

Aus der Klinik für Kieferorthopädie
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Jörg Lisson

Vergleich einer modifizierten GNE-Apparatur mit herkömmlichen Apparaturen zur Transversalerweiterung

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes
2010**

vorgelegt von Michael Noß
geboren am 05.09.1980 in Saarbrücken

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	5
1.1. Summary	6
2. Einleitung	7
2.1. Einführung	7
2.2. Der menschliche Gaumen.....	8
2.2.1. Morphologie des Gaumens.....	8
2.2.2. Entwicklung und Wachstum des Gaumens.....	9
2.3. Die Gaumennahterweiterung	10
2.3.1. Anatomische Ursachen und Indikationen.....	10
2.3.2. Behandlungszeitraum.....	11
2.3.3. Historische Entwicklung der Gaumennahterweiterung.....	12
2.3.4. Gerätevielfalt und Unterteilungsmöglichkeiten	13
2.3.5. Biomechanik der Gaumennahterweiterung und dadurch hervorgerufene Veränderungen	14
2.3.6. Rezidivneigung der Gaumennahterweiterung.....	16
2.3.7. Mögliche Nebeneffekte während der Behandlung.....	17
3. Patienten und Methode	18
3.1. Patientenauswahl.....	18
3.2. Herstellungsprozesse der Geräte.....	18
3.2.1. Modifizierte Apparatur mit zwei Bändern und mesialen Armen	18
3.2.2. Kontrollgruppe	20
3.3. Therapeutisches Vorgehen bei der Gaumennahterweiterung.....	21
3.4. Messmethoden an den Modellen	22
3.4.1. Messungen in der Transversalen.....	22
3.4.2. Messungen in der Sagittalen	28
3.4.3. Messungen in der Vertikalen	29
3.4.4. Messung des Zahnbogens (Zahnbogenbreite)	29
3.5. Analysemethodik der Messergebnisse	30
3.5.1. Analysemethoden.....	30
3.5.2. Messverfahren-Prüfung	31
3.5.3. Homogenitätsprüfung	31

4. Ergebnisse	32
4.1. Ergebnisse in der Transversalen.....	32
4.2. Ergebnisse in der Sagittalen	41
4.3. Ergebnisse in der Vertikalen	43
4.4. Differenz der Zahnbogenlänge.....	45
5. Diskussion	47
5.1. Patientenauswahl.....	47
5.2. Methode.....	47
5.2.1. Metrische Vermessung der Modelle	47
5.3. Transversale Veränderungen.....	48
5.4. Sagittale Veränderungen	52
5.5. Vertikale Veränderungen	53
5.6. Veränderungen des Zahnbogens.....	54
5.7. Schlussfolgerung	54
6. Literaturverzeichnis	56
7. Publikationen	65
8. Danksagung	66
9. Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1. Zusammenfassung

Zur Therapie eines seitlichen Kreuzbisses im frühen Wechselgebiss werden meist Plattenapparaturen oder festsitzende Geräte zur Transversalerweiterung des Oberkiefers verwendet. Ziel dieser Studie war es, die dentoalveolären Auswirkungen dieser Geräte mit denen einer Apparatur zu vergleichen, bei der die Verankerung modifiziert wurde. Die durch die unterschiedlichen Geräte verursachten Änderungen im Bereich des Zahnbogens und des Alveolarfortsatzes werden sowohl direkt nach Abnahme der Apparaturen und somit abgeschlossener aktiver Behandlungsphase, als auch nach Ende einer mehrmonatigen Retentionszeit einander gegenüber gestellt.

Das Untersuchungskollektiv bestand aus 40 Patienten mit einem Durchschnittsalter von $9,1 \pm 1,1$ Jahren. Von jedem Patienten standen ein Anfangsmodell (t_0) sowie ein Modell nach Abnahme der Apparatur (t_1) und nach Beendigung einer mehrmonatigen Retentionsphase (t_2) zur Verfügung. 20 Patienten der Untersuchungsgruppe wurden mit einer modifizierten GNE-Apparatur behandelt, die auf den ersten Molaren fest verankert war und palatinale Auflagen im Bereich der ersten und zweiten Milchmolaren besaß. Die Vergleichsgruppe bestand zum einen aus 10 Patienten, deren Oberkieferzahnbogen mit einer Plattenapparatur transversal erweitert wurde und zum anderen aus 10 Patienten, die mit einer nur auf den ersten Molaren befestigten Hyrax-Schraube behandelt wurden. Jedes Modell wurde in 16 verschiedenen Messreihen auf transversale, sagittale und vertikale Veränderungen im Bereich des Zahnbogens und des Alveolarfortsatzes untersucht. Die statistische Auswertung erfolgte durch den Wilcoxon- sowie den Mann-Whitney-U Test. Es wurden einerseits Veränderungen innerhalb der einzelnen Gruppen zu den verschiedenen Messzeitpunkten als auch Differenzen zwischen den Änderungen der unterschiedlichen Gruppen analysiert.

Transversal vergrößerte die modifizierte GNE-Apparatur die anteriore und posteriore Zahnbogenbreite hoch signifikant ($p < 0,001$). Nach Ende der Retention fielen, im Vergleich zur Kontrollgruppe, die Expansion des anterioren Zahnbogens signifikant ($p < 0,05$) und die der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Milchmolaren sogar hoch signifikant ($p < 0,001$) größer aus. Dagegen war die Verbreiterung und Vertiefung des Gaumens im Bereich der ersten Molaren signifikant ($p < 0,05$) beziehungsweise hoch signifikant ($p < 0,001$) geringer als bei der Kontrollgruppe. Die modifizierte Apparatur lässt sich im frühen Wechselgebiss somit ebenfalls zur Transversalerweiterung des Oberkiefers einsetzen, die zum Teil unterschiedlichen dentoalveolären Auswirkungen im Vergleich zu anderen Apparaturen sollten allerdings beachtet werden.

1.1. Summary

Today, unilateral crossbites are generally treated with either removable or fixed orthodontic appliances order to achieve a transverse expansion of the maxilla. The aim of the study was to compare the dentoalveolar results of these devices to an appliance with a modified anchorage. The changes caused by the different devices are being compared immediately after the removal of the appliances at the end of the active treatment, and also after the end of a retention period of several months.

The sample group consisted of 40 patients with an average age of $9,1 \pm 1,1$ years. Three dental casts were available from each patient: An initial dental cast (t0), a dental cast taken immediately after the removal of the appliance (t1) and a dental cast taken at the end of the retention period (t2). The 20 patients of the study group were treated with a modified rapid maxillary expansion appliance, which was permanently anchored to the first molars and had palatal attachments to the first and second deciduous molars. The comparison group consisted of 10 patients, who were treated with removable transverse expansion appliance and 10 patients, who were treated with a hyrax-screw, which was anchored only to the first molars. In 16 series of measurements, each dental cast was examined for transverse, sagittal and vertical variances of the maxillary arch and the alveolar crest. The statistical analysis was conducted by using the Wilcoxon and the Mann-Whitney-U test. Subject of the analysis were changes within the individual test groups at the three measuring intervals as well as differences between the changes in the different groups.

The modified rapid maxillary expansion appliance caused a highly significant expansion of the anterior and posterior arch width ($p < 0,001$). By the end of the retention time, the anterior arch was significantly expanded ($p < 0,05$) and the expansion of the palatal alveolar crest was highly significant ($p < 0,001$) when compared to the comparison group. In contrast, the expansion and the deepening of the palate in the region of the first molars were significantly ($p < 0,05$) and highly significantly ($p < 0,001$) lower than in the comparison group. In consequences, the modified appliance may be used to expand the maxillary arch in the deciduous dentition as an alternative, but the different dentoalveolar impact compared to other appliances must be considered.

2. Einleitung

2.1. Einführung

Die Gaumennahterweiterung (GNE) ist die einzige Methode zur skelettalen Erweiterung des Oberkiefers bei transversaler Zahnbogenenge in Verbindung mit einem uni- oder bilateralen Kreuzbiss (Fuck, Wilmes, Drescher 2008). Ohne chirurgische Begleitoperationen ist dieses Vorgehen bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen im Wechselgebiss und im Gebiss der 2. Dentition möglich (Schuster, Borel-Scherf, Schopf 2005). Der Einsatz einer GNE wird aber noch vor dem pubertären Wachstumsgipfel empfohlen, da anschließend die Verknöcherung der Sutur zunimmt und die Remineralisations- und Regenerationszeiten nach der Erweiterung verlängert werden (Bell et al. 1982, Kanekawa, Shimizu 1998).

Durch die Gaumennahterweiterung wird die Sutura palatina mediana in der Transversalen und Vertikalen V-förmig erweitert. Die größte Expansion findet man im anterioren und basalen Bereich des Oberkiefers, sie schwächt sich nach posterior und kranial hin ab (Wertz 1970, Hauenstein 1980). In der Vertikalen betrachtet beträgt die Expansion im Bereich des Nasenbodens nur ca. 25%, im Bereich der Oberkieferbasis 50% der Erweiterung des Zahnbogens (Diedrich 2000). In der Transversalen ist die radioluzente Zone im Bereich der Sutur nach erfolgreicher Gaumennahterweiterung anterior ca. 50% größer als posterior. Die nachfolgende Remineralisation der iatrogen verursachten Knochenschwächung folgt einem „Reißverschluss-Prinzip“ mit zunehmender Verknöcherung von posterior nach anterior und ist nach 60 Tagen Retention posterior schon 2,5-fach ausgeprägter als anterior (Vardimon et al. 1998). Während die Erweiterung des Zahnbogens besonders im Bereich der Eckzähne stark rezidiert, bleibt die basale Expansion weitgehend erhalten (Diedrich 2000).

Gängigste Version einer Gaumennahterweiterungsapparatur in Mitteleuropa ist eine Hyrax-Schraube zur mehrmaligen Erweiterung am Tag, die an den ersten Molaren sowie den ersten Milch- oder Prämolaren über Bänder starr verankert wird.

Da in Deutschland die Mehrheit der Kieferorthopäden das primäre Einsatzgebiet einer GNE in der Überstellung eines posterioren Kreuzbisses im Wechsel- oder frühen permanenten Gebiss sieht (Korbmacher et al. 2005) und eine transversale Erweiterung, bestimmt durch die Morphologie der Sutur, vor allem im posterioren Bereich erfolgen sollte, wurden bei der untersuchten modifizierten Apparatur sowie bei der fest verankerten Kontrollapparatur nur die Sechsjahrmolaren als Ankerzähne herangezogen.

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit sollen anhand von Modellvermessungen klären, ob bei einer Gaumennahterweiterung im frühen Wechselgebiss eine alleinige starre Verankerung der Hyrax-Schraube auf den ersten Molaren mit einer drahtgestützten flexiblen Ver-

ankerung an den Palatinalflächen der ersten und zweiten Milchmolaren (gegebenenfalls auch der Eckzähne) zur gleichen erfolgreichen Erweiterung der Zahnbögen führt wie eine konventionelle Apparatur.

2.2. Der menschliche Gaumen

2.2.1. Morphologie des Gaumens

Der pränatal aus der Vereinigung der paarigen Stirn- und Oberkieferwülste entstandene Oberkiefer kann beim Neugeborenen in einen Alveolar-, Tektal- und einen Pseudotektalwall unterteilt werden, welche durch mehrere Furchen voneinander abgegrenzt werden (Diedrich 2000). Die Maxilla ist nach der Mandibula der größte Knochen des Gesichtskeletts, bildet weitgehend den Boden sowie die laterale Wand der Nasenhöhle und wird zusammen mit dem Os ethmoidale, den Ossa lacrimalia, nasalia, palatina, zygomatica, dem Vomer, den Conchae nasales inferiores und der Mandibula zum Viszerokranium (auch Gesichtsschädel) gezählt. Im Erwachsenenalter wird der Oberkiefer in einen Corpus (Oberkieferkörper) und folgende vier Fortsätze unterteilt: den Processus frontalis, der an Stirn-, Tränen- und Nasenbein grenzt; den Processus zygomaticus, der einen Teil des Jochbogens bildet; den Processus palatinus, der die vorderen zwei Drittel des harten Gaumens bildet und den Processus alveolaris, den Fortsatz zur Aufnahme der Zähne (Moll 1997). Über die Sutura palatina mediana, die zwischen den beiden Gaumen- und Alveolarfortsätzen liegt und sich lateral-kranial bis in die seitliche Nasenwand erstreckt, sind die paarigen Maxillae miteinander vereint und bilden in Verbindung mit dem Os palatinum zusammen den harten Gaumen sowie den Nasenboden. Die Sutura ist im Kindesalter y-förmig, verändert sich aber bis zum Erwachsenenalter durch zunehmende Ossifikation und Verzahnung zu einem schlangenförmigen Aussehen. Es entstehen im Bindegewebe teilweise Knochenbrücken, wodurch die Sutura von dorsal und kranial zunehmend nach ventral und oral verknöchert. Durchschnittlich 25% der Sutura sind bis zum fünfundzwanzigsten Lebensjahr knöchern verbunden, im anterioren Bereich ist eine vollständige Ossifikation aber eher selten. Ebenso werden die dorsal liegenden Processi palatini maxillae durch eine interpalatinale Sutura verbunden, die praktisch eine Fortsetzung der Sutura palatina ist. Der Oberkiefer steht mit den angrenzenden Knochen über Suturen dorsal und kranial in einer knöchernen Verbindung, die sich durch eine hohe Festigkeit auszeichnet (Timms 1986). Diese Strukturen zählen zu den Widerstandszonen, da über die Knochenpfeiler (Stirnnasenpfeiler, Jochbeinpfeiler und Flügelfortsatzpfeiler) der Kaudruck abgefangen und um empfindliche Strukturen wie Augen- und Nasenhöhle geleitet wird. Hier befindet sich auch die Sutura frontomaxillaris, eine Grenze zwischen Stirnfortsatz des Oberkiefers und Stirnbein, die als Rotationszentrum bzw. Widerstandszentrum der Maxilla sowohl in der horizontalen als auch in der sagittalen Ebene angesehen wird (Wertz (1970, 1977)

sowie Literaturverzeichnis: Nr. 95). Nach Untersuchungen von Krebs (1958) und Brogan (1972) verlagert sich diese Drehachse aber mit zunehmendem Alter nach kaudal (Timms 1986).

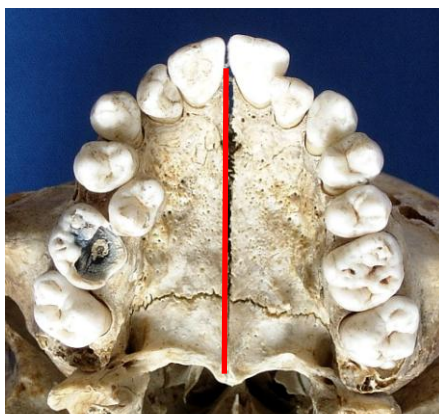


Abb. 1: Aufsicht von kaudal auf den Oberkiefer. Der Verlauf der Sutura palatina mediana ist in Rot gekennzeichnet.

2.2.2. Entwicklung und Wachstum des Gaumens

Die meisten Knochen des Gesichtsschädels werden desmal gebildet, der Knochen entwickelt sich also direkt aus Bindegewebe. Das Viscerokranium folgt im Gegensatz zum Neurokranium, welches schon bei der Geburt stark entwickelt ist, dem allgemeinen Körperwachstum; deshalb ist das Verhältnis von Gesichtsschädel zu Hirnschädel bei der Geburt nur 1:8, verändert sich aber bis zum Erwachsenenalter zugunsten des Viscerokraniums auf 1:1.

Alle Körperoberflächen sind zu verschiedenen Teilen am Wachstum des Gesichtsschädels und damit des Oberkiefers beteiligt. Trotzdem gibt es verschiedene Theorien zum Wachstum, wie die Theorie der suturalen Dominanz nach Sicher, die Theorie des knorpeligen Wachstums nach Scott, die Theorie der funktionellen Matrix nach Moss oder die Theorie des äquivalenten Wachstums nach Enlow (Diedrich 2000).

Das Oberkieferwachstum gesondert betrachtet besteht einmal aus Knochenappositionsvorgängen in den Suturen und Synchondrosen und weiterhin aus sich kompensierenden Appositions- und Resorptionsvorgängen an den Knochenflächen selbst, was zu Transformation und Translation der Knochen führt (Schopf 2000, Diedrich 2000). Am wachstumsintensivsten sind hierbei die Tubera maxillae, die sich durch Knochenapposition am dorsalen Rand in Richtung des Processus pterygoideus des Os sphenoidale ausdehnen und somit den Platz zur Einstellung der Molaren bereitstellen. Gekoppelt ist diese Entwicklung mit einem nach ventral gerichteten Displacement der Maxilla, um das dorsale Wachstum der Tubera auszugleichen. Durch diese Verlagerung werden zusätzlich Zugkräfte erzeugt, die zu weiterem zugadaptivem suturalem Wachstum führen. Auch der Alveolarfortsatz zeichnet sich durch starke Wachstumsaktivität aus, allerdings in vertikaler Richtung als Voraussetzung zur späteren Aufnahme der Zahnwurzeln. Verstärkt wird diese Entwicklung zusätzlich durch Resorption an der nasalen und Apposition an der oralen Seite des Gaumengewölbes, was zu-

sammen mit der transversalen Verbreiterung durch die Sutura mediana zur Entwicklung und Vergrößerung des Sinus maxillaris beiträgt. Der Oberkiefer wächst also nach kranial und dorsal, scheint aber durch Verlagerungseffekte und anatomische Gegebenheiten nach ventral und kaudal zu wachsen (Stöckli und Ben-Zur 1994; Rakosi und Jonas 1989).

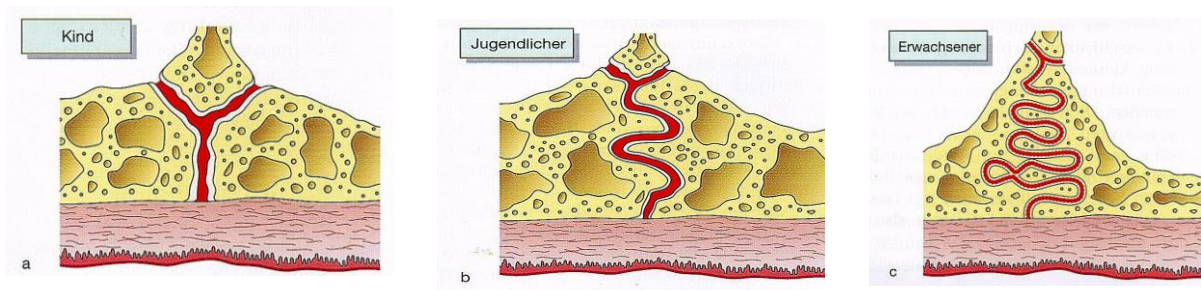


Abb. 2: Veränderung der Struktur der Sutura palatina mediana vom Kind (a) bis zum Erwachsenenalter (c) (B. Melsen)

2.3. Die Gaumennahterweiterung

2.3.1. Anatomische Ursachen und Indikationen

Nicht immer sind die oben genannten knöchernen Strukturen in Form und Größe passend zueinander, so dass es bei Abweichungen zu funktionellen und ästhetischen Störungen kommen kann. So führt eine im Vergleich zum Unterkiefer verminderte Breitenentwicklung des Oberkiefers zu Kopf- bzw. Kreuzbissen (Derichsweiler 1956). Ein Kreuzbiss wird als eine mögliche Form der transversalen Okklusionsanomalie definiert, die einzelne Zähne oder ganze Zahngruppen ein- oder beiderseitig betrifft (Daskalogiannakis 2003) und tritt bei 8 bis 16 % der Bevölkerung auf, wobei der unilaterale Kreuzbiss gegenüber dem bilateralen dominiert (Thilander, Wahlund und Lennartson 1984). Er tritt erblich, funktions- oder entwicklungsbedingt auf und kann durch Habits, wie häufiges Lutschen, verstärkt werden. Der Kreuzbiss bewirkt transversale Differenzen zwischen Ober- und Unterkiefer der betroffenen Seite. Der Quadrant im Oberkiefer, in dem er vorliegt, weist oftmals eine Unterentwicklung, der korrespondierende Quadrant im Unterkiefer eine sehr starke Überentwicklung in der Transversalen auf, bezogen auf die Kieferhälften der Gegenseite mit normaler Okklusion (Thilander, Lennartsson 2002).

Oft wird durch den Kreuzbiss die normale Muskelaktivität der betroffenen Kinder gestört, was das Risiko kranio-mandibulärer Dysfunktionen erhöht (Petrén, Bondemark und Söderfeldt 2003). Außerdem führt die oft diagnostizierte dentale Camouflage der skelettalen Diskrepanz zwischen Ober- und Unterkiefer zu parodontalen Problemen und einer unbefriedigenden Ästhetik (Vanarsdall 1999).

Diese transversale Unterentwicklung der Maxilla wird bei in freier Praxis tätigen Kieferorthopäden als die vorherrschende Indikation (für 87,7 % der Kieferorthopäden bei einem durchschnittlichen Defizit von 5,29 mm (\pm 2,5mm)) für eine Gaumennahterweiterung anerkannt (Korbmacher et al. 2005). Damit stimmen sie mit verschiedenen Autoren überein (Timms 1986; Ekström et al. 1977), die grundsätzlich dort eine Indikation für die GNE sehen, wo das Breitenwachstum des Oberkiefers herabgesetzt beziehungsweise die Breitenentfaltung in Form des hypoplastischen Kiefers vermindert ist (Derichsweiler 1956).

Als weitere Indikation gilt laut Gerlach (1954), Derichsweiler (1956), Cameron et al. (2002) und Herrmann (1965) eine erfolgreiche Behandlung von Patienten mit Lippen-Kiefer-Gaumenspalten. Taspinar et al. (2003) sehen eine Verbesserung von Schallleitungsstörungen bei Kindern durch die Gaumennahterweiterung.

Hegmann und Rütter (2003) und Westwood et al. (2003) empfehlen die Erweiterung in Kombination mit einer Gesichtsmaske zur Therapie einer unterentwickelten Maxilla bei Angle-Klasse-III Patienten.

Die zahlreichsten Publikationen zur Indikation der Gaumennahterweiterung neben der Therapie der transversalen Enge im Oberkiefer findet man sicherlich über die positiven Effekte der Erweiterungsapparaturen auf die anteriore Region des Nasenraumes. Podesser et al. (2007), Hauenstein (1980) und Lagravère et al. (2006) berichten über eine Erweiterung des vorderen Nasenraumes um 1,5 bis 2,1 mm durch eine schnelle Gaumennahterweiterung und stimmen mit Chung und Front (2004), Timms (1986), Tecco et al. (2005), Wertz (1968) und Doruk et al. (2004) überein, dass die Gaumennahterweiterung Anwendung als Therapie bei Kindern mit erschwerter Nasenatmung finden sollte. Schwarz (1956) geht sogar davon aus, dass eine Erweiterung der Nasenbodenbreite um 1 mm einen Luftdurchgängigkeitsgewinn (in mm²) von mehr als einem Nasenlochdurchmesser ergibt. Dadurch würden Erkältungskrankheiten, Otitis media, Hör- und Schlafstörungen erheblich verringert werden (Timms 1989, Ceylan, Oktay und Demirci 1996). Interdisziplinäres Arbeiten mit Kollegen anderer Fachrichtungen erscheint also sinnvoll. Trotzdem ermahnt schon Gerlach 1954, „dass das Vorgehen der Gaumennahtsprengung einmal höchst individuelle Rücksichten erfordert, Altersgrenzen und therapeutisches Ziel in Einklang zu bringen hat und keineswegs eine Zahnbogenerweiterung unter allen Umständen erzwingen soll“. Eine genaue Diagnostik und Planung des therapeutischen Vorgehens sollte also einer Gaumennahterweiterung immer vorgehen.

2.3.2. Behandlungszeitraum

Die Mehrzahl der Kieferorthopäden wendet die Gaumennahterweiterung im Wechselgebiss oder frühen Gebiss der 2. Dentition an und erachtet eine Anwendung bis ca. 19 Jahre als möglich. Man findet jedoch in der Literatur viele, zum Teil gegensätzliche Meinungen (Korb-

macher et al. 2005, Schuster, Borel-Scherf und Schopf 2005). Übereinstimmend sollte man den Oberkiefer bei einer konservativen Behandlung auf jeden Fall zeitlich vor der Verknöcherung der Sutura erweitern, da ansonsten keine konventionelle Sprengung der Sutura palatina mehr möglich ist und der Oberkiefer vorher chirurgisch geschwächt werden muss (Harzer et al. 2006). Da der früheste Verschluss allerdings bei einem 15-jährigen Mädchen entdeckt wurde, wohingegen die älteste Person mit noch unverknöchertem Sutura eine 27-jährige Frau war, ist eine exakte Altersgrenze nicht zu bestimmen und muss in jedem Einzelfall individuell festgelegt werden. Ob eine Suturenverknöcherung vorliegt, ist aber röntgenologisch nicht immer definitiv festzustellen (Wehrbein 2001). Bacetti et al. (2001) und Thilander, Wahlund und Lennartson (1984) empfehlen generell eine Behandlung vor dem pubertären Wachstumsmaximum, da in diesen Fällen mit stabileren Langzeitergebnissen und einem stärkeren Einfluss auf skelettale Strukturen zu rechnen ist (Lagravère et al. 2005). Cozzani et al. (2003) berichten sogar über erfolgreiche Erweiterungen im Milchgebiss.

2.3.3. Historische Entwicklung der Gaumennahterweiterung

Ab dem 19. Jahrhundert wurden sowohl herausnehmbare als auch festsitzende Geräte zur transversalen Erweiterung des Oberkiefers verwendet. Erstmals beschrieb Emerson C. Angell 1860 eine forcierte Gaumennahterweiterung, die er an einem 14,5 Jahre alten Mädchen in San Francisco erfolgreich anwendete und die innerhalb von 2 Wochen eine Erweiterung des Zahnbogens um $\frac{1}{4}$ inch (circa 0,64 cm) erreichte. Er verwendete hierzu eine Apparatur aus „zwei sich in gegensätzlicher Richtung drehende[n] Schrauben mit je einem Gewinde nach links und rechts“, die nur mittels Druck an den Ankerzähnen hielt und erklärte die Sprengung der Sutura palatina als erwiesen durch die Tremabildung der mittleren Incisiven (Angell 1860).

In seinen Vorträgen „separation of the superior maxilla at the symphysis“ berichtete Goddard 1893 erstmals über eine Apparatur bestehend aus Bändern und einer Doppelschraube (Goddard 1893).

1913 veröffentlichte Schröder-Benseler die erste umfangreiche Arbeit über Gaumennahterweiterungen und beschrieb ein Gerät, bei dem die Schraubkraft ausschließlich über körperlich gefasste Zähne auf den Kieferknochen übertragen wurde.

Um die Kraftübertragung auf den Kieferknochen zu erhöhen und Kippungen der Ankerzähne zu vermeiden, konstruierte Derichsweiler 1956 erstmals eine Apparatur, die sich zusätzlich an den Gaumenwänden abstützte (Derichsweiler 1956).

AJ Haas stellte 1961 ein Gerät vor, dessen mediane Schraube mit den Halteelementen an den Ankerzähnen über eine fest am Gaumen anliegende Kunststoffbasis verbunden war, so jegliche metallische Verbindungselemente überflüssig machte und eine zusätzliche Abstützung am Alveolarfortsatz ermöglichte (Haas 1961).

Die später eingeführte Hyrax-Schraube nach Biedermann machte eine zügige und einfache Herstellung sowie eine verbesserte Hygiene und verringerten Zeitaufwand am Patienten möglich, da sie durch Retentionsarme schnell und dauerhaft mit den Bändern auf den Ankerzähnen verlötet wurde (Sandikcioglu und Hazar 1997). Sie wurde in den darauffolgenden Jahren vielfach modifiziert und ist heute die am häufigsten verwandte Apparatur zur forcierten Gaumennahterweiterung (Schuster, Borel-Scherf und Schopf 2005).

Neuerscheinungen wie der Transpalatine Distraktor (TPD) vergrößern die Gerätevielfalt. Dieser wird knöchern am Gaumen durch zwei Aufsätze abgestützt und beinhaltet zur transversalen Erweiterung zwei teleskopierende Zylinder (Mommaerts 1999). Auch bei Harzer (2006) findet die implantatgetragene Verankerung im Gaumendach Zustimmung, um unerwünschte Nebeneffekte zu verringern.

2.3.4. Gerätevielfalt und Unterteilungsmöglichkeiten

Lagravère, Major und Flores-Mir (2005) teilen wie Mommaerts (1999) und andere Autoren die Anwendung der Gaumennahterweiterung in 3 Gruppen auf:

die langsame Dehnung (= SME oder slow maxillary expansion), bei der nur eine Expansion von wenigen Zehntel Millimetern pro Woche erreicht wird, die forcierte Gaumennahterweiterung (= RME oder rapid maxillary expansion) mit einer durchschnittlichen Aktivierung von 0,5 mm pro Tag und die chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung (= SARME oder surgically assisted rapid maxillary expansion), bei der vor der Dehnung der Maxilla der Knochen in einer Operation iatrogen geschwächt wird und erst anschließend eine Erweiterung des Gaumens vorgenommen wird (Byloff und Mossaz 2004).

Zur Verfügung stehen mehrere Gerätetypen, beispielsweise herausnehmbare Plattenapparaturen zur Transversalerweiterung, die ganztägig außer zu den Mahlzeiten getragen und durchschnittlich um 0,25 mm pro Woche aktiviert werden. Daneben kann der Behandler auch drahtgebogene Apparaturen, wie die Quadhelix oder den Minne-Expander einsetzen, die über Bänder oder Kunststoffschienen an den Ankerzähnen befestigt sind und durch Aktivierung der Federelemente eine Dehnung provozieren (Podesser et al. 2007; Mossaz-Joelson und Mossaz 1989). Zu den starren Geräten zählt z.B. der Haas-Expander mit Hyrax-Schraube, durch den Nebenwirkungen stärker vermieden werden sollen. Er besteht aus fest auf Ankerzähne zementierten Bändern und einem aus rigidem Draht bestehenden Mittelsstück, in das die Expansionsschraube eingearbeitet ist. Sie wird pro Tag durchschnittlich um 0,5 mm aktiviert.

2.3.5. Biomechanik der Gaumennahterweiterung und dadurch hervorgerufene Veränderungen

Ziel der Gaumennahterweiterung ist es, die noch nicht verknöcherte Sutura palatina mediana in dem Maße transversal zu erweitern, dass die Relation von Ober- zu Unterkiefer ausgeglichen wird. Dies geschieht durch eine subperiostale traumatische Suturaöffnung (Gerlach 1954), wobei die durch die Schraube induzierte Kraft über die Ankerzähne, das Parodontium und bei auf dem Gaumengewölbe anliegenden Verbindungselementen auch direkt über den Alveolarfortsatz auf den Kieferknochen übertragen wird. Diese Kraft beträgt bei der forcierten Gaumennahterweiterung zwischen 10 und 50 N, kann sich aber durch Kumulationseffekte auf 100 N und mehr erhöhen (Isaacson 1964; Lagravère 2005, Sander et al. 2006). Sie führt nach anfänglicher Dehnung zur Grünholzfraktur im Bereich der Sutura mediana und deren Fortsetzung in der Nasenscheidewand; der Frakturverlauf ist häufig (aber nicht immer) symmetrisch (Derichsweiler 1956). Die Expansion der Oberkieferbasis beträgt etwa 50 %, die der Nasenhöhle etwa 25 % der Expansion an den Ankerzähnen (Diedrich 2000).

Die Maxilla rotiert hierbei um ein virtuelles Zentrum im Bereich der Sutura frontonasalis sowohl in der frontalen als auch in der sagittalen Ebene, was durch kephalometrische Untersuchungen bewiesen wurde, in denen der A-Punkt nach ventral wanderte und der SNA-Winkel zunahm (Davis und Kronman 1969; Haas 1961; Wertz 1970; Podesser 2007). Die Bewegungsrichtungen der Maxilla variieren je nach Publikation: Haas (1961), Davis und Kronman (1969) und Doruk et al. (2004) berichten von einer Ventral- und Kaudalverlagerung, Chung und Front (2004) sehen auch eine Kaudal-, aber nur eine leichte Ventralverlagerung bestätigt, bei Untersuchungen von Wertz und Dreskin (1977) hingegen wurden ventrale und dorsale Bewegungen der Maxilla ersichtlich, bei gleichzeitiger Kaudalverlagerung. Akkaya, Lorenzon und Üçem (1999) und Sari et al. (2003) bestätigen nur eine anteriore Bewegung des Oberkieferkomplexes. Sarver und Johnston (1989) beobachteten, dass sich bei bebänderten Patienten die Maxilla wahrscheinlich mehr nach kaudal verlagert als bei Patienten mit Kunststoffschienen.

Gleichzeitig zur Rotation zeigt sich auch eine V-förmige Öffnung der Maxilla in der Transversalen, wobei die größte Expansion im basalen Bereich erreicht wird (Wertz 1970, Hauenstein 1980, Davidovitch 2005). Davidovitch (2005) sowie Murray und Cleall (1971) erklären dieses Phänomen mit der früheren Verknöcherung und dem skelettalen Widerstand in diesem Bereich, der sich aus der Verbindung des Oberkiefers mit umgebenden kranialen Knochen, wie zum Beispiel dem Os zygomaticum, ergibt.

Eine V-förmige Öffnungsbewegung erfolgt ebenfalls in frontaler Ansicht nach kranial konvergierend, wobei das gedachte Rotationszentrum im Bereich der frontonasalen Sutura liegt (Bell et al. 1982; Hansen et al. 2007).

Die durch die Schraube induzierte Kraft hat nicht nur Effekte auf die Maxilla, sondern auch auf tiefer liegende anatomische Strukturen bis hin zur Schädelbasis. Holberg (2005) untersuchte mittels der FEM-Analyse Spannungen am juvenilen und adulten Keilbein und stellte fest, dass Kräfte der Gaumennahterweiterungsapparatur bei Erwachsenen beachtliche Ausmaße annehmen können und Verletzungen von Nerven und Gefäßen im Schädelbasisbereich nicht ausgeschlossen werden können. Auch Gardner und Kronman bestätigten in einer Tierstudie 1971, dass Suturen und Synchondrosen des Mittelgesichtes und der Kalotte um bis zu 1,5 mm eröffnet wurden.

Die Gaumennahterweiterung wirkt sich auch auf dentale Strukturen aus. So berichten Asanza, Cisneros und Nieberg (1997), Majourau und Nanda (1994), Podesser et al. (2007) sowie Ciambotti et al. (2001) über eine Bukkalkippung der Molaren während der Expansion und belegen damit die Berichte von niedergelassenen Kieferorthopäden (Korbmacher et al. 2005). Davidovitch et al. (2005) beziffert diese Kippung auf 14-20°, wobei sich diese nach ca. einem Jahr wieder nahezu aufgehoben hat.

Weiterhin wird auch ein Trema zwischen den beiden mittleren Schneidezähnen des Oberkiefers als typisches Merkmal während der Erweiterungsphase bezeichnet. Schon Derichsweiler berichtete 1953 über einen Approximalkantenabstand zwischen 1-8 mm, der meist nach 5 Tagen erstmals ersichtlich wird (Sandikcioglu und Hazar 1997), sich nach circa vier Monaten von selbst durch die vorherrschende Knochenspannung sowie das Ligamentum circulare schließt, sodass die Schneidezähne in die ursprüngliche Stellung zurückgleiten. Da Silva Filho, do Prado Montes und Torelly (1995) und Lagravère et al. (2006) gehen im Durchschnitt von einer Tremabildung von 3 mm aus, das Maximum sehen Cross und McDonald (2000) bei ca. 10mm.



Abb. 3: untersuchte Erweiterungsapparatur nach erfolgreicher Expansion. Das Trema zwischen den mittleren Schneidezähnen ist klar erkennbar.

Die erweiterte Suture zeigt in der Retentionszeit eine zunehmende Ossifikation durch Osteoid, das von Osteoblasten entlang gestreckter kollagener Fasern gebildet wird. Dieses Osteoid mineralisiert schon nach etwa drei Monaten, es ist aber bezüglich der Retentionszeit darauf zu achten, dass neustrukturierter Knochen in diesem Bereich erst nach ca. einem Jahr vorliegt (Diedrich 2000). Die Ossifikation der Suture verläuft von posterior nach anterior, woraus sich schließen lässt, dass die anteriore Region eine längere Retentionsphase benötigt als die posteriore (Vardimon et al. 1998).

Insgesamt betrachtet spielen also skelettale und dentale Effekte bei der Gaumennahterweiterung eine Rolle. Der Zahnbogen wird innerhalb kürzester Zeit beträchtlich vergrößert (Derichsweiler 1953), die größte transversale Zunahme ist im Bereich der Molaren zu verzeichnen (Doruk et al. 2004). Durchschnittlich wird hier der intermolare Abstand um 6-7 mm vergrößert, um die Diskrepanz zwischen Ober- und Unterkiefer auszugleichen, aber auch die restlichen transversalen Zahnabstände nehmen während der Expansion beträchtlich zu (Lagravère 2006).

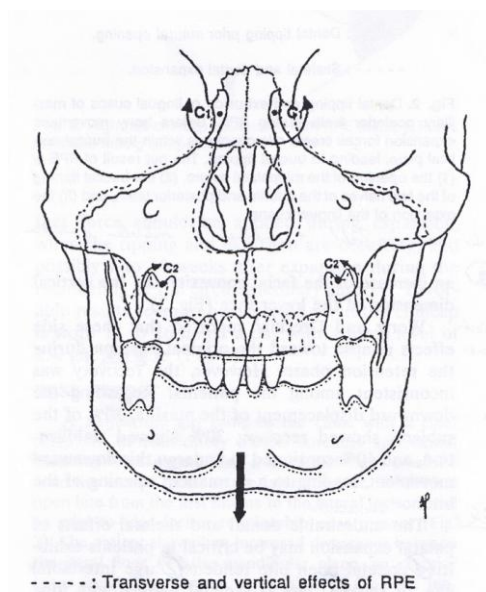


Abb. 4: Transversale und vertikale Effekte der Gaumennahterweiterung

——— Vor GNE
 ----- Nach erfolgter GNE

2.3.6. Rezidivneigung der Gaumennahterweiterung

Natürlich sind bei einer so großen Veränderung des Oberkiefers Rezidive zu erwarten, diese halten sich aber umso mehr in Grenzen, je länger man die Situation stabil hält (Derichsweiler 1953). Hauenstein (1980) gab ein Rezidiv in der Region der ersten Molaren von 0,5 mm in 4,5 Jahren an, wobei er eine Retentionszeit von mindestens zwei Jahren für angemessen erachtete. Bei einer chirurgisch unterstützten GNE verringerte sich der intermolare Abstand bei Byloff und Mossaz (2004) nur um 0,7 mm in der Retentionsphase. Spillane und McNamara (1995) berechneten bei 162 Patienten eine Molaren-Rezidivrate von 9,5% nach einem Jahr. Diese Angaben stimmen mit Timms (1986), Haas (1970) und da Silva Filho, do Prado Montes und Torelly (1995) überein, die der Gaumennahterweiterung eine hohe Langzeitstabilität bescheinigen. Das auftretende Rezidiv ist nach Lagravère (2006) v.a. dentalen Ursprungs. Sari et al. (2003) betont, dass bei der Behandlung im frühen permanenten Gebiss stabilere Ergebnisse als im Wechselgebiss zu erwarten sind, wohingegen Cozzani (2003) ebenfalls auf eine hohe Stabilität der Situation bei Behandlungen im Wechselgebiss verweist.

2.3.7. Mögliche Nebeneffekte während der Behandlung

Die oben erwähnte Kippung der Molaren nach bukkal, die auch einen Teil der transversalen Erweiterung verursacht (Davis und Kronman 1969), wird als häufigster Nebeneffekt der Gaumennahterweiterung von deutschen Kieferorthopäden beobachtet (Korbmacher 2005). Durch die induzierte transversale Kraft werden die molaren Ankerzähne nach bukkal gedrückt, was zur Reduktion des bukkalen Alveolarfortsatzes um bis zu 0,9 mm führen kann. Diese Ausdünnung wird umso stärker, je dünner das bukkale Alveolarschild vor der Behandlung ist und kann im ungünstigsten Fall Knochendehiszenzen an der fazialen Fläche des Alveolarfortsatzes verursachen. Allerdings führt diese seitliche Bewegung der Ankerzähne zu einem Knochengewinn von bis zu 1,3 mm an der palatinalen Seite, der allerdings bei schleimhautgelagerten Erweiterungsapparaturen geringer ausfällt (Garib et al. 2006). Diese Messungen bestätigen Aussagen einer Umfrage unter Kieferorthopäden, die ebenfalls vereinzelt Knochendehiszenzen und in sehr seltenen Fällen Wurzelresorptionen beobachtet hatten (Schuster, Borel-Scherf, Schopf 2005). Natürlich ist bei der o.g. Verlagerung der Maxilla nach kaudal auch zu beachten, dass dieser Effekt eine Gaumendachsenkung nach sich zieht, wobei in der Literatur keine negative Wirkung auf den Patienten beschrieben wurde. Generell lässt sich sagen, dass die Folgeerscheinungen aber immer von der individuellen Reaktionslage und der Hygiene des Patienten abhängig sind.

3. Patienten und Methode

3.1. Patientenauswahl

Die Untersuchungsgruppe bestand aus insgesamt vierzig Patienten, wovon zwanzig mit der zu untersuchenden Gaumennahterweiterungsapparatur behandelt wurden. Diese Gruppe setzte sich aus neun männlichen und elf weiblichen Kindern zusammen, die zwischen 7,45 und 12,31 Jahre alt waren. Das Durchschnittsalter betrug $8,77 \pm 0,57$ Jahre. Die restlichen zwanzig Patienten gliedern sich in 2 Gruppen auf, wovon die ersten zehn Patienten mit einer Referenzapparatur behandelt wurden, die nur Bänder auf den ersten Molaren mit einem Abstützungsarm palatinal der zweiten Milchmolaren aufwies.

Diese sechs männlichen und vier weiblichen Patienten waren im Alter zwischen 7,94 und 12,34 Jahren mit einem Durchschnittsalter von $9,36 \pm 1,26$ Jahren. Die letzte Gruppe wurde mit einer Oberkieferplatte mit eingebauter Transversalschraube im Sinne einer langsamen Gaumennahterweiterung behandelt und setzte sich aus fünf männlichen und fünf weiblichen Patienten zusammen. Diese waren im Alter von 7,47 bis 12,42 Jahren mit einem Durchschnittsalter von $9,46 \pm 1,49$ Jahren.

	gesamt	Untersuchungsgruppe	Kontroll - GNE	Kontrollplatten
Einsetzalter [Jahre]	9,34	$9,25 \pm 1,05$	$9,39 \pm 1,26$	$9,46 \pm 1,49$
Aktivierungszeit [Tage]	43,5	$16,5 \pm 2,4$	$16,5 \pm 2,1$	$124,5 \pm 46,5$
gesamte Tragezeit [Tage]	274,3	$200,7 \pm 95$	$294,4 \pm 100$	$401,2 \pm 233$

Tab 1: Übersicht der Behandlungsintervalle

Alle vierzig Patienten befanden sich in der Wechselgebissphase und wiesen einen seitlichen Kreuzbiss auf, drei von ihnen sogar beiderseitig. Diese Befunde betrafen die ersten Molaren und zweiten Milchmolaren und erstreckten sich zum Teil nach mesial bis zum Milcheckzahn. Jeweils drei Modelle wurden pro Patient ausgewertet, wobei das Modell t0 den Ausgangszustand vor Einsetzen der GNE, das Modell t1 den Zeitpunkt der Abnahme der Apparatur und das Modell t2 die Situation nach Beendigung der Retentionsphase widerspiegelt.

Alle Patienten wurden im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung in einer kieferorthopädischen Facharztpraxis behandelt.

3.2. Herstellungsprozesse der Geräte

3.2.1. Modifizierte Apparatur mit zwei Bändern und mesialen Armen

Bei dieser Modifikation werden nach Separierung mittels Separiergummis zwei Bänder (Fa. Dentaforum, Ispringen, Germany) an den ersten Molaren des Oberkiefers angepasst und in

den anschließend genommenen Alginatabdruck (Tetrachrom, Kaniedenta, Herford, Germany) reponiert. Nach Fertigung des Gipsmodells (Modellgips gelb synthetisch, Omnident, Rodgau, Germany), auf dem die angepassten Bänder befestigt sind, wird die Transversalschraube (Palatinalsplitschraube Typ „S“, Forestadent, Pforzheim, Germany) in der Approximalregion zwischen erstem Molar und zweitem Milchmolar mittig zwischen den Zahnreihen mit ausreichendem Abstand zum Gaumen mit Klebewachs befestigt. Anschließend werden die distalen Arme der Schraube an die palatinale Seite der Bänder angepasst, zusätzlich werden noch zwei Metalldrähte (Crozat-Redur rund, Durchmesser 1,2 mm, Dentaurum, Ispringen, Germany) so vorgebogen, dass sie nach anschließender Lötung vom mesio-palatalen Anteil der Bänder abgehen und über dem palatinalen Sulcus der zweiten Milchmolaren zu liegen kommen. Die mesialen Arme der Schraube werden so vorgebogen, dass sie in der mesio-palatalen Region der ersten Milchmolaren enden. An diese Endstücke werden nahezu senkrecht verlaufende Metalldrähte (ebenfalls Crozat Redur) angebogen, die über dem palatinalen Sulcus der ersten Milchmolaren und Milcheckzähne liegen sollten. Nach dem Verlöten (Stahlgoldlot 750, Haereus Kulzer, Germany) der einzelnen Teile wird die Konstruktion vom Modell entfernt und poliert.

Beim Einsetzen der Apparatur werden nur die Molarenbänder mit Zement (Cetac Cem, 3M Espe, Seefeld, Germany) versehen und auf den vorher gereinigten und getrockneten ersten Molaren befestigt. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die an den Zähnen anliegenden Drähte im pars cervicalis des jeweiligen Zahnes zu liegen kommen, um ein Abrutschen über die Krone nach bukkal während der Erweiterung zu vermeiden. Auch sollte auf einen gewissen Abstand der Schraube und der Arme zum Gaumengewölbe geachtet werden, um mögliche Druckstellen zu verhindern.

Der Vorteil dieser Apparatur ist, im Vergleich zur fest verankerten Kontrollapparatur mit verkürzten Armen, die palatinale Abstützung der Prämolaren durch die mesialen Arme bei gleicher Ankerzahnanzahl. Die Aktivierungszeit ist im Gegensatz zu herausnehmbaren Plattenapparaturen mit circa zwei bis drei Wochen sehr kurz, was einen größeren skelettalen und geringeren dentalen Anteil an der transversalen Erweiterung bewirkt.

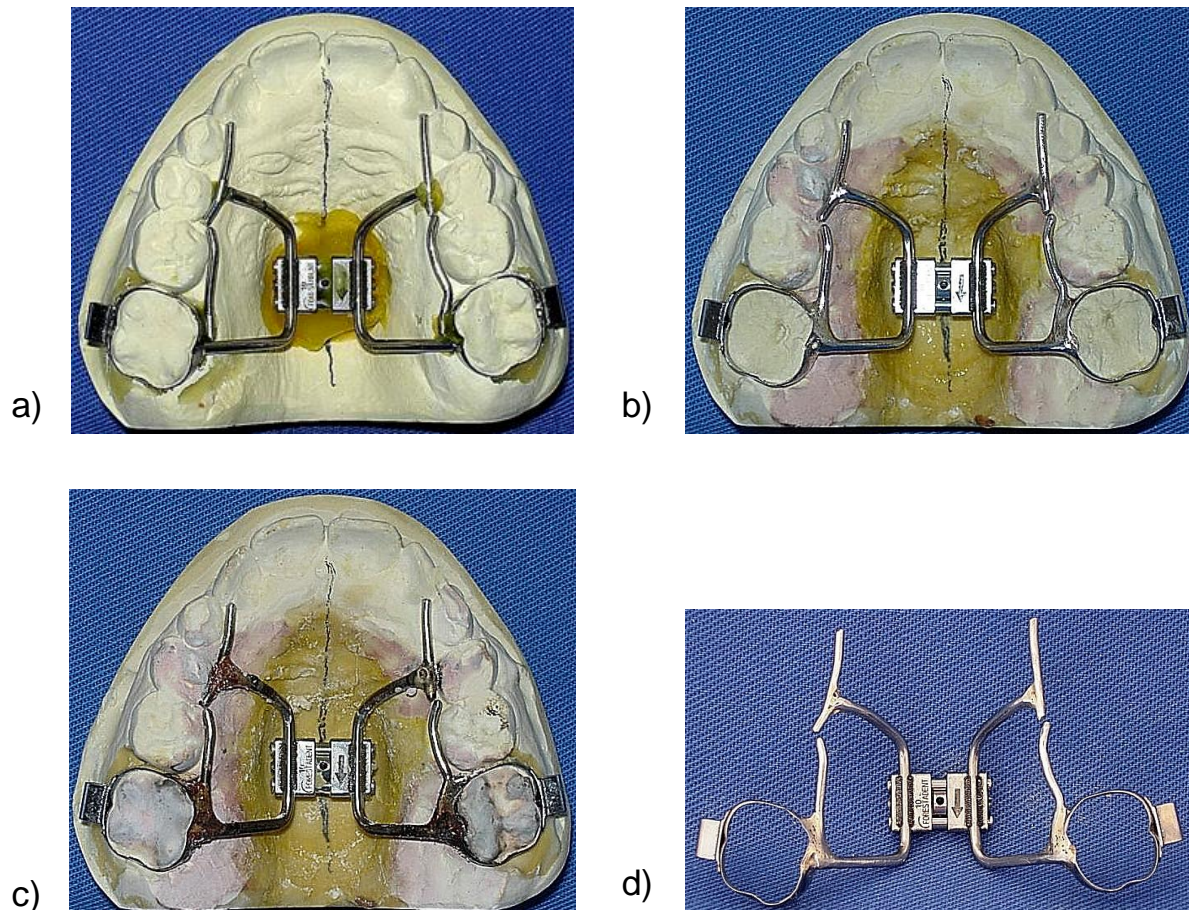


Abb. 5 a: Die Arme der Palatinalspaltschraube wurden gebogen, die zusätzlichen Crozat-Redur-Drähte wurden adaptiert und mit Klebewachs auf dem Modell fixiert.
 b: Ansicht nach Lötung
 c: Situation auf Modell nach Politur
 d: fertig ausgearbeitete Apparatur

3.2.2. Kontrollgruppe

3.2.2.1. Apparatur mit 2 Bändern und verkürztem Arm

Bei dieser Apparatur ist das Vorgehen ähnlich der oben beschriebenen. Es werden hier ebenfalls nur die ersten Molaren als Ankerzähne verwendet. Nach Anpassen der Bänder wird ein Alginateabdruck vom Oberkiefer genommen und ein Gipsmodell erstellt. Anschließend wird eine Palatinalspaltschraube Typ „S“ (Forestadent, Pforzheim, Germany) mit dem nötigen Abstand zum Gaumendach angepasst. Weiterhin wird ein Crozat-Redur-Draht (Durchmesser 1,2 mm, Dentaurum, Ispringen, Germany) an die palatinale Seite der zweiten Milchmolaren angepasst. Anschließend werden beide Teile mit den Bändern verlötet. Nach Politur kann die Apparatur einzementiert werden.



Abb. 6: Die bereits eingesetzte Apparatur mit verkürztem Arm. Die ersten Molaren dienen als Verankerungszähne, die palatinale Abstützung betrifft nur die zweiten Prämolaren.

3.2.2.2. Plattenapparat zur Transversalerweiterung

Diese Plattenapparat zur langsamen Gaumennahterweiterung besteht aus einem Plattenkörper (Kunststoff), der über zwei Adamsklammern an den ersten Molaren und zwei Dreiecksklammern approximal der ersten und zweiten Milchmolaren im Zahnbogen gehalten wird. Außerdem verläuft ein Labialbogen bukkal der Schneidezähne von Eckzahn zu Eckzahn. Aktiviert wird diese Platte durch eine Transversalschraube, die zentral im Plattenkörper liegt und einmal pro Woche um eine Viertelumdrehung aktiviert wird.

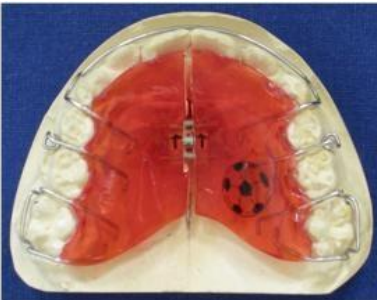


Abb. 7: Plattenapparat zur Transversalerweiterung

3.3. Therapeutisches Vorgehen bei der Gaumennahterweiterung

Nach dem Einsetzen der jeweiligen Gaumennahterweiterungsapparatur wurden die Patienten sowie der begleitende Erziehungsberechtigte mit dem Umgang der Apparatur vertraut gemacht. Die Schraube wird jeden Tag jeweils morgens und abends um eine Viertelumdrehung gedreht, was einer Öffnung pro Drehung von 0,20 mm entspricht. Jede Drehung wird von den Eltern in einer Tragezeitkarte notiert und die Öffnung der Schraube von dem behandelnden Arzt in Kontrollsitzen mit einer Schieblehre oder einem Stechzirkel überprüft.

Diese Vorgehensweise wird so lange eingehalten, bis der behandelnde Arzt die Überstellung des Kreuzbisses mit einer Überkorrektur von ca. einem Millimeter feststellt. Das Therapieziel der Überstellung des Kreuzbisses wurde bei allen Patienten, sowohl in der Untersuchungs- als auch in der Kontrollgruppe, erreicht. Im Durchschnitt dauerte diese aktive Phase $16,5 \pm 2,44$ Tage (MW \pm SA). Anschließend werden die Eltern angewiesen, die Drehung der Schraube einzustellen. Die Apparatur wird für etwa 6 Monate ($0,55 \pm 0,26$ Jahre) zur Stabilisierung in situ belassen. Nach der Entfernung der Gaumennahterweiterung wird sofort ein

Kontroll-Alginatabdruck des Oberkiefers genommen und daraufhin eine herausnehmbare Retentionsplatte für meist weitere sechs Monate eingegliedert. Vor dem Fortsetzen der weiteren Behandlung nimmt man am Ende der Retentionszeit nochmals einen Alginatabdruck zur Rezidivkontrolle.

3.4. Messmethoden an den Modellen

3.4.1. Messungen in der Transversalen

1. Anteriore Zahnbogenbreite, gemessen zwischen den Pont'schen Punkten der ersten Oberkiefer-Milchmolaren (AZBB)

Bei dieser Messung wurden zuerst die Pont'schen Punkte an den ersten Milchmolaren der Oberkiefermodelle angezeichnet und anschließend mittels einer elektronischen Schieblehre (Fa. Gebrüder Mannesmann, Remscheid, Germany) jeweils der transversale Abstand zwischen den zusammengehörenden Punkten gemessen. Der Pont'sche Punkt des ersten Milchmolaren liegt in der distalen Grube, der des ersten Prämolaren in der Mitte der Fissur (Schopf 2000).



Abb. 8: Messung des transversalen Abstandes der Pont'schen Punkte an den ersten Prämolaren mittels elektronischer Schieblehre

2. Posteriore Zahnbogenbreite, gemessen zwischen den Pont'schen Punkten der Oberkiefer-Sechsjahrmolaren (PZBB)

Gemäß der oben gezeigten Messung wurde auch hier nach Anzeichnung der Pont'schen Punkte an den ersten Molaren der transversale Abstand mit Hilfe einer elektronischen Schieblehre an den Modellen t0, t1 und t2 eines Patienten gemessen. Der Pont'schen Punkt eines Sechsjahrmolaren im Oberkiefer liegt im Kreuzpunkt der vorderen Längsfissur mit der bukkalen Querfissur (Schopf 2000).

3. Rotation der Molaren (Molarenrotation)

Für diese Messreihe wurden auf dem Anfangsmodell t0 Panasil-Putty-Käppchen (Silagum, Fa. DMG, Hamburg, Germany) von den ersten Molaren des Oberkiefers genommen und jeweils mit einem schwarz lackierten Metallstab, der in der Vertikalen ausgerichtet wurde, versehen. Anschließend wurden die Modelle des Patienten nacheinander parallel der Okklusionsebene ausgerichtet und mit einer Digitalkamera (Nikon Coolpix 5200) in einem festgelegten Abstand von 50,5 cm (Metallstab – Objektiv) mit einem 23,4 mm Teleobjektiv vor einem Millimeterpapierhintergrund fotografiert. Die so gewonnenen Bilder wurden auf einen PC übertragen und der Winkel der Putty-Metallstab-Kombination zur Raphe-Median-Ebene für jedes einzelne Modell durch mathematische Auswertung des Millimeterpapiers bestimmt. Hierbei wurden die Winkel beim Anfangsmodell t0 als 0° genormt, Werte der Modelle t1 oder t2 $>0^\circ$ sind als Distorotation, Werte $<0^\circ$ als Mesiorotation der Molaren zu werten.

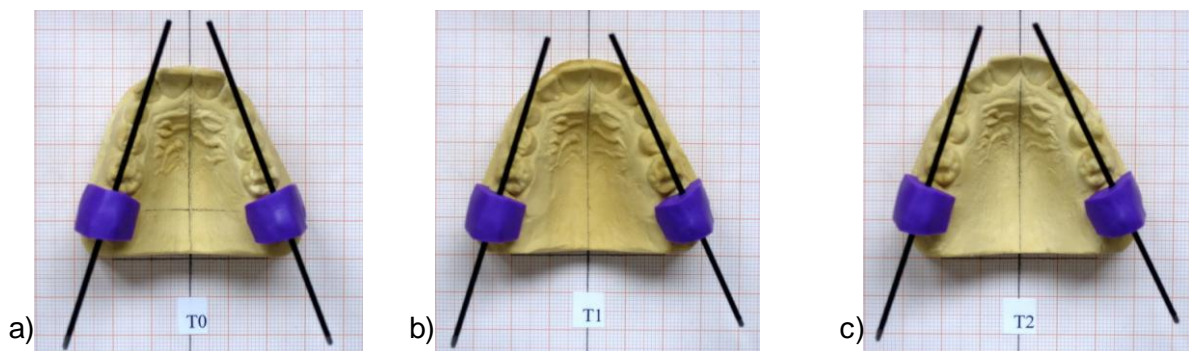


Abb. 9: Rotationsmessung der ersten Molaren in horizontaler Ebene. a) vor Einsetzen der Gaumennahterweiterungsapparatur, b) zeitnah nach Abnahme der Apparatur, c) nach Beendigung der Retentionsphase

4. Distanz der anterioren Pont'schen Punkte zur Raphe mediana (APP – Raphe)

Hierbei wurden zuerst die parallel der Okklusionsebene getrimmten Modelle auf einem Symmetrographen-Symmetroskop nach Dr. Beerendonk (Fa. Seitz und Haag, Gießen, Germany) ausgerichtet und die Raphe mediana eingezeichnet (Abb. 10). Anschließend wurde der Messstab auf die Raphe mediana genullt. Die Messung erfolgte senkrecht der Raphe von dieser zum Pont'schen Punkt des jeweiligen ersten Milchmolaren. Sollte dieser im Laufe der Behandlung ausgefallen sein, erfolgte die Messung von der Raphe zum Pont'schen Punkt des nachfolgenden ersten Prämolaren. In beiden Fällen erhielt man zwei Messungen pro Modell.



Abb. 10: Symmethograph-Symmetroskop nach Dr. Beebendonk mit auf eingespanntem Modell eingezeichneter Raphe mediana.

5. Distanz der posterioren Pont'schen Punkte zur Raphe mediana (PPP – Raphe)

Diese Messung erfolgte ebenfalls mit den unter Punkt 4 beschriebenen Modellen, hier jedoch im Bereich der Sechsjahrmolaren. Auf die Raphe mediana genullt wurde hier die transversale Distanz im rechten Winkel von der Raphe zum Pont'schen Punkt des jeweiligen ersten Molaren gemessen. Auch hier ergeben sich jeweils zwei Messungen pro Modell.

6. Bukkal-Kippung der ersten Molaren (Molarenkipfung)

Für diese Messreihe wurden Putty-Käppchen (Silagum, Fa. DMG, Hamburg, Germany) auf dem Anfangsmodell t0 angefertigt, in denen schwarze Metallstäbe senkrecht der Okklusionsebene in Verlängerung der Zahnreihe platziert wurden. Die Modelle t0-t2 des Patienten fotografierte man anschließend nacheinander jeweils mit der auf t0 angefertigten Putty-Metallstab-Kombination mit der o.g. Digitalkamera (Abstand Metallstab – Objektiv = 54,5 cm; Teleobjektiv 23,4 mm) vor einem Millimeterpapierhintergrund. Nach Übertragung der Bilder wurden diese mathematisch ausgewertet.

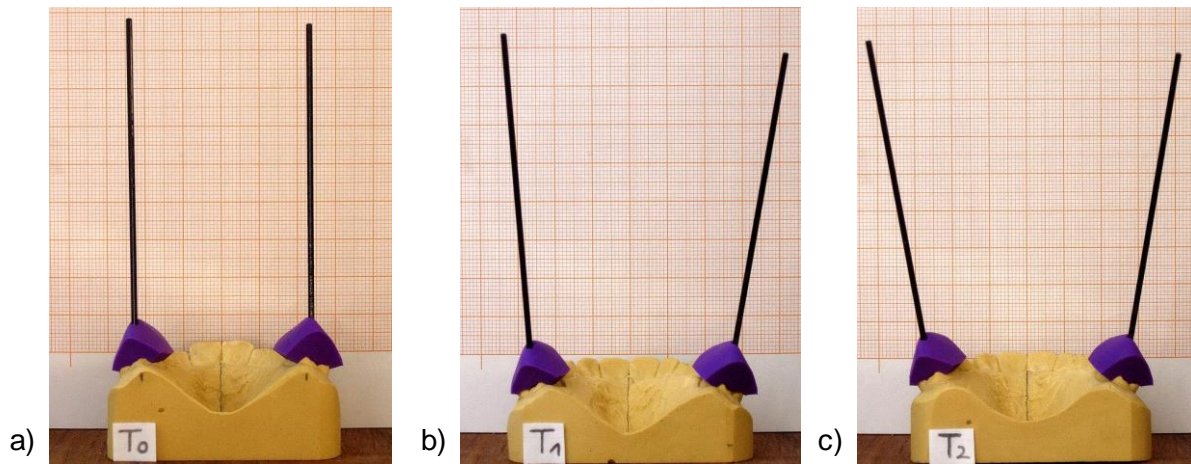


Abb. 11: Anhand des Beispiels der Patientin I.F. wird die Kippung der ersten Molaren verdeutlicht. a) zum Zeitpunkt des Einsetzens (t_0), b) am Tag der Abnahme (t_1) und c) am Ende der Retentionsphase (t_2)

7. Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Molaren (Alv.breite – Molar)

Zur Messung der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Molaren wurden alle 120 Modelle der beiden Messgruppen dubliert, sodass von jedem Modell ein identisches Zweitmodell aus Modellgips entstand, das anschließend parallel der Okklusionsebene getrimmt wurde. An allen Modellen wurde mittels Symmethograph-Symmethroskop nach Dr. Beerendonk die Raphe mediana eingezeichnet. Von jedem Patienten wurde das Modell t_0 ausgewählt, eine Senkrechte durch die Pont'schen Punkte der ersten Molaren und eine zweite durch die Pont'schen Punkte der ersten Prämolaren gezeichnet. War einer der Zähne aufgewandert, wurde jeweils der weiter posterior gelegene erste Molar oder der weiter anterior gelegene erste Prämolare als Referenzpunkt ausgewählt. Nun wurde die auf der Raphe palatina gelegene Strecke von der zweiten Gaumenfalte nach posterior zur vorher eingezeichneten Senkrechten durch die Pont'schen Punkte der ersten Prämolaren sowie zur Senkrechten durch die Pont'schen Punkte der ersten Molaren gemessen und vermerkt. Die so erhaltenen Längen wurden auf die Modelle t_1 und t_2 übertragen, danach durch diese Punkte Senkrechten zur Raphe mediana gezeichnet, sodass bei jedem Modell der sagittale Abstand der Messpunkte zur zweiten Gaumenfalte normiert war. Die Modelle wurden dann von mesial bis zur transversalen Markierung im Bereich der ersten Prämolaren und von distal bis zur Transversalen durch die ersten Molaren getrimmt, sodass das Mittelstück des Modells erhalten blieb.

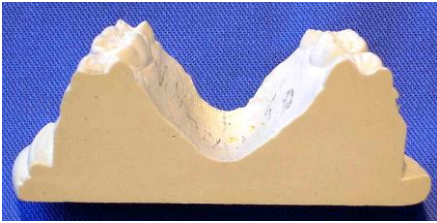


Abb. 12: Modell nach dem Trimmen

Die so erhaltenen Querschnitte der Modelle wurden auf Millimeterpapier (Fa. Brunnen, Germany) mit einem Minenbleistift (Durchmesser 0,5 mm) übertragen. Auf den Zeichnungen wurden die kranialsten Punkte der palatinalen Sulcus der Sechsjahrmolaren eingezeichnet und mittels einer digitalen Schieblehre der transversale Abstand der palatinalen Alveolarfortsätze vermessen. So wurde mit allen drei Modellen der Probanden verfahren.

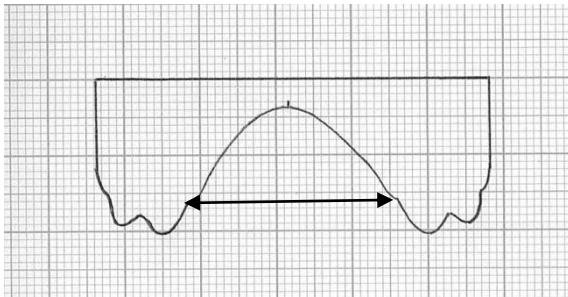


Abb. 13: Die transversale Distanz zwischen den palatinalen Alveolarfortsätzen im Bereich der ersten Molaren (sb6)

8. Breite des Gaumens im Bereich der ersten Molaren (Gaumenbreite Molar)

Hier wurden die oben genannten Zeichnungen verwendet und eine Gerade durch die kranialsten Punkte der palatinalen Sulcus der ersten Molaren gezeichnet. Von dieser wurden zwei Punkte, die 5 mm kranial auf einer Senkrechten zu dieser Geraden liegen, als Messpunkte für die Gaumenbreite ermittelt. Die transversale Distanz dieser Punkte wurde ermittelt und als Gaumenbreite (gb6) bezeichnet.

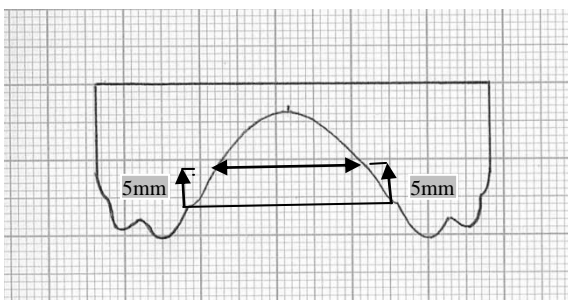


Abb. 14: Die Breite des Gaumens im Bereich der ersten Molaren (gb6)

9. Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Prämolaren (Alv.breite – Prämolare)

Bei dieser Messung wurde dasselbe Verfahren wie zur Messung der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Molarenbereich angewandt, wobei hierfür allerdings die Zeichnungen der Querschnitte im Bereich der ersten Prämolaren zur Anwendung kamen. Die so erhaltene

Messstrecke wurde als Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Prämolaren bezeichnet (sb4).

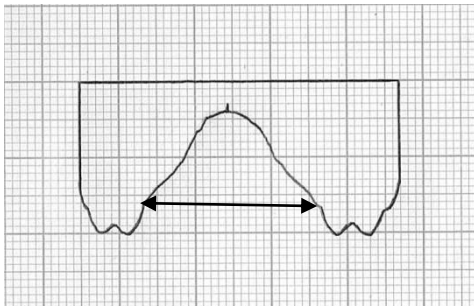


Abb. 15: Die transversale Distanz zwischen den palatinalen Alveolarfortsätzen im Bereich der ersten Prämolaren (sb4)

10. Breite des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren (Gaumenbreite Prämol)

Wie bei der Messreihe zur Bestimmung der Gaumenbreite im Bereich der ersten Molaren wurden auch für diese Messung zwei Referenzpunkte bestimmt, die auf zwei Senkrechten 5 mm kranial einer Messlinie der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze der ersten Prämolaren liegen. Die Distanz der Referenzpunkte wurde als Breite des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren (gb4) bezeichnet.

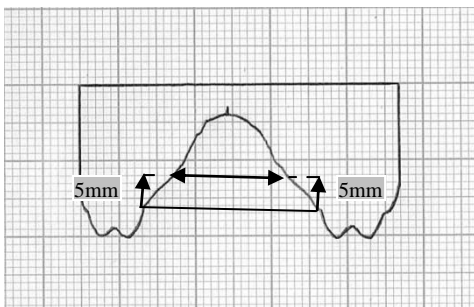


Abb. 16: Breite des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren (gb4)

3.4.2. Messungen in der Sagittalen

1. Distanz der ersten Molaren zur zweiten Gaumenfalte (Molar – 2. Gaumenfalte)

Hierbei wurden die Modelle verwendet, an denen bereits mittels eines Symmetrographen-Symmetroskop nach Dr. Beerendonk die Raphe-Median Ebene angezeichnet wurde. Anschließend wurde die Senkrechte in der Transversalen auf diese Ebene durch den Pont'schen Punkt des ersten Molaren im jeweiligen zu messenden Quadranten bestimmt und der Schnittpunkt der beiden Ebenen auf dem Modell angezeichnet (Abb: 17).

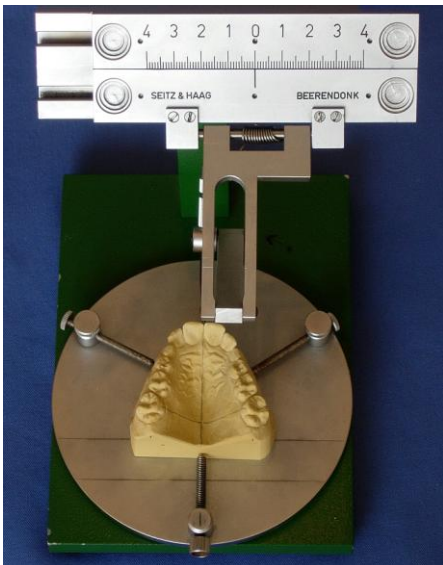


Abb. 17: Modell mit in Bezug auf die Raphe mediana eingezeichneter Senkrechten, die durch die Pont'schen Punkte der ersten Molaren verläuft.

Daraufhin wurde der Abstand zwischen der zweiten Gaumenfalte und diesem Schnittpunkt ebenfalls mit Hilfe des Symmetrographen bestimmt.

2. Distanz der ersten Prämolaren zur zweiten Gaumenfalte (Prämolar – 2. Gaumenfalte)

Hier wurde ebenfalls mit Hilfe des Symmetrographen der Schnittpunkt der schon angezeichneten Raphe-Median-Ebene mit der Senkrechten in der Transversalen durch den Pont'schen Punkt des ersten Milchmolaren oder des ersten Prämolaren bestimmt und danach wiederum der Abstand dieses Schnittpunktes zu der zweiten Gaumenfalte bestimmt.

3. Distanz der ersten Molaren zu den ersten Milchmolaren bzw. ersten Prämolaren im gleichen Quadranten (Molar – Prämolar)

Mit der oben genannten elektronischen Schieblehre wurde der Abstand der Pont'schen Punkte des ersten Molaren zu dem Pont'schen Punkt des ersten Milchmolaren bzw. ersten Prämolaren des gleichen Quadranten gemessen. Die Messung erfolgte in gerader Linie und nicht entlang des Zahnbogenverlaufes. Aus dieser Messreihe ergaben sich somit zwei Messungen pro Modell.

3.4.3. Messungen in der Vertikalen

1. Gaumentiefe im Bereich der ersten Molaren (Gaumentiefe Molar)

Um die Tiefe des Gaumens im Bereich der Sechsjahrmolaren zu bestimmen, wurden wiederum die Zeichnungen der Querschnitte verwendet. Auf die schon eingezeichnete Gerade zwischen den palatinalen Sulci wurde eine Senkrechte angelegt, die gleichzeitig einen Schnittpunkt mit der Raphe mediana bildete. Der Abstand der beiden Messpunkte wurde als Gaumentiefe im Bereich der ersten Molaren bezeichnet (gt6).

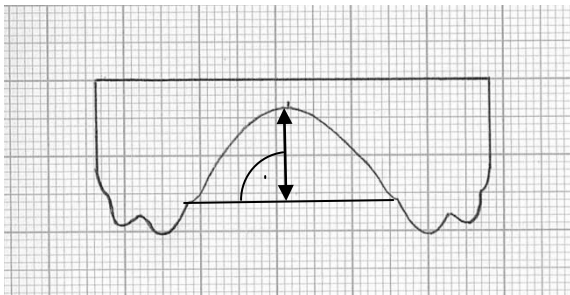


Abb. 18: Die Tiefe des Gaumens im Bereich der ersten Molaren (gt6)

2. Gaumentiefe im Bereich der ersten Prämolaren (Gaumentiefe – Prämolar)

Diese Messung folgt der Anwendung der Messreihe zur Bestimmung der Gaumentiefe der ersten Molaren, wobei hier die Zeichnung der Modellquerschnitte im Bereich der ersten Prämolaren zur Auswertung herangezogen wurde.

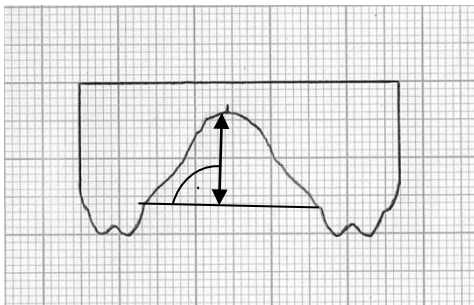


Abb. 19: Die Gaumentiefe im Bereich der ersten Prämolaren (gt4)

3.4.4. Messung des Zahnbogens (Zahnbogenbreite)

Für die Vermessung der Größe des Zahnbogens wurden im Oberkiefer die mesio-distalen Zahnbreiten der Zähne mesial der ersten Molaren einzeln mit einer digitalen Schieblehre (siehe oben) vermessen. Die Summe aller zehn Zahnbreiten ergab den „Soll-Wert“ des Zahnbogens. Zur Ermittlung des „Ist-Wertes“ wurde der Oberkiefer in fünf Segmente unterteilt. Segment eins und zwei wurden mittels dünnem Messingdraht vom mesialen Approximalkontakt der ersten Molaren bis zum distalen Approximalkontakt der seitlichen Schneidezähne des ersten und zweiten Quadranten im Oberkiefer gemessen. Segment drei und vier wurden vom distalen Approximalkontakt der seitlichen Schneidezähne bis zum mesialen Approximalkontakt der mittleren Schneidezähne jeweils rechts und links gemessen. Das

fünfte Segment wurde zwischen den mesialen Approximalkontakten der mittleren Schneidezähne vermessen.

Subtrahiert man den Soll-Wert vom Ist-Wert und erhält einen negativen Wert, so kann man von einem Engstand im oberen Zahnbogen ausgehen. Erhält man einen positiven Wert, so kann man von Lückenbildung und einem ausreichenden Platzangebot zum geordneten Einstellen aller Zähne ausgehen.

3.5. Analysemethodik der Messergebnisse

3.5.1. Analysemethoden

Alle Statistiken wurden mit dem Programm Excel (Microsoft, USA) erstellt und mit dem Programm SPSS, Version 15.0 (Fa. SPSS, Chicago, USA) ausgewertet. Um statistisch signifikante Unterschiede zu evaluieren wurde bei Vergleichen innerhalb einer Gruppe die Wilcoxon-Methode, zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe die Mann-Whitney-U-Methode angewandt. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $p \leq 0,05$ festgelegt. Dies bedeutet: $p \leq 0,05$ gilt als gering signifikant, $p \leq 0,01$ als signifikant und $p \leq 0,001$ als hoch signifikant.

Die jeweiligen Auswertungen wurden zum Teil graphisch durch Boxplots bzw. Liniendiagramme dargestellt. Die zentrale schwarze Linie in der Box eines Boxplots gibt den Median an, jeweils 50% aller Werte liegen über beziehungsweise unter diesem Wert. Der obere bzw. untere Rand der Box stellt die Begrenzung für den 75%- und 25% Quantil dar. Die oberen bzw. unteren T-Zeichen bezeichnen die Maximal- bzw. Minimalwerte der Messung. Die Liniendiagramme verbinden die Mittelwerte der drei Untersuchungszeitpunkte (t_0 , t_1 und t_2) der jeweiligen Gruppen miteinander und zeigen so die Änderung nachfolgender Messungen im Vergleich zu den Ausgangswerten innerhalb des Patientenguts ebenso wie Unterschiede zur jeweils anderen Gruppe an.

Die Vergleichstabelle soll die Mittelwerte der Untersuchungsergebnisse zusammenfassen. Für die Untersuchungsgruppe werden folgende Mittelwerte angegeben:

Mittlere Differenz: Hier ist die Differenz der Mittelwerte der Messungen von t_1 zu t_0 sowie von t_2 zu t_1 angegeben.

Standardabweichung: In diesem Feld wird die Standardabweichung der Differenzen der Einzelmessungen im Vergleich zur mittleren Differenz angegeben.

Signifikanz: In dieser Zeile wird die Signifikanz der Differenzen der Mittelwerte zwischen t_0 und t_1 , sowie t_1 und t_2 innerhalb der einzelnen Gruppen eingetragen (Wilcoxon-Test).

Signifikanz (tx-ty) (U-K): Ermittelt die Signifikanz der einzelnen Differenzen der Mittelwerte zwischen beiden Gruppen (Mann-Whitney-U-Test). Hier wird eine Aussage über Unterschiede zwischen beiden Gruppe gemacht.

3.5.2. Messverfahren-Prüfung

Um die Genauigkeit der oben aufgeführten Messverfahren zu überprüfen wurden willkürlich 50% der Probanden beider Gruppen ausgewählt und erneut vermessen. Die so erhaltenen Daten wurden durch den Wilcoxon-Test mit den Messungen der eigentlichen Messreihe verglichen, wobei sich keine signifikanten Unterschiede ergaben.

3.5.3. Homogenitätsprüfung

Die Homogenität der beiden Gruppen wurde in Bezug auf das Alter der Patienten zum Zeitpunkt des Einsetzens der Apparatur und der Parameter der Anfangsmodelle untersucht. Zum Vergleich bezüglich des Alters wurde eine Signifikanzprüfung mittels Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, die keine signifikanten ($p > 0,05$) Unterschiede zwischen beiden Gruppen zeigte.

Ebenfalls wurden die Messwerte der Anfangsmodelle von Untersuchungs- und Kontrollgruppe in allen 16 Messreihen, zum Teil unterteilt in die zwei Quadranten des Oberkiefers, durch den Mann-Whitney-U-Test miteinander verglichen. Auch hier ergaben sich keine signifikanten ($p > 0,05$) Differenzen, sodass bei Alter und Parameter der Anfangsmodelle von einer Homogenität der Gruppen ausgegangen werden kann.

4. Ergebnisse

4.1. Ergebnisse in der Transversalen

4.1.1. Differenz der Distanz der anterioren Zahnbogenbreite

Die Erweiterung der anterioren Zahnbogenbreite betrug zum Zeitpunkt der Entfernung der GNE (t0-t1) durchschnittlich 5,11 mm, in der Retentionsphase (t1-t2) ist ein Rezidiv von -1,11 mm aufgetreten, sodass die endgültige Erweiterung nach Retention (t0-t2) im Mittel 4,0 mm betrug.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	5,11	-1,11	3,21	-0,55
Standardabweichung [mm]:	1,26	1,05	1,40	1,01
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,000	,000	,016
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K]) [mm]	1,90	-0,56	1,34	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,000	,133	,015	

Abb. 20: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

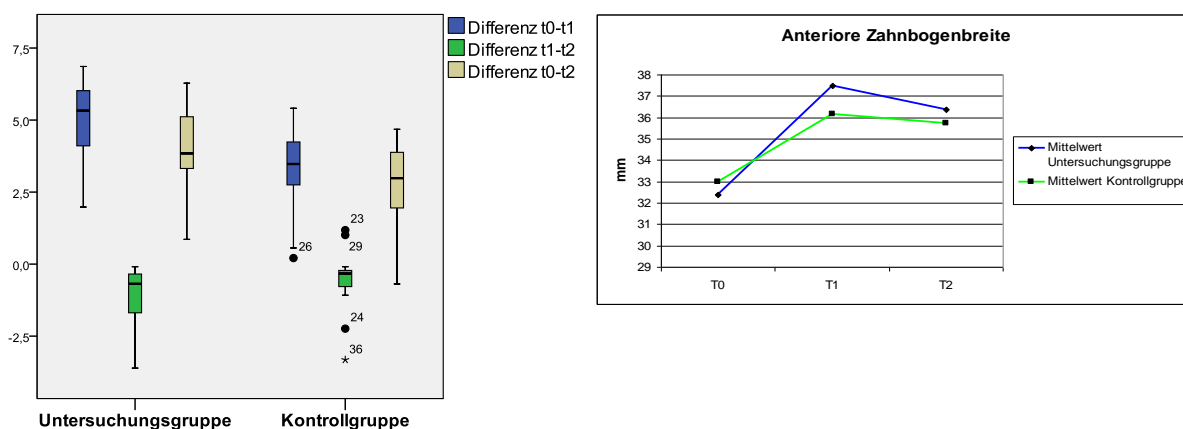


Abb. 21: links: Boxplot der Differenzen der anterioren Zahnbogenbreite

Abb. 22: rechts: Liniendiagramm der Änderung der anterioren Zahnbogenbreite

4.1.2. Differenz der Distanz der posterioren Zahnbogenbreite

Die Erweiterung der posterioren Zahnbogenbreite betrug nach Abnahme der GNE (t0-t1) durchschnittlich 5,74 mm, anschließend trat in der Retentionsphase ein Rezidiv von -0,74 mm auf. Die Expansion nach Abschluss der Retention (t0-t2) betrug 5,0 mm.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	5,74	-0,74	5,50	-0,58
Standardabweichung [mm]:	1,03	,070	1,34	0,58
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,000	,000	,000
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K] [mm]	0,24	-0,16	0,08	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,529	,526	,862	

Abb. 23: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

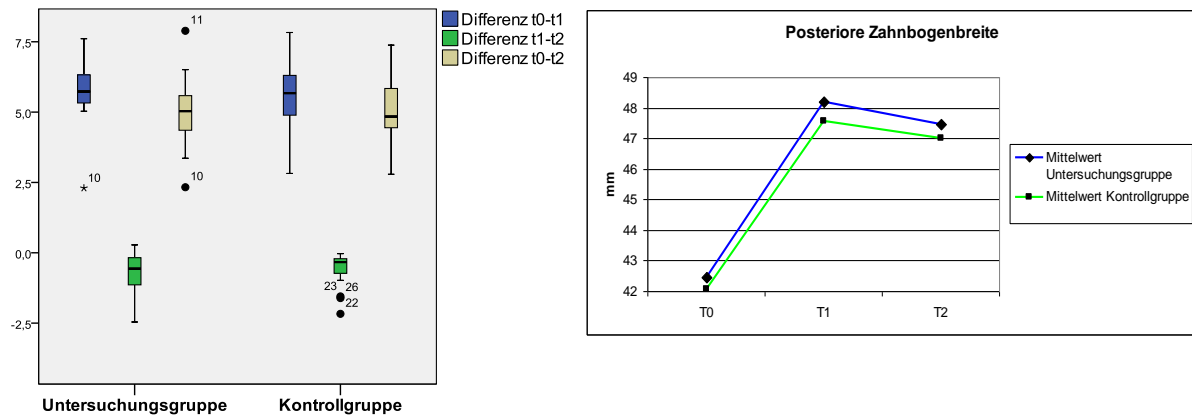


Abb. 24: links: Boxplot der Differenzen der posterioren Zahnbogenbreite

Abb. 25: rechts: Liniendiagramm der Änderung der posterioren Zahnbogenbreite

4.1.3. Differenz der Rotation der Molaren

Bei dieser Messung sind alle Werte $> 0^\circ$ als Distorotation und alle Werte $< 0^\circ$ als Mesiorotation der ersten Molaren zu werten. Die Messungen wurden in 2 Quadranten unterteilt. Im ersten Quadranten wurde zum Zeitpunkt t1 eine Distorotation um $1,05^\circ$ festgestellt, in der Retentionsphase (t1-t2) eine Mesiorotation um $-1,1^\circ$, sodass nach Abschluss der Retention eine Gesamt-Mesiorotation von $-0,05^\circ$ nachzuweisen war. Im zweiten Quadranten wurde nach Abnahme der GNE (t0-t1) zuerst eine Mesiorotation von $-0,15^\circ$ und während der Retention eine Distorotation um $0,25^\circ$ testiert, was abschließend zum Zeitpunkt t2 eine Distorotation um $0,1^\circ$ ergab.

1. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [°]:	1,05	-1,10	-0,60	-1,10
Standardabweichung [°]:	1,93	2,71	1,90	2,29
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,025	,118	,075	,059
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K]) [°]	0,45	0,00	0,45	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,003	,799	,841	
2. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [°]:	-0,15	0,25	0,05	-0,70
Standardabweichung [°]:	2,3	1,97	2,76	2,68
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,637	,496	,943	,254
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K]) [°]	-0,20	0,90	0,75	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,201	,046	,165	

Abb. 26: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für den 1. und 2. Quadranten

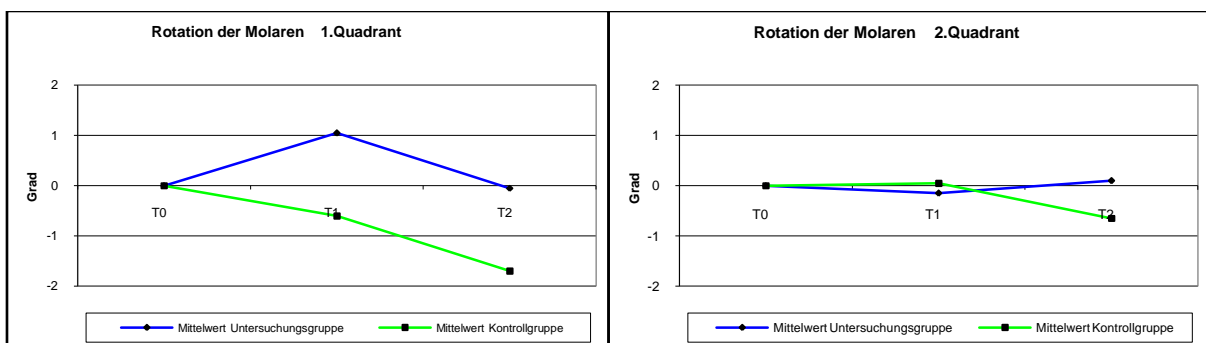


Abb. 27: Liniendiagramme der Änderung der Rotation im 1. und 2. Quadranten beider Gruppen

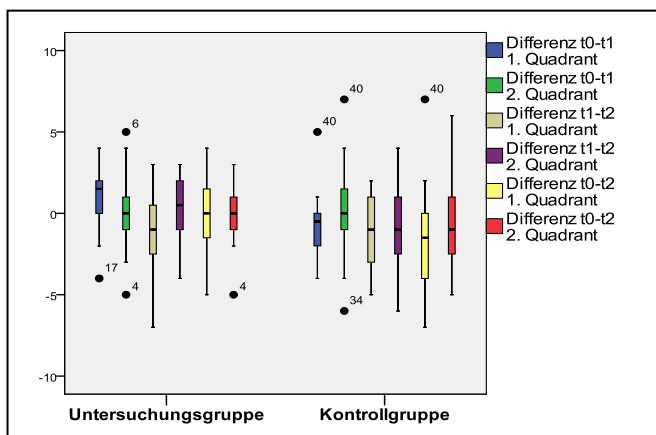


Abb. 28: Boxplot der Differenzen der Rotationen beider Gruppen

4.1.4. Differenz der anterioren Pont'schen Punkte zur Raphe mediana

Im ersten Quadranten betrug die Erweiterung t1 zum Zeitpunkt t0 2,57 mm, es folgte ein Rezidiv in der Retentionsphase (t1-t2) von -0,43 mm, die Gesamterweiterung (t0-t2) entsprach 2,14 mm. Im zweiten Quadranten konnte eine Zunahme der Differenz zwischen den Messpunkten bei Abnahme der GNE (t0-t1) um 2,51 mm, danach eine Abnahme während der Retention um -0,74 mm und somit eine Gesamterweiterung (t0-t2) von 1,77 mm festgestellt werden.

1. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	2,57	-0,43	1,99	-0,32
Standardabweichung [mm]:	0,73	0,66	0,67	0,52
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,011	,000	,008
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K]) [mm]	0,58	-0,11	0,47	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,013	,762	,079	
2. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	2,51	-0,74	1,48	-0,32
Standardabweichung [mm]:	0,87	0,79	0,89	0,52
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,000	,000	,020
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K]) [mm]	1,03	-0,42	0,61	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,001	,134	,076	

Abb. 29: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für den 1. und 2. Quadranten

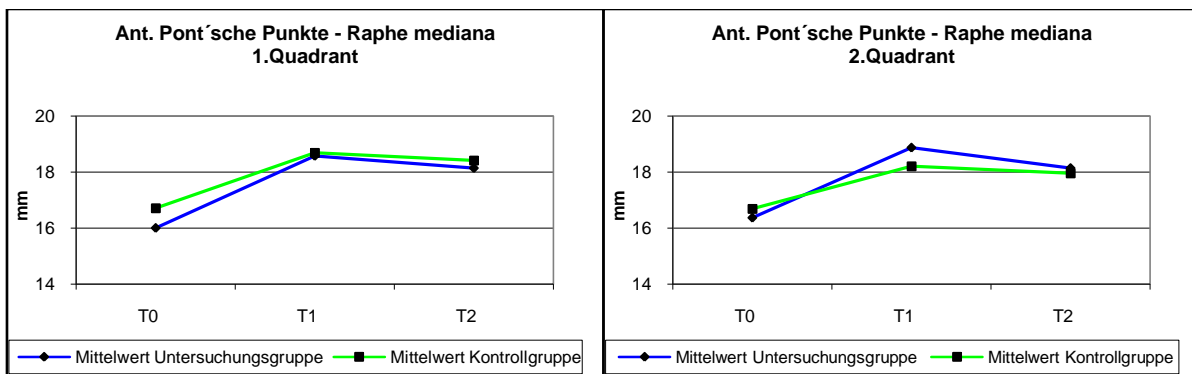


Abb. 30: Liniendiagramm der Änderung der anterioren Pont'schen Punkte zur Raphe mediana in beiden Gruppen, links: 1. Quadrant, rechts: 2. Quadrant

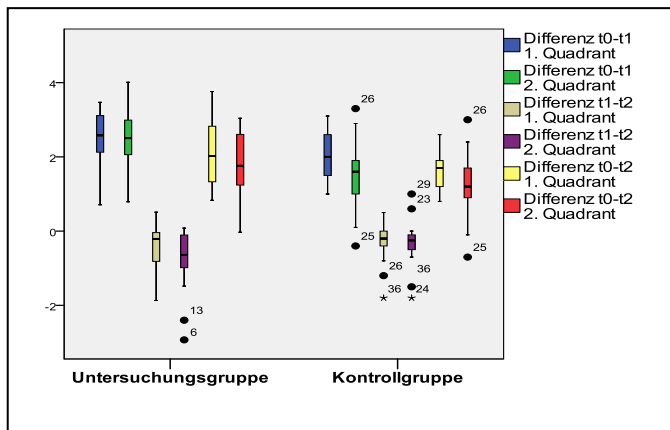


Abb. 31: Boxplot der Differenzen der anterioren Pont'schen Punkten in beiden Gruppen

4.1.5. Differenz der posterioren Pont'schen Punkte zur Raphe mediana

Nach der aktiven Phase (t0-t1) wurde eine Erweiterung im ersten Quadranten um 2,72 mm, im zweiten um 3,04 mm festgestellt. Während der Retention (t1-t2) wurde ein Rezidiv im ersten Quadranten um -0,13 mm, im zweiten um -0,57 mm testiert, was eine Gesamtdehnung (t0-t2) von 2,59 mm im ersten und 2,47 mm im zweiten Quadranten ergibt.

1. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	2,72	-0,13	2,91	-0,30
Standardabweichung [mm]:	0,93	0,54	0,75	0,29
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,313	,000	,000
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K] [mm]	-0,19	0,17	-0,02	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,383	,165	,799	
2. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	3,04	-0,57	2,66	-0,35
Standardabweichung [mm]:	0,86	0,79	1,03	0,45
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,004	,000	,000
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K] [mm]	0,38	-0,22	0,16	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,341	,341	,738	

Abb. 32: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für den 1. und 2. Quadranten

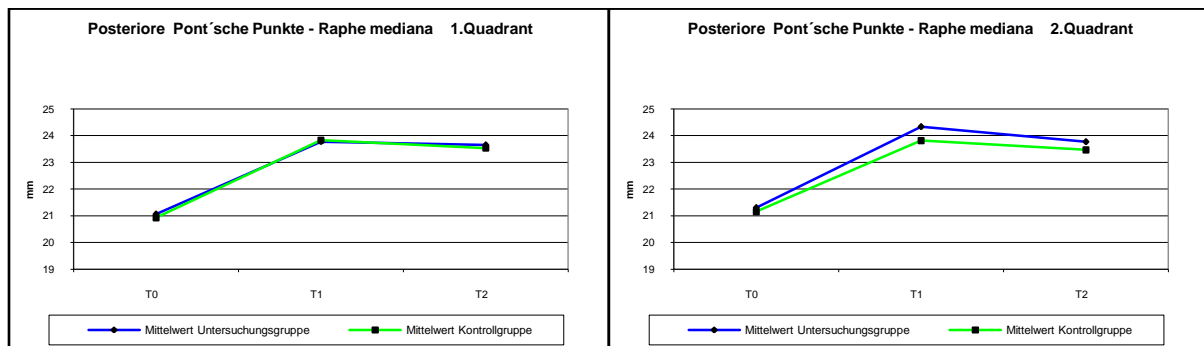


Abb. 33: Liniendiagramm der Differenzen der posterioren Pont'schen Punkte zur Raphe mediana in beiden Gruppen, links: 1.Quadrant, rechts: 2.Quadrant

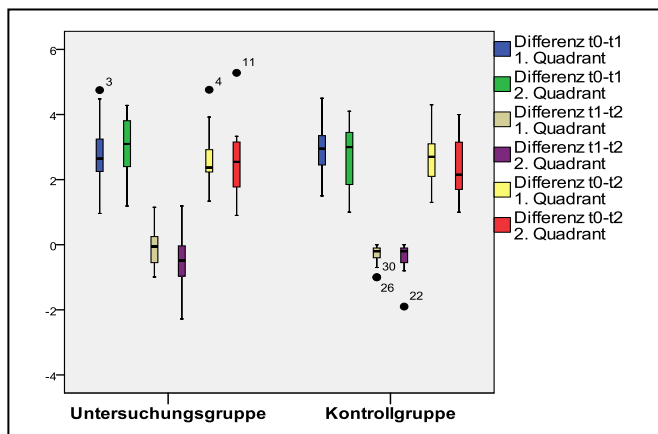


Abb. 34: Boxplot der Differenzen der posterioren Pont'schen Punkte zur Raphe mediana in beiden Gruppen

4.1.6. Differenz der Bukalkippung der ersten Molaren

Alle Werte $>0^\circ$ sind bei dieser Messung als Bukalkippung, alle Werte $<0^\circ$ als Palatinalkip-pung der Molaren zu betrachten. Zum Zeitpunkt t1 sind die Sechs-Jahr-Molaren im ersten Quadranten um $2,05^\circ$, im zweiten Quadranten um $2,2^\circ$ nach bukkal gekippt. Diese Kippung verstärkte sich zum Abschluss der Retentionsphase sowohl im ersten als auch zweiten Quadranten auf $2,35^\circ$.

1. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [°]:	2,05	0,3	3,05	0,1
Standardabweichung [°]:	3,36	3,18	2,91	1,8
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,021	,571	,001	,804
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K]) [°]	-1,0	0,2	-0,8	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,341	,547	,758	
2. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [°]:	2,2	0,15	2,75	0
Standardabweichung [°]:	3,55	2,85	1,97	2,49
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,015	,753	,000	,734
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K]) [°]	-0,55	0,15	-0,4	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,904	,461	,565	

Abb. 35: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für den 1. und 2. Quadranten

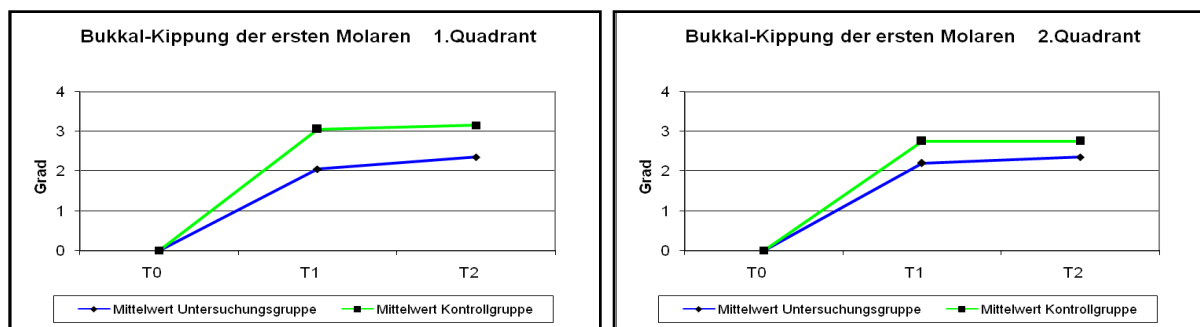


Abb. 36: Liniendiagramm der Differenzen der Bukkal-Kippung der ersten Molaren in beiden Gruppen, links: 1.Quadrant, rechts: 2.Quadrant

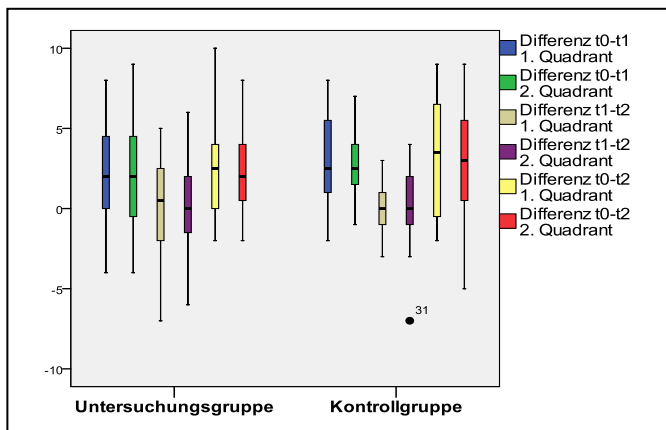


Abb. 37: Boxplot der Differenzen der Bukkal-Kippung der ersten Molaren in beiden Gruppen

4.1.7. Differenz der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Molaren

Zum Zeitpunkt t1 betrug die transversale Erweiterung der palatinalen Alveolarfortsätze 6,19 mm, es folgte in der Retentionszeit (t1-t2) ein Rezidiv um -0,88 mm, was einer Gesamterweiterung (t0-t2) von 5,31 mm entspricht.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	6,19	-0,88	5,88	-0,52
Standardabweichung [mm]:	0,99	0,99	1,92	0,91
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,001	,000	,035
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K]) [mm]	0,31	-0,36	-0,05	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,478	,201	,799	

Abb. 38: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

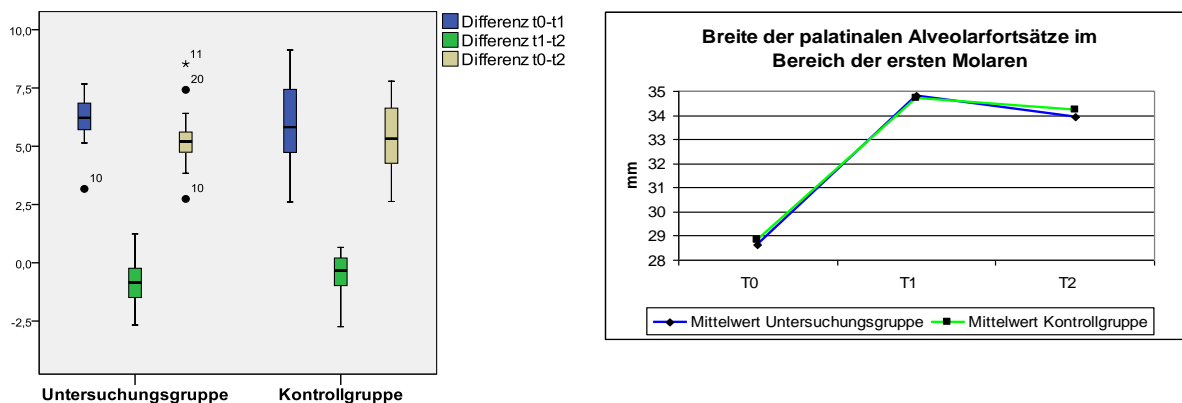


Abb. 39: links: Boxplot der Änderung der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Molaren

Abb. 40: rechts: Liniendiagramm der Differenzen der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Molaren in beiden Gruppen

4.1.8. Differenz der Breite des Gaumens im Bereich der ersten Molaren

Nach Entfernung der GNE wurde eine Erweiterung des Gaumens um 0,95 mm, im Zeitraum t1-t2 nochmals um 1,49 mm verzeichnet, was einer Erweiterung nach Retention (t0-t2) von 2,44 mm entspricht.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,95	1,49	2,72	0,75
Standardabweichung [mm]:	1,6	1,4	1,53	1,65
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,012	,000	,000	,067
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K]) [mm]	-1,77	0,74	-1,03	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,001	,102	,026	

Abb. 41: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

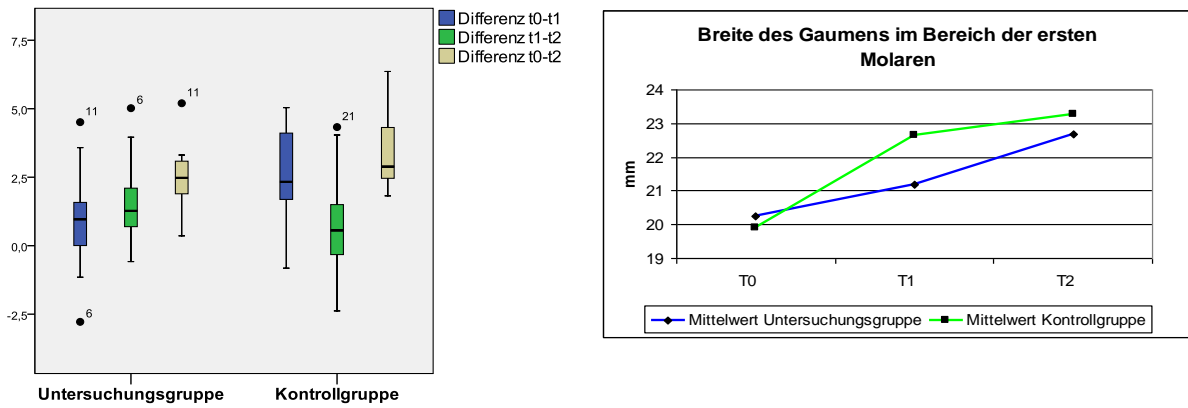


Abb. 42: links: Boxplot der Änderung der Breite des Gaumens im Bereich der ersten Molaren
Abb. 43: rechts: Liniendiagramm der Differenzen der Breite des Gaumens im Bereich der ersten Molaren in beiden Gruppen

4.1.9. Differenz der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Prämolaren

Nach Beendigung der GNE-Behandlung (t0-t1) ergab sich eine Verbreiterung der palatinalen Alveolarfortsätze um 5,00 mm, in der Retentionsphase (t1-t2) um -0,99 mm, was einer endgültigen Erweiterung (t0-t2) von 4,01 mm entspricht.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	5,0	-0,99	3,51	-0,93
Standardabweichung [mm]:	1,04	0,87	1,25	0,97
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,000	,000	,001
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K]) [mm]	1,49	0,06	1,55	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,000	,827	,000	

Abb. 44: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

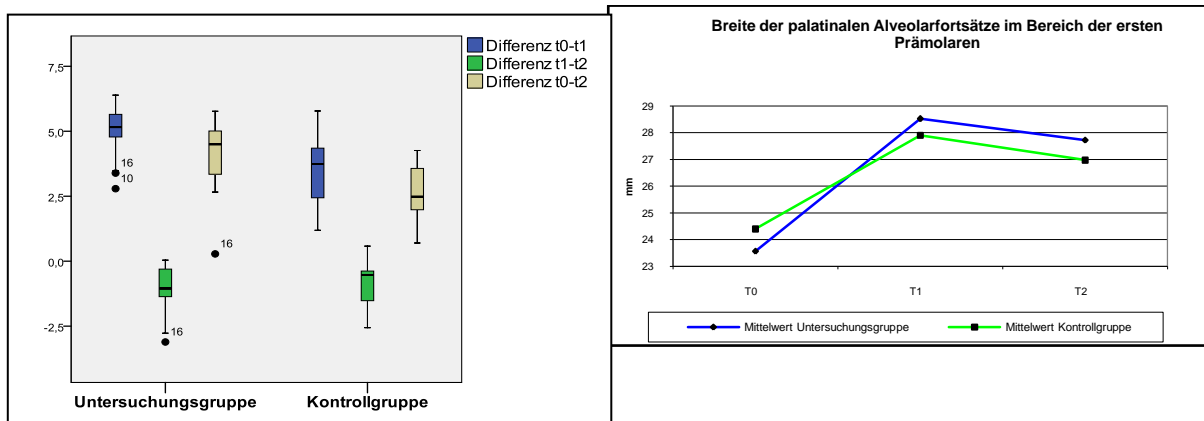


Abb. 45: links: Boxplot der Änderung der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Prämolaren

Abb. 46: rechts: Liniendiagramm der Differenzen der Breite der palatinalen Alveolarfortsätze im Bereich der ersten Prämolaren in beiden Gruppen

4.1.10. Differenz der Breite des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren

Zum Zeitpunkt t1 betrug die Erweiterung der Gaumenbreite 2,59 mm, es folgte ein Rezidiv während der Retention (t1-t2) um -0,59 mm, sodass die Gesamtverbreiterung 2,0 mm betrug.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	2,59	-0,59	1,94	-0,58
Standardabweichung [mm]:	1,06	0,91	1,23	0,8
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,014	,000	,016
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,63	-0,01	0,62	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,074	,975	,114	

Abb. 47: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

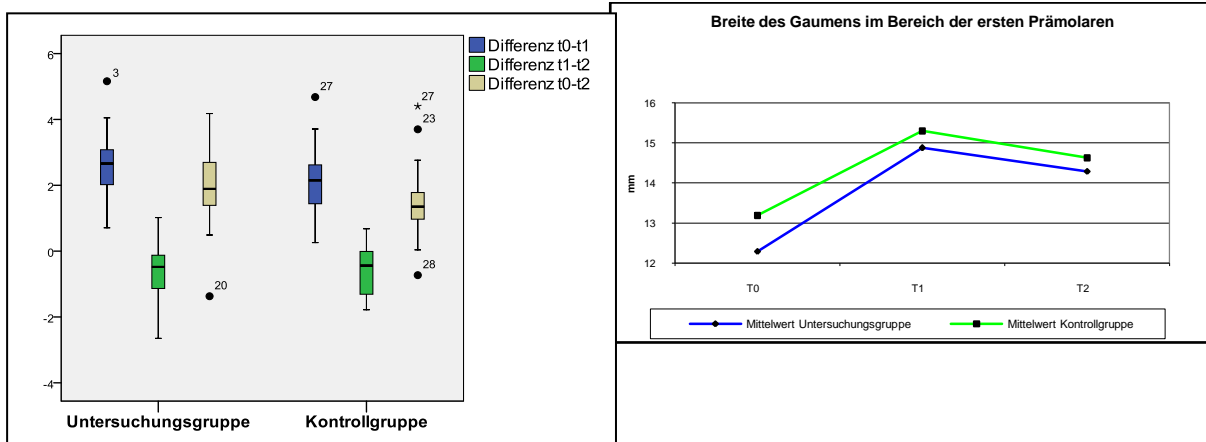


Abb. 48: links: Boxplot der Änderung der Breite des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren

Abb. 49: rechts: Liniendiagramm der Differenzen der Breite des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren in beiden Gruppen

4.2. Ergebnisse in der Sagittalen

4.2.1. Differenz der Distanz der ersten Molaren zur zweiten Gaumenfalte

Nach GNE Abnahme (t0-t1) wurde im ersten Quadranten eine Zunahme der Distanz um 0,29 mm, im zweiten um 0,06 mm, anschließend (t1-t2) eine Abnahme im ersten um -0,47 mm und im zweiten Quadranten um -0,48 mm verzeichnet, was einer Gesamtverringerung im ersten Quadranten um -0,18 mm und einer Vergrößerung im zweiten Quadranten um 0,42 mm entspricht.

1. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,29	-0,47	-0,03	-0,39
Standardabweichung [mm]:	0,68	0,74	0,65	0,47
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,059	,016	,716	,002
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,32	-0,08	0,24	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,063	,121	,640	
2. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,06	-0,48	-0,35	-0,48
Standardabweichung [mm]:	0,58	0,54	0,88	0,73
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,431	,001	,121	,010
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,41	0	0,41	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,678	,289	,108	

Abb. 50: oben: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für den 1. und 2. Quadranten

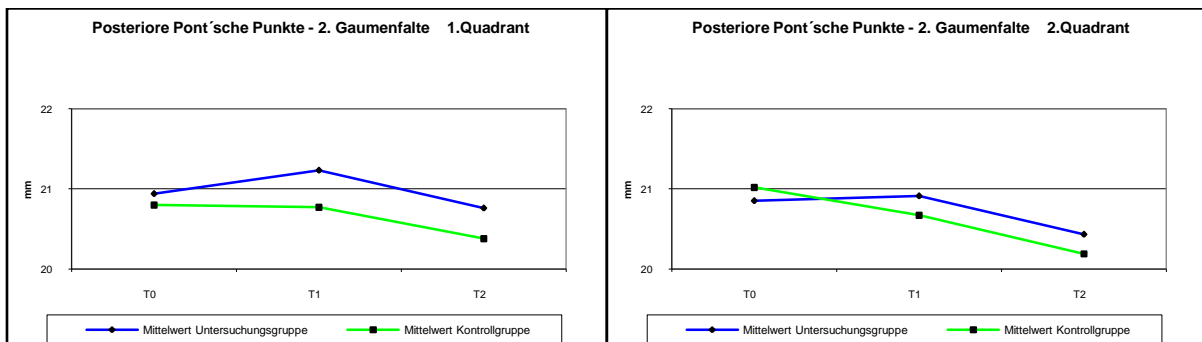


Abb. 51: Liniendiagramm der Differenzen der Distanz der posterioren Pont'schen Punkte zur 2. Gaumenfalte in beiden Gruppen, links: 1.Quadrant, rechts: 2.Quadrant

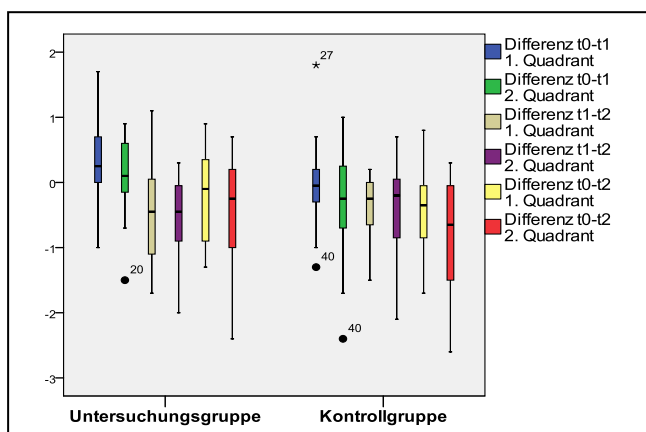


Abb. 52: Boxplot der Änderung der Distanz der posterioren Pont'schen Punkte zur 2. Gaumenfalte

4.2.2. Differenz der Distanz der ersten Prämolaren zur 2. Gaumenfalte

Zum Zeitpunkt t1 betrug die sagittale Distanzzunahme im ersten Quadranten 0,23 mm, im zweiten 0,02 mm. In der Retentionsphase verringerte sich die Distanz im ersten Quadranten um -0,29 mm, im zweiten um -0,26 mm, was einem Gesamtdistanzverlust von -0,06 mm im ersten und -0,24 mm im zweiten Quadranten entspricht.

1. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,23	-0,29	0,07	-0,18
Standardabweichung [mm]:	0,62	0,55	0,79	0,50
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,125	,026	,836	,111
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,16	-0,11	0,05	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,176	,224	,426	
2. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,02	-0,26	-0,21	-0,25
Standardabweichung [mm]:	0,63	0,56	0,86	0,62
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,925	,095	,331	,075
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,23	-0,01	0,22	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,975	,989	,598	

Abb. 53: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für den 1. und 2. Quadranten

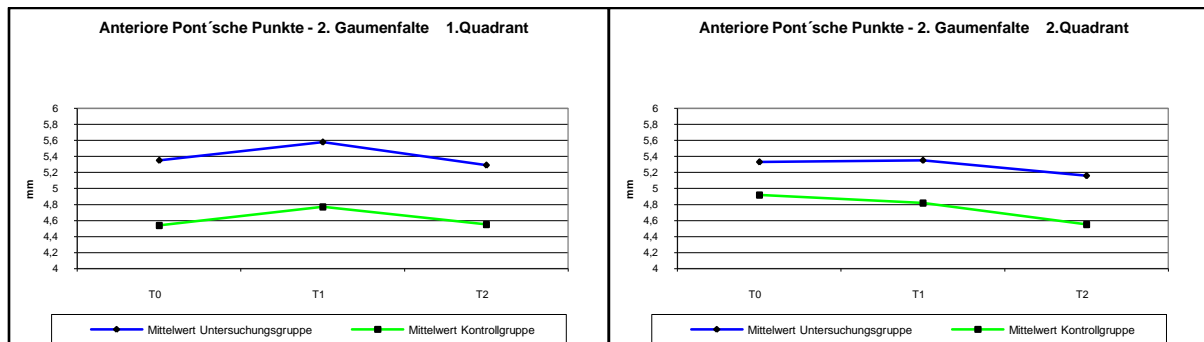


Abb. 54: Liniendiagramm der Differenzen der Distanz der anterioren Pont'schen Punkte zur 2. Gaumenfalte in beiden Gruppen, links: 1.Quadrant, rechts: 2.Quadrant

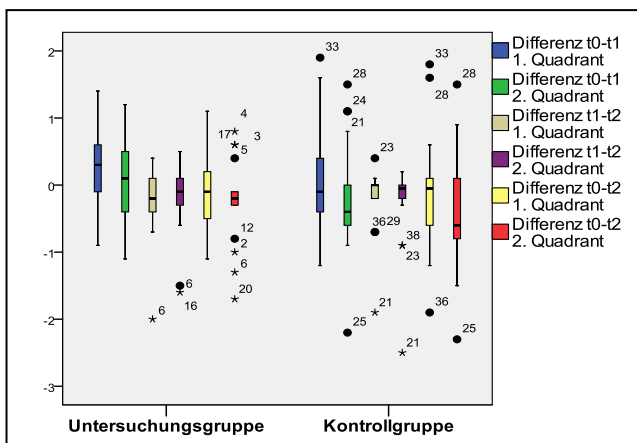


Abb. 55: Boxplot der Änderung der Distanz der anterioren Pont'schen Punkte zur 2. Gaumenfalte

4.2.3. Differenz der Distanz der ersten Molaren zu den ersten Milchmolaren bzw. den ersten Prämolaren im gleichen Quadranten

Die Differenz betrug im ersten Quadranten zum Zeitpunkt der GNE-Abnahme (t0-t1) 0,30 mm im ersten und 0,23 mm im zweiten Quadranten, nach Retention (t1-t2) -0,18 mm im ersten und -0,21 mm im zweiten Quadranten, was einer Gesamtdifferenz von 0,12 mm im ersten Quadranten und 0,02 mm im zweiten entspricht.

1. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,30	-0,18	-0,07	-0,37
Standardabweichung [mm]:	0,26	0,27	0,85	0,78
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,002	,777	,026
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,23	0,19	0,42	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,012	,851	,051	
2. Quadrant				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,23	-0,21	0,03	-0,24
Standardabweichung [mm]:	0,28	0,26	0,91	0,5
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,004	,003	,587	,107
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,20	0,03	0,23	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,194	,257	,283	

Abb. 56: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für den 1. und 2. Quadranten

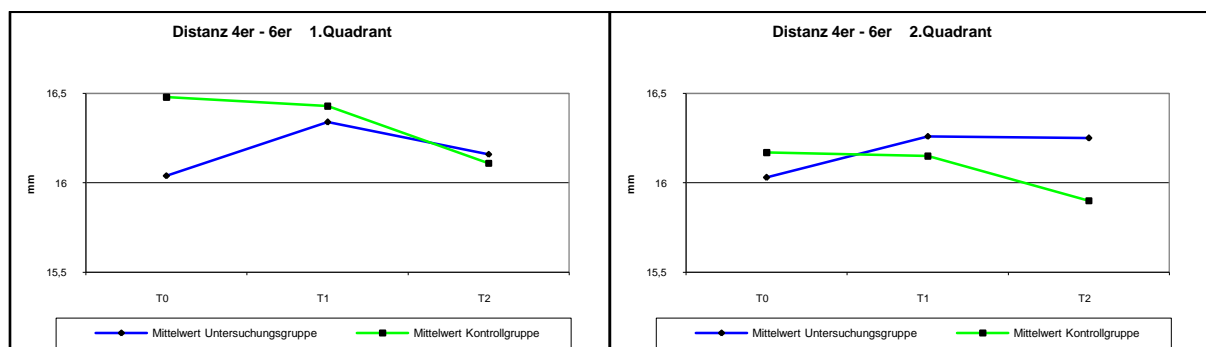


Abb. 57: Liniendiagramm der Differenzen der Distanz der ersten Molaren zu den ersten Milchmolaren/Prämolaren in beiden Gruppen, links: 1.Quadrant, rechts: 2.Quadrant

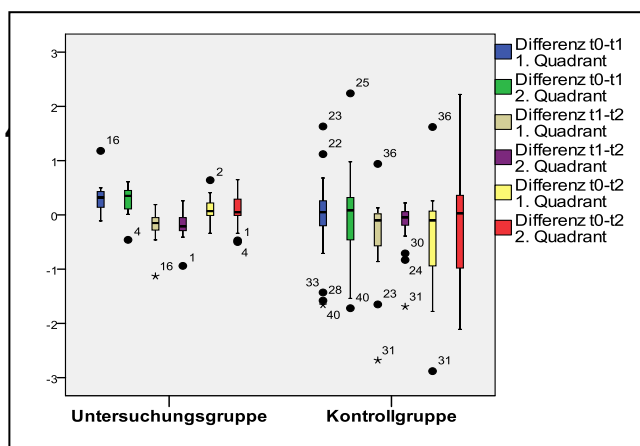


Abb. 58: Boxplot der Änderung der Distanz der ersten Molaren zu den ersten Milchmolaren

4.3.1. Differenz der Gaumentiefe im Bereich der ersten Molaren

Zum ersten Messzeitpunkt (t0-t1) vergrößerte sich die Gaumentiefe um 0,16 mm, ebenso in der Retentionsphase (t1-t2) um 0,34 mm, was einer Gesamtvergrößerung (t0-t2) von 0,5 mm entspricht.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,16	0,34	0,34	0,33
Standardabweichung [mm]:	0,49	0,52	0,58	0,44
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,131	,009	,017	,007
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K] [mm]	-0,18	0,01	-0,17	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,047	,841	,000	

Abb. 59: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

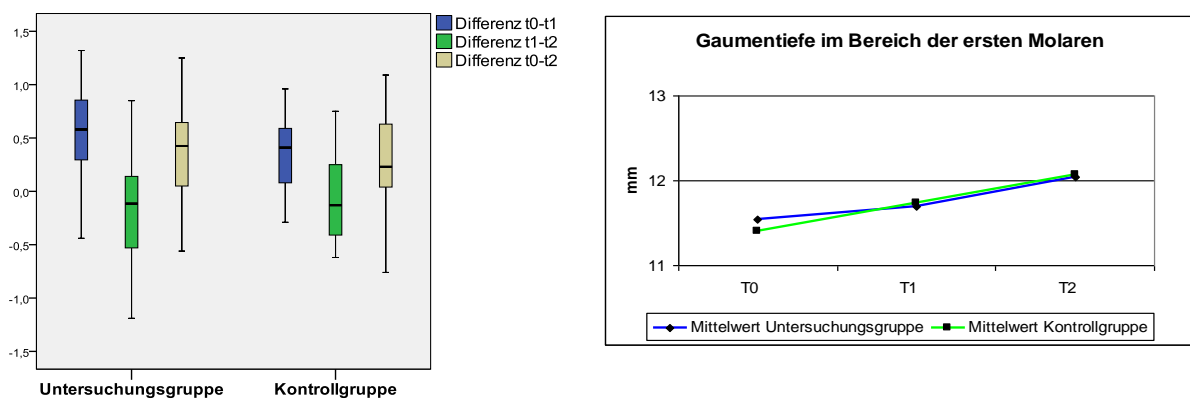


Abb. 60: links: Boxplot der Änderung der Tiefe des Gaumens im Bereich der ersten Molaren

Abb. 61: rechts: Liniendiagramm der Differenzen der Tiefe des Gaumens im Bereich der ersten Molaren in beiden Gruppen

4.3.2. Differenz der Gaumentiefe im Bereich der ersten Prämolaren

Zum Zeitpunkt t1 vergrößerte sich die Gaumentiefe um 0,57 mm, verringerte sich allerdings während der Retention um 0,18 mm, sodass zum Zeitpunkt t2 eine Vergrößerung der Gaumentiefe um 0,39 mm gemessen wurde.

	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	0,57	-0,18	0,24	-0,06
Standardabweichung [mm]:	0,45	0,52	0,42	0,45
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,001	,179	,023	,492
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1 (U-K)	t1-t2 (U-K)	t0-t2 (U-K)	
Differenz ((tx-ty) [U]) - (tx-ty) [K] [mm]	0,33	-0,12	0,21	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,028	,707	,497	

Abb. 62: Vergleichstabelle der beiden Gruppen

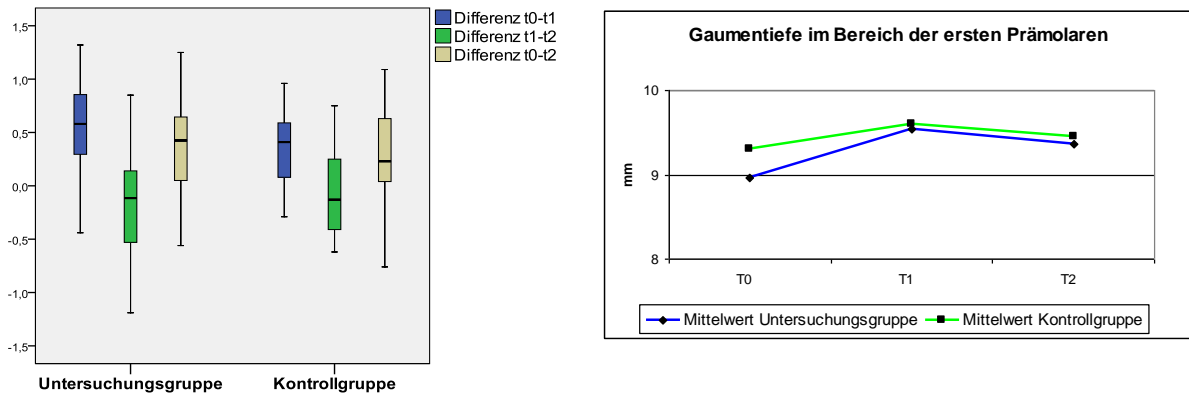


Abb. 63: links: Boxplot der Änderung der Tiefe des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren
 Abb. 64: rechts: Liniendiagramm der Differenzen der Tiefe des Gaumens im Bereich der ersten Prämolaren in beiden Gruppen

4.4. Differenz der Zahnbogenlänge

Die Soll-Zahnbogenlänge (mesio-distale Breiten der einzelnen Zähne) hat sich im Laufe der Messungen kontinuierlich nach Abnahme der GNE um 0,11 mm und nach Ende der Retentionsphase nochmals um 0,34 mm im Vergleich zum Anfangsmodell verkleinert. Im Gegensatz dazu vergrößerte sich die Ist-Zahnbogenlänge zum Zeitpunkt t1 um 2,8 mm, verringerte sich aber in der Retentionsphase um 0,65 mm, sodass insgesamt eine Vergrößerung um 2,15 mm gemessen wurde.

Soll-Zahnbogenlänge				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	-0,11	-0,34	0,06	0,02
Standardabweichung [mm]:	0,47	0,79	1,22	1,14
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,317	,030	,953	,594
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	-0,17	-0,36	-0,53	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,602	,108	,265	
Ist-Zahnbogenlänge				
	Untersuchungsgruppe [U]		Kontrollgruppe [K]	
	t0-t1	t1-t2	t0-t1	t1-t2
Mittlere Differenz [mm]:	2,8	-0,65	1,95	-0,45
Standardabweichung [mm]:	1,31	0,98	1,69	0,82
Signifikanz (Wilcoxon-Test):	,000	,008	,000	,017
Vergleich der beiden Gruppen				
	t0-t1	t1-t2	t0-t2	
Differenz ((tx-ty) [U]) – (tx-ty) [K] [mm]	0,85	-0,20	0,65	
Signifikanz (Mann-Whitney-U-Test):	,049	,369	,068	

Abb. 65: Vergleichstabelle der beiden Gruppen für die Soll- bzw. Ist-Zahnbogenlänge

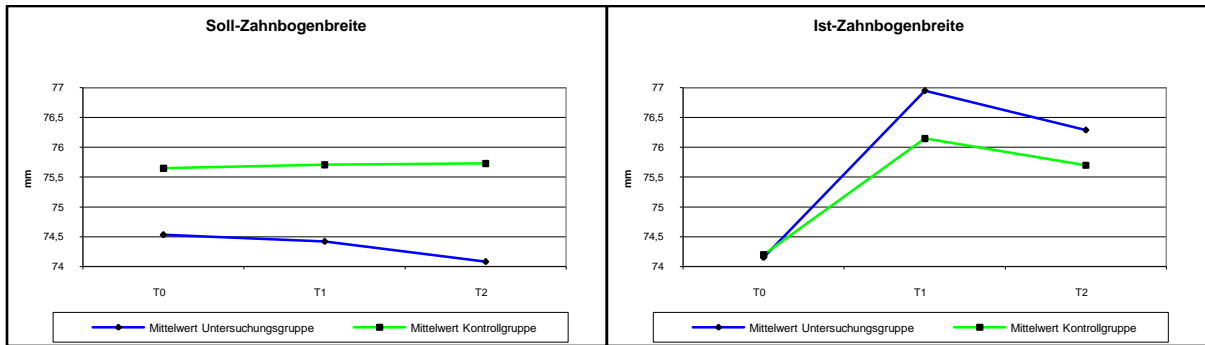


Abb. 66: Liniendiagramm der Differenzen der Zahnbogenlängen in der Untersuchungs- bzw. Kontrollgruppe. Links: Soll-Zahnbogenbreite, rechts: Ist-Zahnbogenbreite

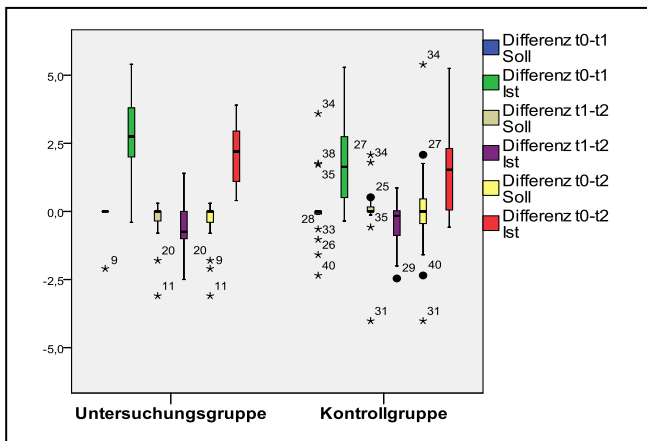


Abb. 67: links: Boxplot der Änderung der Soll-Zahnbogenlänge und Ist-Zahnbogenlänge in beiden Gruppen

5. Diskussion

Die Gaumennahterweiterung ist seit dem 19. Jahrhundert eine effektive Maßnahme, um laterale Kreuzbisse im Oberkiefer zu behandeln. Da die Gaumennaht mit zunehmendem Alter eine rigidere und stabilere Form annimmt, erscheint es sinnvoll, die Behandlung vor dem pubertären Wachstumsgipfel zu beginnen (Melsen 1975, Vanarsdall 1999, Isaacson et al. 1964, Isaacson and Ingram 1964). In dieser Untersuchung hat sich herausgestellt, dass eine Erweiterungsapparatur, die nur an den ersten Molaren fest verankert ist, eine gute Alternative zu Apparaturen darstellt, die an weiteren Zähnen befestigt sind, die bei diesem dentalen Alter oft noch nicht zur Verfügung stehen.

5.1. Patientenauswahl

Etlche Studien untersuchen maximal ein Dutzend Patienten (Garib et al. 2006, Wehrbein und Yildizhan 2001), während andere mit bis zu hundert Teilnehmern arbeiten (Thilander, Wahlund und Lennartsson 1984, Wertz 1970). Die Patientenzahl liegt bei dieser Untersuchung mit 40 Probanden im Mittelfeld, der herangezogene Statistiktest Mann-Whitney U-Test garantiert aber die Prüfung der Nullhypothese über die exakte Stichprobenverteilung und damit verwertbare Aussagen der Tests (Diehl, Staufenbiel 2002). Zusätzlich beweist die Geschlechtsverteilung - gleich viele männliche wie weibliche Probanden - eine ausgewogene Auswahl trotz strenger Einschlusskriterien. In Bezug auf das Alter der Patienten und die Parameter der Anfangsmodelle zeigten sich keine signifikanten Unterschiede, sondern eine große Homogenität zwischen beiden Gruppen. Die Patienten lagen mit einem Altersdurchschnitt von 9,34 Jahren noch vor dem pubertären Wachstumsgipfel, was einerseits mit der in diesem Alter oftmals beginnenden Gesamtbehandlung als auch mit dem in vielen Publikationen geforderten frühen Einsatz der Gaumennahterweiterung zu erklären ist. Es wird von den Autoren auf die zunehmende knöcherne Verzahnung der beiden Maxillahälften und die damit verbundene geringere skelettale und größere dentale Komponente der Erweiterungsapparaturen verwiesen (Wertz 1970, Melsen 1975, Cozzani 2003, Persson 1977).

5.2. Methode

5.2.1. Metrische Vermessung der Modelle

Bei metrischen Messungen im Zuge einer Modellanalyse müssen Referenzpunkte festgelegt werden, die stellvertretend für bestimmte anatomische Strukturen stehen. Kleinere Ungenauigkeiten beim Anzeichnen der Punkte und Vermessen der Strecken sind natürlich bei der

Auswertung von 120 Modellen nicht zu vermeiden, aber die Kontrollvermessung von 50% der Modelle hat keinen signifikanten Unterschied der Messungen ergeben. Schwarz (1956) war allerdings schon der Ansicht, dass bei so großen Differenzen der Messstrecken zu den unterschiedlichen Zeitpunkten, wie sie bei Gaumennahterweiterungen auftreten, kleinere, nicht signifikante Messungenauigkeiten nicht ins Gewicht fallen.

Obwohl die Vermessung an Gipsmodellen von der Mehrheit der Autoren bevorzugt wird (Chang, McNamara, Herberger 1997, Isaacson, Wood, Ingram 1964, Davidovitch 2005), gibt es noch weitere Analysemethoden. So wurden von Braun et al. (2000) Schädel per Laser vermessen, Garib et al. (2006) fertigten Spiral-Computertomogramme von Patienten an und Berger et al. (1999) untersuchten in ihrer Studie nur enface-Fotografien. Die häufigste Auswertung nach der konventionellen Vermessung ist sicherlich die Digitalisierung von Modellen mit anschließender Computerauswertung. McNamara Jr. et al. (2003) fotografierten Modelle mit einem genormten Kamerasystem und erhielten so 2-dimensionale Computerbilder zur Auswertung. Marini et al. (2007) konnten durch Fotografien in unterschiedlichen Winkeln sogar ein 3-dimensionales Bild des Modells errechnen. Holberg (2005) benutzte einen 3-D Scanner zur Analyse. Trotz der eingesetzten Technik bemerkten Bassarelli, Dalstra und Melsen 2005 im Rahmen einer Auswertung digitalisierter Modelle einen durchschnittlichen Messfehler von 0,25-0,7 mm bei Strecken- bzw. bis zu 2,59° bei Winkelmessungen. Ob eine solche computergesteuerte Analyse zu exakteren Ergebnissen führt, ist also fraglich.

5.3. Transversale Veränderungen

Mit einer hoch signifikanten Erweiterung der transversalen Breite im Bereich der ersten Molaren um durchschnittlich 5,74 mm nach Abnahme hat die Apparatur die horizontalen Diskrepanzen im Zahnbogen beseitigt. Die Erweiterung in der Kontrollgruppe zum selben Zeitpunkt war mit 5,50 mm nicht signifikant geringer. Auch McNamara et al. 2003, Berger et al. 1998, Barber und Sims 1981, Greenbaum und Zachrisson 1982 sowie Halazonetis, Katsavrias und Spyropoulos 1994 bestätigen mit etlichen weiteren Autoren eine durchschnittliche Expansion um 4,5-6,9 mm bei Verwendung unterschiedlicher Erweiterungsapparaturen.

Die transversale Breite im Bereich der ersten Milchmolaren bzw. Prämolaren erreicht mit 5,11 mm (t1) nur ca. 89% der Erweiterung der ersten Molaren. Dies deckt sich mit Erkenntnissen von Spillane und McNamara Jr. 1995, Byloff und Mossaz 2004 und Handelsmann 1997, dass im Prämolarenbereich nur etwa 76-92% (ca. 4,8 bis 5,7 mm) der Expansion der ersten Molaren erreicht werden, obwohl in diesen Publikationen die ersten Prämolaren (nicht wie bei dieser Untersuchung) in die Verankerung einbezogen waren. In der Kontrollgruppe fiel die anteriore Expansion mit durchschnittlich 3,21 mm bzw. 2,66 mm nach der Retentionsphase signifikant geringer ($p < 0,05$) als die Erweiterung in der Untersuchungsgruppe aus.

Ältere Studien (Derichsweiler 1953 und 1954 sowie Schönherr 1955) verweisen allerdings auf eine transversale Erweiterung von bis zu 11 mm. Verschiedene röntgenologische Untersuchungen haben die überproportionale Expansion der Sutura palatina mediana im anterioren gegenüber dem posterioren Teil und damit die V-förmige Öffnung bereits bewiesen (Vardimon 1998, Debbane 1958). Die Annahme, dass sich die Sutura auch ohne starre Verankerung mesialer Zähne öffnen wird und es so zu einer anterioren Dehnung des Zahnbogens kommt, hat sich also mit dieser Untersuchung bestätigt.

Das Rezidiv nach Abnahme der untersuchten Apparatur von 0,74 mm bei den ersten Molaren bzw. 1,11 mm bei den ersten Milch-/Prämolaren liegt aber unter dem Durchschnitt von 2-4 mm, so dass die von vielen Autoren geforderte Überkorrektur in diesem Ausmaß auch verringert werden kann (Handelmann 1997, Bishara und Staley 1987 und Bell 1982). Generell wird der Gaumennahterweiterung eine große Langzeitstabilität trotz der drastischen Änderungen des Zahnbogens zugestanden (Ladner und Muhl 1995, Berger 1998), allerdings sind skelettal zueinander passende Kiefer und eine stabile Okklusion Grundvoraussetzung hierfür (Vanarsdall 1999, Schwarz 1956). In der Kontrollgruppe ist ein nicht signifikant geringeres Rezidiv zu verzeichnen.

Betrachtet man die transversalen Messungen von den ersten Molaren zur Raphe palatina mediana, so ergibt sich mit 2,59 mm Gesamtexpansion auf der rechten bzw. 2,47 mm auf der linken Seite nach der Retentionsphase ein annähernd symmetrisches Bild der Expansion (Einzelmessungsvergleich $\pm 9\%$). Zum Zeitpunkt t2 unterscheidet sich im Bereich der ersten Prämolaren der Mittelwert der Erweiterung des ersten Quadranten mit 2,14 mm deutlicher vom zweiten mit einer Erweiterung um 1,77 mm (oder 82% vom ersten Quadranten). Betrachtet man allerdings alle Messungen einzeln, fällt auf, dass sich die beiden Quadranten nur um $\pm 6\%$ unterscheiden. Hier sind also die Mittelwerte nicht aussagekräftig. Allerdings merkte schon Derichsweiler 1956 an, dass der Grünholzfrakturverlauf der Sutura nicht immer symmetrisch ist. Es ist aber bemerkenswert, dass eine symmetrische Expansion der beiden Zahnbogenhälften auftritt, obwohl bei den meisten Patienten nur ein unilateraler Kreuzbiss vorlag. Trotzdem konnte bei klinischen Beobachtungen keine Nonokklusionen, sondern annähernd normale Okklusionen der Ober- und Unterkiefer festgestellt werden. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass vor der Behandlung eine Unterkieferschwenkung bedingt durch eine Zwangsführung vorlag, die nun durch Überstellung des Kreuzbisses aufgehoben wurde. Die Gesamterweiterung „posteriorer Pont'scher Punkt – Raphe palatina“ fiel in der Kontrollgruppe maximal zwei Zehntelmillimeter geringer aus. Dieser Unterschied war ebenso wie die geringere transversale Erweiterung zwischen den anterioren Pont'schen Punkten und der Raphe palatina mediana aber nicht signifikant.

Auch der transversale Abstand der palatinalen Alveolarfortsätze wurde hoch signifikant erweitert. Im Bereich der ersten Molaren wurde nach Retention eine Gesamtexpansion von durchschnittlich 5,31 mm, im Prämolarenbereich eine Erweiterung von 4,16 mm gemessen. Diese Werte liegen im oberen Bereich der Messungen anderer Autoren (Berger et al. 1998, Podesser et al. 2007). Übereinstimmung besteht allerdings darin, dass die Expansion der palatinalen Alveolarfortsätze generell größer als die des Gaumens ausfällt, da bei der Aktivierung der GNE die Alveolarfortsätze nicht völlig parallel gedehnt werden, sondern gleichzeitig um das gedachte Widerstandszentrum, gelegen in den Mittelgesichtsknochen, voneinander wegkippen (Hicks 1978, Gerlach 1954, Davis und Kronman 1969). Der alveoläre Knochen besitzt nicht genügend Rigidität um unter den enormen Kräften im Rahmen einer GNE gänzlich stabil zu bleiben, sondern kann durch Einwirkung der Erweiterungsapparatur verformt werden (Bishara und Stanley 1987). Diese Aufdehnung der Alveolarfortsätze kann durch die zunehmende Abflachung der Simon'schen Gaumenkurve an Modellquerschnitten deutlich gemacht werden (Derichsweiler 1953).

Im posterioren Bereich der transversalen Erweiterung zeigte sich in der Kontrollgruppe kein Unterschied, im Bereich der ersten Prämolaren war die Expansion der palatinalen Alveolarfortsätze allerdings mit 2,58 mm hoch signifikant ($p < 0,001$) kleiner als in der Untersuchungsgruppe.

Auffällig ist ebenfalls, dass die transversale Erweiterung der anterioren bzw. posterioren Zahnbogenbreite etwas geringer ausfällt als die jeweilige Expansion des palatinalen Alveolarfortsatzes. Dies ist wahrscheinlich mit der Auswahl des Modellquerschnittes zu erklären. Da dem Autor die genaue Übereinstimmung der Messpunkte überaus wichtig erschien, wurde entschieden, den Querschnitt eines Modells immer im exakt gleichen Abstand zur zweiten Gaumenfalte zu wählen. Nur dort ist bei allen drei Modellen eines Probanden das exakt gleiche Gaumenteilstück zu finden. Hat sich nun der sagittale Abstand des palatinalen Sulcus zur zweiten Gaumenfalte beim nachfolgenden Modell geändert oder hat sich der Sulcus durch Einwirken der GNE in seiner Form verändert, kann keine Messung an exakt der gleichen Stelle des Sulcus wie beim Vorgängermodell stattfinden. Diese Abweichungen werden sich allerdings im unteren einstelligen Zehntel-Millimeter-Bereich befinden und scheinen klinisch keinen Einfluss auf die Aussagekraft der Messungen zu haben.

Die Erweiterung der Gaumenbreite betrug im Bereich der ersten Molaren nach Beendigung der Retentionsphase 2,44 mm, damit entspricht sie 48,8 % der Expansion der ersten Molaren. Somit stimmen die Ergebnisse mit Untersuchungen von Handelsmann et al. (2000), Hicks (1978) und Sari et al. (2003) überein, die eine skelettale Expansion von 0,9-2,5 mm oder ca. 30-50 % der Gesamtexpansion ergaben. Die verringerten Werte zum Messzeitpunkt t1 (als die Apparatur entfernt wurde), die nur eine Gaumenbreitenerweiterung von 0,95 mm erga-

ben, sind wahrscheinlich auf eine Verdickung der Gaumenschleimhaut infolge von Irritationen durch das Gerät zurückzuführen. Während der Retentionsphase kam es zu einer Anschwellung der Schleimhaut, sodass die Messwerte t_0 - t_2 an Modellen vor Einsetzen der GNE (t_0) und nach Beendigung der Retention (t_2) am aussagekräftigsten sein dürften. Die Erweiterung der Gaumenbreite fiel in der Kontrollgruppe mit insgesamt 3,47 mm signifikant größer ($p < 0,05$) aus als in der Untersuchungsgruppe, was möglicherweise durch die längere Retentionsphase der Kontrollgruppe und die damit verbundene größere Anpassung der Gaumenschleimhaut zu erklären ist.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch in Bezug auf die Gaumenbreite im Bereich der ersten Prämolaren. Hier ist nach Abschluss der Retention eine Expansion um 2,0 mm gemessen worden, was genau 50 % der Gesamterweiterung im Bereich der ersten Prämolaren und damit den Erwartungen der oben genannten Autoren entspricht. Da sich in diesem Messbereich keine Geräteteile befanden, ist das Phänomen der geringen Anfangsexpansion, ähnlich den Messungen der Gaumenbreite im Bereich der ersten Molaren, hier nicht zu verzeichnen. Die oben genannten Werte unterscheiden sich nicht signifikant von denen der Kontrollgruppe. Das Rezidiv nach Abnahme der Apparatur entspricht mit 0,59 mm oder 53 % des Gesamterweiterungsrezidivs in etwa den Erwartungen von Sandikcioglu und Hazar (1997), die von einem sowohl dental als auch skelettal bedingten Rezidiv ausgehen.

Allerdings muss man bedenken, dass die in dieser Untersuchung gemessenen Werte nicht durch radiologische Auswertung der Gaumennahtöffnung, sondern an Modellen der Gaumenschleimhaut im Bereich des Überganges von Gaumendach zu Alveolarfortsatz gewonnen wurden. Die tatsächliche Öffnung der Suturen dürfte im posterioren Anteil geringer, im anterioren größer ausfallen. Schon Davidovitch (2005) bestätigte in seinen Untersuchungen, dass im Bereich der Suturen eine „V“-förmige Expansion mit der Spitze im posterioren Anteil, im Zahnbogen aber eine „umgekehrt V-förmige“ Erweiterung mit der Verjüngung im anterioren Teil auftritt.

Die von vielen Autoren als unerwünschten Nebeneffekt beschriebene bukkale Kippung der ersten Molaren im Zuge einer Gaumennahterweiterung fiel bei dieser Untersuchung mit im Mittel $2,35^\circ$ pro Kieferhälfte gering aus. Einzelmessungen ergaben jedoch in Ausnahmefällen eine Kippung von bis zu $8,5^\circ$ pro Molar. In der Kontrollgruppe lagen die Werte mit $3,15^\circ$ für den ersten und $2,75^\circ$ für den zweiten Quadranten (nicht signifikant) höher. Handelsmann 1997 und 2000 sowie Hicks 1978 gehen von einer durchschnittlichen Kippung von 3° - 8° , in Einzelfällen bis 24° pro Quadrant aus. Sie sind sich mit Braun et al. 2000 und Starnbach et al. 1966 einig, dass ein niedrigeres Patientenalter, eine schnelle Expansion sowie eine rigidere Expansionsapparatur Zahnkippungen vorbeugen. Bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen

steigt mit zunehmendem Alter der dentale Anteil der Expansion gegenüber dem skelettalen (Vanarsdall 1999). Da die Patienten bei dieser Untersuchung mit 9,34 Jahren im Durchschnitt ein niedriges Behandlungsalter hatten, kann dies im Zusammenhang mit der Konstruktion der Apparatur als Prävention vor Zahnkippen bezeichnet werden.

Die Rotation der Molaren blieb nach Beendigung der Retentionszeit ohne signifikante Unterschiede zum Ausgangsbefund. Lediglich zum Messzeitpunkt nach Abnahme der Apparatur trat im ersten Quadranten eine signifikante Distorotation um $1,05^\circ$ auf, die ohne klinische Konsequenz ist. Schon Ladner und Muth bemerkten 1995, dass eventuelle Rotationen der Ankerzähne während oder nach der GNE nicht durch die Apparatur ausgelöst werden. Es wurden ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zur Gesamtrotation der Molaren der Kontrollgruppe festgestellt.

5.4. Sagittale Veränderungen

Die Distanz der ersten Molaren zur zweiten Gaumenfalte zeigte nach Abnahme der Apparatur sowohl im ersten als auch im zweiten Quadranten mit einer Zunahme von 0,29 bzw. 0,06 mm Veränderungen. Man sollte aber bedenken, dass allein durch das Anbringen der 0,1 mm dicken Molarenbänder zuzüglich Befestigungszement eine sehr geringe Distalisation der Molaren bzw. Mesialisierung der Prämolaren verursacht wird. Nach Beendigung der Retentionsphase verringerte sich allerdings der Abstand der ersten Molaren zur zweiten Gaumenfalte um 0,18 mm auf der rechten bzw. 0,42 mm auf der linken Seite im Vergleich zum Ausgangsbefund. Hier ist sicherlich zu berücksichtigen, dass im Laufe der Behandlungszeit der Zahnwechsel im vorderen Bereich der Stützzone fortschritt, sodass der Leeway-Space der Milchmolaren teilweise verloren geht. Außerdem kommt es durch die transversale Erweiterung zu einer Verbreiterung des Zahnbogens ohne Lückenbildung im posterioren Teil. Zwangsläufig muss dies zu einer leichten Mesialisierung des gesamten Zahnbogens führen. Da Silva F, Boas und Capelozza (1991) fanden in ihrer Studie keinerlei sagittalen Veränderungen der ersten Molaren, Spillane und McNamara Jr. (1995) dagegen bestätigten eine minimale Verringerung des sagittalen Zahnbogenausmaßes, das sich 1 Jahr nach der Retention allerdings wieder normalisierte.

Im Vergleich dazu verringerte sich die Distanz der ersten Prämolaren zur ersten Gaumenfalte noch minimaler. Hier erfuhr nur der erste Quadrant überhaupt eine signifikante Veränderung. Zum ersten Messzeitpunkt (t1) vergrößerte sich der Abstand um 0,23 mm, zum zweiten verringerte er sich signifikant um 0,29 mm gegenüber dem Ausgangsbefund. Nur Derichsweiler (1954) verwies auf sagittale Veränderungen im vorderen Zahnbogen. Er bezog sich hierbei aber auf die Aufhebung eines durch Zwangsführung verursachten umgekehrten

Überbisses, der durch die Gaumennahterweiterung behoben wurde. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wurden keine signifikanten Unterschiede der Veränderungen der sagittalen Abstände zwischen den ersten Molaren beziehungsweise Prämolaren und der zweiten Gaumenfalte festgestellt.

Hoch signifikante Unterschiede zeigte der sagittale Abstand der ersten Molaren zu den ersten Milchmolaren. Hier wurde eine kontinuierliche Vergrößerung der Differenz bis zum Ende der Retentionsphase sowohl im ersten (0,12 mm) als auch im zweiten Quadranten (0,02 mm) gemessen. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass in der Stützzone zuerst die anterioren Zähne wechseln und der zweite Milchmolar am Ende der Messung meist noch erhalten war. Im Gegensatz dazu verringerte sich der Abstand in der Kontrollgruppe kontinuierlich um 0,30 mm auf der rechten und 0,21 mm auf der linken Seite. Dies könnte mit der deutlich längeren Behandlungszeit und dem fortgeschrittenen Alter der Probanden zusammenhängen, sodass bei diesen Patienten am Ende der Behandlung der Zahnwechsel auch im posterioren Anteil weiter fortgeschritten sein könnte. Trotzdem zeigten sich am Ende der Retentionsphase keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

5.5. Vertikale Veränderungen

Die Tiefe des Gaumens im Prämolarenbereich hat sich nur zu Anfang der Messungen signifikant um 0,57 mm vergrößert. Nach einem Rezidiv von 0,18 mm bleibt am Ende der Retentionsphase eine Vertiefung um 0,29 mm. Gerlach (1954) und Walters (1975) bestätigten zwar eine Abflachung des Gaumengewölbes bzw. der Alveolarfortsatzkurve insgesamt, die aber ihrer Meinung nach nur durch die Kippung der Alveolarfortsätze verursacht ist. Der vertikale Abstand in der Gaumenmitte zur Okklusionsebene, also die Gaumentiefe, verändert sich dahingegen nicht signifikant. Die gemessene Vertiefung kann durchaus auch zum Teil durch vertikales Wachstum des Alveolarkammes hervorgerufen sein. In der Kontrollgruppe wurden keine signifikanten Veränderungen im Vergleich zur Untersuchungsgruppe festgestellt.

Im Molarenbereich ist eine stetige, signifikante Vertiefung des Gaumens bis zu 0,5 mm nach Ende der Retentionsphase zu erkennen. Davis und Kronman (1969) sowie Spillane und McNamara Jr. (1995) sehen durch die GNE keine bzw. nur eine sehr geringe Vertiefung des Gaumens. Eine geringe Zunahme der Gaumentiefe ist laut Autoren klinisch nicht relevant, da die vertikale Höhe des Gaumens in diesem Alter während 2 Jahren allein durch Wachstum um 1-2 mm zunimmt. Da Silva F, Boas und Capelozza (1991) sowie Hicks (1978) sehen durchaus eine Extrusion der Molaren während der Gaumennahtspaltung und vermuten so eine geringe Zunahme der Gaumentiefe durch das vertikale Wachstum der hinteren Seiten-

zähne. McNamara et al. (2003) sehen eine eindeutige Vertiefung des Gaumens, wenn nach der GNE eine feststehende Therapie angeschlossen wird. Allerdings ist bei dieser Studie der lange Behandlungszeitraum in die Auswertung mit einzubeziehen. Gleiches gilt für die Kontrollgruppe, die eine hoch signifikant stärkere Vertiefung als die Untersuchungsgruppe zeigt. Diese Veränderung ist allerdings auch erst nach Ende der Retentionsphase (t0-t2) hoch signifikant, was eventuell der längeren Gesamtbehandlung der Patienten der Kontrollgruppe zuzuschreiben ist. Die längere Wachstumsperiode dieser Patienten verursacht natürlich auch eine größere Differenz zwischen beiden Gruppen. Die Unterschiede in den vorherigen Zeitintervallen t0-t1 und t1-t2 sind nur signifikant bzw. nicht signifikant.

5.6. Veränderungen des Zahnbogens

Anfänglich war die benötigte Zahnbogenbreite (Soll) noch 0,38 mm größer als die vorhandene (Ist). Damit wäre ein Engstand (Crowding) zu befürchten gewesen, wenn man den Leeway-Space der Milchmolaren unberücksichtigt lässt. Das Zahnbogensoll nahm durch Zahnwechsel in der Stützzone bedingt während der GNE und in der Retentionsphase kontinuierlich ab, sodass sich die benötigte Zahnbogengröße um 0,44 mm verringerte. Im Gegensatz dazu vergrößerte sich der zur Verfügung stehende Platz im Zahnbogen (Ist) im Verlauf der Behandlung kontinuierlich um letztlich 2,15 mm. Dies bedeutet, dass gegenüber dem Platzmangels am Anfang der Behandlung zum Ende der Messungen ein Platzüberschuss von 2,21 mm vorhanden ist, um die Oberkieferzähne in einen harmonischen Zahnbogen zu integrieren. Man sollte bei dieser Betrachtung aber nicht außer Acht lassen, dass die mesiodistalen Größen der Nachfolgezähne noch vorhandener Milchzähne noch nicht in die Berechnung eingeflossen sind. Es kann aber festgestellt werden, dass sich der Zahnbogen im Verlauf der Behandlung um 2,15 mm (oder 2,9%) vergrößert. Die Zahnbogenlänge der Kontrollgruppe nahm, im Vergleich dazu nicht signifikant verändert, nur um 1,81 mm zu. Damit stimmen die Ergebnisse dieser Untersuchung mit Aussagen von Derichsweiler (1953) und McNamara et al. 2003 überein, die eine Vergrößerung des Zahnbogens um bis zu 6 mm feststellten. Allerdings stellten Ladner und Muhl (1995) keine klinisch relevante Veränderung im Zahnbogen fest, Haas (1965) und Wertz (1970) vermuteten sogar eine Verringerung der Zahnbogenlänge durch eine Retrusion der Schneidezähne infolge des Tremaschlusses. Walters (1975) wies einen geringen Rückgang des Zahnbogenausmaßes in einem Tierexperiment nach.

5.7. Schlussfolgerung

Nur in vier der sechzehn Messreihen zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden zu vergleichenden Gruppen. Die Verbreiterung und Vertiefung des Gaumens im Be-

reich der ersten Molaren, die bei beiden Gruppen gleichermaßen als Verankerungszähne für die Erweiterungsapparatur dienen, fallen in der untersuchten Gruppe signifikant geringer aus als in der Kontrollgruppe. Dies ist eventuell auf die längere Behandlungszeit der Vergleichsgruppe zurückzuführen, die eine verlängerte Wachstumsphase der Probanden einschließt.

Die transversale Erweiterung des anterioren Zahnbogens beziehungsweise der palatinalen Alveolarfortsätze fällt im Bereich der ersten Milchmolaren bei der Untersuchungsgruppe größer aus als in der Kontrollgruppe, obwohl letztere die Milchmolaren zum Teil ebenfalls in die Verankerung der Expansionsapparatur einschließt. Da bei Patienten der Untersuchungsgruppe die Erweiterung in dieser Region mit 5,11 mm im durchschnittlichen Bereich der Expansionen anderer Studien (Berger et al. 1998, Zimring und Isaacson 1965) mit schneller Gaumennahterweiterung liegt, ist festzustellen, dass eine feste anteriore Verankerung mittels Bändern bei Patienten dieser Altersgruppe vernachlässigt werden kann.

Die verbesserte Hygienemöglichkeit, der geringe Aufwand bei Herstellung und Einsetzen der Apparatur bei gleichzeitiger palatinaler Abstützung aller Molaren und Prämolaren sowie der erhöhte Tragekomfort lassen die untersuchte Modifikation einer Gaumennahterweiterungsapparatur zu einer Alternative der herkömmlich verwendeten Apparaturen werden. Allerdings sollte der Anwender die oben beschriebenen dentoalveolären Abweichungen in der Therapieplanung beachten. Die getroffenen Aussagen dieser Studie gelten außerdem nur für Patienten, die während der Wechselgebissphase behandelt werden.

6. Literaturverzeichnis

1. Akkaya S, Lorenzon S, Üçem TT. A comparison of sagittal and vertical effects between bonded rapid and slow maxillary expansion procedures. *European Journal of Orthodontics* 1999;21:175-180
2. Angell EC. Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *Dent Cosmos* 1860;1:99-600
3. Asanza S, Cisneros GJ, Nieberg LG. Comparison of hyrax and bonded expansion appliances. *Angle Orthod* 1997;67:15-22
4. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara Jr. JA. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2001;71:343-350
5. Barber AF, Sims MR. Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1981;79:630-652
6. Bassarelli T, Dalstra M, Melsen B. Changes in clinical crown height as a result of transverse expansion of the maxilla in adults. *Eur J Orthod* 2005;27:121-128
7. Bell RA. A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1982;81:32-7
8. Berger JL, Pangrazio-Kulberath V, Thomas BW, Kaczynaki R. Stability of orthopedic and surgically assisted rapid palatal expansion over time. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1998;114:638-645
9. Berger JL, Pangrazio-Kulberath V, Thomas BW, Kaczynaki R. Photographic analysis of facial changes associated with maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999;116:563-571
10. Biederman WA. Hygienic appliance for rapid expansion. *J Pract Orthod* 1968;2:67-70
11. Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1987;91:3-14

12. Braun S, Bottrel JA, Lee KG, Lunazzi JJ, Legan HL. The biomechanics of rapid maxillary sutural expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2000;118:257-61
13. Byloff FK, Mossaz CF. Skeletal changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *Eur J Orthod* 2004;26:403-409
14. Cameron CG, Franchi L, Bacetti T, McNamara Jr. JA. Long-term effects of rapid maxillary expansion : a posteroanterior cephalometric evaluation. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 2002;121:129-35
15. Ceylan I, Oktay H, Demirci M. The effect of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *Angle Orthod* 1996;66:301-308
16. Chang JY, McNamara Jr. JA, Herberger TA. A longitudinal study of skeletal side effects induced by rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;112:330-337
17. Chung CH, Font B. Skeletal and dental changes in the sagittal, vertical, and transverse dimension after rapid palatal expansion. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 2004;126:569-575
18. Ciambotti C, Ngan P, Durkee M, Kohli K, Kim H. A comparison of dental and dentoalveolar changes between rapid palatal expansion and nickel-titanium palatal expansion appliances. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 2001;119:11-20
19. Cozzani M, Rosa M, Cozzani P, Siciliani G. Deciduous dentition anchored rapid maxillary expansion in crossbite and non-crossbite mixed dentition patients: reaction on the permanent first molars. *Prog Orthod* 2003;4:15-22
20. Cross DL, McDonald JP. Effect of rapid maxillary expansion on skeletal, dental, and nasal structures: a postero-anterior cephalometric study. *Eur J Orthod* 2000;22:519-528
21. Da Silva Filho OM, Do Prado Montes LA, Torelly LF. Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through postero-anterior cephalometric analysis. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1995;107:268-275

-
22. Da Silva F OG, Boas MCV, Capellozza L. Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentition: a cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1991;100:171-181
 23. Daskalogiannakis J. *Lexikon kieferorthopädischer Begriffe*. Berlin: Quintessenz, 2003
 24. Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD. Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 2005;127:483-92
 25. Davis WM, Kronman JH. Anatomical changes induced by splitting of the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1969;39:126-132
 26. Debbane EF. A cephalometric and histologic study of the effect of orthodontic expansion of the midpalatal suture of the cat. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1958;44:187-219
 27. Derichsweiler H. Die Gaumennahtsprengung. *Fortschr. Kieferorthop* 1953;14:5-23
 28. Derichsweiler H. Umstellung der Mundatmung zur Nasenatmung durch die Gaumennahterweiterung. *Fortschr. Kieferorthop* 1954;15:234-243
 29. Derichsweiler H. *Gaumennahterweiterung*. München: Carl Hanser, 1956
 30. Diedrich P. *Kieferorthopädie I*. München: Urban & Fischer, 2000
 31. Diedrich P. *Kieferorthopädie II*. München: Urban & Fischer, 2000
 32. Diehl JM, Staufenbiehl T. *Statistik mit SPSS Version 10+11*. Eschborn: Dietmar Klotz, 2002
 33. Doruk C, Sökücü O, Sezer H, Canbay EI. Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry. *Eur J Orthod* 2004;26:397-401
 34. Doruk C, Bicakci AA, Basciftci FA, Agar U, Babacan H. A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dentofacial structures. *Angle Orthod* 2004;74:184-194

-
35. Ekström C, Henrikson C, Jensen R. Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1977;71:449-455
 36. Fuck LM, Wilmes B, Drescher D. Die forcierte Gaumennahterweiterung mit Hilfe eines Transpalatinaldistraktors. *Kieferorthopädie* 2008;22:251-258
 37. Gardner GE, Kronman JH. Cranioskeletal displacements caused by rapid palatal expansion in the rhesus monkeys. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1971;59:146-155
 38. Garib DM, Henriques JFC, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY. Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 2006;129:749-758
 39. Gerlach H. Die Gaumennahtsprengung. *Fortschr. Kieferorthop.* 1954;15:243-248
 40. Goddart G. Separation of the superior maxilla at the symphysis. *Dent Cosmos* 1893;35:880-884
 41. Greenbaum KR, Zachrisson BU. The effect of palatal expansion therapy on the periodontal supporting tissues. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1982;81:12-21
 42. Halazonetis DJ, Katsavrias E, Spyropoulos MN. Changes in cheek pressure following rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 1994;16:295-300
 43. Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1961;31:73-89
 44. Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1965;35:200-217
 45. Handelmann CS. Nonsurgical rapid maxillary expansion in adults: a clinic evaluation. *Angle Orthod* 1997;67:291-308
 46. Handelmann CS, Wang L, BeGole EA, Haas AJ. Nonsurgical rapid maxillary expansion in adults: report on 47 cases using the haas expander. *Angle Orthod* 2000;70:129-144

-
47. Harzer W, Schneider M, Gedrange T, Tausche E. Direct bone placement of the hyrax fixation screw for surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE). *J Oral Maxillofac Surg* 2006;64:1313-1317
 48. Hauenstein P. Studien über die Gaumennahterweiterung mit Hilfe der Fernröntgenaufnahme in der Norma frontalis. *Fortschr. Kieferorthop.* 1980;41:136-139
 49. Hegmann M, Rütger AK. The grummons face mask as an early treatment modality within a class III therapy concept. *J Orofac Orthop* 2003;64:450-6
 50. Herrmann H. Histologische Befunde der Schleimhaut des Oberkiefers nach Gaumennahterweiterungen bei Gaumenspalten. *Fortschr. Kieferorthop* 1956;17:214-217
 51. Hicks EP. Slow maxillary expansion. A clinical study of the skeletal versus dental response of low-magnitude force. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1978;73:121-141
 52. Holberg C. Auswirkungen der forcierten Gaumennahterweiterung auf die Schädelbasis – eine FEM-Analyse*. *J Orofac Orthop* 2005;66:54-66
 53. Isaacson RJ, Wood JL, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion. Part I. Design of the force measuring system. *Angle Orthod* 1964;34:256-260
 54. Isaacson RJ, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion. Part 2. Forces present during treatment. *Angle Orthod* 1964;34:261-270
 55. Kanekawa M, Shimizu N. Age-related changes on bone regeneration in midpalatal suture during maxillary expansion in the rat. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1998;114:646-653
 56. Korbmacher, Huck L, Merkle T, Kahl-Nieke B. Das klinische Profil der Gaumennahterweiterung – Ergebnisse einer nationalen Umfrage. *J Orofac Orthop* 2005;66:455-468
 57. Ladner PT, Muhl ZF. Changes concurrent with orthodontic treatment when maxillary expansion is a primary goal. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1995;108:184-193

-
58. Lagravère MO, Major PW, Flores-Mir C, Orth C. Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *Angle Orthod* 2005;75:151-157
 59. Lagravère MO, Major PW, Flores-Mir C. Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review. *Angle Orthod* 2005;75:1046-1052
 60. Lagravère MO, Heo G, Major PW, Flores-Mir C, Orth C. Meta-analysis of immediate changes with rapid maxillary expansion treatment. *JADA* 2006;137:44-53
 61. Lamparski DG, Rinchuse DJ, Close JM, Sciote JJ. Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2003;123:321-328
 62. Majourau A, Nanda R. Biomechanical basis of vertical dimension control during rapid palatal expansion therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1994;106:322-328
 63. Marini I, Bonetti GA, Achilli V, Salemi G. A photogrammetric technique for the analysis of palatal three-dimensional changes during rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 2007;29:26-30
 64. McNamara Jr. JA, Bacetti T, Franchi L, Herberger TA. Rapid maxillary expansion followed by fixed appliances: a long-term evaluation of changes in arch dimensions. *Angle Orthod* 2003;73:344-353
 65. Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1975;68:42-54
 66. Moll KJ, Moll M. *Anatomie*. Stuttgart: Gustav Fischer, 1997
 67. Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *BR J Oral Maxillofac Surg* 1999;37:268-272
 68. Mossaz-Joelson K, Mossaz CF. Slow maxillary expansion: a comparison between banded and bonded appliances. *European Journal of Orthodontics* 1989;11:67-76

-
69. Murray JMCG, Cleall JF. Early tissue response to rapid maxillary expansion in the mid-palatal suture of the rhesus monkey. *J Dent Res* 1971;50:1654-1660
 70. Persson M, Thilander B. Palatal suture closure in man of 15 to 35 years of age. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1977;72:1:42-52
 71. Petrén S, Bondemark L, Söderfeldt B. A systematic review concerning early orthodontic treatment of unilateral posterior crossbite. *Angle Orthod* 2003;73:588-596
 72. Podesser B, Williams S, Crismani AG, Bantleon HP. Evaluation of the effects of rapid maxillary expansion in growing children using computer tomography scanning: a pilot study. *Eur J Orthod* 2007;29:37-44
 73. Rakosi T, Jonas I. *Farbatlant der Zahnmedizin, Band 8: Kieferorthopädie Diagnostik.* Stuttgart: Thieme, 1989
 74. Sander C, Hüffmeier S, Sander FM, Sander FG (2006) Erste Ergebnisse zur Kraftausübung bei der Gaumennahterweiterung bei Kindern. *J Orofac Orthop*;67:19-26
 75. Sandikcioglu M, Hazar S. Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1997;111:321-7
 76. Sari Z, Uysal T, Usumez S, Basciftci FA. Rapid maxillary expansion. Is it better in the mixed or in the permanent dentition? *Angle Orthod* 2003;73:654-661
 77. Sarver DM, Johnston MW. Skeletal changes in vertical and anterior displacement of the maxilla with bonded rapid palatal expansion appliances. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1989;95:462-6
 78. Schopf P. *Curriculum Kieferorthopädie Band I.* Berlin: Quintessenz, 2000
 79. Schönherr E. Gaumennahterweiterung mit abnehmbaren Behelfen. *Fortschr. Kieferorthop.* 1955;16:177-182
 80. Schuster G, Borel-Scherf I, Schopf PM. Frequency of and complications in the use of RPE appliances – result of a survey in the federal state of Hessen, Germany. *J Orofac Orthop* 2005;66:148-161

-
81. Schwarz M. Über die Einwirkung kieferorthopädischer Geräte auf die Nasenhöhle. *J Orofac Orthop* 1954;15:148-170
 82. Spillane LM, McNamara Jr. JA. Maxillary adaption to expansion in the mixed dentition. *Seminars in Orthodontics* 1995;1:176-187
 83. Starnbach H, Bayne D, Cleall J, Subtelny JD. Facioskelettal and dental changes resulting from rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1966;36:152-164
 84. Stöckli PW, Ben-Zur ED. *Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen*. Stuttgart: Thieme, 1994
 85. Taspinar F, Üçüncü H, Bishara SE, Ortho D. Rapid maxillary expansion and conductive hearing loss. *Angle Orthod* 2003;73:669-673
 86. Tecco S, Festa F, Tete S, Longhi V, D'Attilio M. Changes in head posture after rapid maxillary expansion in mouth-breathing girls: a controlled study. *Angle Orthod* 2005;75:167-172
 87. Thilander B, Lennartsson B. A study of children with unilateral posterior crossbite, treated and untreated, in the deciduous dentition. *J Orofac Orthop* 2002;63:371-383
 88. Thilander B, Wahlund S, Lennartson B. The effect of early interceptive treatment in children with posterior cross-bite. *Eur J Orthod* 1984;6:25-34
 89. Timms DJ. *Forcierte Gaumennahterweiterung*. Berlin: Quintessenz, 1986
 90. Timms DJ. Rapid maxillary expansion in the treatment of nocturnal enuresis. *Angle Orthod* 1989;60:229-233
 91. Vanarsdall RL. Transverse dimension and long-term stability. *Semin Orthod* 1999;5:171-180
 92. Vardimon AD, Brosh T, Spiegler A, Lieberman M, Pitaru S. Rapid maxillary expansion: part 1. mineralization pattern of the midpalatal suture in cats. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1998;113:371-378

-
93. Walters RD. Facial changes in the macaca mulatto monkey by orthopedic opening of the midpalatal suture. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1975;45:169-179
 94. Wehrbein H, Yildizhan F. The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *Eur J Orthod* 2001;23:106-114
 95. www.uni-leipzig.de/~kfo/GNE/
 96. Wertz R. Changes in nasal airflow in incident of rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 1968;38:1-11
 97. Wertz R. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1970;58:41-65
 98. Wertz R, Dreskin M. Midpalatal suture opening: a normative study. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 1977;71:367-381
 99. Westwood PV, McNamara Jr. JA, Bacetti T, Franchi L, Sarver DM. Long-term effects of class III treatment with rapid maxillary expansion and facemask therapy followed by fixed appliances. *AM J Orthod Dentofac Orthop* 2003;123:306-320
 100. Zimring JF, Isaacson RJ. Forces produced by rapid maxillary expansion, part 3: forces present during retention. *Angle Orthod* 1965;35:178-186

7. Publikationen

Teile dieser Studie wurden im Rahmen der 82. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie am 17. September 2009 in Mainz in einem Vortrag mit dem Titel: „C. Weyrich, M. Noss, J. A. Lisson (Homburg/Saar): Vergleich einer modifizierten GNE-Apparatur mit herkömmlichen Apparaturen zur Transversalerweiterung“ vorgestellt.

Ein Beitrag mit dem Titel „Vergleich einer modifizierten GNE-Apparatur mit herkömmlichen Apparaturen zur Transversalerweiterung“ wurde im "Journal of Orofacial Orthopedics" zur Publikation eingereicht.

8. Danksagung

Meinen Dank möchte ich besonders Herrn Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Dissertationsthemas, die freundliche Betreuung und den hohen fachlichen und zeitlichen Einsatz bei der Ausarbeitung der Arbeit aussprechen.

Frau Dr. Hanke, Frau Dr. Stec-Slonicz und Frau Dr. Weyrich möchte ich für die Unterstützung bei der Ausarbeitung und dem Verfassen der Dissertation danken.

Abschließend möchte ich noch meinem Vater und Mentor Dr. Hans D. Noß, meiner Familie und meiner Lebensgefährtin danken für ihre Motivation und Geduld, die auch nach längerer Zeit nicht nachließ.