screws as active elements and whether these remain stable in the long term.

**Patients and Methods:** In the present monocentric retrospective study, the data of a total of 90 patients (30 patients per patient group, PG: PG1 under 10 years old, PG2 between 10 and 12 years old, PG3 older than 12 years old) were analyzed. The oral cavity was either scanned directly intraorally or plaster casts created after alginate impressions were scanned. The evaluation was carried out digitally using diagnostic software. The following data were collected: dental and gingival widths between the canines, the first and second deciduous or premolar teeth as well as the first molars, palatal heights between the respective teeth, and palatal surfaces (anterior, posterior, total).

**Results:** During the activation phase, which lasted an average of  $16.8 \pm 7.4$  months, all parameters examined in all three patient groups increased statistically significantly. During the follow-up treatment phase ( $21.5 \pm 9.8$  months), the values generally did not change.

**Conclusions:** Transversal palatal expansion with removable plate appliances is comparably efficient in children and adolescents of different ages and remains stable in the long term. However, the applied method could not determine whether and to what extent the effects were solely dentoalveolar or also skeletal.

## 2 Einleitung

Zahn- und Kieferfehlstellungen gehören zu den häufigsten Beeinträchtigungen der Mundgesundheit und belasten nicht nur Erwachsene und Jugendliche, sondern bereits Kinder im Alter ab acht Jahren (Bekes et al. 2023; Da Paes Silva et al. 2020; Kunz et al. 2019, 2018). Nicht nur gesunde Zähne, auch eine korrekte Zahnstellung und Kieferbasenrelation tragen zum guten Allgemeinzustand eines Menschen bei. Deren Korrektur führt zu einer deutlichen Verbesserung der Lebensqualität (Ribeiro et al. 2023). Zu den Fehlstellungen, die am häufigsten kieferorthopädisch behandelt werden müssen, gehören Engstände, Kreuzbisse und auch skelettale Kieferbasenfehlstellungen. Oft ist der Grund ein zu enger Oberkiefer (Maxilla), der sog. Schmalkiefer (transversale Oberkieferhypoplasie). Dieser führt zu einer transversalen Diskrepanz zwischen dem Zahnbogen des Oberkiefers und des Unterkiefers. Der Schmalkiefer kann mit einer transversalen Expansion des Zahnbogens und des Gaumens behandelt werden, was entweder mit festsitzenden oder abnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen erreicht werden kann.

### 2.1 Postnatale Entwicklung und Wachstum des Oberkiefers

Die postnatale Entwicklung der Maxilla und die damit einhergehende Veränderung des Gaumens wurden bislang nur unzureichend untersucht, da eine derartige Longitudinalstudie die kontinuierliche Dokumentation des kindlichen Gaumens über die gesamte Wachstumsphase erfordert. Es wird davon ausgegangen, dass das vertikale Wachstum des Gaumens auf zwei Prozesse zurückzuführen ist: einer anterioren Verschiebung der Maxilla und einer Absenkung der Gaumennaht sowie ein Knochenumbau. Dadurch wird Platz für die bleibenden Zähne geschaffen und der Nasenraum vergrößert (Björk and Skieller 1977).

Primožič et al. (2012) untersuchten das Gaumenwachstum von 26 Kindern im Alter von fünf Jahren und stellten innerhalb eines Zeitraums von 30 Monaten keine kontinuierlich lineare Zunahme des Gaumenvolumens fest. Obwohl die Grundfläche des Gaumens in der Zeit des Durchbruchs der ersten bleibenden Zähne zunahm, veränderte sich das Volumen in der Zeit nicht, was auf eine Abflachung des Gaumens in dieser Wachstumsphase hindeutet. Daher bevorzugen die Autoren die Gaumenfläche als Bewertungsgrundlage für die Gaumenentwicklung (Primožič et al. 2012).

Weiterhin zeigten die Vermessungen der Arbeitsgruppe Stern et al. (2020) an 31 Kindern mit Normalokklusion, dass das Gaumenvolumen von der vollständigen ersten Dentition bis zur

Ausbildung der vollständigen zweiten Dentition kontinuierlich zunimmt und dabei das Gaumen-  
volumen der Mädchen stets geringer ist als das der Jungen. Gleichzeitig erweitert sich der  
Zahnbogen des Oberkiefers zwischen den ersten Molaren (ab dem frühen Wechselgebiss) nur  
um zwei Millimeter (Stern et al. 2020).

Thilander (2009) definierte die Gaumenhöhe mit der Okklusalebene als horizontale Referenz.  
Sie untersuchte in ihrer Longitudinalstudie die Entwicklung der normalokkludierenden Kiefer  
von 189 Schweden und 247 Schwedinnen zwischen dem Alter von 5 bis 31 Jahren. Während  
dieser Zeit nahm die Gaumenhöhe kontinuierlich zu: bis zu einem Alter von 16 Jahren um etwa  
0,5 mm pro Jahr, später 0,1 mm pro Jahr. Weiterhin stellte die Autorin keine geschlechtsspe-  
zifischen Unterschiede in der Gaumenhöhe bis zu einem Alter von 10 Jahren fest. Der Inter-  
prämolarenabstand dagegen unterscheidet sich deutlich zwischen den Geschlechtern und er-  
reicht sein Maximum im Alter von 16 Jahren mit ca. 42 mm bei den männlichen und 39 mm  
bei den weiblichen Studienteilnehmern (Thilander 2009).

Weicht die Gaumenhöhe bei einem habituell mundatmenden Kind im Alter von 8 Jahren um  
1 mm von den Nasenatmern ab (Lione et al. 2014), kann bereits ein behandlungsbedürftiger  
Schmalkiefer vorliegen. Markwardt (1965) bemängelte bereits, dass „...die nicht geklärten Be-  
ziehungen zwischen Gaumenhöhe einerseits und der Transversalen und der Sagittalen ande-  
rerseits ... [zu] Beschreibungen wie flacher Gaumen, hoher Gaumen, Steilgaumen, überspitz-  
tes Gaumendach [bzw.] Normalgaumen...“ (Markwardt 1965) führt, ohne dass eine eindeutige  
Definition vorliegt. So setzte er die Breite der Maxilla, gemessen am Zahnfleischrand der 2.  
Prämolaren, in Relation zur Kieferhöhe, gemessen an der Raphe mediana senkrecht zur gingi-  
valen Verbindungslinie zwischen den Prämolaren. Er definierte den „Normalkiefer“ bei einem  
Quotienten von 2,5, den Flachgaumen bei einem Quotienten von 3 und höher, sowie den Steil-  
gaumen bei einem Quotienten von 2,0 und weniger.

## 2.2 Ätiologie und Epidemiologie eines schmalen Oberkiefers

Die Ursachen des schmalen Gaumens können in einer genetischen Prädisposition, beispiele-  
weise bei fehlenden Zahnanlagen, liegen oder umweltbedingt sein. Zwar kann im Einzelnen  
die Ursache meist nicht sicher ermittelt werden, jedoch gibt es Hinweise auf unterschiedliche  
Einflussfaktoren.

## 2.2.1 Ursachen

Der Einfluss der genetischen Veranlagung auf die Gaumenmorphologie und das Bestehen eines Schmalkiefers ist nach wie vor nicht unumstritten und eine Reihe von Determinanten werden diskutiert (Saghiri et al. 2021). Ling and Wong (2009) demonstrierten, dass die Weite des Zahnbogens unter anderem von der Ethnie der Person bestimmt wird (Ling and Wong 2009). Ob sich dahinter jedoch ein genetischer oder ein Umwelteinfluss verbirgt, haben die Autoren nicht untersucht. Auch der Unterschied in der Gaumendimension bei erwachsenen Saudi Arabern und Jemeniten bei gleicher Ethnie kann durch den unterschiedlichen Lebensstandard und die damit verbundenen Ernährungsunterschiede verursacht werden (Alkadhi et al. 2018; Al-Zubair 2015). Einige Geschwisterstudien zeigten, dass es eine genetische Veranlagung gibt, Umwelteinflüsse jedoch meist überwiegen (Santana et al. 2020; Birant et al. 2022). So konnten Švalkauskiė et al. (2015) demonstrieren, dass die Architektur des Oberkiefers eher genetisch determiniert ist als die Architektur des Unterkiefers. Die Autoren fanden einen genetischen Einfluss auf die Kieferbreite zwischen den oberen seitlichen Incisivi, den Canini und den ersten Molaren. Weiterhin beschreiben sie, dass der genetische Einfluss auf den anterioren Kieferbereich größer ist, als auf den posterioren (Švalkauskiė et al. 2015).

Neben der genetischen Determinanten sind Umwelteinflüsse wie die Verwendung eines Beruhigungssaugers (Schnuller) bis ins Kleinkindalter ein Risikofaktor für die Entwicklung eines Schmalkiefers und einer verringerten Breite des Zahnbogens (Aznar et al. 2006). Scudine et al. (2021) konnten in einer klinischen Studie zeigen, dass sich nach dem Absetzen des Schnullers bei Vierjährigen die Gaumenform und die Intercaninenabstände deutlich verbessert (Scudine et al. 2021). Ein längerer Schnullergebrauch ist damit einer der Hauptrisikofaktoren für einen posterioren Kreuzbiss und einen Schmalkiefer (Herrera et al. 2022). In weit stärkerem Maß gilt das verlängerte Daumenlutschen über das 3. Lebensjahr hinaus als Risikofaktor für derartige Entwicklungen. Vor allem durch den Unterdruck im Mundraum, der während des dabei ausgeführten Saugens entsteht, kommt es zu einer Verengung des Zahnbogens der Maxilla und den damit verbundenen adversen Effekten auf die Zahnstellung.

Weiterhin haben vor allem dolichocephale bzw. dolichofaziale Wachstumstypen mit einem schmalen Gesichtsschädel einen Schmalkiefer. Diese Schädelform kommt besonders häufig bei Frühgeborenen vor, deren Kopf in den letzten Wochen der Entwicklung nicht mehr intrauterin von der Amnionflüssigkeit gestützt wird. Die Schwerkraft führt dann zu einer beiderseitigen Abflachung des Kopfes (Cartlidge and Rutter 1988; McCarty et al. 2017). Etwa acht Prozent der Frühgeborenen behalten diesen Schmalkiefer (Herrera et al. 2022).

Auch das Vorhandensein oder Fehlen des korrekten Muskeltonus im Kieferbereich hat einen großen Einfluss auf die Entwicklung des Gaumens. So konnten Harvold et al. (1972) an Rhesusaffen zeigen, dass durch das Fehlen des physiologischen Drucks, den die Zunge auf den Gaumen ausübt, eine Veränderung des Kieferbogens festgestellt werden konnte. Weiterhin kann eine habituelle Abweichung vom somatischen Schluckmuster zum viszeralem Schluckmuster, in dem die Zunge nach vorne geschoben wird, statt am Gaumendach anzuliegen, zu einem Schmalkiefer führen (Lindner and Modéer 1989; Modéer et al. 1982).

Aznar et al. benennen weiterhin die Mundatmung als einen Risikofaktor für einen schmalen Zahnbogen (Aznar et al. 2006). Ob es sich bei der Mundatmung im Zusammenhang mit einem Schmalkiefer allerdings um einen Risikofaktor handelt oder eher um die Folge, dass aufgrund eines zu schmalen Kiefers und damit auch zu schmalen Gaumendachs die Nasenatmung erschwert ist und das Kind daher zur Mundatmung wechselt, ist unklar. Lione et al. (2014) demonstrierten, dass die erschwerte Mundatmung aufgrund einer allergischen Rhinitis zu einer Erhöhung des Gaumendaches und einer Verschmälerung des Zahnbogens bei Achtjährigen im Vergleich zur gesunden Kontrolle führt. In ihrer Übersichtsarbeit zeigen Zhu et al. (2016) weiterhin, dass sich bei Patienten mit Mundatmung nach der Entfernung entsprechender Hindernisse in den Atemwegen (Rachenmandeln oder Gaumenmandeln) sich zwar die Atmung normalisierte, die Kieferdimensionen aber nicht vollständig zum Normalzustand auswuchsen (Zhu et al. 2016).

Ein weiterer Risikofaktor könnte die Versorgung mit Vitamin D3 darstellen. Eine retrospektive Beobachtungsstudie von Leszczyszyn et al. (2021) zeigte, dass in einer Gruppe mit Vitamin D3-Defizit (weniger als 50 ng Vitamin 1.25 (OH) 2 je ml Blut) vermehrt ein enger Oberkiefer (Odds Ratio OR 4,94), Zahnengstand im Oberkiefer (OR 4,94) und Kreuzbiss (OR 6,16) auftreten. Die Autoren führen dies auf eine Störung in der Entwicklung des Skeletts durch eine chronische Unterversorgung mit Vitamin D3 zurück (Leszczyszyn et al. 2021).

### 2.2.2 Häufigkeit

Gemäß der Sechsten Deutschen Mundgesundheitsstudie (Jordan et al. 2021), die unter anderem die Zahn- und Kieferfehlstellungen bei Kindern untersucht hat, zeigte sich bezüglich der Risikofaktoren für einen Schmalkiefer folgendes Bild: unter den 692 untersuchten acht- und neunjährigen Kindern zeigten 1,3 % eine Mundatmung, 1,8 % ein viszerales Schluckmuster, sowie 3,1 % einen inkompetenten bzw. 4,7 % einen nur potentiell kompetenten Lippenchluss. Die Prävalenz eines Schmalkiefers kann daraus allerdings nicht abgeleitet werden.

Bei der kieferorthopädischen Einteilung werden die Zahn- und Kieferfehlstellungen, die auf einen Schmalkiefer und einen damit assoziierten hohen Gaumen zurückgehen, meist in die Angle Klasse II/1 eingeteilt. „Hier verzahnt der distobukkale Höcker des ersten unteren Molaren distal der Crista transversa des ersten oberen Molaren. Die Spitze des unteren Eckzahnes zeigt in die mesiale Fossa des oberen Eckzahnes“ (DocCheck 2023). Gleichzeitig sind die vorderen Schneidezähne protrudiert (Jordan et al. 2021). Ein damit verbundener seitlicher Kreuzbiss wurde in Deutschland bei 8,4 % der untersuchten Kinder festgestellt, ein Engstand (nicht nach Kiefern getrennt) bei 60,9 % wobei das Vorhandensein eines Schmalkiefers nicht dokumentiert wurde (Jordan et al. 2021).

### 2.2.3 Zusammenhang mit anderen Pathologien

Eine Folge eines Schmalkiefers ist ein Engstand der Zähne im Oberkiefer, da durch die Kiefermorphologie das Platzangebot reduziert ist. Aufgrund der veränderten Kieferbogenmorphologie kommt es gleichzeitig zu Malokklusionen, wenn die Mandibula normgerecht entwickelt ist. Meist äußert sich diese Diskrepanz in einem posterioren Kreuzbiss, bei dem das Defizit in der Gaumen-/Kieferbreite erkennbar wird. Ein weiteres Risiko eines zu schmalen Oberkiefers ist, dass in der Folge die Mandibula in eine retrognathe Position forciert wird, die wiederum zu einer Verengung der oberen Luftwege führt und damit die Nasenatmung erschwert, was wiederum durch eine Mundatmung kompensiert wird (Saint-Fleur et al. 2021).

Der Schmalkiefer tritt häufig zusammen mit einer habituellen Mundatmung auf (Lione et al. 2014). In diesem Vergleich zwischen achtjährigen Kindern mit Mundatmung und mit Nasenatmung konnte gezeigt werden, dass die Mundatmer eine Verengung der Maxilla und einen höheren Gaumen hatten (Lione et al. 2014). Dieser Schmalkiefer ist möglicherweise eine Prädisposition für das Schnarchen bis hin zur Schlafapnoe (Huynh et al. 2016; Yuen et al. 2022).

Eine weitere Erkrankung, die als Folge eines Schmalkiefers auftreten kann, ist eine wiederkehrende Mittelohrentzündung (Otitis media). Die akute Mittelohrentzündung ist eine schmerzhafte Entzündung, die bei 70 % der US-amerikanischen Kinder mindestens einmal bis zu ihrem sechsten Lebensjahr auftritt. In Deutschland liegen die Zahlen mit 61,4 % leicht darunter (Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin 2014). Die Pathogenese beruht auf einer Störung der Funktion der Eustachischen Röhre (Bluestone 1985). Die Eustachische Röhre sorgt für die Belüftung des Mittelohrs, den Abfluss von Sekreten und den Schutz des Mittelohrs vor nasopharyngealen Sekreten. Kim et al. (2008) postulierten, dass Kinder mit einem Schmalkiefer und entsprechend hohem Gaumen eine horizontal verlaufende

Eustachische Röhre haben, die ihre Funktion nur unzureichend erfüllt. Daher überprüften die Autoren, ob die Gaumenform mit einem erhöhten Risiko für Otitis media einhergeht und konnten eine Korrelation zwischen einem hohen Gaumen und wiederkehrenden Episoden der Otitis media feststellen (Kim et al. 2008).

### 2.3 Durchführung der transversalen Gaumenerweiterung

Der Gaumen besteht aus zwei Bereichen, dem harten Gaumen (Palatum durum) und dem weichen Gaumen (Palatum molle). Der harte Gaumen wird vom Processus palatinus maxillae und der Lamina horizontalis des Gaumenbeins (Os palatinum) gebildet. In der Mitte des Gaumens wachsen die beiden Processi palatini maxillarum zusammen und bilden die mittlere Gaumennaht (Sutura palatina mediana), an der die Schleimhaut des Palatum durum fixiert ist. Diese ist stellenweise zu Querfalten (Rugae palatinae) aufgeworfen. Kranzförmig um den Gaumen liegt der Alveolarknochen oder -fortsatz (Processus alveolaris maxillae). Während des Wachstums ossifiziert die Gaumennaht und ist nach Abschluss der Ossifikation für eine konservative Erweiterung mit kieferorthopädischen Apparaturen nicht mehr zugänglich (Abbildung 1).

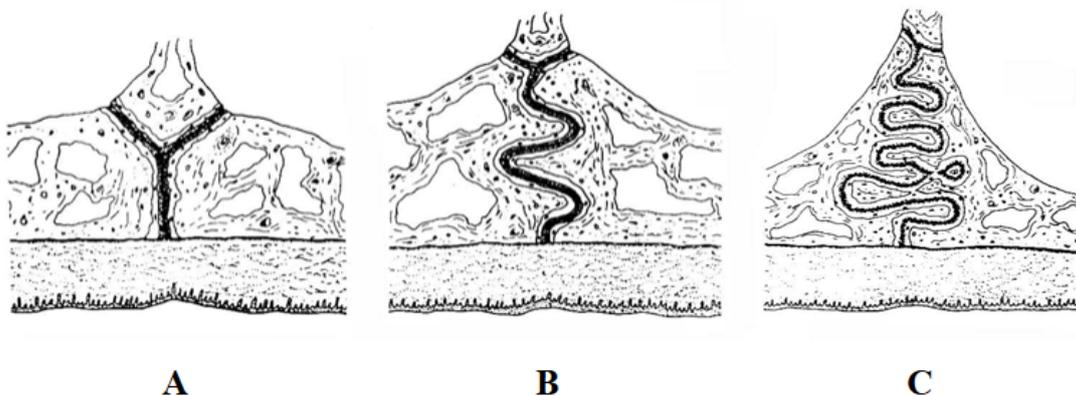


Abbildung 1: Struktur der Sutura palatina mediana in unterschiedlichem Alter

A: Im Kindesalter bis 8 Jahre Y-förmig; B: Im Alter von etwa 12 Jahren; C: Im Alter von etwa 18 Jahren kurz vor der Ossifikation (aus Timms 1981 nach Melsen 1975)

Die Kräfte, die durch eine kieferorthopädische Apparatur auf den Oberkiefer ausgeübt werden, resultieren in zwei unterschiedlichen Effekten. Einerseits sind dentale Effekte zu beobachten, die zu einer Vergrößerung des Intermolarenabstands und der Kippung der Molaren führen. Dies betrifft nur die Zähne und den Alveolarknochen. Andererseits können skelettale Effekte festgestellt werden, die die eigentliche transversale Erweiterung der Maxilla darstellen.

### 2.3.1 Erweiterung mit festsitzenden Apparaturen

Festsitzende kieferorthopädische Apparaturen zur Gaumennahterweiterung werden in der Regel dental an den 1. Milch- bzw. Prämolaren und den 1. Molaren befestigt. In der Mitte befindet sich eine Dehnschraube, mit der die Apparatur aktiviert und der Abstand vergrößert werden kann. Die festsitzende Apparatur wird meist für die sogenannte schnelle Gaumennahterweiterung verwendet, bei der die Schraube ein bis dreimal täglich aktiviert wird. Dabei bildet sich an der Gaumennaht neue Knochensubstanz und der skelettale Effekt überwiegt dem dentalen Effekt, bei dem lediglich die Zähne im Alveolarknochen nach bukkal gekippt werden.

### 2.3.2 Erweiterung mit abnehmbaren Apparaturen

Eine Alternative zu festsitzenden Apparaturen sind die abnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen. Hier findet vor allem das System nach Schwarz mit den Modifikationen nach Tränkmann Anwendung. Die „herausnehmbare kieferorthopädische Apparatur zur Expansion von Zähnen und Zahnbögen“ nach A.M. Schwarz (Schwarz 1938) wurde im Laufe des 20. Jahrhunderts stetig weiterentwickelt (Tränkmann 1985, 1990, 1992, 1993; Lisson 1999).

Herausnehmbare Apparaturen in der Kieferorthopädie werden individuell für den Patienten hergestellt. Eine Plattenapparatur wird in der Regel dazu verwendet, Zahn- und Kieferfehlstellungen zu korrigieren. Besonders bekannt war A.M. Schwarz für seine Arbeit mit Schraubelementen und selbst einstellbaren Apparaturen. Die Kunststoffbasis dieser Platten bietet Verankerung, die aktive Bewegungen von Zähnen unterstützen, während die eigentlichen „aktiven Elemente“ wie Schrauben, Federn oder andere Vorrichtungen auch Veränderungen des Kiefers ermöglichen. Die Betätigung der Schrauben ist die eigentliche Aktivierung der Apparatur. Die genaue Art der Plattenapparatur und ihre Anwendung können je nach den spezifischen Bedürfnissen des Patienten variieren. In dieser Arbeit bezieht sich der Begriff der „Plattenapparatur“ nur auf eine transversale Erweiterung des Oberkiefers. Ihr Einsatz ermöglicht die transversale Erweiterung des Oberkiefers, um ausreichend Platz für die korrekte Ausrichtung der Zähne sowie die Korrektur von transversalen Missverhältnissen zwischen Oberkiefer und Unterkiefer zu schaffen (Tränkmann 1996, 1999).

Der Effekt dieser Behandlungsform ist, dass die Transversaldehnung und die Zahnbogenexpansion je nach verwendetem System weniger auf skelettale Effekte zurückzuführen ist, als auf Kippung am Zahnbogen (Tai et al. 2011). Bei der Plattenapparatur besteht die

Oberkiefererweiterung meist aus der Kippbewegung der Incisivi und Prämolaren bzw. Molaren. In nur wenigen Fällen kommt es zu einer Beeinflussung der Gaumennaht (Tai and Park 2010).

### 2.3.3 Chirurgisch unterstützte Erweiterung

Die dritte Möglichkeit der transversalen Kiefererweiterung besteht in einer chirurgischen Öffnung der medianen Gaumennaht. Dies wird notwendig, wenn der Patient bereits das Wachstum abgeschlossen hat und die Sutur weitestgehend ossifiziert ist. Da in der hier vorgestellten Studie jedoch lediglich Patienten im Wachstumsalter eingeschlossen wurden, wird diese Möglichkeit hier nicht weiter erörtert und auf die Metaanalysen von Vilani et al. (2012) und Bortolotti et al. (2020) verwiesen.

## 2.4 Indikation und Anwendung der transversalen Gaumenerweiterung

Der Zusammenhang zwischen einem Schmal kiefer mit einer obstruierten Nasenatmung, Mundatmung und daraufhin fehlendem Druck der Zunge auf den Gaumen führt zu einer immer weiteren Verschlechterung im nasopharyngealen und orofazialen Bereich. Diese Entwicklungsspirale kann an mehreren Stellen unterbrochen werden: eine Entfernung der Rachen- und Gaumenmandeln führt zu einem vermehrten Platzangebot im Nasen-Rachen-Raum, die Korrektur einer Zahnfehlstellung möglicherweise mit einer Korrektur eines retrognathen Unterkiefers führt ebenfalls zu einem vergrößerten Rachenraum. Eine transversale Erweiterung des Gaumens kann jedoch gleichzeitig mehrere Probleme lösen. Diese transversale Erweiterung kann schnell oder langsam erfolgen.

### 2.4.1 Verbesserung der Okklusion

Eine schmale Oberkieferbasis kann zu einem Kreuzbiss führen. Dies führt zu Kau- und Bissproblemen. Durch die transversale Erweiterung des Oberkiefers wird die Breite des Kieferbogens vergrößert und eine bessere Okklusion erreicht. Alsawaf et al. (2022) untersuchten in ihrer Meta-Analyse die Effektivität der Kiefererweiterung auf die Behebung eines einseitigen Kreuzbisses im Wechselgebiss. Damit kann der posteriore Kreuzbiss effektiv korrigiert werden. Allerdings schränken die Autoren ein, dass bei den berücksichtigten randomisierten und/oder kontrollierten klinischen Studien der Intermolarenabstand damit nicht auf die Werte, die bei den Kontrollen gemessen wurden, erhöht werden konnte (Alsawaf et al. 2022).

## 2.4.2 Korrektur von Engständen

Ein schmaler Oberkiefer kann zu Platzmangel für die Zähne führen, was zu Engständen und Zahnfehlstellungen führt. Durch die Expansion des Oberkiefers wird zusätzlicher Platz geschaffen, um die Zähne in die richtige Position zu bringen und Engstände zu korrigieren. Dies konnte mit Hilfe einer randomisierten kontrollierten klinischen Studie bestätigt werden (Rabah et al. 2022).

## 2.4.3 Verbesserung der Nasenatmung

Eine schmale Oberkieferbasis kann zu Atemwegsproblemen führen, insbesondere zu einer Einschränkung der Nasenatmung. Durch die Erweiterung des Oberkiefers kann möglicherweise die Nasenatmung verbessert werden. Eine Verbesserung der obstruktiven Schlafapnoe und der Sauerstoffsättigung im Blut bei Kindern kann mit einer schnellen Oberkiefererweiterung nachgewiesen werden (Camacho et al. 2017; Barbosa et al. 2023; Bucci et al. 2023), ebenso wie eine Erweiterung der oberen Luftwege (Santana et al. 2022), die möglicherweise nicht von Dauer ist (Niu et al. 2020). Daher wird bislang die eingeschränkte Nasenatmung als alleinige Indikation zur transversalen Kiefererweiterung abgelehnt, da hochwertige randomisierte und kontrollierte klinische Studien noch fehlen.

## 2.5 Fragestellung

Seit Beginn der modernen Kieferorthopädie werden Plattenapparaturen als individuell angepasstes Behandlungsgerät weltweit eingesetzt. Begriff und Technik der „removable orthodontic appliance“ haben sich vielseitig weiterentwickelt. Daher stellt sich die Frage, welchen Stellenwert die abnehmbaren kieferorthopädischen Apparaturen bei der transversalen Erweiterung eines Schmalkiefers bei Kindern und Jugendlichen einnehmen können.

Es wird im Rahmen der hier vorgelegten retrospektiven monozentrischen Studie untersucht, welche langfristigen morphologischen Veränderungen nach der langsamen transversalen Erweiterung des Oberkiefers durch ein herausnehmbares Gerät erreicht werden können. Dazu werden dentale und gingivale Breitenveränderungen im Oberkiefer und die Entwicklung der Gaumenhöhe und Gaumenfläche herangezogen, die retrospektiv analysiert werden. Funktionelle Differenzen und die Unterscheidung nach skelettalen bzw. dentalen Effekten werden hierbei nicht berücksichtigt.

Als Datengrundlage werden Messwerte von Patientinnen und Patienten aus drei Altersgruppen herangezogen, um eine Aussage zum optimalen Zeitpunkt der Behandlung treffen zu können. Die Daten werden erhoben, wenn die transversale Erweiterung abgeschlossen ist, um die Effektivität in den unterschiedlichen Altersklassen dokumentieren zu können. Eine weitere Datenerhebung erfolgt nach Abschluss der gesamten kieferorthopädischen Behandlung, um die Langzeitstabilität der Erweiterung in den unterschiedlichen Altersklassen bewerten zu können.

Damit soll die Grundlage geschaffen werden, eine Empfehlung bezüglich des optimalen Alters für die Behandlung aussprechen zu können.

### 3 Material und Methodik

#### 3.1 Patienten

Die Untersuchungsgruppe setzt sich aus insgesamt 90 Patienten zusammen (46 weiblich, 44 männlich). Die Patienten erhielten im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung in der Kieferorthopädischen Praxis Lieblingsorth in Buxtehude eine Plattenapparaturen zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers und wurden zwischen August 2013 und November 2022 behandelt. Sie wurden altersabhängig in drei Patientengruppen (PG) unterteilt: PG1 bis zum 10. Lebensjahr (LJ), PG2: zwischen 10.-12. LJ und PG3 ab dem 12. LJ). Die Zugehörigkeit zur jeweiligen PG bezieht sich auf das Alter beim Einsetzen der kieferorthopädischen Apparatur. Aus jeder Altersgruppe wurden 30 Patienten in die Untersuchung eingeschlossen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Patientengruppen (PG) 1, 2 und 3

<b>Patientengruppe (PG)</b>	<b>Alter</b>	<b>Patientenzahl</b>
<b>PG1</b>	jünger als 10 Jahre	30
<b>PG2</b>	10 bis <12 Jahre	30
<b>PG3</b>	12 Jahre und älter	30

##### 3.1.1 Einschlusskriterien

Die Patienten wurden anhand von diagnostischen Unterlagen, z.B. Befund- und Behandlungsdokumentation sowie dreidimensional getrimmten Modellen ausgewählt. Die Einschlusskriterien sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Einschlusskriterien für die Patientenauswahl

<b>Kreuzbiss</b>	-rechts -links -beidseits
<b>Mandibuläre Schwenkung</b>	-rechts -links
<b>Angle Klasse</b>	-I -II -III

### 3.1.2 Ausschlusskriterien

Patienten mit Extraktionen, Zahnnichtanlagen, aufgrund des Zahnwechsels fehlenden Zähnen in den Stützzonen oder die eine operative Behandlung im Rahmen einer Umstellungsosteotomie während der Behandlung erhielten wurden von der Studie ausgeschlossen.

### 3.1.3 Ethikvotum

Da es sich bei der hier vorgelegten Arbeit um eine retrospektive und anonymisierte Studie handelt, bestand keine Notwendigkeit für ein Votum der Ethikkommission.

## 3.2 Kieferorthopädische Behandlungen

Die Datenerhebung erfolgte zu definierten Zeitpunkten: T1 vor der Behandlung, T2 nach der transversalen Erweiterung des Gaumens durch die Plattenapparatur und T3 nach Abschluss bzw. Retention der gesamten kieferorthopädischen Behandlung (Tabelle 3). Zwischen T2 und T3 wurden die Patienten teilweise mit den funktionskieferorthopädischen Geräten, teilweise mit Multiband-Apparatur weiterbehandelt, ohne dass dabei weitere transversale Erweiterungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die Effekte zwischen T1 und T2 bzw. T2 und T3 sind Kurzzeiteffekte, wohingegen der zeitliche Abstand zwischen T1 und T3 die Gesamtbehandlung und somit einen Langzeiteffekt widerspiegelt.

Tabelle 3: Zeitpunkte der Datenerhebung

<b>T1</b>	vor der Behandlung
<b>T2</b>	nach der transversalen Erweiterung des Oberkiefers
<b>T3</b>	nach Abschluss bzw. Retention der kieferorthopädischen Behandlung

Die kieferorthopädische Behandlung erfolgte mit Plattenapparaturen, die eine transversale Dehnschraube (Artikel-Nummer 100-2000, Forestadent, Pforzheim) enthielten (Abbildung 2). Die Erweiterung erfolgte durch regelmäßige Aktivierung der Schraubenspindel (Anweisung: eine Aktivierung pro Woche, Hubhöhe 0,8 mm, 0,2 mm pro Aktivierung), bis das therapeutische Ziel (Kreuzbissüberstellung, Kongruenz von Oberkiefer- und Unterkieferzahnbögen) erreicht war. Die verordnete Tragedauer betrug 12-14 Stunden / Tag. In Abständen von zehn Wochen erfolgten regelmäßige Kontrollen, bei denen mögliche Anpassungen erfolgten. In einigen Fällen wurden Notfallkontrollen mit kürzeren Intervallen durchgeführt, zum Beispiel bei vorhandenen Beschwerden oder fehlender Passung.

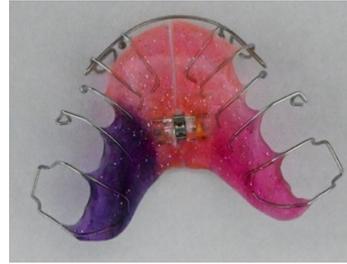


Abbildung 2: Verwendete Schraube und Plattenapparatur zur transversalen Kiefererweiterung

a: Dehnschraube (Artikel-Nummer 100-2000, Forestadent, Pforzheim)

b: Plattenapparatur mit transversaler Dehnschraube (eigenes Foto, Praxis 2022)

### 3.3 Datenerhebung

#### 3.3.1 3D-Modelle

Die Herstellung bzw. Darstellung der dreidimensionalen digitalen Modelle der Patientenkiefer erfolgte in der kieferorthopädischen Fachzahnarztpraxis. Zur Dokumentation und Behandlungskontrolle wurden die Patienten entweder direkt intraoral gescannt oder die nach Alginat-Abformungen hergestellten Gipsmodelle gescannt und anschließend digital vermessen. Um die Anonymität zu gewährleisten, wurden den Patienten individuelle Nummern zugeteilt.

Zur Vermessung wurden der Scanner I-Tero Element™ 2 (USA; Modelle) und 3Shape TRIOS (Deutschland; intraoral) verwendet (Abbildung 3). Anschließend wurden die gescannten Modelle im Diagnostik-Programm (OnyxCeph<sup>3</sup>™ Lab Version 3.2.62) eingespielt. Die gescannten Modelle wurden mithilfe des 3D-Diagnoseprogramms OnyxCeph<sup>3</sup>™ Lab ausgewertet und vermessen. Die OnyxCeph<sup>3</sup>™ Windows™ Software ist ein Diagnoseprogramm zur patienten- und fallbezogenen Verwaltung und Auswertung von 2D- und 3D-Bilddaten.



iTero Element™ 2



3 Shape Trios

Abbildung 3: 3D Scanner iTero Element™ 2 und 3 Shape Trios (in der Praxis,2022)

### 3.3.2 Vermessung des Oberkiefers

Es wurden die folgenden Messungen jeweils zu den drei Zeitpunkten durchgeführt, um die Veränderung zu dokumentieren. Die Definition der einzelnen Messpunkte ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Definition der Messpunkte im Oberkiefer

<b>P</b>	<b>Definition</b>
<b>d3</b>	Kauspitze an 3-er
<b>d4</b>	Zentrale Fossa an Milchmolar / Prämolare 4-er
<b>d5</b>	Zentrale Fossa an Milchmolar / Prämolare 5-er
<b>d6</b>	Zentrale Fossa an 6-er
<b>d_3</b>	Strecke zwischen den beiden d3
<b>d_4</b>	Strecke zwischen den beiden d4
<b>d_5</b>	Strecke zwischen den beiden d5
<b>d_6</b>	Strecke zwischen den beiden d6
<b>g3</b>	tiefster Punkt am Gingivarand des 3-er
<b>g4</b>	tiefster Punkt am Gingivarand des Milchmolar / Prämolare 4-er
<b>g5</b>	tiefster Punkt am Gingivarand des Milchmolar / Prämolare 5-er
<b>g6</b>	tiefster Punkt am Gingivarand des 6-er
<b>g_3</b>	Strecke zwischen den beiden g3
<b>g_4</b>	Strecke zwischen den beiden g4

<b>P</b>	<b>Definition</b>
<b>g_5</b>	Strecke zwischen den beiden g5
<b>g_6</b>	Strecke zwischen den beiden g6
<b>h3</b>	Gaumenmitte auf der Raphe-Median-Linie im Bereich der 3-er
<b>h4</b>	Gaumenmitte auf der Raphe-Median-Linie im Bereich der 4-er
<b>h5</b>	Gaumenmitte auf der Raphe-Median-Linie im Bereich der 5-er
<b>h6</b>	Gaumenmitte auf der Raphe-Median-Linie im Bereich der 6-er
<b>g_3m</b>	Schnittpunkt von h3 senkrecht auf g_3
<b>g_4m</b>	Schnittpunkt von h4 senkrecht auf g_4
<b>g_5m</b>	Schnittpunkt von h5 senkrecht auf g_5
<b>g_6m</b>	Schnittpunkt von h6 senkrecht auf g_6
<b>h_3</b>	Strecke zwischen h3 und g_3m
<b>h_4</b>	Strecke zwischen h4 und g_4m
<b>h_5</b>	Strecke zwischen h5 und g_5m
<b>h_6</b>	Strecke zwischen h6 und g_6m
<b>FG</b>	Fläche des Gaumens, posterior der 6-er distal abgegrenzt
<b>FA</b>	Anteriorer Teil von FG, der am 3. Gaumenfaltenpaar rechtwinkelig von der Raphe-Median-Linie abgegrenzt wird
<b>FP</b>	Posteriorer Teil von FG (FG-FA)

Zahnzahlen beziehen sich auf das gängige Zahnschema: 3er: Eckzahn, 4er: erster Prämolare / 1. Milchmolar; 5er: 2. Prämolare / 2. Milchmolar, 6er: 1. Molar

### ***Dentale Breite nach Pont (Pont 1909)***

Dental wurde die Zahnbogenbreite von den 3. bis zu den 6. Zähnen an den Messpunkten nach Pont (Pont 1909) bestimmt. Hierzu wurden jeweils zwei Punkte definiert: beide Kauspitzen an 3-ern, zentrale Querfissur an 4-er/ 5-er und die zentrale Fossa an den 6-ern. Danach wurde die Distanz bzw. Verbindungslinie zwischen den beiden Punkten als Strecke digital gemessen (Abbildung 4).



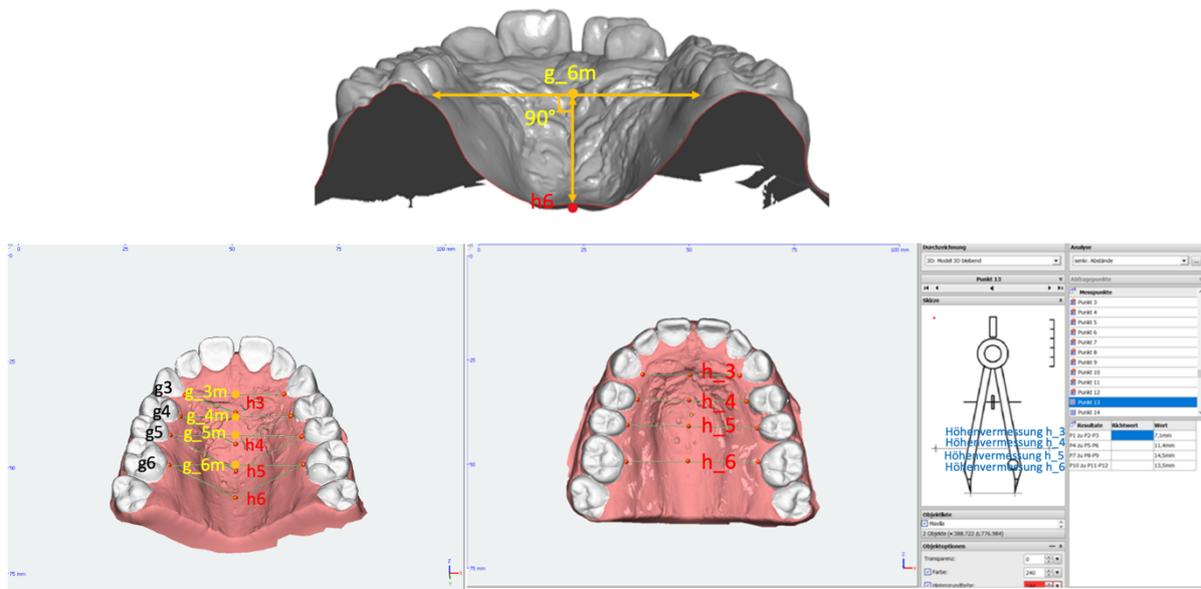


Abbildung 6: Vermessung der Gaumenhöhe an einem digitalen Modell des Oberkiefers.

### **Bestimmung der Gaumenfläche**

Von den eingescannten und im Analyse-Programm OnyxCeph<sup>3</sup>™ Lab eingespielten Modellen wurden zuerst der mitgescannte Sockel entfernt (betrifft nur die Gipsmodelle) und danach segmentiert. Der Oberkiefer wurde digital zerlegt, so dass ausschließlich der Weichteilbereich verblieb (Abbildung 7).

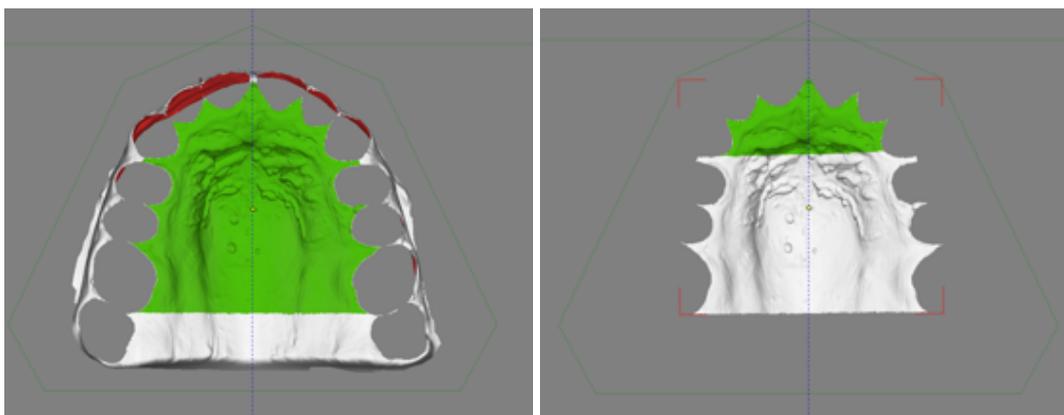


Abbildung 7: Vermessung der Gaumenfläche (grün); links Gesamtfläche, rechts anteriorer Teil.

Im Anschluss wurde die gesamte Gaumenoberfläche digital vermessen. Danach wurde der anteriore Teil durch das Setzen des Referenzpunktes 3.RFP (Kreuzungspunkt der Ebene

durch das dritte Gaumenfaltenpaar und der Medianen) und die eingesetzte Linie parallel zur posterioren Verbindungslinien herausgeschnitten und digital vermessen. Die Fläche des posterioren Teils ergab sich durch die Subtraktion des anterioren Flächenanteils von der Gesamtfläche. Der Flächeninhalt wird in mm<sup>2</sup> angegeben.

### 3.4 Statistische Auswertungen, Methodenfehler

Es wurden die Daten mit Hilfe der Software-Excel® (Microsoft Corporation, Redmond USA) im iOS (Apple, Cupertino, Kalifornien, USA) kalkuliert und erhoben. Anschließend wurden die erhobenen Daten mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS® 23 (Armonk, New York, USA) ausgewertet.

Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mittels Shapiro-Will-Test. Intragruppenvergleiche zu T1 und T2 bzw. T2 und T3 wurde mittels abhängigem t-Test berechnet. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen wurden mit Hilfe der ANOVA-Varianzanalyse ermittelt.

Für jede Variable wurden der Mittelwert (M) und die Standardabweichung (SD) ermittelt. Es wurde statistische Signifikanz für p-Werte < 0,05 angenommen. Das Signifikanzniveau definierte sich wie folgt: p ≥ 0,05 nicht signifikant, p < 0,05 signifikant, p < 0,01 hochsignifikant, p < 0,001 höchstsignifikant.

Zur Bestimmung des kombinierten Methodenfehlers (MF) nach Dahlberg (Dahlberg 1940) wurden nach einem Zeitraum von drei Monaten 25% der Modelle, die hierfür willkürlich ausgewählt wurden, erneut von demselben Untersucher vermessen. Dabei wurde der Methodenfehler für die Messstrecken der Breiten und Höhen mit der Formel  $MF = \sqrt{(\sum d^2/2n)}$  berechnet, um die Validität der Messmethode ermitteln zu können, wobei  $d$  die Differenz zwischen zwei Messergebnissen und  $n$  die Zahl der Zweifachmessungen sind. Der MF lag in der vorliegenden Studie für alle Streckenmessungen <1.

## 4 Ergebnisse

Es wurden insgesamt 90 Patienten (30 pro Patientengruppe) mit Plattenapparatur zur transversalen Erweiterung behandelt. Nachfolgend sind die Patientencharakteristika sowie die Veränderung der definierten Messstrecken im Laufe der Behandlung dargestellt.

### 4.1 Charakterisierung der Patientenkohorte

Die Behandlungscharakteristika der gesamten Patientenkohorte sind in Tabelle 5 dargestellt. Das durchschnittliche Alter beim Einsetzen und Aktivieren der aktiven Platte lag bei  $10,7 \pm 2,17$  Jahren, wobei der jüngste Patient 5,6 Jahre, der älteste 15,7 Jahre alt war.

Tabelle 5: Charakterisierung der Gesamtstudiengruppe (n=90)

Parameter	M	$\pm$ SD
Alter bei Einsetzen [Jahre]	10,7	2,2
Abstand T1 zu T2 [Monate]	16,8	7,4
Abstand T2 zu T3 [Monate]	21,5	9,8

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Erweiterungsphase; T2: Ende der Erweiterungsphase und Beginn der Weiterbehandlungsphase; T3: Ende der Behandlung.

#### 4.1.1 Patientengruppe 1

In der Patientengruppe 1 (PG1, Kinder unter 10 Jahren) waren 13 Mädchen (43,3 %) und 17 Jungen (56,7 %) im Alter zwischen 5,6 und 9,5 Jahren. Die PG1 ist in Tabelle 6 charakterisiert. Der zeitliche Abstand zwischen T1 und T2 lag bei  $17,0 \pm 8,4$  Monaten, der Abstand zwischen T2 und T3 lag bei  $19,5 \pm 14,3$  Monaten. Bei der PG1 handelte es sich um Patienten, die im Rahmen einer Frühbehandlung versorgt wurden, lediglich zwei (9 Jahre bzw. 9,5 Jahre) befanden sich bereits in der Hauptbehandlung.

Die Behandlung begann bei allen Patienten im Wechselgebiss, zum Zeitpunkt T1 hatte ein Patient bereits das bleibende Gebiss, zum Zeitpunkt T2 lag bei 9 Patienten ein bleibendes Gebiss vor. Eine weitere Unterscheidung nach frühem oder spätem Wechselgebiss erfolgte nicht. Patienten mit reinem Milchgebiss gab es in der Kohorte nicht.

Tabelle 6: Charakterisierung der Patientengruppe 1 (n=30)

Parameter	M	±SD
Alter bei Einsetzen [Jahre]	8,1	0,9
Abstand T1 zu T2 [Monate]	17,0	8,4
Abstand T2 zu T3 [Monate]	19,5	14,3

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Erweiterungsphase; T2: Ende der Erweiterungsphase und Beginn der Weiterbehandlungsphase; T3: Ende der Behandlung.

#### 4.1.2 Patientengruppe 2

In der PG2 (Kinder zwischen 10 und 12 Jahren) waren 18 Mädchen (60,0 %) und 12 Jungen (40 %) im Alter zwischen 10,0 und 11,9 Jahren. Die PG2 ist in Tabelle 7 charakterisiert. Der Abstand zwischen T1 und T2 lag in dieser Gruppe bei 16,8±7,0 Monaten und der Abstand zwischen T2 und T3 bei 20,8±9,5 Monaten.

Tabelle 7: Charakterisierung der Patientengruppe 2 (n=30)

Parameter	M	±SD
Alter bei Einsetzen [Jahre]	10,9	0,6
Abstand T1 zu T2 [Monate]	16,8	7,0
Abstand T2 zu T3 [Monate]	20,8	9,5

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Erweiterungsphase; T2: Ende der Erweiterungsphase und Beginn der Weiterbehandlungsphase; T3: Ende der Behandlung.

#### 4.1.3 Patientengruppe 3

In der PG3 (Kinder älter als 12 Jahren) waren 15 Mädchen (50,0 %) und 15 Jungen (50 %) im Alter zwischen 12,0 und 15,7 Jahren. Die PG3 ist in Tabelle 8 charakterisiert. Der Abstand zwischen T1 und T2 lag in dieser Gruppe bei 16,6±7,0 Monaten und der Abstand zwischen T2 und T3 bei 20,5±10,6 Monaten.

Tabelle 8: Charakterisierung der Patientengruppe 3 (n=30)

Parameter	M	±SD
Alter bei Einsetzen [Jahre]	13,0	0,9
Abstand T1 zu T2 [Monate]	16,6	7,0
Abstand T2 zu T3 [Monate]	20,5	10,6

M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Erweiterungsphase; T2: Ende der Erweiterungsphase und Beginn der Erhaltungsphase; T3: Ende der Behandlung.

#### 4.1.4 Statistischer Vergleich der Patientengruppen und Behandlungsdaten

Die Zeitabstände zwischen T1 und T2 (Kurzzeiteffekt der Plattenapparaturen) innerhalb der drei Patientengruppen sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind nicht statistisch signifikant (post-hoc t-Test PG1/PG2:  $p=0,67$ ; PG2/PG3:  $p=0,93$ ; PG1/PG3:  $p=0,74$ ).

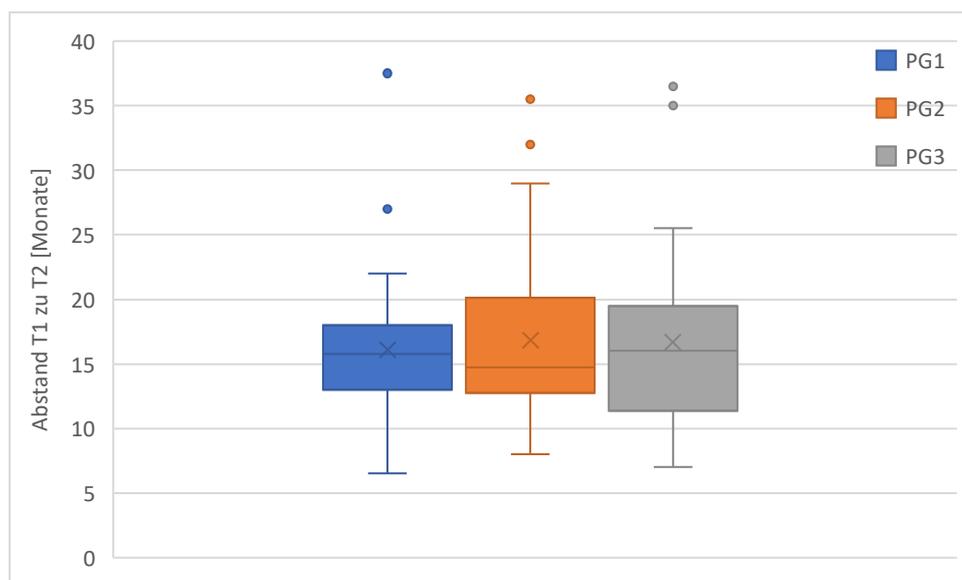


Abbildung 8: Zeitlicher Abstand zwischen T1 und T2 (Kurzzeiteffekt der Plattenapparaturen) in den verschiedenen Patientengruppen

PG1: bis 10 Jahre; PG2: 10-12 Jahre; PG3: älter als 12 Jahre. Box-Whiskers-Diagramm; X: Median, Linie: Mittelwert; Box: 25. Quartil bis 75. Quartil; Whiskers: Standardabweichung; Punkte: Ausreißerwerte.

Die Zeitabstände zwischen T2 und T3 (Kurzzeiteffekt der Weiterbehandlung mit FKO / MBA) innerhalb der drei Patientengruppen sind in Abbildung 9 dargestellt. Die Unterschiede

zwischen den Gruppen sind auch hier nicht statistisch signifikant (PG1/PG2:  $p=0,66$ ; PG2/PG3:  $p=0,90$ ; PG1/PG3:  $p=0,75$ ).

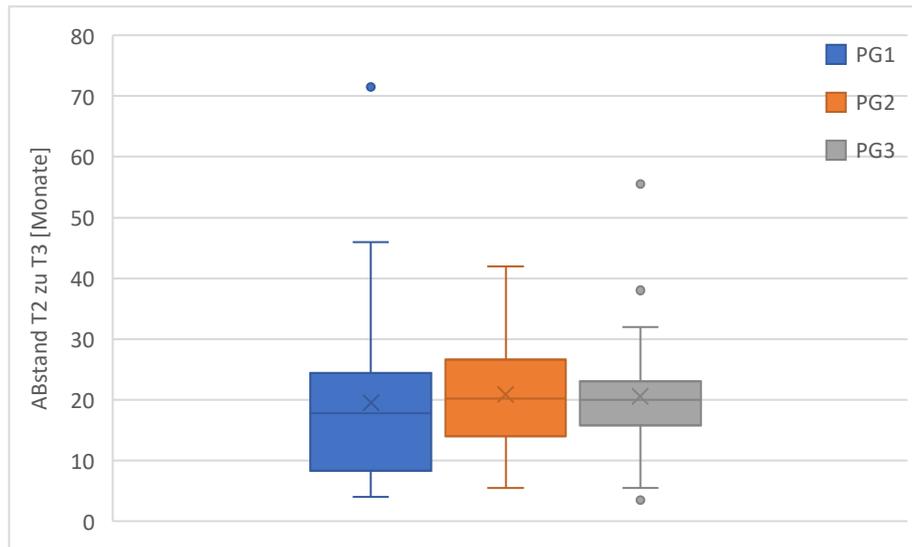


Abbildung 9: Zeitlicher Abstand zwischen T2 und T3 (Kurzzeiteffekt der Weiterbehandlung mit FKO / MBA) in den verschiedenen Patientengruppen

PG1: bis 10 Jahre; PG2: 10-12 Jahre; PG3: älter als 12 Jahre. Box-Whiskers-Diagramm; X: Median, Linie: Mittelwert; Box: 25. Quartil bis 75. Quartil; Whiskers: Standardabweichung; Punkte: Ausreißerwerte.

## 4.2 Entwicklungen und Veränderungen

Es wurde überprüft, wie sich transversale Breite, Höhe und Fläche des Gaumens in den oben genannten Gruppen PG1, PG2, PG3 während der aktiven Erweiterungsphase (T1-T2) und der Weiterbehandlungsphase (T2-T3) verändert hat. Neben diesen Kurzzeiteffekten wurden untersucht, wie sich die Effekte in Kombination langfristig (T1-T3) auswirkten. Anschließend wurden die kurz- und langfristigen Effekte zwischen den untersuchten Gruppen (PG1 vs PG2, PG2 vs PG3, PG1 vs PG3) verglichen.

### 4.2.1 Allgemein

In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) für verschiedene Parameter zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 dargestellt. Zudem wurden von den Differenzen der jeweiligen Parameter zwischen den Zeitpunkten T1-T2, T2-T3 und T1-T3 ebenfalls die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen ermittelt. Für jeden Messtypen gibt es Tabellen, die für jede der 3 Patientengruppen die Mittelwerte und die Standardabweichungen sowie die p-Werte innerhalb (p intra) zeigen, sowie eine Tabelle, die die p-Werte zwischen

(p inter) den drei Gruppen darstellt. Signifikante Werte wurden im Intragruppenvergleich blau hervorgehoben, während sie im Intergruppenvergleich rot dargestellt wurden.

## 4.2.2 Breite (dental, gingival/alveolär)

### 4.2.2.1 Veränderungen der Breiten innerhalb der Gruppen

In allen 3 Gruppen vergrößert sich die gemessene Gaumenbreite im Rahmen des Therapiezeitraums mit den Plattenapparaturen von T1 zu T2 auf dentaler und gingivaler Ebene an allen Messstrecken (Ausnahme g\_3 bei PG3) höchstsignifikant ( $p < 0,001$ ).

Die Beträge sind in allen Behandlungsgruppen mit Ausnahme von den Messstrecken an den 5. und 6. Zähnen in der PG2 und den 5. Zähnen in der PG3 auf den dentalen Ebenen größer als auf der gingivalen Ebenen. In der Weiterbehandlungsphase (Zeitraum T2-T3) verändern sich die Breiten mit Ausnahme der Strecke g\_3 in PG 3 nicht.

Als Langzeiteffekt (Zeitraum T1-T3) bleiben die Breitenzunahmen auf dentaler und gingivaler Ebene an allen Messstrecken bis auf g\_3 in PG2 und PG3 vom Ausmaß her signifikant unterschiedlich und somit stabil. Die Differenzen für Patientengruppe 1 ist in Tabelle 9, für Patientengruppe 2 in Tabelle 10 und für Patientengruppe 3 in Tabelle 11 sowie in Abbildung 10, Abbildung 11 bzw. Abbildung 12 zusammengefasst.

Tabelle 9: Differenz der dentalen und gingivalen Breiten in der **Patientengruppe 1** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	30,66	2,04	33,66	2,29	3,00	2,11	<0,001
d_4_Delta	33,35	2,20	36,59	2,47	3,23	2,08	<0,001
d_5_Delta	38,90	2,38	42,87	2,91	3,96	2,45	<0,001
d_6_Delta	44,05	2,79	48,11	3,40	4,07	2,88	<0,001
Gingivale Breite							
g_3_Delta	23,48	2,04	25,90	2,03	2,42	1,67	<0,001
g_4_Delta	25,61	2,16	28,50	2,31	2,90	2,20	<0,001
g_5_Delta	28,25	2,35	31,99	2,51	3,74	2,08	<0,001
g_6_Delta	31,06	2,59	34,65	2,83	3,59	2,46	<0,001

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite

des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	33,66	2,29	33,68	2,27	0,02	2,03	1,000
d_4_Delta	36,59	2,47	36,15	2,63	-0,44	1,78	0,567
d_5_Delta	42,87	2,91	42,51	2,71	-0,35	2,24	1,000
d_6_Delta	48,11	3,40	47,76	3,33	-0,35	2,04	1,000
Gingivale Breite							
g_3_Delta	25,90	2,03	25,53	1,94	-0,37	1,51	0,572
g_4_Delta	28,50	2,31	27,69	2,43	-0,81	1,78	0,050
g_5_Delta	31,99	2,51	32,20	2,81	0,21	2,18	1,000
g_6_Delta	34,65	2,83	34,32	2,98	-0,33	2,02	1,000

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	MW	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	30,66	2,04	33,68	2,27	3,02	1,98	<0,001
d_4_Delta	33,35	2,20	36,15	2,63	2,80	1,96	<0,001
d_5_Delta	38,90	2,38	42,51	2,71	3,61	2,22	<0,001
d_6_Delta	44,05	2,79	47,76	3,33	3,71	2,60	<0,001
Gingivale Breite							
g_3_Delta	23,48	2,04	25,53	1,94	2,05	1,88	<0,001
g_4_Delta	25,61	2,16	27,69	2,43	2,08	2,05	<0,001
g_5_Delta	28,25	2,35	32,20	2,81	3,95	2,19	<0,001

g_6_Delta	31,06	2,59	34,32	2,98	3,26	2,28	<0,001
-----------	-------	------	-------	------	------	------	--------

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

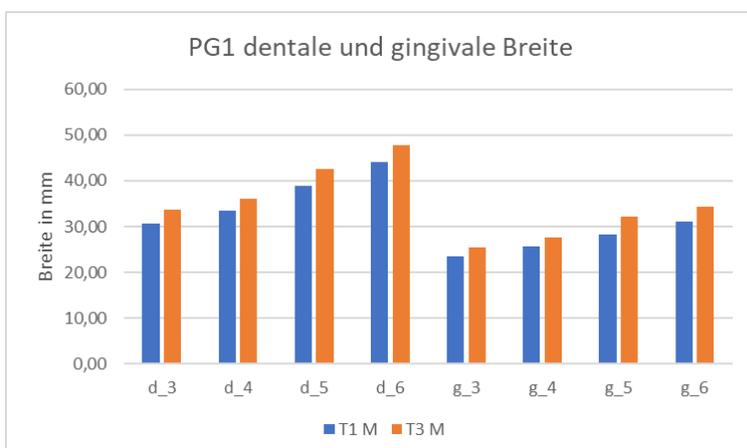
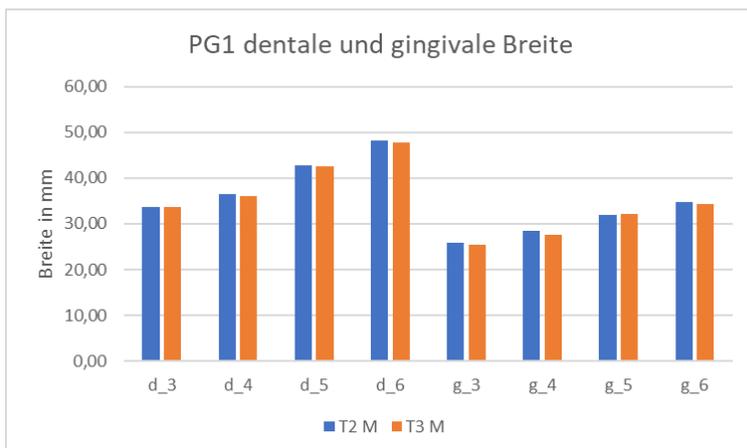
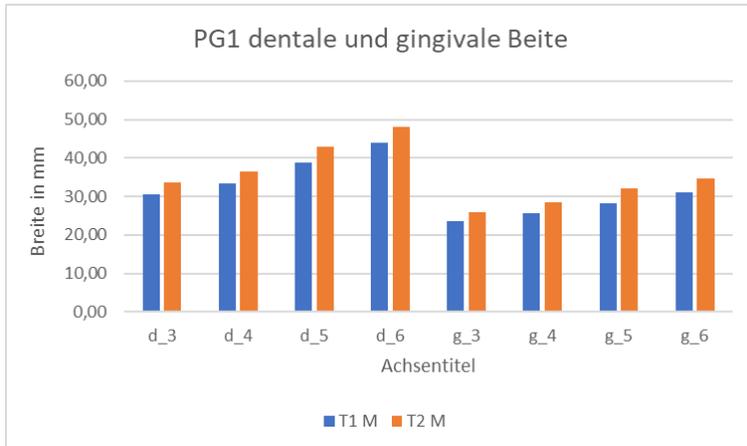


Abbildung 10: Entwicklung der dentalen und gingivalen Breite in der **Patientengruppe 1**

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen

Tabelle 10: Differenz der dentalen und gingivalen Breiten in der **Patientengruppe 2** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	MW	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	33,07	1,81	35,33	1,47	2,30	1,63	<0,001
d_4_Delta	35,03	1,90	37,64	1,95	2,61	1,48	<0,001
d_5_Delta	40,64	2,03	42,87	2,14	2,23	1,61	<0,001
d_6_Delta	45,59	2,09	48,28	2,69	2,69	1,82	<0,001
Gingivale Breite							
g_3_Delta	25,15	1,90	25,84	1,78	0,69	1,40	0,035
g_4_Delta	26,81	2,20	28,58	1,88	1,77	1,70	<0,001
g_5_Delta	30,31	2,11	33,13	2,17	2,81	1,61	<0,001
g_6_Delta	32,86	1,77	35,25	2,34	2,39	1,66	<0,001

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	MW	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	35,33	1,47	35,15	1,89	-0,17	1,89	1,000
d_4_Delta	37,64	1,95	37,75	1,65	0,11	1,59	1,000
d_5_Delta	42,87	2,14	42,99	1,78	0,12	1,47	1,000
d_6_Delta	48,28	2,69	47,56	2,74	-0,72	1,84	0,123
Gingivale Breite							
g_3_Delta	25,84	1,78	25,22	1,74	-0,62	1,23	0,029

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	MW	±SD	p intra
g_4_Delta	28,58	1,88	28,57	1,43	-0,01	1,23	1,000
g_5_Delta	33,13	2,17	33,47	1,72	0,34	1,61	0,768
g_6_Delta	35,25	2,34	34,83	2,38	-0,42	2,17	0,902

Patientengruppe 2 zwischen 10 bis 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	MW	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	33,07	1,81	35,15	1,89	2,14	2,04	<0,001
d_4_Delta	35,03	1,90	37,75	1,65	2,72	2,02	<0,001
d_5_Delta	40,64	2,03	42,99	1,78	2,34	1,83	<0,001
d_6_Delta	45,59	2,09	47,56	2,74	1,97	2,28	<0,001
Gingivale Breite							
g_3_Delta	25,15	1,90	25,22	1,74	0,07	1,87	1,000
g_4_Delta	26,81	2,20	28,57	1,43	1,76	2,04	<0,001
g_5_Delta	30,31	2,11	33,47	1,72	3,15	2,13	<0,001
g_6_Delta	32,86	1,77	34,83	2,38	1,98	2,43	<0,001

Patientengruppe 2 zwischen 10 bis 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

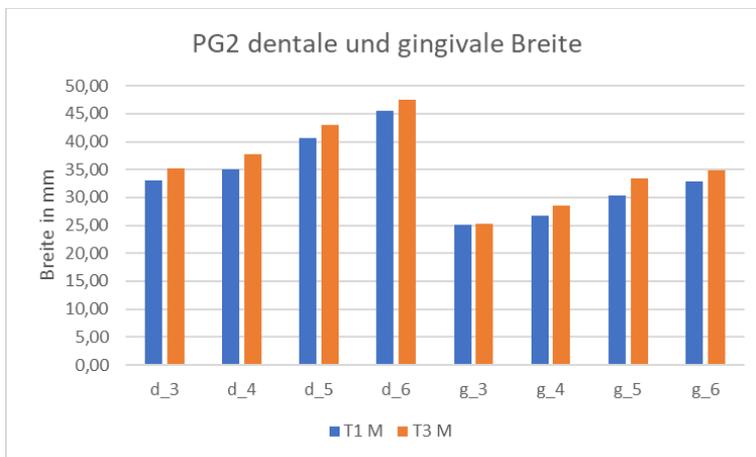
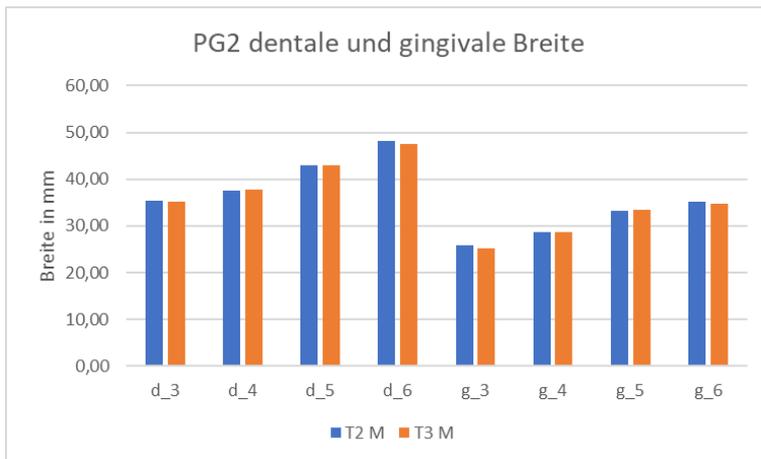
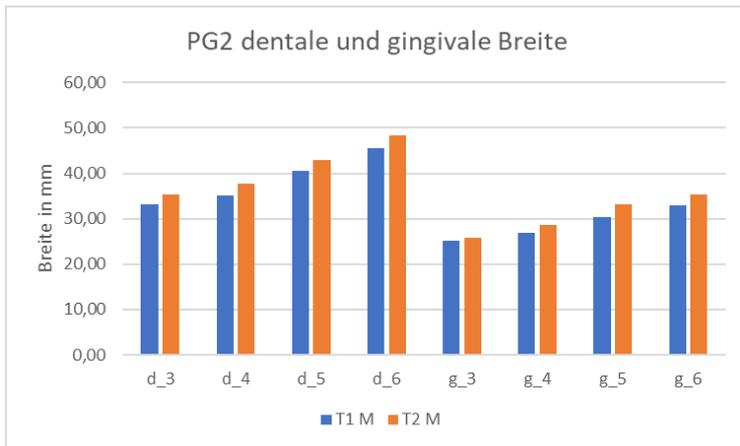


Abbildung 11: Entwicklung der dentalen und gingivalen Breite in der **Patientengruppe 2**

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen.

Tabelle 11: Differenz der dentalen und gingivalen Breiten in der **Patientengruppe 3** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	34,00	2,24	35,23	2,32	1,27	1,56	<0,001
d_4_Delta	35,38	2,53	37,41	2,64	2,03	1,67	<0,001
d_5_Delta	40,69	3,07	42,63	2,95	1,94	1,92	<0,001
d_6_Delta	45,66	2,91	48,30	3,14	2,64	2,11	<0,001
Gingivale Breite							
g_3_Delta	25,09	2,17	25,18	1,90	0,09	1,32	1,000
g_4_Delta	26,54	2,38	28,10	2,35	1,56	1,51	<0,001
g_5_Delta	30,87	2,83	32,92	2,64	2,05	1,39	<0,001
g_6_Delta	32,90	2,72	35,04	2,77	2,14	1,80	<0,001

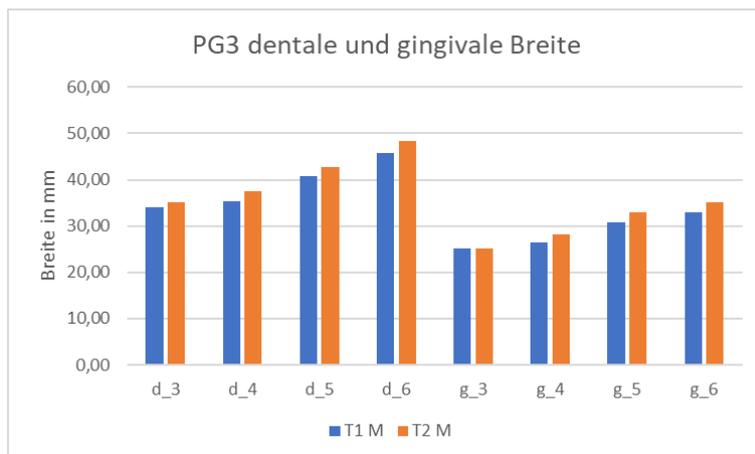
Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	MW	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	35,23	2,32	35,24	2,49	-0,02	1,11	1,000
d_4_Delta	37,41	2,64	37,77	2,92	0,35	1,88	0,934
d_5_Delta	42,63	2,95	42,94	3,02	0,30	2,38	1,000
d_6_Delta	48,30	3,14	47,84	3,00	-0,46	2,16	0,747
Gingivale Breite							
g_3_Delta	25,18	1,90	24,76	2,06	-0,43	0,94	0,058
g_4_Delta	28,10	2,35	28,46	2,57	0,36	1,51	0,605
g_5_Delta	32,92	2,64	33,20	2,83	0,28	2,00	1,000
g_6_Delta	35,04	2,77	34,64	2,70	-0,40	1,73	0,645

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	MW	±SD	p intra
Dentale Breite							
d_3_Delta	34,00	2,24	35,24	2,49	1,25	1,85	0,002
d_4_Delta	35,38	2,53	37,77	2,92	2,39	1,89	<0,001
d_5_Delta	40,69	3,07	42,94	3,02	2,24	2,27	<0,001
d_6_Delta	45,66	2,91	47,84	3,00	2,18	1,96	<0,001
Gingivale Breite							
g_3_Delta	25,09	2,17	24,76	2,06	-0,33	1,67	0,846
g_4_Delta	26,54	2,38	28,46	2,57	1,92	1,75	<0,001
g_5_Delta	30,87	2,83	33,20	2,83	2,33	2,30	<0,001
g_6_Delta	32,90	2,72	34,64	2,70	1,74	1,64	<0,001

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.



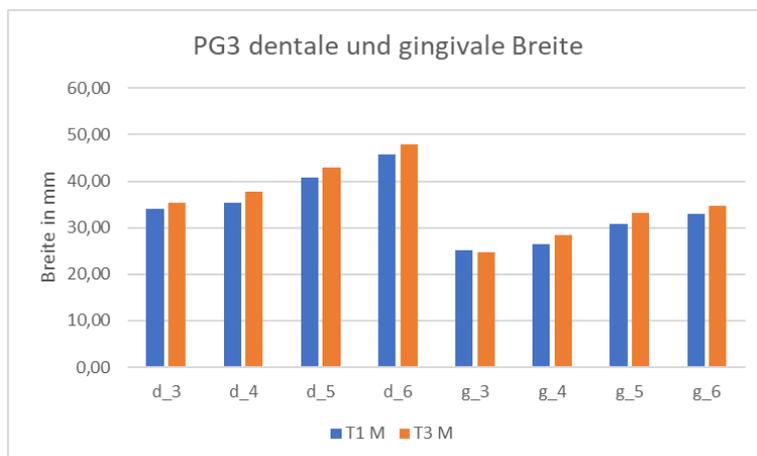
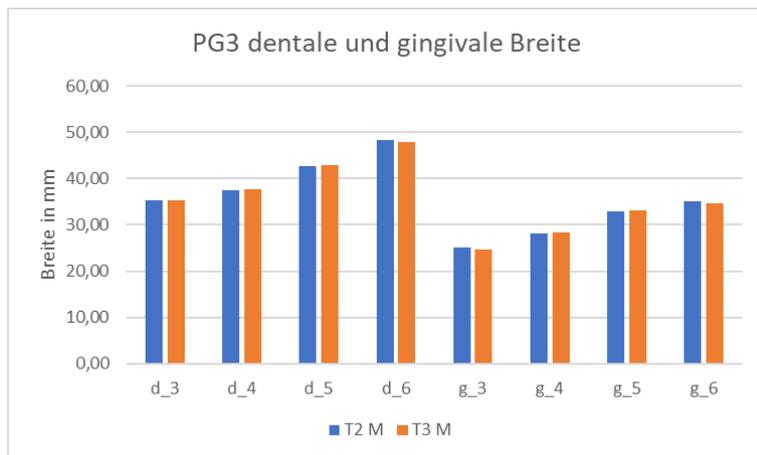


Abbildung 12: Entwicklung der dentalen und gingivalen Breite in der **Patientengruppe 3**

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen.

#### 4.2.2.2 Veränderung der Breiten zwischen den Gruppen

Zwischen den Gruppen unterscheiden sich die Gaumenbreitenzunahmen an folgenden Stellen und Behandlungsabschnitten signifikant (Tabelle 12):

Kurzzeiteffekt der Aktivierungsphase (Zeitraum T1-T2): PG1 vs. PG2 an d\_5, g\_3 und g\_4, PG1 vs PG3 an d\_3, d\_4, d\_5, g\_3, g\_4, g\_5, g\_6, wobei grundsätzlich alle Veränderungen in der PG1 größer sind als in der PG2 und in der PG2 wiederum größer als in der PG3.

Kurzzeiteffekt der Weiterbehandlungsphase (Zeitraum T2-T3): PG1 vs PG3 an g\_4.

Langzeiteffekt der Behandlung (Zeitraum T1-T3): PG1 vs PG2 an d\_6 und g\_3, PG1 vs PG3 an d\_3, d\_5, d\_6, g\_3, g\_5, g\_6.

Tabelle 12: Statistischer Vergleich der Entwicklung der dentalen bzw. gingivalen Breite zwischen den unterschiedlichen Patientengruppen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 (p inter)

Parameter	PG1 vs PG2	PG2 vs PG3	PG3 vs PG1
Dentale Breite			
d_3_Delta_T2T1	0,290	0,071	<0,001
d_4_Delta_T2T1	0,364	0,412	0,026
d_5_Delta_T2T1	0,004	0,847	<0,001
d_6_Delta_T2T1	0,060	0,997	0,050
d_3_Delta_T3T2	0,975	0,977	0,999
d_4_Delta_T3T2	0,456	0,849	0,194
d_5_Delta_T3T2	0,654	0,935	0,439
d_6_Delta_T3T2	0,765	0,878	0,976
d_3_Delta_T3T1	0,191	0,193	0,002
d_4_Delta_T3T1	0,987	0,788	0,697
d_5_Delta_T3T1	0,059	0,982	0,038
d_6_Delta_T3T1	0,012	0,935	0,030
Gingivale Breite			
g_3_Delta_T2T1	<0,001	0,263	<0,001
g_4_Delta_T2T1	0,050	0,900	0,016
g_5_Delta_T2T1	0,099	0,207	<0,001
g_6_Delta_T2T1	0,058	0,879	0,017
g_3_Delta_T3T2	0,713	0,816	0,983
g_4_Delta_T3T2	0,106	0,621	0,010

Parameter	PG1 vs PG2	PG2 vs PG3	PG3 vs PG1
g_5_Delta_T3T2	0,962	0,992	0,988
g_6_Delta_T3T2	0,985	0,999	0,991
g_3_Delta_T3T1	<0,001	0,669	<0,001
g_4_Delta_T3T1	0,801	0,946	0,946
g_5_Delta_T3T1	0,350	0,326	0,016
g_6_Delta_T3T1	0,058	0,907	0,020

PG1: Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; PG2: Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahren; PG3: Patientengruppe 3 älter als 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; d\_x: Distanz zwischen den jeweiligen Zähnen im Oberkiefer; g\_x: Breite des Oberkiefers an den entsprechenden Zähnen

#### 4.2.3 Höhe (Frontalebene)

##### 4.2.3.1 Veränderungen der Höhe innerhalb der Gruppen

Die Gaumenhöhe nimmt während der Aktivierungsphase (Zeitraum T1 zu T2) mit Ausnahme PG2 h\_3 und h\_4 sowie PG3 h\_3 signifikant zu (Patientengruppe 1 Tabelle 13, Abbildung 13; Patientengruppe 2 Tabelle 14, Abbildung 14; und Patientengruppe 3 Tabelle 15, Abbildung 15).

Die Beträge nehmen in allen 3 Behandlungsgruppen von anterior nach posterior zu.

In der Weiterbehandlungsphase (Zeitraum T2-T3) verändern sich die Höhen in der PG1 an den Messstrecken h\_5 und h\_6, in der PG2 an h\_4, h\_5, h\_6 und in der PG3 an h\_4 und h\_6 signifikant.

Als Langzeiteffekt (Zeitraum T1-T3) sind in der Summation die Höhenzunahmen bis auf h\_3 und h\_4 in der PG1 und h\_3 in PG2 signifikant.

Tabelle 13: Differenz der Gaumenhöhe in der **Patientengruppe 1** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	3,77	1,30	4,28	1,51	0,51	0,87	0,010
h_4_Delta	8,95	1,58	9,63	1,69	0,68	0,82	<0,001
h_5_Delta	11,62	1,64	12,41	1,86	0,79	1,14	0,002

h_6_Delta	10,44	1,69	11,39	2,08	0,95	1,30	0,001
-----------	-------	------	-------	------	------	------	-------

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; h\_: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	4,28	1,51	4,15	1,45	-0,13	0,85	1,000
h_4_Delta	9,63	1,69	9,49	1,84	-0,14	1,06	1,000
h_5_Delta	12,41	1,86	13,04	1,95	0,63	1,29	0,037
h_6_Delta	11,39	2,08	12,68	2,79	1,29	1,39	<0,001

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	3,77	1,30	4,15	1,45	0,38	0,90	0,086
h_4_Delta	8,95	1,58	9,49	1,84	0,54	1,16	0,050
h_5_Delta	11,62	1,64	13,04	1,95	1,42	1,12	<0,001
h_6_Delta	10,44	1,69	12,68	2,79	2,24	1,84	<0,001

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

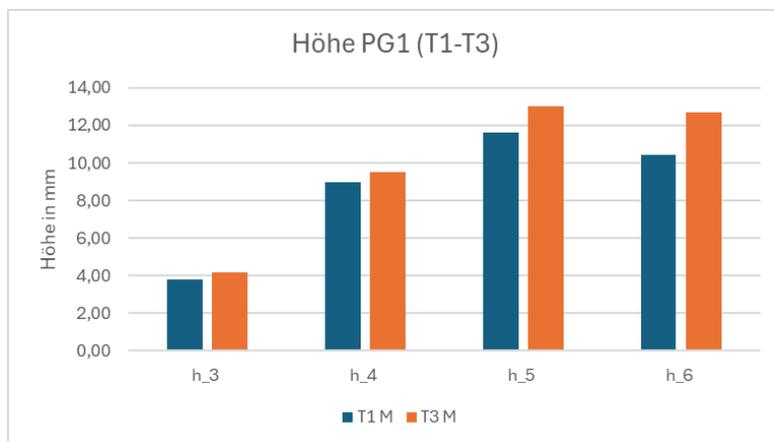
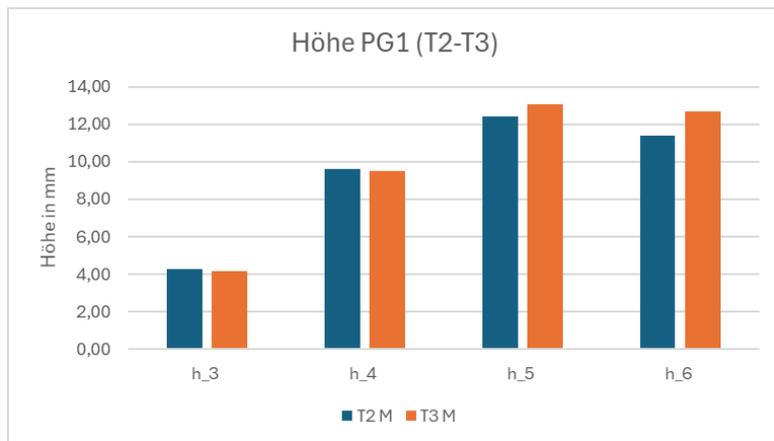
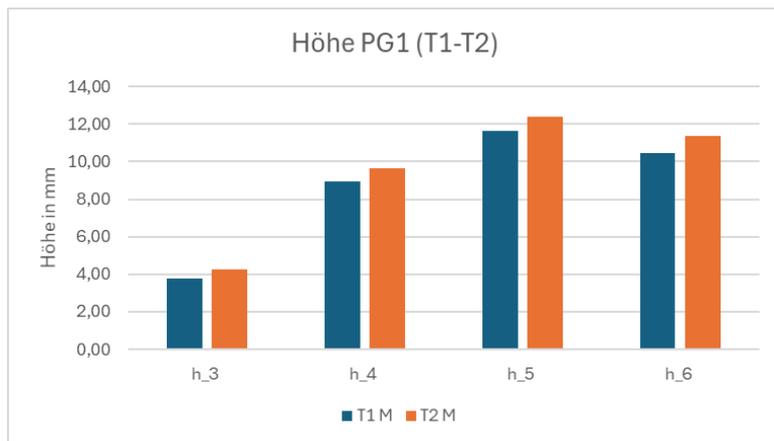


Abbildung 13: Entwicklung der Gaumenhöhe in der **Patientengruppe 1**

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_x: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach an den entsprechenden Zähnen.

Tabelle 14: Differenz der Gaumenhöhe in der **Patientengruppe 2** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	4,06	1,20	3,98	1,36	-0,07	0,86	1,000
h_4_Delta	9,27	1,63	9,54	1,93	0,27	1,07	0,548
h_5_Delta	12,14	1,61	12,77	1,87	0,63	0,93	0,003
h_6_Delta	11,48	1,94	12,38	2,04	0,90	1,01	<0,001

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; h\_: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	3,98	1,36	4,03	1,44	0,04	0,84	1,000
h_4_Delta	9,54	1,93	9,90	1,69	0,36	0,76	0,041
h_5_Delta	12,77	1,87	13,36	1,75	0,59	0,99	0,009
h_6_Delta	12,38	2,04	13,33	2,05	0,90	1,01	<0,001

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	4,06	1,20	4,03	1,44	-0,03	1,25	1,000
h_4_Delta	9,27	1,63	9,90	1,69	0,63	1,24	0,028
h_5_Delta	12,14	1,61	13,36	1,75	1,22	1,13	<0,001
h_6_Delta	11,48	1,94	13,33	2,05	1,85	1,08	<0,001

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h<sub>i</sub>: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

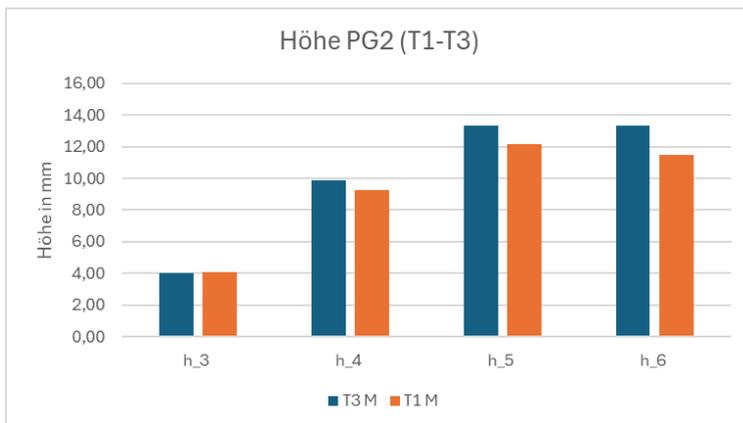
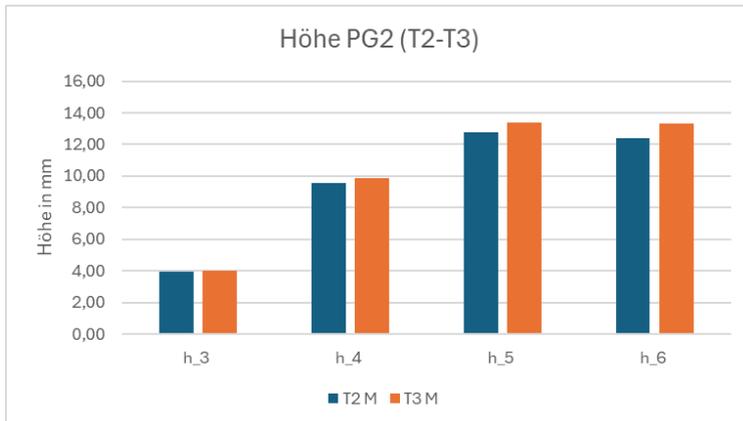
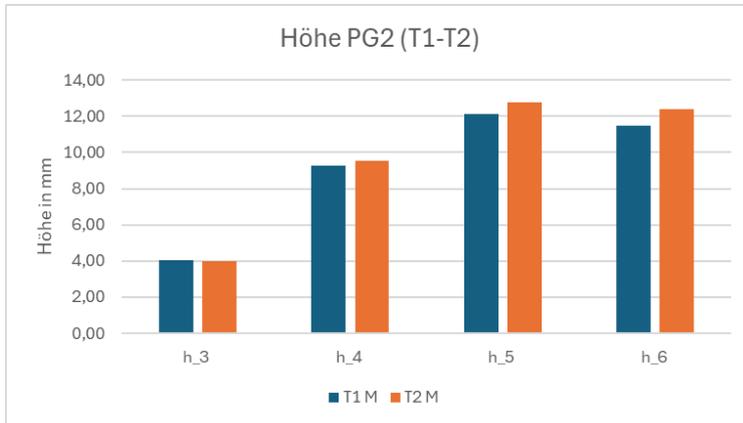


Abbildung 14: Entwicklung der Gaumenhöhe in der Patientengruppe 2

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_x: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach an den entsprechenden Zähnen.

Tabelle 15: Differenz der Gaumenhöhe in der **Patientengruppe 3** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	3,65	1,35	3,99	1,40	0,34	0,89	0,133
h_4_Delta	9,45	1,89	10,26	2,11	0,81	0,71	<0,001
h_5_Delta	12,90	2,21	13,83	2,52	0,93	0,85	<0,001
h_6_Delta	12,63	2,24	14,02	2,40	1,39	0,87	<0,001

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; h\_x: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

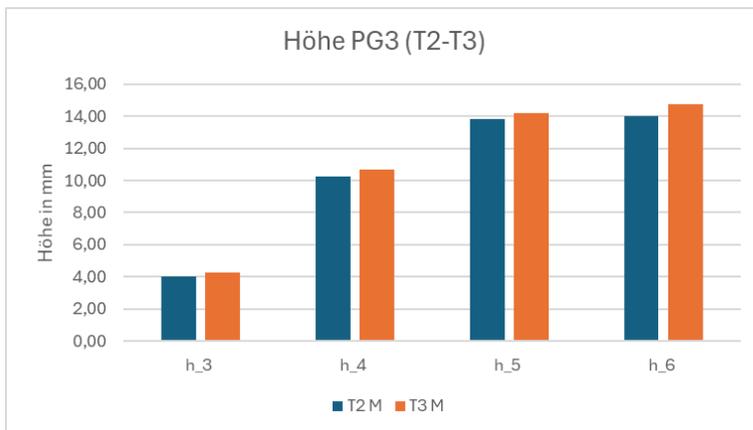
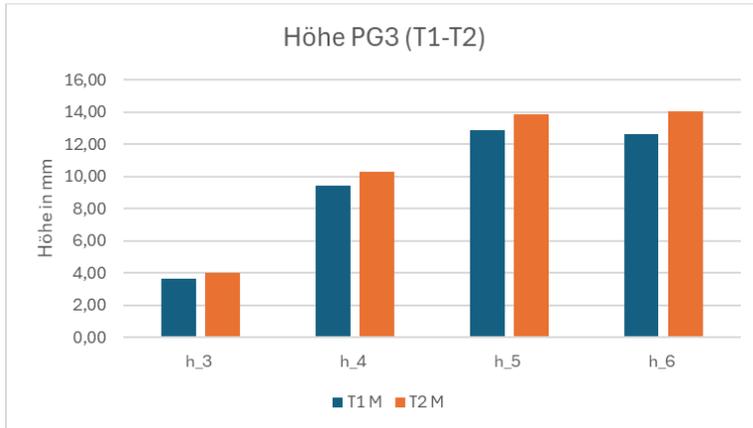
	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	3,99	1,40	4,25	1,77	0,26	0,96	0,467
h_4_Delta	10,26	2,11	10,67	2,52	0,41	0,87	0,044
h_5_Delta	13,83	2,52	14,17	2,85	0,34	0,84	0,102
h_6_Delta	14,02	2,40	14,74	2,84	0,72	1,22	0,009

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_x: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenhöhe							
h_3_Delta	3,65	1,35	4,25	1,77	0,60	1,13	0,021

h_4_Delta	9,45	1,89	10,67	2,52	1,22	0,99	<0,001
h_5_Delta	12,90	2,21	14,17	2,85	1,27	1,08	<0,001
h_6_Delta	12,63	2,24	14,74	2,84	2,98	4,66	<0,001

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie(RM) am Gaumendach; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm.



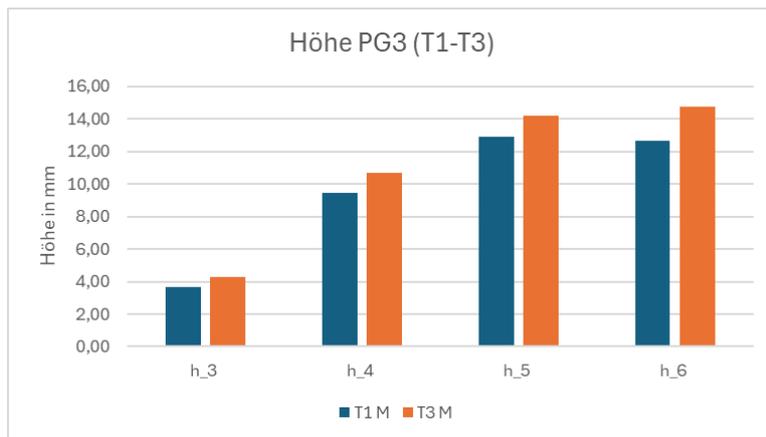


Abbildung 15: Entwicklung der Gaumenhöhe in der **Patientengruppe 3**

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_x: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach an den entsprechenden Zähnen.

#### 4.2.3.2 Veränderung der Höhe zwischen den Gruppen

Zwischen den Gruppen unterscheiden sich die Höhenveränderungen beim Kurzeiteffekt der Aktivierungsphase (Zeitraum T1-T2) an folgenden Stellen signifikant (Tabelle 16): PG1 vs PG2 an h\_3, PG2 vs PG3 an h\_4, wobei grundsätzlich alle Beträge in der PG2 kleiner sind als in der PG1 und PG3 und in der PG3 bis auf h\_3 wiederum größer als in der PG1.

In den Zeiträumen T2-T3 und T1-T3 gibt es keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 16: Statistischer Vergleich der Entwicklung der Gaumenhöhe zwischen den unterschiedlichen Patientengruppen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 (p inter)

Parameter	PG1 vs PG2	PG2 vs PG3	PG3 vs PG1
Gaumenhöhe			
h_3_Delta_T2T1	0,030	0,165	0,732
h_4_Delta_T2T1	0,170	0,049	0,836
h_5_Delta_T2T1	0,797	0,460	0,846
h_6_Delta_T2T1	0,980	0,183	0,257
h_3_Delta_T3T2	0,721	0,621	0,209

h_4_Delta_T3T2	0,085	0,978	0,054
h_5_Delta_T3T2	0,988	0,632	0,540
h_6_Delta_T3T2	0,532	0,752	0,177
h_3_Delta_T3T1	0,331	0,077	0,721
h_4_Delta_T3T1	0,950	0,116	0,059
h_5_Delta_T3T1	0,759	0,981	0,860
h_6_Delta_T3T1	0,862	0,302	0,598

PG1: Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; PG2: Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahren; PG3: Patientengruppe 3 älter als 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; h\_: Distanz zwischen der gingivalen Breite und der Raphe-Median-Linie (RML) am Gaumendach

#### 4.2.4 Gaumenfläche

##### 4.2.4.1 Veränderung der Gaumenflächen innerhalb der Gruppen

Die Gaumenflächen (FA: anterior, FP: posterior, FG: gesamt) nehmen während der Aktivierungsphase (Zeitraum T1 zu T2) in allen Gruppen signifikant zu (Patientengruppe 1 Tabelle 17, Patientengruppe 2 Tabelle 18, Patientengruppe 3

Tabelle 19, bzw. PG1 Abbildung 16, PG2 Abbildung 17, PG3 Abbildung 18).

Das Ausmaß der Zunahmen ist bis auf eine Ausnahme (FP PG2 und FA PG3) in der PG1 größer als in der PG2 und in der PG2 wiederum größer als in der PG3. In der Weiterbehandlungsphase (Zeitraum T2-T3) verändern sich die Flächen nicht signifikant. Als Langzeiteffekt (Zeitraum T1-T3) sind somit in allen 3 Gruppen die Veränderungen der Gaumenflächen signifikant.

Tabelle 17: Differenz der Gaumenflächen in der **Patientengruppe 1** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	342,76	62,32	386,73	64,23	43,97	39,24	<0,001
FP-Delta	969,56	131,45	1045,45	142,71	75,88	67,13	<0,001

FG-Delta	1312,32	160,42	1432,17	172,61	119,85	88,04	<0,001
----------	---------	--------	---------	--------	--------	-------	--------

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	386,73	64,23	386,53	63,34	-0,20	36,99	1,000
FP-Delta	1045,45	142,71	1040,57	156,06	-4,87	56,69	1,000
FG-Delta	1432,17	172,61	1427,10	195,59	-5,08	73,62	1,000

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	342,76	62,32	386,53	63,34	43,77	45,86	<0,001
FP-Delta	969,56	131,45	1040,57	156,06	71,01	83,19	<0,001
GF-Delta	1312,32	160,42	1427,10	195,59	114,77	108,73	<0,001

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

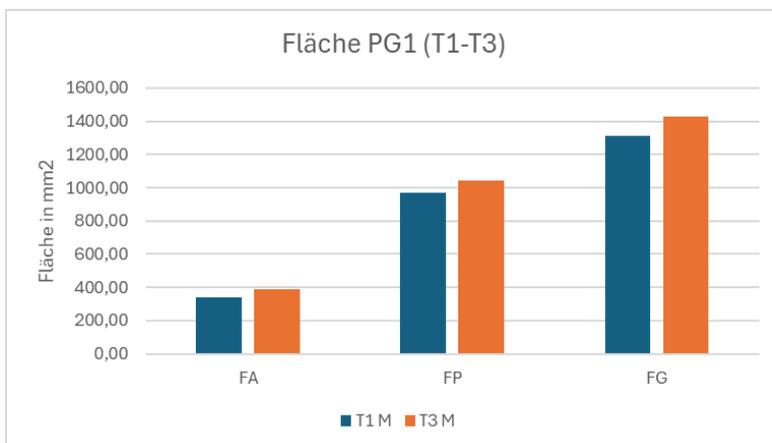
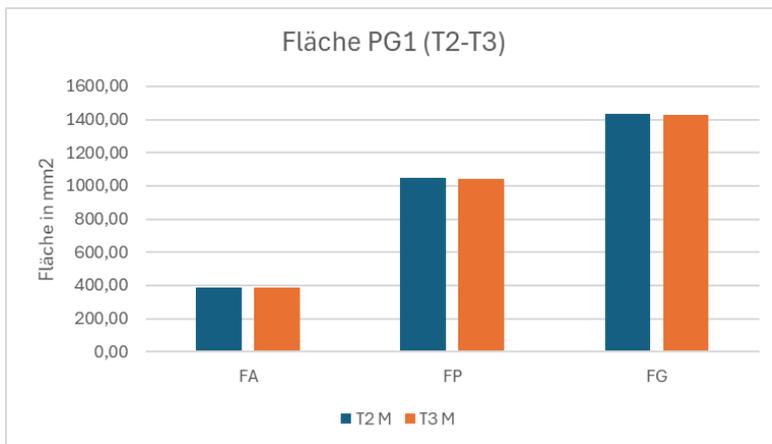
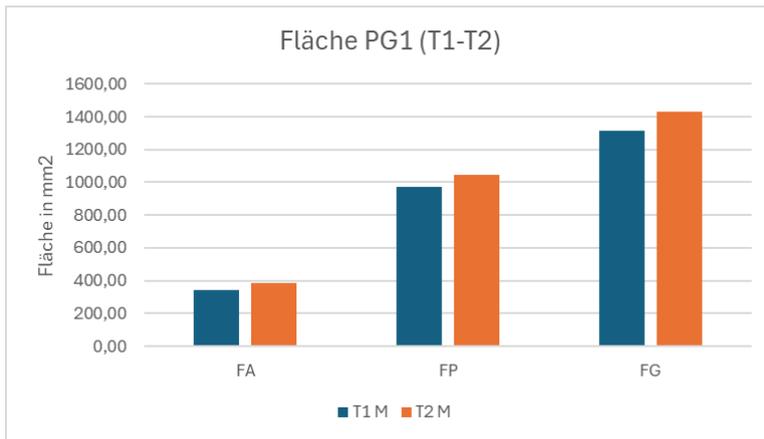


Abbildung 16: Entwicklung der Gaumenflächen in der **Patientengruppe 1**

Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA: anteriore Fläche, FP: posteriore Fläche, FG: gesamte Fläche.

Tabelle 18: Differenz der Gaumenflächen in der **Patientengruppe 2** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	343,89	66,04	370,45	63,05	26,56	31,92	<0,001
FP-Delta	1027,98	105,15	1073,65	115,65	45,67	78,96	0,011
FG-Delta	1371,53	126,95	1452,78	123,28	81,25	63,95	<0,001

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	370,45	63,05	371,58	53,34	1,13	38,94	1,000
FP-Delta	1073,65	115,65	1071,79	108,93	-1,86	70,49	1,000
FG-Delta	1452,78	123,28	1443,87	123,36	-8,91	71,83	1,000

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	343,89	66,04	371,58	53,34	27,69	50,03	0,015
FP-Delta	1027,98	105,15	1071,79	108,93	43,82	75,64	0,011
FG-Delta	1371,53	126,95	1443,87	123,36	72,34	104,37	0,002

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

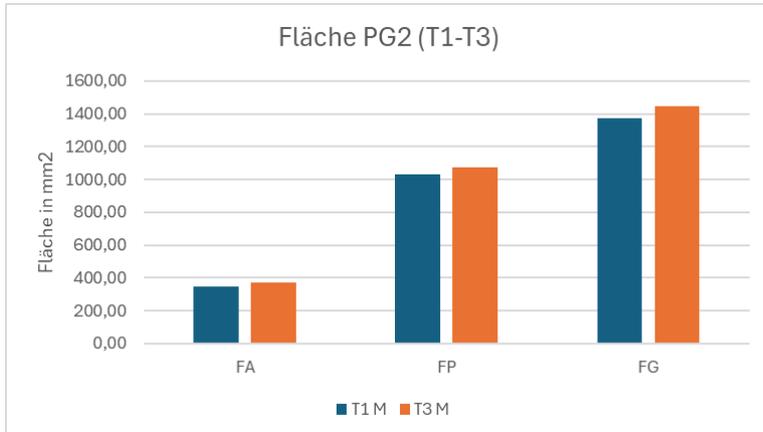
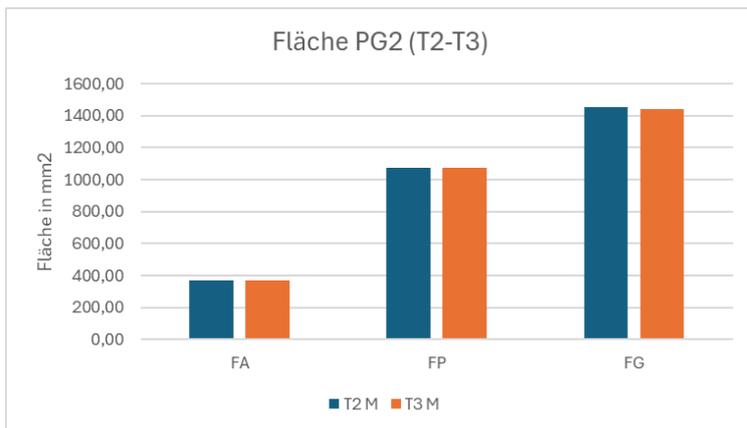
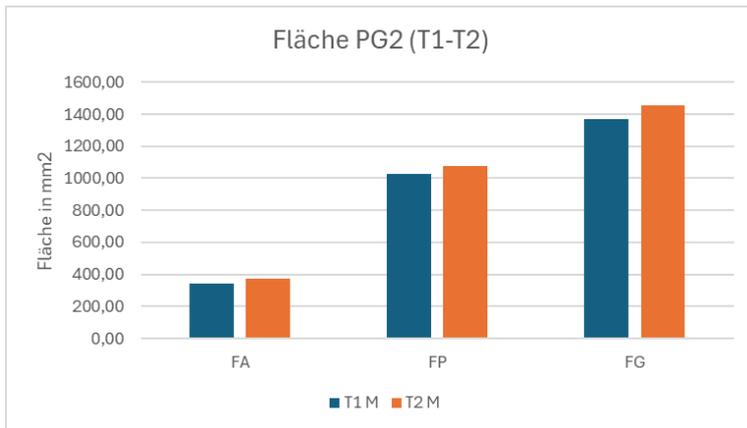


Abbildung 17: Entwicklung der Gaumenflächen in der **Patientengruppe 2**

Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA: anteriore Fläche, FP: posteriore Fläche, FG: gesamte Fläche.

Tabelle 19: Differenz der Gaumenflächen in der **Patientengruppe 3** zwischen den drei Messzeitpunkten

	T1		T2		T2-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	347,40	73,29	370,87	75,93	23,47	47,27	0,033
FP-Delta	1084,40	139,54	1138,02	126,01	53,62	65,00	<0,001
FG-Delta	1435,14	161,58	1508,89	153,90	73,75	72,07	<0,001

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

	T2		T3		T3-T2		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	370,87	75,93	384,35	72,18	13,48	57,39	0,625
FP-Delta	1138,02	126,01	1119,58	133,85	-18,44	70,72	0,492
FG-Delta	1508,89	153,90	1503,93	175,42	-4,96	76,33	1,000

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

	T1		T3		T3-T1		
	M	±SD	M	±SD	M	±SD	p intra
Gaumenfläche							
FA-Delta	347,40	73,29	384,35	72,18	36,95	68,58	0,019
FP-Delta	1084,40	139,54	1119,58	133,85	35,18	67,38	0,023
FG-Delta	1435,14	161,58	1503,93	175,42	68,79	84,73	<0,001

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung; T1: Beginn der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche; p: Signifikanzniveau T-Test beim Vergleich der Messdaten zu den verschiedenen Zeitpunkten; Angaben von M und SD in mm<sup>2</sup>.

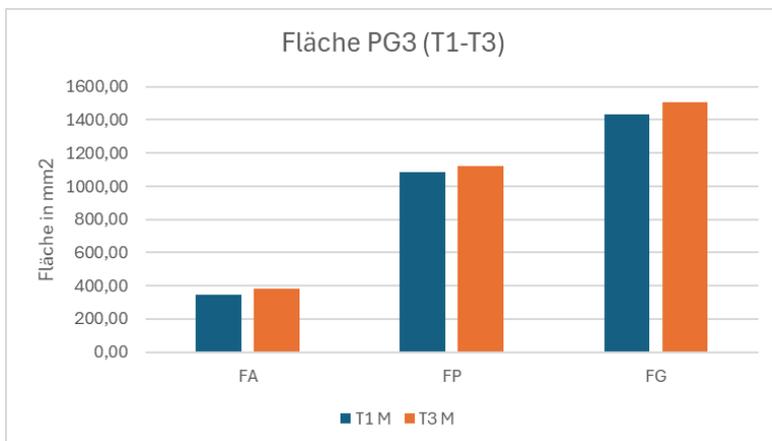
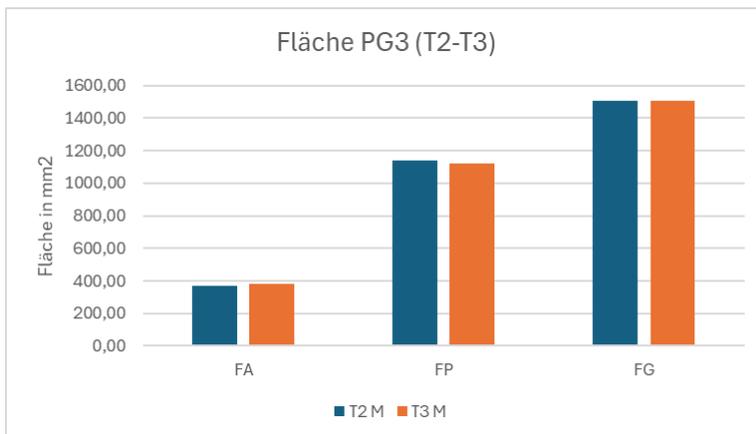
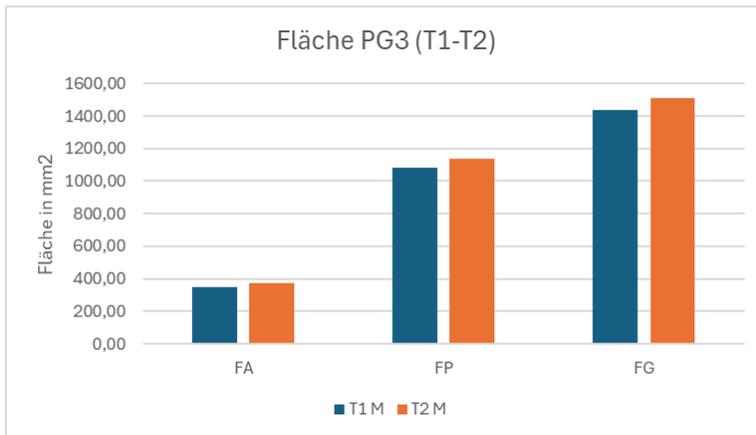


Abbildung 18: Entwicklung der Gaumenflächen in der **Patientengruppe 3**

Patientengruppe 3 ab 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA: anteriore Fläche, FP: posteriore Fläche, FG: gesamte Fläche.

#### 4.2.4.2 Veränderung der Gaumenflächen zwischen den Gruppen

Im Intergruppenvergleich von den drei Gruppen zeigt sich kein signifikanter Unterschied für die Zunahme der anterioren Gaumenfläche, der posterioren Gaumenfläche und der Gesamtfläche (Tabelle 20).

Tabelle 20: Statistischer Vergleich der Entwicklung der Gaumenflächen zwischen den unterschiedlichen Patientengruppen zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 (p inter)

Parameter	PG1 vs PG2	PG2 vs PG3	PG3 vs PG1
Gaumenfläche			
FA_Delta_T2T1	0,216	0,952	0,122
FP_Delta_T2T1	0,228	0,901	0,444
FG_Delta_T2T1	0,122	0,922	0,052
FA_Delta_T3T2	0,999	0,704	0,623
FP_Delta_T3T2	0,983	0,598	0,709
FG_Delta_T3T2	0,978	0,977	1,000
FA_Delta_T3T1	0,506	0,796	0,884
FP_Delta_T3T1	0,350	0,898	0,165
FG_Delta_T3T1	0,232	0,990	0,181

PG1: Patientengruppe 1 jünger als 10 Jahre; PG2: Patientengruppe 2 zwischen 10 und 12 Jahren; PG3: Patientengruppe 3 älter als 12 Jahre; T1: Beginn der Aktivierung; T2: Ende der Aktivierung; T3: Ende der Behandlung; FA-: anteriore Fläche, FP-: posteriore Fläche, FG-: gesamte Fläche

## 5 Diskussion

Die Wirksamkeit der Plattenapparaturen zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers hängt in hohem Maß von der Mitarbeit der jungen Patienten und von der Kompetenz des Behandlers ab (Lisson 2022). Daher werden diese in der Regel als weniger geeignet als festsitzende Apparaturen eingestuft. Darüber hinaus fehlen nach wie vor Studien mit hohem Evidenzniveau zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers, die sich mit der Behandlung mittels Plattenapparaturen beschäftigen. Eine korrekte wissenschaftliche Einordnung der Möglichkeiten und Grenzen dieser Therapiemethode bleibt daher schwierig (Lisson 2022).

Die hier vorgelegte Arbeit leistet eine Grundlage zur Bewertung der Langzeitstabilität transversaler Erweiterungen des Oberkiefers mit Plattenapparaturen. Anhand der Daten kann überprüft werden, ob herausnehmbare kieferorthopädische Apparaturen mit einem aktiven Element wie einer Dehnschraube eine therapeutische Effektivität bezüglich der transversalen Erweiterung des Oberkiefers und eine langfristige Stabilität gewährleisten.

Während der Aktivierungsphase fand die eigentliche Erweiterung statt und es war in allen Patientengruppen bei annähernd allen Messparametern eine statistisch signifikante Veränderung nachweisbar. Das Alter der Patienten spielte beim Ausmaß der Veränderung keine Rolle. Eine Ausnahme bildeten die gingivale Breite am Eckzahn und die Gaumenhöhe an dieser Stelle in PG3, sowie die Gaumenhöhe am Eckzahn und am ersten Prämolaren in PG2. Während der Weiterbehandlungsphase sollten die dentalen und gingivalen Breiten sowie die Gaumenhöhe stabil bleiben. Signifikante Veränderung fanden lediglich statt bei der gingivalen Strecke am ersten Prämolaren, der Gaumenhöhe am zweiten Molaren und ersten Molaren in PG1, der Gaumenhöhe am Eckzahn in PG2 sowie der gingivalen Strecke am Eckzahn und der Gaumenhöhe am ersten Prämolaren und Molaren in PG3. In allen Patientengruppen zeigte sich eine Signifikanz für Veränderungen der Gaumenflächen während der Aktivierungsphase und keine Signifikanz dagegen während der Weiterbehandlungsphase. In der hier vorgestellten Studie änderten sich die dentale Breite, die gingivale Breite, die Gaumenhöhe und die Gaumenfläche bei allen Patientengruppen langfristig signifikant. Eine Ausnahme bildete die gingivale Breite am Eckzahn in PG2 und PG3, die sich über den gesamten Behandlungszeitraum hinweg nicht entscheidend veränderte. Lediglich auf Höhe der Eckzähne in PG1 und PG2 war auch diese Entwicklung nicht zu beobachten.

## 5.1 Stärken und Limitationen der Studie

Die hier vorgelegte Studie hat mit den Daten von 90 Patienten und Patientinnen eine vergleichsweise große Datengrundlage in drei verschiedenen Altersgruppen, die alle monozentrisch behandelt wurden. Damit ist die Datenbasis größer als in vergleichbaren Studien, die sich meist auf 10 bis 15 Datensätze pro Studienarm beschränken. Weiterhin ist die digitale Bestimmung der Messparameter ausgereift und reproduzierbar (Shahen et al. 2018). Damit werden Messungenauigkeiten minimiert und die Aussagekraft der Studie gegenüber einer Vermessung der Gipsmodelle mit manuellen Methoden optimiert.

Eine Limitation besteht darin, dass es möglicherweise zu einer Überlagerung der Effekte durch die kieferorthopädische Apparatur und zur Wachstumseffekten führten.

Eine weitere Einschränkung ist, dass keine Daten einer Vergleichsgruppe, die z.B. mit einer feststehenden Apparatur behandelt wurden, vorlagen, um Therapieeffekte vergleichen zu können. Zuletzt kann anhand der Messwerte keine eindeutige Unterscheidung zwischen skelettalen und dentalen Effekten getroffen werden.

## 5.2. Bewertung der Veränderungen

Um die Wirksamkeit einer Behandlung mittels herausnehmbarer Apparaturen zur transversalen Gaumenerweiterung zu belegen, muss sichergestellt werden, dass sie effektiv ist und die Effektivität langfristig erhalten bleibt. Dass die Veränderungen, die allein durch das Wachstum der Kinder zu beobachten ist, eine zu vernachlässigende Größe darstellt, zeigen die Messungen von Esenlik and Rübendüz (2015). Die Autoren verglichen die Veränderungen in den dentalen Abständen des Oberkiefers bei Patienten in einem ähnlichen Alter wie PG1, die mit einer transversalen Erweiterung mittels Plattenapparatur erreicht werden können, mit den Veränderungen durch das Wachstum. Die Werte für die behandelten Kinder lagen in der Größenordnung von 5-7 mm, und damit leicht über den Werten, die in der hier vorgelegten Studie gemessen wurden. Die Veränderungen, die allein durch das Wachstum zu verzeichnen waren, lagen dagegen im Bereich bis maximal 0,79 mm. Damit ist der Wachstumseffekt vernachlässigbar und die Veränderungen zumindest der dentalen Breite und der gingivalen Breite sind somit allein auf die Behandlung zurückzuführen (Esenlik and Rübendüz 2015).

### 5.2.1. Langsame transversale Gaumenerweiterungen mit herausnehmbaren Apparaturen sind möglich

Eine transversale Erweiterung des Gaumens ist nicht nur mittels festsitzender Apparaturen für eine schnelle oder langsame Expansion erfolgreich. Eine langsame Expansion mit einer herausnehmbaren Apparatur ist ähnlich effektiv wie mit einer festsitzenden Apparatur.

Eine Bewertung des Ausmaßes der Veränderung während der aktiven Phase der transversalen Gaumenerweiterung ist nicht trivial. Es gibt nur wenige Studien, die die Wirksamkeit einer herausnehmbaren Plattenapparatur allein zur transversalen Erweiterung des Gaumens untersucht haben. Die im Rahmen der hier vorgestellten Studie generierten Ergebnisse unterstützen eindeutig die Ansicht, dass mit einer herausnehmbaren Plattenapparatur eine deutliche Gaumenerweiterung erreicht werden kann und die Erweiterung langfristig erhalten bleibt. Während der Aktivierung der Plattenapparatur konnte in allen Altersgruppen eine statistisch signifikante Erweiterung der transversalen Zahnabstände ebenso wie der gingivalen Abstände an den entsprechenden Zähnen zusammen mit einer geringen Erhöhung des Gaumendaches und einer Vergrößerung der Gaumenfläche festgestellt werden. Damit sind ähnliche Ergebnisse erzielt worden, wie in vergleichbaren Studien mit weniger Studienteilnehmern.

Die Arbeitsgruppe Pałka et al. (2022) untersuchte die Beeinflussung der Distanz der Eckzähne und der Molaren, die durch eine Behandlung mit einer Plattenapparatur in 10 Monaten erreicht werden kann. Die Autoren führten eine Kontrollgruppe mit, die keine transversale Erweiterung benötigte. Aus ihren Ergebnissen schlossen sie, dass die Behandlung mit einer Plattenapparatur eine Annäherung der behandelten Kiefer an das normale Wachstumsmuster des Oberkiefers bewirkt (Pałka et al. 2022).

Serafin et al. (2022) untersuchten die transversale Gaumenerweiterung mit festsitzenden Apparaturen, die schnell oder langsam durchgeführt wurden. Ebenso wie in der hier vorliegenden Studie (zwischen  $2,6 \pm 2,1$  und  $4,7 \pm 2,8$  mm) war auch mit einer langsamen Erweiterung eine statistisch signifikante Veränderung nach 9 Monaten feststellbar (Erweiterung zwischen den Molaren um 2 mm; Serafin et al. 2022).

Dao et al. (2023) überprüften unter anderem die Veränderung der Gaumenbreite an den palatinalen Seiten der Molaren bei Schnarch-Patienten, die mit einer herausnehmbaren Plattenapparatur zur langsamen Gaumenerweiterung behandelt wurden. Bei diesen erwachsenen Patienten konnte eine Erweiterung um  $2,3 \pm 1,4$  mm nach 10 bis 24 Monaten festgestellt werden. Diese Größenordnung ist vergleichbar mit der transversalen Erweiterung der gingivalen Breite

am entsprechenden Zahn in der hier untersuchten Patientenkohorte und unterstreicht das Potential der Gaumenerweiterung.

Auch die Gaumenfläche vergrößert sich bei allen Patientengruppen während der Aktivierungsphasen (T1-T2) statistisch signifikant in dieser Studie. Dass dies auf die Behandlung zurückzuführen ist, belegen die Daten von Sollenius et al. (2020). Die Autorinnen und Autoren schlossen in ihrer Studie auch eine Gruppe von Patientinnen und Patienten im Wechselgebiss mit einem posterioren Kreuzbiss ein, die nicht behandelt wurden, sowie eine Gruppe ohne Fehlstellungen. Die Gaumenfläche war in der Gruppe mit Kreuzbiss statistisch signifikant kleiner als in der „gesunden“ Gruppe, und die Werte veränderten sich während des Beobachtungszeitraums nicht signifikant. Die Vergrößerung der Gaumenflächen durch festsitzende und herausnehmbare Apparaturen lag bei Sollenius et al. (2020) bei etwa 100 mm<sup>2</sup>, ein Wert, der auch durch die langsame Erweiterung in der hier vorgelegten Studie erreicht werden konnte (Tabelle 17 Seite 50).

Die Zugehörigkeit zur Patientengruppe spielt bei den Parametern in der Regel eine Rolle, da das natürliche Wachstum bei den jüngeren Patienten (PG1) deutlich größer ist als bei PG3. Lediglich die Veränderung der Gaumenhöhe auf allen Ebenen war bei allen Patientengruppen mit Ausnahme von h<sub>3</sub> bei PG1 und PG2 signifikant. Die Bewertung des Einflusses der Behandlung auf die Gaumenhöhe wird jedoch von der natürlichen Entwicklung des Gaumendachs überschattet. Die Gaumenhöhe nimmt während des hier eingeschlossenen aktiven Behandlungszeitraums bei vielen Kindern signifikant im Rahmen des natürlichen Wachstums um 0,5 mm pro Jahr zu (Thilander 2009). Weiterhin beschreiben Eslami Amirabadi et al. (2018) außerdem, dass die Gaumenhöhe beim Wechsel zwischen dem Milchgebiss und dem Wechselgebiss zwar abnimmt, aber beim Wechsel zum bleibenden Gebiss wieder zunimmt. Die durchschnittlichen Werte der in der hier vorgelegten Studie dokumentierten Veränderung lagen meist im Submillimeterbereich. Hier könnte demnach die erwünschte Abflachung des Gaumendachs der natürlichen Entwicklung entgegenlaufen.

Ein weiterer Grund für die weniger deutliche Veränderung der Höhe des Gaumendachs besteht vermutlich darin, dass durch die Plattenapparatur eher die Alveolarknochen auseinander gedrückt werden, was ebenfalls zu einer Vergrößerung der Gaumenfläche, aber zu keiner Reduktion der Höhe des Gaumendachs führt. Die Knochenplatten des harten Gaumens werden möglicherweise durch die aktiven Platten weniger beeinflusst als wünschenswert wäre. Darauf deutet auch der dentale Anteil an der Erweiterung hin, da die Veränderung der dentalen Distanz an jedem Zahn und in jeder Patientengruppe größer ist als die Veränderung der gingivalen

Distanz. Dies könnte ein Anzeichen dafür sein, dass ein großer Anteil der transversalen Erweiterung auf eine Kippung der Zähne und eine Aufbiegung der Alveolarfortsätze nach bukkal zurückzuführen ist.

### 5.2.2. Die Erweiterungen sind stabil

Daten aus anderen Studien zeigen, dass eine transversale Erweiterung des Oberkiefers, sowohl langsam als auch schnell, über einen langen Zeitraum stabil bleibt. Die systematische Übersichtsarbeit von Srivastava et al. (2020) konnte dies anhand von Publikationen zeigen, die über einen Zeitraum von 2 bis 15 Jahren Behandlungserfolge beobachteten. Auch in der hier vorgelegten Studie konnte beobachtet werden, die Effektivität zur transversalen Erweiterung der dentalen Breite, der gingivalen Breite (mit Ausnahme von PG2 an den Eckzähnen) und der Gaumenfläche und sie langfristig erhalten blieben. Die Gaumenhöhe veränderte sich in einigen Fällen statistisch signifikant im unteren Zehntelmillimeterbereich. Da der Zeitraum zwischen T2 und T3 jedoch beinahe 2 Jahre betrug, ist hier unbehandelt eine Erhöhung des Gaumendaches um 1 mm zu erwarten. Durch die Behandlung konnte diese Entwicklung gebremst werden und die Wirkung hielt über die aktive Phase bis in die Retentionsphase an. Eine weitere Erklärung für die Entwicklung der Gaumenhöhe liefern Abdelsalam et al. (2023). Die Autoren konnten nach der Expansion des Oberkiefers keine Veränderungen im Volumen des Gaumens feststellen. Sie gehen davon aus, dass durch die Behandlung lediglich die Form des Gaumens verändert wird, nicht aber die Größe.

### 5.3. Schlussfolgerung und Ausblick

Im Rahmen der hier vorgelegten Studie konnte gezeigt werden, dass eine langsam ausgeführte transversale Erweiterung im Oberkiefer mit einer Plattenapparatur die Morphologie des Gaumens verändert. Allerdings kann nicht entschieden werden, ob die Erweiterung, die sich auch in der Höhe des Gaumens manifestiert, auf eine Veränderung der Processi palatini maxillae oder auf ein Auseinanderdrängen der Processi alveolari zurückzuführen ist. Somit können in der Praxis Kinder und Jugendliche unterschiedlichen Alters bei entsprechender Indikation (Schmalkiefer, Kreuzbiss) erfolgreich mit Plattenapparaturen versorgt werden. Einschränkend kann sein, dass die Behandlungseffekte vermutlich überwiegend auf dentoalveoläre Effekte beschränkt sind. Diese These sollte in einer größer angelegten Studie mit einer unbehandelten Kontrollkohorte und der Möglichkeit zur Untersuchung auch skelettaler Veränderungen überprüft werden.

## 6 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. Alkadhi OH, Almahfouz SF, Tokhtah HA, Binhuwaishel LA (2018) Dental Arch Dimensions in Saudi Adults. *Int J Dent* 2018:2190250
3. Alsawaf DH, Almaasarani SG, Hajeer MY, Rajeh N (2022) The effectiveness of the early orthodontic correction of functional unilateral posterior crossbite in the mixed dentition period: a systematic review and meta-analysis. *Prog Orthod* 23:5
4. Al-Zubair NM (2015) Determinant factors of Yemeni maxillary arch dimensions. *Saudi Dent J* 27:50–54
5. Aznar T, Galán AF, Marín I, Domínguez A (2006) Dental arch diameters and relationships to oral habits. *Angle Orthod* 76:441–445
6. Barbosa DF, Bana LF, Michel MCB, Meira E Cruz M, Zancanella E, Machado Júnior AJ (2023) Rapid maxillary expansion in pediatric patients with obstructive sleep apnea: an umbrella review. *Braz J Otorhinolaryngol* 89:494–502
7. Bekes K, Kuhr K, Ohm C, Frenzel Baudisch N, Jordan AR (2023) Hat ein kieferorthopädischer Behandlungsbedarf Auswirkungen auf die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität? *J Orofac Orthop* 84:19–25
8. Birant S, Koruyucu M, Kasimoglu Y, Veznikli M, Seymen F (2022) Assessment of Dental Arch Parameters in Turkish Twins. *J Clin Pediatr Dent* 46:160–170
9. Björk A, Skieller V (1977) Growth of the maxilla in three dimensions as revealed radiographically by the implant method. *Br J Orthod* 4:53–64
10. Bluestone CD (1985) Current concepts in eustachian tube function as related to otitis media. *Auris Nasus Larynx* 12 Suppl 1:S1-4

11. Bortolotti F, Solidoro L, Bartolucci ML, Incerti Parenti S, Paganelli C, Alessandri-Bonetti G (2020) Skeletal and dental effects of surgically assisted rapid palatal expansion: a systematic review of randomized controlled trials. *Eur J Orthod* 42:434–440
12. Bucci R, Rongo R, Zunino B, Michelotti A, Bucci P, Alessandri-Bonetti G, Incerti-Parenti S, D'Antò V (2023) Effect of orthopedic and functional orthodontic treatment in children with obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev* 67:101730
13. Camacho M, Chang ET, Song SA, Abdullatif J, Zaghi S, Pirelli P, Certal V, Guilleminault C (2017) Rapid maxillary expansion for pediatric obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope* 127:1712–1719
14. Cartlidge PH, Rutter N (1988) Reduction of head flattening in preterm infants. *Arch Dis Child* 63:755–757
15. Da Paes Silva S, Pitchika V, Baumert U, Wehrbein H, Schwestka-Polly R, Drescher D, Kühnisch J, Wichelhaus A (2020) Oral health-related quality of life in orthodontics: a cross-sectional multicentre study on patients in orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 42:270–280
16. Dahlberg G (1940) *Statistical Methods for Medical and Biological Students*; Interscience Publications, New York
17. Dao N, Cozean C, Chernyshev O, Kushida C, Greenburg J, Alexander JS (2023) Retrospective Analysis of Real-World Data for the Treatment of Obstructive Sleep Apnea with Slow Maxillary Expansion Using a Unique Expansion Dental Appliance (DNA). *Pathophysiology* 30:199–208
18. Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin (2014) *DEGAM-Leitlinie Nr. 7: Ohrenschmerz*, Berlin
19. Esenlik E, Rübendüz M (2015) An evaluation of the dentoskeletal effects of slow maxillary expansion from the mixed to the permanent dentition. *Aust Orthod J* 31:2–13
20. Eslami Amirabadi G, Golshah A, Derakhshan S, Khandan S, Saeidipour M, Nikkerdar N (2018) Palatal dimensions at different stages of dentition in 5 to 18-year-old Iranian children and adolescent with normal occlusion. *BMC Oral Health* 18:87

21. Geramy A, Shahroudi AS (2014) Fixed versus Removable Appliance for Palatal Expansion; A 3D Analysis Using the Finite Element Method. *J Dent (Tehran)* 11:75–84
22. Harvold EP, Chierici G, Vargervik K (1972) Experiments on the development of dental malocclusions. *Am J Orthod* 61:38–44
23. Herrera S, Pierrat V, Kaminski M, Benhammou V, Marchand-Martin L, Morgan AS, Le Norcy E, Ancel P-Y, Germa A (2022) Risk Factors for High-Arched Palate and Posterior Crossbite at the Age of 5 in Children Born Very Preterm: EPIPAGE-2 Cohort Study. *Front Pediatr* 10:784911
24. Huynh NT, Desplats E, Almeida FR (2016) Orthodontics treatments for managing obstructive sleep apnea syndrome in children: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev* 25:84–94
25. Jordan RA, Kuhr K, Ohm C, Baudisch NF, Kirschneck C (2021) Sechste Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS 6); Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ)
26. Kim S-J, 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
27. Kunz F, Platte P, Keß S, Geim L, Zeman F, Proff P, Hirschfelder U, Stellzig-Eisenhauer A (2018) Zusammenhang zwischen mundgesundheitsbezogener Lebensqualität und kieferorthopädischem Behandlungsbedarf bei Kindern und Jugendlichen – Eine prospektive, interdisziplinäre und multizentrische Kohortenstudie. *J Orofac Orthop* 79:297–308
28. Kunz F, Platte P, Keß S, Geim L, Zeman F, Proff P, Hirschfelder U, Stellzig-Eisenhauer A (2019) Auswirkungen spezifischer kieferorthopädischer Parameter auf die mundgesundheitsbezogene Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen Eine prospektive, interdisziplinäre und multizentrische Kohortenstudie. *J Orofac Orthop* 80:174–183
29. Leszczyszyn A, Hnitecka S, Dominiak M (2021) Could Vitamin D3 Deficiency Influence Malocclusion Development? *Nutrients* 13:2122
30. Lindner A, Modéer T (1989) Relation between sucking habits and dental characteristics in preschoolchildren with unilateral cross-bite. *Scand J Dent Res* 97:278–283

31. Ling JYK, Wong RWK (2009) Dental arch widths of Southern Chinese. *Angle Orthod* 79:54–63
32. Lione R, Buongiorno M, Franchi L, Cozza P (2014) Evaluation of maxillary arch dimensions and palatal morphology in mouth-breathing children by using digital dental casts. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 78:91–95
33. Lisson JA (1999) Die modifizierte aktive Plattenapparatur – Konstruktion und Indikation. *Quintessenz Zahntech* 25:298–315
34. Lisson JA (2022) Kieferorthopädische Behandlung mit Plattenapparaturen-Möglichkeiten und Grenzen. *Quintessenz Zahnmed* 73:938–947
35. Markwardt AW (1965) Vorschlag zur Bestimmung des Gaumenquotienten. *Fortschr Kieferorthop* 26:48–53
36. McCarty DB, Peat JR, Malcolm WF, Smith PB, Fisher K, Goldstein RF (2017) Dolichocephaly in Preterm Infants: Prevalence, Risk Factors, and Early Motor Outcomes. *Am J Perinatol* 34:372–378
37. Melsen B (1975) Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod* 68:42–54
38. Modéer T, Odenrick L, Lindner A (1982) Sucking habits and their relation to posterior cross-bite in 4-year-old children. *Scand J Dent Res* 90:323–328
39. Niu X, Di Carlo G, Cornelis MA, Cattaneo PM (2020) Three-dimensional analyses of short- and long-term effects of rapid maxillary expansion on nasal cavity and upper airway: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res* 23:250–276
40. Pałka J, Gawda J, Byś A, Zawadka M, Gawda P (2022) Assessment of Growth Changes in the Width of Dental Arches Caused by Removable Appliances over a Period of 10 Months in Children with Malocclusion. *Int J Environ Res Public Health* 19:3442
41. Pont A (1909) Der Zahn-Index in der Orthodontie. *Zahnärztliche Orthopädie* 3:306–321
42. 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

43. Rabah N, Al-Ibrahim HM, Hajeer MY, Ajaj MA (2022) Evaluation of rapid versus slow maxillary expansion in early adolescent patients with skeletal maxillary constriction using cone-beam computed tomography: A short-term follow-up randomized controlled trial. *Dent Med Probl* 59:583–591
44. Ribeiro LG, Antunes LS, Küchler EC, Baratto-Filho F, Kirschneck C, Guimarães LS, Antunes LAA (2023) Impact of malocclusion treatments on Oral Health-Related Quality of Life: an overview of systematic reviews. *Clin Oral Investig* 27:907–932
45. Saghiri MA, Eid J, Tang CK, Freag P (2021) Factors influencing different types of malocclusion and arch form-A review. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 122:185–191
46. Saint-Fleur AL, Christophides A, Gummalla P, Kier C (2021) Much Ado about Sleep: Current Concepts on Mechanisms and Predisposition to Pediatric Obstructive Sleep Apnea Children (Basel) 8:1032
47. Santana DMC, Nogueira VS, Lima SAM, Fernandes LPA, Weber SAT (2022) The effect of rapid maxillary expansion in children: a meta-analysis. *Braz J Otorhinolaryngol* 88:907–916
48. Santana LG, Flores-Mir C, Iglesias-Linares A, Pithon MM, Marques LS (2020) Influence of heritability on occlusal traits: a systematic review of studies in twins. *Prog Orthod* 21:29
49. Schwarz AM (1938) *Gebißregelung mit Platte*; Urban und Schwarzenberg, Wien
50. Scudine KGdO, Freitas CN de, Nascimento de Moraes KSG, Bommarito S, Possobon RdF, Boni RC, Castelo PM (2021) Multidisciplinary Evaluation of Pacifier Removal on Oro-Dentofacial Structures: A Controlled Clinical Trial. *Front Pediatr* 9:703695
51. Serafin M, Fastuca R, Caprioglio A (2022) CBCT Analysis of Dento-Skeletal Changes after Rapid versus Slow Maxillary Expansion on Deciduous Teeth: A Randomized Clinical Trial. *J Clin Med* 11:4887
52. Shahan 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

53. Sollenius O, Golež A, Primožič J, Ovsenik M, Bondemark L, Petrén S (2020) Three-dimensional evaluation of forced unilateral posterior crossbite correction in the mixed dentition: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod* 42:415–425
54. Srivastava SC, Mahida K, Agarwal C, Chavda RM, Patel HA (2020) Longitudinal Stability of Rapid and Slow Maxillary Expansion: A Systematic Review. *J Contemp Dent Pract* 21:1068–1072
55. Stern S, Finke H, Strosinski M, Mueller-Hagedorn S, McNamara JA, Stahl F (2020) Längsschnittveränderungen in den Zahnbögen und im Weichteilprofil bei unbehandelten Probanden mit normaler Okklusion. *J Orofac Orthop* 81:192–208
56. Švalkausienė V, Šmigelskas K, Šalomskienė L, Andriuškevičiūtė I, Šalomskienė A, Vasiliauskas A, Šidlauskas A (2015) Heritability estimates of dental arch parameters in Lithuanian twins. *Stomatologija* 17:3–8
57. Tai K, Park JH (2010) Dental and skeletal changes in the upper and lower jaws after treatment with Schwarz appliances using cone-beam computed tomography. *J Clin Pediatr Dent* 35:111–120
58. Tai K, Park JH, Mishima K, Shin J-W (2011) 3-Dimensional cone-beam computed tomography analysis of transverse changes with Schwarz appliances on both jaws. *Angle Orthod* 81:670–677
59. 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
60. Timms DJ (1981) Rapid maxillary expansion. Quintessence Publ, Chicago
61. Tränkmann J (1985) Die Plattenapparatur in der Kieferorthopädie; Quintessence Publ, Berlin
62. Tränkmann J (1990) Die modifizierte Plattenapparatur und ihre differenzierte Anwendung (I-IV). *Quintessenz* 41:645–53, 815–25, 995–1001, 1177–84
63. Tränkmann J (1992) Die Bedeutung der kieferorthopädischen Frühbehandlung – Möglichkeiten einer biologischen Kieferorthopädie (I-III). *Quintessenz* 43:61–71, 269–75, 455–63

64. Tränkmann J (1993) Die Federbolzenschraube in der kieferorthopädischen Plattenapparatur. *Quintessenz Zahntech* 19:55–60
65. Tränkmann J (1996) Die aktualisierte Plattenapparatur in der Kieferorthopädie. *Kieferorthop* 2:95–110
66. Tränkmann J (1999) Umsetzung der klinischen Notwendigkeiten an einer Plattenapparatur. *Quintessenz Zahntech* 6:675–686
67. Vilani GNL, Mattos CT, Oliveira Ruellas AC de, Maia LC (2012) Long-term dental and skeletal changes in patients submitted to surgically assisted rapid maxillary expansion: a meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 114:689–697
68. Yuen HM, Au CT, Chu WCW, Li AM, Chan KC-C (2022) Reduced tongue mobility: an unrecognized risk factor of childhood obstructive sleep apnea. *Sleep* 45:1–9
69. Zhu Y, Li J, Tang Y, Wang X, Xue X, Sun H, Nie P, Qu X, Zhu M (2016) Dental arch dimensional changes after adenoidectomy or tonsillectomy in children with airway obstruction: A meta-analysis and systematic review under PRISMA guidelines. *Medicine (Baltimore)* 95:e4976
70. DocCheck Mb (2023) Angle-Klassifikation - DocCheck Flexikon. <https://flexikon.doc-check.com/de/Angle-Klassifikation>, abgerufen am: 04.12.2023

## Dank

Zunächst möchte ich mich herzlich bei Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson dafür bedanken, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat, meine Promotion in der Kieferorthopädie an der Universität des Saarlandes durchzuführen. Des Weiteren möchte ich mich bei Apl.-Prof. Dr. Gero Kinzinger für seine fachliche Beratung herzlich bedanken. Zudem danke ich Dr. Jan Hourfar herzlich für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung. Außerdem gilt mein Dank meiner Familie, meinen Freunden und dem Team von Lieblingstort, die mich während der Bearbeitung meiner Dissertation begleitet und unterstützt haben.





## Lebenslauf

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

Tag der Promotion: den 11.07.2024

Dekan: gez. Univ.-Prof. Dr. med. M.D.Menger

Berichterstatter:

Apl.-Prof. Dr. med. dent. Gero Kinzinger

Univ.- Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Kolja Freier