

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

# **Transversale Reduktionsapparatur**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Zahnheilkunde*

**der Medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2017

vorgelegt von: **Alexa Susanne van Schöll**  
geboren am 08.01.1988 in Duisburg

Tag der Promotion:

Dekan:

Prof. Dr. M. D. Menger

1. Gutachter:

Prof. Dr. J. A. Lisson

2. Gutachter:

***Für Mama***

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Deutsch.....	1
1.2	Transverse reduction appliance (TRA).....	2
<b>2</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
2.1	Anatomische Grundlagen.....	3
2.1.1	Knochenentwicklung .....	3
2.1.2	Knochenwachstum.....	4
2.1.3	Morphologie des Gaumens .....	4
2.1.4	Entwicklung und Wachstumsphasen des Gaumens .....	6
2.1.5	Sutura palatina mediana .....	7
2.1.6	Transversale Okklusionsanomalien.....	8
2.2	Transversale Reduktionsapparatur .....	9
2.2.1	Historie.....	9
2.2.2	Anatomie.....	10
2.2.3	Indikation.....	10
2.2.4	Behandlungszeitraum.....	10
2.2.5	Biomechanik der TRA .....	10
2.2.6	Apparaturen .....	11
2.2.7	Rezidivneigung.....	11
2.3	Die Gaumen-Naht-Erweiterung.....	12
2.3.1	Historie.....	12
2.3.2	Anatomie.....	13
2.3.3	Indikation.....	13
2.3.4	Behandlungszeitraum.....	14
2.3.5	Biomechanik der GNE.....	14
2.3.6	Überblick über die verschiedenen Apparaturen .....	16
2.3.6.1	Herausnehmbare Apparaturen .....	16
2.3.6.2	Festsitzende Apparaturen .....	16
2.3.6.3	Implantat-getragene oder -unterstützte Apparaturen .....	17
2.3.6.4	Chirurgisch-unterstützte Apparaturen.....	19
2.3.7	Rezidivneigung.....	20
2.3.8	Nebeneffekte der Behandlung.....	21
2.4	Ziele der Arbeit .....	22
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>23</b>
3.1	Probanden .....	23
3.2	Transversale Reduktionsapparatur .....	23

<b>3.3</b>	<b>Gaumennaht-Erweiterungs-Apparatur</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b>Scanner</b> .....	<b>24</b>
<b>3.5</b>	<b>Modellauswertung</b> .....	<b>26</b>
<b>3.6</b>	<b>Messpunkte</b> .....	<b>26</b>
<b>3.7</b>	<b>Statistische Auswertung</b> .....	<b>27</b>
3.7.1	Angewandte Methoden .....	27
3.7.2	Systematik der Analysen und Zielsetzung .....	28
3.7.3	Auswertung .....	28
<b>3.8</b>	<b>Methodenfehler</b> .....	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Probanden</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Statistische Auswertung</b> .....	<b>30</b>
4.2.1	Vordere und hintere Zahnbogenbreite .....	30
4.2.2	Vergleich von weiblichen und männlichen Patienten .....	32
4.2.3	Vergleich der 2. Dentition mit Wechselgebissphasen .....	32
4.2.4	Vergleich von TRA und GNE .....	33
<b>4.3</b>	<b>Fehlerberechnung</b> .....	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>Probanden</b> .....	<b>35</b>
<b>5.2</b>	<b>Transversale Reduktionsapparat</b> .....	<b>36</b>
<b>5.3</b>	<b>Gaumennaht-Erweiterungs-Apparatur</b> .....	<b>37</b>
<b>5.4</b>	<b>Modellauswertung</b> .....	<b>38</b>
<b>5.5</b>	<b>Statistische Auswertung</b> .....	<b>38</b>
<b>5.6</b>	<b>Methodenfehler</b> .....	<b>39</b>
<b>5.7</b>	<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>40</b>
<b>5.8</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>40</b>
<b>5.9</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>42</b>
<b>6.2</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>49</b>
<b>6.3</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Publikationen/Danksagung</b> .....	<b>51</b>
<b>7.1</b>	<b>Publikationen</b> .....	<b>51</b>
<b>7.2</b>	<b>Danksagungen</b> .....	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>53</b>
<b>8.1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>53</b>
<b>8.2</b>	<b>Verwendete Punkte in der Modellanalyse</b> .....	<b>54</b>

## Inhaltsverzeichnis

---

8.2.1	Oberkiefer .....	54
8.2.2	Unterkiefer .....	55

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Deutsch

Eine maxilläre Makrognathie zeichnet sich durch eine transversale und sagittale Diskrepanz zwischen Oberkiefer und Unterkiefer aus. Dadurch stehen die Seitenzähne des Oberkiefers in einer bukkalen Nonokklusion. Dies kann sowohl einzelne Seitenzähne wie auch den gesamten Seitenzahnbereich betreffen. Skelettale Ursachen können eine mandibuläre Mikrognathie, eine maxilläre Makrognathie oder eine Kombination aus beiden sein. Weiterhin können dentale Abweichungen wie beispielsweise eine Bukkalkippung der Prämolaren und Molaren oder iatrogene Faktoren ursächlich sein. Das Ziel einer kieferorthopädischen Behandlung ist das Erreichen kongruenter Zahnbögen. Da eine skelettale Beeinflussung zur Reduktion der Zahnbogenweite vermutlich unrealistisch ist, kann vornehmlich mit einem dentalen Effekt gerechnet werden. Zur Ermöglichung der transversalen Reduktion des Zahnbogens wurde die Transversale Reduktionsapparatur (TRA) beschrieben. Als Leitbild diente dabei die Gaumennahterweiterungsapparatur.

Bei der Gaumennahterweiterungsapparatur (GNE) handelt es sich um eine forcierte mechanisch unterstützte Expansion der Sutura palatina mit dem Ziel der transversalen Erweiterung der Maxilla. Hauptindikation ist eine bilateral verengte Oberkieferbasis sowie daraus resultierend ein ein- oder beidseitiger Kreuzbiss, der sowohl erblich- oder funktionsbedingt sein kann. Zur Kompensation sind die Seitenzähne meist nach bukkal geneigt, sodass eine bukkale Non-Okklusion vorliegt. Die Behandlung beabsichtigt eine skelettale Verbreiterung der Kieferbasis und nicht eine dentale Verbreiterung des Oberkiefer-Zahnbogens. Diese wird häufig bei der konventionellen Erweiterung durch Plattenapparaturen bewirkt. Die Transversale Reduktionsapparatur zeigt den gleichen Aufbau wie eine herkömmliche Gaumennahterweiterungsapparatur mit dem Unterschied, dass die Schraube in geöffnetem Zustand eingesetzt wird und folglich intraoral durch den Patienten geschlossen wird.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die erfolgreiche Reduktion der Zahnbogenweite des Oberkiefers mit Hilfe der Transversalen Reduktionsapparatur zu beschreiben und die Ergebnisse mit den Behandlungsergebnissen mit einer Gaumennahterweiterungsapparatur zu vergleichen. Die Ergebnisse belegen eine erfolgreiche Reduktion der Zahnbogenweite ( $t_0$  39,33mm  $\pm$  4,16mm, zu  $t_1$  37,35mm  $\pm$  4,32mm anterior;  $t_0$  49,27mm  $\pm$  5,86mm und zu  $t_1$  45,76mm  $\pm$  4,56mm posterior). Ebenso wurde für die GNE eine erfolgreiche Transversalerweiterung festgestellt ( $t_0$  32,08mm  $\pm$  2,47mm, zu  $t_1$  35,46mm  $\pm$  3,52mm anterior; zu  $t_0$  41,27mm  $\pm$  4,06mm und zu  $t_1$  45,98mm  $\pm$  4,91mm posterior). Alle Veränderungen waren signifikant. Obgleich es sich um identische Apparaturen mit lediglich entgegengesetzter Wirkung handelt,

ist der Platzgewinn durch eine GNE-Behandlung effektiver. Dies ist auf die skelettale Wirkung der GNE im Unterschied zur dentalen Wirkung der TRA zurückzuführen.

## 1.2 Transverse reduction appliance (TRA)

A maxillary macrognathia is characterized by transverse and sagittal discrepancies between both jaws. Thus, the maxillary teeth are in a buccal non-occlusion. Sometimes only few teeth are affected, sometimes the whole posterior range of teeth. Mandibular micrognathia, maxillary macrognathia or a combination thereof might be considered as a skeletal cause. Moreover, a dental deviation like buccal tipping of premolars and molars or iatrogenic factors may cause the diagnosis. Purpose of an orthodontic treatment is to achieve congruent dental arches. It seems rather unrealistic to achieve this by skeletal treatment effects, so that we expected a dental effect.

We used the transverse reduction appliance (TRA) for a transverse reduction of the dental arch. The RPE - which was our model – achieves a forced mechanic maxillary expansion of the medial palatal suture. Main indication for using an RPE is a narrow maxilla, its presence results in a uni- or bilateral crossbite. The cause for maxillary micrognathia may be hereditary or dysfunction. Compensatory buccal tipping of lateral teeth occurs, sometimes resulting in a buccal non-occlusion. Therefore, a skeletal instead of a dental expansion is needed.

The TRA is built as a RPE with the only difference that the screw is open in the beginning, thus resulting in a closing movement during activation.

This study aimed at recording the treatment effect during maxillary arch width reduction through a TRA, and to compare these results with those of an RPE treatment.

The results showed both the successful reduction of the dental arch width ( $t_0$  39,33mm  $\pm$  4,16mm,  $t_1$  37,35mm  $\pm$  4,32mm anterior;  $t_0$  49,27mm  $\pm$  5,86mm,  $t_1$  45,76mm  $\pm$  4,56mm posterior) and the successful expansion of the maxilla ( $t_0$  32,08mm  $\pm$  2,47mm,  $t_1$  35,46mm  $\pm$  3,52mm anterior;  $t_0$  41,27mm  $\pm$  4,06mm,  $t_1$  45,98mm  $\pm$  4,91mm posterior) by using a RPE. All differences were significant.

Although we used identical appliance designs with opposite screw-activation as the only difference, the space gain by RPE use is more effective than arch reduction by TRA use. This can be accounted to the skeletal effect of the RPE, which is in contrast to the dentoalveolar effect of the TRA.

## 2 Einleitung

Apparaturen für eine Gaumennahterweiterung (GNE) existieren seit dem frühen 19. Jahrhundert. Die GNE ermöglicht die Therapie bei einer Oberkieferzahnbogenenge resultierend aus einer maxillären Mikrognathie. Die GNE wurde in Aufbau und Optik immer wieder modifiziert. Jedoch blieb eine geschlossene Schraube das Zentrum der Apparatur, die bei Aktivierung geöffnet wird und so eine skelettale transversale Nachentwicklung der Maxilla bewirkt. Handelt es sich jedoch um eine skelettale Makrognathie des Oberkiefers mit einer daraus resultierenden bukkalen Non-Okklusion, so sind bisher nur zwei Behandlungsapparaturen für die Therapie in der Literatur beschrieben [26, 40]. Mittels eines chirurgischen Eingriffs kann ein makrognather Oberkiefer transversal reduziert werden, aber es bestehen höhere Risiken als bei einer klassischen Therapie [75]. Da durchschnittlich bis zum 25. Lebensjahr lediglich ein Viertel der Sutura palatina mediana verknöchert ist, wäre theoretisch eine Reduktion der Oberkiefer-Transversalen nach dem Prinzip einer umgekehrten GNE möglich. Daher wurde in der Universitätsklinik des Saarlandes unter der Leitung von Prof. Dr. Jörg Lisson eine Apparatur entwickelt, die im Aufbau einer umgekehrten GNE entspricht [26]. Eine weitere konservative Therapie zur transversalen Reduzierung der Oberkieferzahnbogenweite ist in der Literatur bisher nur von HUA *et al.* beschrieben [40].

### 2.1 Anatomische Grundlagen

#### 2.1.1 Knochenentwicklung

Die Entwicklung von Knochen entsteht durch desmale oder chondrale Ossifikation. Bei der desmalen Ossifikation verdichten sich Mesenchymzellen und differenzieren zu Osteoblasten. Durch sie entsteht zunächst das Osteoid, welches anschließend mineralisiert. Je mehr Knochensubstanz sich bildet, desto mehr differenzieren sich die Osteoblasten zu Osteozyten. Die einzelnen Verknöcherungsregionen verbinden sich miteinander und bilden schlussendlich das Knochengerüst. Wird eine bestehende knorpelige Struktur zu Knochen umgebaut, spricht man von chondraler Ossifikation. Dabei hypertrophieren die Chondrozyten und das Knorpelmaterial kalzifiziert. Durch Ausschüttung des vascular endothelial growth factor sprossen Blutgefäße und Mesenchymzellen ein. Aus diesen differenzieren sich Chondroklasten, Osteoklasten und Osteoblasten. So wird Knorpelmasse ab- und Knochenmasse aufgebaut [69].

### 2.1.2 Knochenwachstum

Knochenwachstum kann seitens der Synchronosen, dem zwischen den Knochen liegenden Knorpelgewebe, erfolgen oder aber seitens der Suturen und durch Syndesmosen. Zudem kann Wachstum durch das den Knochen bedeckende Periost erfolgen. Es existiert zwar kein interstitielles Wachstum, jedoch gibt es intraossäre Umbauvorgänge, aufgrund der Anpassung an funktionelle Bedingungen [20]. Es bleibt offen, ob der Knochen primär wächst und ihm das Weichgewebe folgt, oder umgekehrt. Zudem wäre es möglich, dass sich die Wachstumshormone zu gleichen Teilen auf Binde- und Stützgewebe auswirken und sich proportional zueinander entwickeln [20]. Dem Knochenwachstum liegen mehrere Theorien zugrunde, welche nachfolgend näher beschrieben werden.

Die Theorie des klassischen Wachstums nimmt an, dass Hormone primär auf Knochen und Knorpel einwirken. Die Chondrozyten, die sich in den Synchronosen befinden, induzieren die Knochenneubildung. Teilt man die Zonen nach Aktivität ein, so ergeben sich wachstumsintensive Knorpel- und Knochengebiete („growth centers“), gefolgt von Suturen („growth sites“) und abschließend die von Periost bedeckten Knochenoberflächen („growth fields“). Somit wäre das Weichgewebewachstum das Resultat des Knorpel- und Knochenwachstums [20]. Dem entgegen steht die Theorie der funktionellen Matrix. Laut dieser entwickelt sich primär das Weichgewebe und diesem folgen sekundär Knochen- und Knorpelgewebe. Grundlegende physiologische Funktionen stellen den Wachstumsreiz dar. Es erfolgt eine Unterteilung in eine periostale und eine kapsuläre Matrix. Die periostale Matrix beeinflusst das Mikroskelett durch Zug des Periosts, so kommt es zu Wachstum und Transformation [20, 64]. Die letzte Wachstumstheorie beschreibt die simultane Wachstumssteuerung. Bei dieser Hypothese handelt es sich um einen Kompromiss beider oben erwähnten Theorien. Ausgangspunkt ist eine harmonisch aufeinander abgestimmte Entwicklung aller drei Teile: Knochen, Knorpel und Weichgewebe. Zudem wird der Zeitpunkt des Wachstums berücksichtigt, wonach entweder die funktionelle Matrix oder aber das Hartgewebe Anlass zur Größenzunahme geben [20].

### 2.1.3 Morphologie des Gaumens

Der Schädel lässt sich in das Neurocranium und das Viscerocranium unterteilen (Abb. 1). Zum Viscerocranium zählen die Maxilla, die Mandibula, die Ossa nasalia, ethmoidalia, palatina, lacrimalia, zygomatica, die conchae nasales inferiores und das Vomer (Abb. 2).

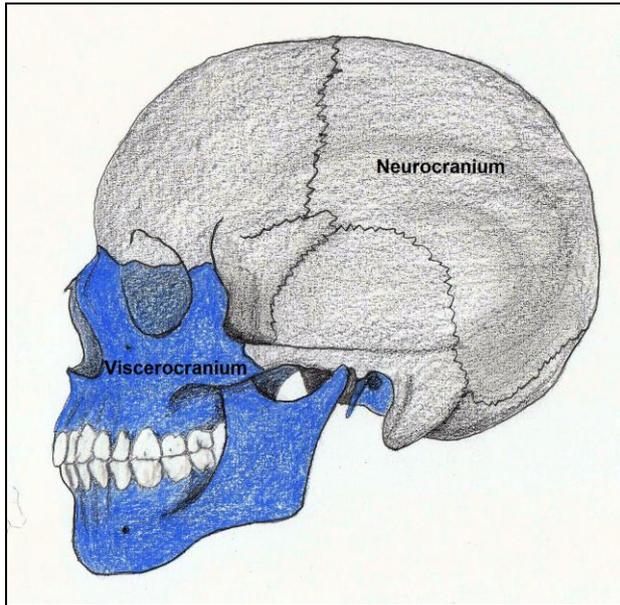


Abb. 1 Neurocranium (grau) und Viscerocranium (blau), Quelle: © Alexa van Schöll

Die ausgewachsene Maxilla unterteilt sich in einen Corpus mit vier Facies: nasalis, orbitalis, anterior und infraorbitalis, und vier Fortsätzen: Processus frontalis, zygomaticus, alveolaris maxillae und palatinus mit dem Os incisivum.

Dorsal liegt das Os palatinum, das mit den Processus palatini maxillae und der Lamina horizontalis den knöchernen Gaumen bildet. Die Sutura palatina mediana, transversa und incisiva verbinden diese Knochenfragmente miteinander (Abb. 3). Dorsal schließt sich der weiche Gaumen an.

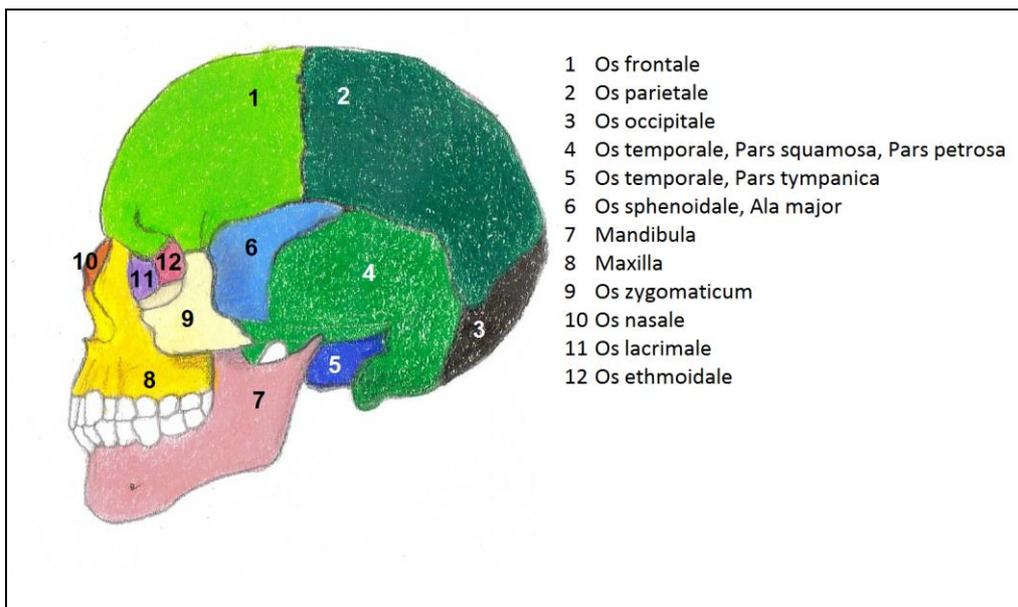


Abb. 2 Knochen des Schädels, Quelle: © Alexa van Schöll

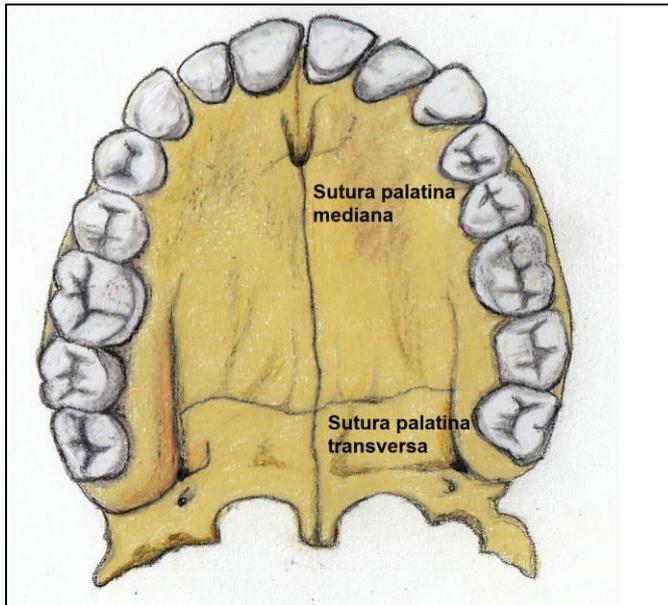


Abb. 3 Strukturen der Maxilla, Quelle: © Alexa van Schöll

#### 2.1.4 Entwicklung und Wachstumsphasen des Gaumens

Schon in der frühen Embryonalphase sind die Gesichtswülste zu erkennen: ein medianer Stirnwulst, paarig angelegte mediale und laterale Nasenwülste sowie die paarigen Oberkiefer- und Unterkieferwülste. Die pränatale Bildung der Maxilla entsteht in der 4.-5. Entwicklungswoche durch die Verschmelzung der Oberkieferwülste und lateralen Nasenwülste, die gemeinsam auf den medialen Nasenwulst zuwachsen. Unter Zersetzung der Epithelbarriere verbinden sie sich und es entsteht der primäre Gaumen. Die hinter diesem liegende Membrana oronasalis löst sich darauffolgend auf, sodass eine Verbindung zwischen den Riechgruben und dem Mund-Nasenraum entsteht [69, 74].

In der 7. Woche kommt es zur Ausbildung des sekundären Gaumens: die lateral des Sulcus alveolingualis hängende Gaumenfortsätze wachsen nach kaudal und umfassen beidseitig den Zungenwulst. Die Mundhöhle weitet sich aus, die Zungenanlage senkt sich nach kaudal und die Gaumenfortsätze richten sich auf. Eine Vereinigung zur Gaumenplatte erfolgt, wenn sich beide Gaumenfortsätze ausreichend nach medial und das Nasenseptum nach kaudal entwickelt haben [69, 74].

#### **Postnatales Wachstum der Maxilla**

Bis zum 5. Lebensjahr sind bereits 85% des Wachstums des Neurokraniums erfolgt, allerdings lediglich 55% des Viscerokraniums. Zum Zeitpunkt der Geburt ist das Viscerokranium verglichen mit dem Neurokranium relativ unterentwickelt. Eine deutliche Größenzunahme ist mit dem Durchbruch der ersten Dentition bis zum Ende des Zahnwechsels bemerkbar.

Appositions- und Resorptionsvorgänge wechseln sich dabei ab [76].

Bis auf die Synchronosis sphenoccipitalis sind bei der Geburt alle Synchronosen zu Suturen verknöchert [60]. Diese wurde schon zuvor als postnatales Wachstumszentrum beschrieben. Sie ist länger aktiv und nimmt so eine erhebliche Rolle für das Wachstum der Schädelbasis ein [20]. Die Maxilla erfährt bei der Größenzunahme eine Verlagerung nach ventro-kaudal, da die lokalen Wachstumsvorgänge hauptsächlich nach dorso-kranial gerichtet sind. Postnatal wird das Alveolarfortsatz-Wachstum durch den Zahndurchbruch induziert und erfolgt mittels Apposition (Abb. 4). Diese ist fast dreimal so groß wie die Apposition des Gaumendachs und des Nasenbodens, sodass die Gaumenkuppel an Höhe gewinnt. Zusätzliche Resorptionsabläufe an den Innenseiten der Maxilla gewährleisten eine Ausdehnung der Cava nasi und der Sinus maxillares [76].

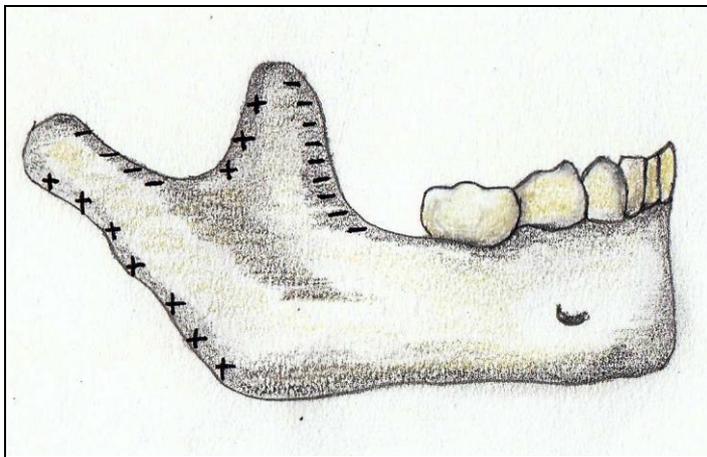


Abb. 4 Wachstumsrichtungen, Quelle: © Alexa van Schöll

### 2.1.5 Sutura palatina mediana

Die Sutura palatina mediana ist von wesentlicher Bedeutung für die transversale Breitenzunahme [60]. Allerdings differiert das Ende der Wachstumseffekte in Bezug auf Geschlecht und Alter [76].

Die Gestaltung der Sutura palatina mediana ist in jungen Jahren Y-förmig angelegt. Das Vomer liegt in einer V-förmigen Einbuchtung kranial der Suture. Mit zunehmender Sutureverzahnung entstehen mechanisch verankerte Knochenbrücken (Abb. 5). Diese sind so ausgeprägt, dass eine Separation beider Pars maxillae nicht ohne Fraktur möglich ist [60].

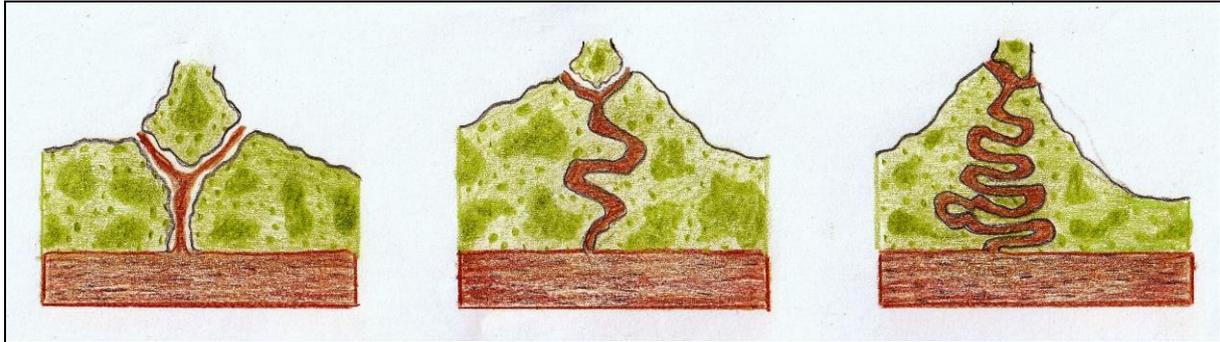


Abb. 5 Entwicklungsbiologische Veränderungen, Quelle: © Alexa van Schöll

Wann die Ossifikation einsetzt und wie sie sich entwickelt ist noch nicht eindeutig geklärt. Anhand von 28 Schädeln konnte radiologisch ermittelt werden, dass der Ossifikationsvorgang maßgeblich im posterioren Segment bei Eintritt in die adulte Phase einsetzt [22].

In einer Studie mit Erwachsenen der Altersspanne 18-38 Jahre wurde die histologische Korrespondenz zu einer radiologisch sichtbaren Suture untersucht. Allerdings ist diese nicht als histologisch äquivalent zu einer ossifizierten Suture zu betrachten. Daher rieten die Autoren vom Gebrauch der Termini „Obliteration“ und „Fusion“ ab [87]. ANGELIERI *et al.* entwickelten eine Klassifizierungsmethode zur Einteilung des Entwicklungsgrades der Suture [5].

### 2.1.6 Transversale Okklusionsanomalien

Aus ätiologischer Sicht erfolgt eine Einteilung der Anomalien auf skelettaler und dentaler Ebene. Die skelettalen Anomalien wirken sich auf die Sagittale, Transversale und Vertikale aus und betreffen die Kiefergröße und -position. In Bezug auf die Kiefergröße spricht man von einer maxillären oder mandibulären Makro- oder Mikrognathie. Die Kieferposition kann in Form einer Laterognathie im Sinne einer Schwenkung oder Versetzung betroffen sein. Vertikal wirkt sich die Anomalie im Sinne einer skelettalen Infra-/Supraposition aus. Okklusionsanomalien finden sich ebenfalls in allen drei Raumebenen und beziehen sich auf die Okklusionsebene. In diese Kategorie lassen sich für transversale Abweichungen eine fehlende Zahnbogenmittenübereinstimmung im Frontzahnbereich oder Kreuzbissbeziehungen im Seitenzahnbereich einteilen. Bei den Kreuzbissbeziehungen unterscheidet man einseitig- oder beidseitig auftretende Formen. In beiden Fällen kann der Oberkiefer das Unterkieferwachstum nach anterior hemmen und dadurch eine mandibuläre Rücklage in Form einer Zwangsrücklage bedingen (Pantoffel-Vergleich nach Körbitz in [42]).

## 2.2 Transversale Reduktionsapparatur

In der Literatur finden sich bisher nur zwei Beispiele, bei denen die Patienten unter einer maxillären Überexpansion leiden. HUA *et al.* beschrieben 2011 eine herausnehmbare Apparatur zur Kontraktion beider Pars maxillae bei einem 12-jährigen männlichen Patienten. Intraoral lagen ein einseitiger Kreuzbiss, ein asymmetrisch erweiterter Oberkieferzahnbogen mit einer Abweichung nach rechts um 1,8mm sowie ein interdentes Überangebot von 15mm vor. Extraoral imponierten ein inkompetenter Lippenschluss, ein konvexes Profil und ein asymmetrisches Weichgewebe. Das Therapiekonzept entsprach der Umkehrung einer langsamen Kieferexpansion wie aus der Gaumennahterweiterung bekannt. Die Apparatur war aktiv für sieben Monate in situ und als Retentionsgerät für weitere fünf Monate. Zur Nivellierung der Zähne und Neueinstellung der Okklusion wurde im Anschluss mit einer festsitzenden Apparatur gearbeitet. Zwar konnte die Breite des Alveolarfortsatzes um 3,31mm reduziert werden, jedoch stellte der Autor noch weitere Untersuchungsmethoden in Aussicht, um auch die skelettale Distanzverringerng verifizieren zu können [40].

2010 veröffentlichten GYR *et al.* eine Arbeit über eine dental-verankerte Apparatur zur Therapie der bukkalen Nonokklusion [26]. In der beschrieben sie zwei erfolgreiche Behandlungsbeispiele. Bei einem dreizehnjährigen männlichen Patienten fand sich eine maxilläre Makrognathie mit bukkaler Nonokklusion der Prämolaren und Molaren. Zudem lagen diverse Zahnstellungsanomalien, proklinierte Oberkieferfrontzähne und sowie Diastemata in der Unterkieferfront vor. Die mandibuläre Laterognathie von 1,5mm nach rechts führte zu inkongruenten Zahnbögen. Bei der siebzehnjährigen weiblichen Patientin fand sich klinisch eine Klasse III mit maxillärer Mikrognathie und Bukkalkippung der Molaren. Ziel bei dieser Patientin war die Einstellung kongruenter Zahnbögen vor chirurgischer Therapie. Beide Patienten wurden mit der Transversalen Reduktionsapparatur behandelt. Diese entsprach einer umgekehrten GNE-Apparatur zur rapiden maxillären Expansion. Es konnte bei beiden Probanden eine Reduktion der Zahnbogenweite erreicht werden, die mittels einer 3-D-Analyse bestätigt wurde. GYR *et al.* stellten insbesondere die asymmetrischen Zahnbewegungen bei symmetrischer Krafteinwirkung heraus. Beide Patienten erhielten eine Retentionsapparatur und im Anschluss eine Multiband-Behandlung [26].

### 2.2.1 Historie

Im Gegensatz zu der Gaumennahterweiterung, die schon Mitte des 18. Jahrhunderts beschrieben wurde, gibt es bisher lediglich zwei Fallbeschreibungen aus den Jahren 2010 und 2011. So können keine Vergleiche zu alternativen Apparaturen, die einen vergrößerten Oberkieferzahnbogen therapieren gezogen werden.

### **2.2.2 Anatomie**

Die Ätiologie der überexpandierten Maxilla ist komplex. Sie kann epidemiologischen Ursprungs und vererbt worden sein. Dann liegt eine skelettal vergrößerte Maxilla vor. Die Zähne sind meist kompensatorisch nach palatinal geneigt um in Okklusion mit den Zähnen des Unterkiefers zu stehen. Eine Makrognathie der Maxilla kann sich sowohl in der sagittalen wie auch in der transversalen Dimension darstellen. Bei einer transversalen Makrognathie kann ein ein- oder beidseitiger Kreuzbiss vorliegen, der dann der Grund für eine bukkale Nonokklusion ist. Exogene Ursache hierfür wäre eine Dyskinesie wie das Oberlippensaugen, oder eine transversale Zahnbogen-Inkongruenz. In diesem Fall wird nicht eine skelettale Kompression beabsichtigt, sondern eine dento-alveoläre Verkleinerung des Oberkieferzahnbogens. Ein transversal erweiterter Oberkiefer kann allerdings auch iatrogen hervorgerufen worden sein: lag zuvor eine sagittale Zahnstellungsanomalie im Front- oder Seitenzahnbereich vor, so kann in einer vorangegangenen Behandlung versucht worden sein, diese auf transversaler Ebene auszugleichen. Auch die alleinige Behandlung bei einer Klasse II,1 mit Mundvorhofpatte kann zu einer maxillären Pro- oder Makrognathie führen.

### **2.2.3 Indikation**

Da es kaum Erfahrungswerte gibt, auf die zurückgegriffen werden kann, lässt sich die Indikationsstellung auf der Umkehrung der Indikation für die GNE-Therapie formulieren:

Ein- oder zweiseitige, Kreuzbisse, ein transversales Überangebot von  $\geq 5\text{mm}$  und eine bukkale Nonokklusion.

### **2.2.4 Behandlungszeitraum**

Da bisher erst zwei Publikationen zur Reduktion einer transversal expandierten Maxilla erschienen sind, gibt es keine Festlegung des Behandlungszeitraums für eine Reduktion der Oberkieferzahnbogenweite. Resultierend aus den anatomischen Gegebenheiten und den Wachstumskurven wäre es denkbar, die Therapie frühestmöglich zu beginnen.

### **2.2.5 Biomechanik der TRA**

Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten ist das zu erwartende Behandlungsergebnis rein dento-alveolärer Natur. Es kann nicht zu einer Kompression der Sutura palatina mediana mit begleitender Knochenresorption kommen. Bei der festsitzenden Apparatur macht man sich die gleichmäßig verteilte Kraft auf den Knochen und die Zähne zu Nutze, um eine körperliche Bewegung der Seitenzähne nach palatinal zu erzielen.

### 2.2.6 Apparaturen

Im Gegensatz zu der großen Variation an diversen GNE-Apparaturen sind bisher lediglich eine Plattenapparatur und eine festsitzende Form beschrieben worden. Die herausnehmbare Plattenapparatur wurde von dem Autor als langsame Kontraktionsapparatur („slow maxillary contraction appliance“) geschildert [40]. Der Patient trug die Apparatur jeden Tag für sieben Monate und es erfolgte eine 90° Drehung der Schraube alle zwei Tage. Im Anschluss an die Behandlung verblieb diese noch für weitere fünf Monate zur Retention in situ. Bei der beschriebenen festsitzenden Form (TRA) handelt es sich um eine von den Zähnen und der Schleimhaut getragene Apparatur, in deren Mitte eine geöffnete Hyraxschraube lokalisiert ist (Abb. 6). Die Bebänderung erfolgte bei einem Patienten auf den Prämolaren und Molaren, bei dem anderen Patienten ausschließlich auf den Molaren [26]. Da diese Therapieform als Gegenteil der GNE anzusehen ist, kann man auch auf die bekannten Bauweisen zurückgreifen: Es ist auch eine chirurgisch-unterstützte Methode zur Korrektur der transversalen Disproportion denkbar.



Abb. 6 TRA in UDS, Quelle: © Klinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik des Saarlandes

### 2.2.7 Rezidivneigung

Es kann zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage zur Rezidivneigung getroffen werden. Allerdings sollte es nach Erreichen einer stabilen Okklusion im Sinne einer Neutralverzahnung in der Transversalen nicht zu einem Rezidiv kommen [31, 70].

## 2.3 Die Gaumen-Naht-Erweiterung

### 2.3.1 Historie

Schon im ersten enzyklopädischen Werk „Corpus Hippokratium“ wurden Zahnunregelmäßigkeiten, Anomalien und ein Zusammenhang zur Otitis auf Grund von behinderter Nasenatmung von dem Arzt Hippokrates beschrieben [62].

1860 beschrieb ANGELL eine durchgeführte forcierte GNE innerhalb zweier Wochen mittels „zwei sich in gegensätzlicher Richtung drehender Schrauben mit je einem Gewinde nach rechts und links und den Behandlungserfolg von ca. 6mm anhand des entstanden Diastema mediale.“ [6]. Zunächst stießen ANGELLs Rückschlüsse über die Suturen-Sprengung auf Ablehnung. Dreißig Jahre später wurde dieses Verfahren anerkannt: Es wurde der Vorteil der verbesserten Nasenatmung durch den verbreiterten Nasenboden hervorgehoben. 1909 wies LANDSBERGER als erster die Öffnung der Sutura palatina mediana mittels Röntgenbefundes nach [70]. Timms würdigte das Werk ANGELLs, da dieser erstmals eine zweifach wirkende Schraube verwendete, die Bedeutung der ersten bleibenden Molaren notierte und vorausschauend mit einer Retentionsplatte arbeitete: „The evidence is also substantial for a primary claim to use a double-action jackscrew, report the significance of the first permanent molars in the developing dentition, and use a retention plate“ [82, 83].

In den Jahren 1911 bis 1913 wurden von SCHRÖDER und BENSELER umfassende Arbeiten über die Erweiterung der Gaumennaht veröffentlicht. Ihr Interesse lag in der Verbesserung der Nasenatmung, begründet durch die expandierte Maxilla. Sie verwendeten erstmalig ein Gerät, das die Zähne körperlich fasste [62, 70]. Der Kieferorthopäde DERICHSWEILER präsentierte in den 1950er Jahren eine am Gaumen abgestützte Apparatur. Es sollte die Kippung der Ankerzähne vermieden werden und die auf den Knochen einwirkenden Kräfte waren größer [18, 19]. Weitere Forscher griffen diese Gedanken auf: BIEDERMANN entwickelte die Hyrax-Schraube. Mittels der zementierten Molarenbänder sollte die Mundhygiene verbessert werden. 1961 stellte HAAS eine GNE-Apparatur mit breitgefaste Kunststoffbasis vor, die dentalen Kippungen entgegenwirkte [27].

Ende des letzten Jahrhunderts entwickelte MOMMAERTS den »Transpalatal Distractor«: Nach einer Kortikotomie bewirkt dieser eine skelettale Kraftübertragung zur transversalen Nachentwicklung aufgrund zweier teleskopierender Zylinder, die unmittelbar am Knochen verankert sind. Es handelt sich um eine klinisch effiziente Technik für eine palatinale Expansion [63].

Aktuell liegt der wissenschaftliche Fokus nicht mehr auf Modifikationen des dentalen Designs, sondern auf der skelettalen Verankerung, um unerwünschte Nebenwirkungen wie Zahnkippen zu vermeiden. HARZER legte 2010 mit seiner forcierten Gaumennahterweiterung (Dresden Distractor) eine Vermeidung von Dehiszenzen, Resorptionen und Kippun-

gen dar [32]. Eine implantatgetragene Hyrax-Schraube bewirkt die Expansion der Maxilla. Neueste Entwicklungen sind die Hybrid-Hyrax nach WILMES [89] und die Hybrid-GNE nach LUDWIG. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus skelettal-dental-getragenen Konstruktionen. Ihr Halt wird durch Molarenbänder und Miniimplantaten gewährleistet [20, 89].

### 2.3.2 Anatomie

Uni- oder bilaterale Kreuzbisse können aufgrund von unterschiedlichen Zahnbogenbreiten des Ober- und Unterkiefers, oder durch Fehlstellung einzelner oder mehrerer Zähne zustande kommen. Daraus kann klinisch eine Okklusionsstörung oder Zwangsführung resultieren. Der Unterkiefer kompensiert dies durch Ausweichen nach lateral. So wird der Condylus mandibularis innerhalb der Fossa articularis versetzt und es entsteht ein Missverhältnis der Muskeln, Sehnen und des Discus articularis. Eine nicht behobene Zwangsführung kann sich skelettal manifestieren und zu einer Laterognathie führen. Zusätzlich erhöht sich das Risiko an einer craniomandibulären Dysfunktion zu erkranken.

Patienten mit einem Kreuzbiss zeigen oft ein defizitäres Oberkieferwachstum in der Transversalen in dem Quadranten, in dem der Kreuzbiss vorliegt. Als mandibuläre Reaktion ist der korrespondierende Quadrant im Unterkiefer transversal überentwickelt [80]. Häufig geht ein retinierter Oberkiefer Eckzahn im betroffenen Quadranten mit einem Kreuzbiss einher [31].

### 2.3.3 Indikation

Indikationen für eine GNE sind ein- oder zweiseitige Kreuzbisse, transversal hypoplastische Maxilla (transversales Defizit von  $\geq 5\text{mm}$ ) sowie ein daraus resultierender Frontzahnengstand [70]. Neben einem Kreuzbiss wird in der Literatur eine Zahnbogenerweiterung zur Vermeidung einer Zahnextraktion diskutiert [21]. Im Hinblick auf die Überexpansionsgefahr und die Rezidivanfälligkeit ist dies in Ausnahmefällen möglich [1, 91].

Laut der Ergebnisse einer 2005 durchgeführten nationalen Studie setzen 87,7% der Kieferorthopäden eine GNE bei Patienten im Wachstum ein, sofern eine transversale Unterentwicklung von  $5,29\text{mm} \pm 2,25\text{mm}$  vorliegt [47]. Es wurden positive Nebeneffekte der GNE auf den Respirationstrakt festgestellt [4]. Der dolichofaziale Gesichtstypus zeichnet sich durch einen hohen gotischen Gaumen aufgrund behinderter Nasenatmung aus. Sind die Atemwege aufgrund eines Passagehindernisses wie hypertrophe Tonsillen verlegt, sind die Entwicklung des Nasenlumens und ein Absenken des Nasenbodens verhindert. Der Patient wird dann zum Mundatmer, da der Luft-Übertritt von dem hinteren Nasenhauptteil in den Epipharynx vermindert ist. Etabliert haben sich otorhinologische Indikationen erst in den letzten Jahren: neben gezielter Verbesserung der Atmung, Beheben der Ronchopathie, Septumsdeformationen, persistierende Mundatmung trotz Entfernen von Adenoiden, sowie Mittelohrentzündungen und Tubenventilationsstörungen bei LKG-Spalten-Patienten [9, 17, 23]. Zudem ist eine Verbesserung mittels GNE bei Kindern, die unter Hypakusis leiden, bewiesen [50, 68,

78, 86]. Die GNE hat ein weitgefächertes Indikationsgebiet und kann als interdisziplinäre Therapie angewandt werden. Damit gehen eine genaue Diagnostik und Planung einher. In der Wechselgebissphase oder zu Beginn der 2. Dentition wird die GNE in einer konservativen Behandlung angewandt. Sobald die Suture verknöchert ist, bedarf es einer chirurgischen Intervention [31, 87]. Dies differiert aber sehr stark und ist röntgenologisch nicht endgültig zu diagnostizieren [2, 17, 19, 23, 33, 46, 61, 87, 93].

#### **2.3.4 Behandlungszeitraum**

In der Literatur lässt sich kein einheitlicher Konsens zu dem Behandlungszeitraum für eine GNE finden. Dies liegt an kontroversen Meinungen, aber auch in der individuellen Entwicklung der Patienten. 79,3% der befragten Ärzte gaben ein durchschnittliches Alter von 19 Jahren als limitierenden Faktor für eine konservative GNE an. Wann die Entscheidung für eine chirurgische Intervention fällt, konnte nicht bestimmt werden [47]. Die meisten Autoren sehen in dem Verschluss der Suturen und dem beendeten Mineralisationsvorgang ein Indiz für die chirurgisch unterstützte GNE [34].

Während die Suture im Kindesalter noch nicht mineralisiert ist, imponiert sie nach der Ossifikation beim Erwachsenen mit ineinander verzahnten Knochenbrücken, sodass dann eine Trennung in die zwei Oberkieferhälften ohne Fraktur nicht mehr möglich ist [60].

Bestmögliche Ergebnisse sind im frühen Wechselgebiss zu erreichen [8, 71]. Es gibt auch erfolgreiche Behandlungen im späten Wechselgebiss unter Verwendung einer Hyraxschraube zur Vermeidung von dentalen Nebenwirkungen [34]. In einzelnen Fällen wurde die Maxilla erfolgreich auf konservativem Wege bis zu einem Alter von 44 Jahren verbreitert [29, 30, 77]. Manche Autoren sprechen sich bei erfolgter Ossifikation für eine chirurgische Schwächung aus. Andernfalls sei die Sprengung der Suture nicht realistisch oder die Behandlung nicht nachhaltig [33]. HOLBERG *et al.* zeigten, dass die entstehenden Spannungen bei einem juvenilen Patienten moderat sind. In adulten Knochenstrukturen kann es jedoch aufgrund sinkender Elastizität unter anderem zu Verletzungen nervaler Strukturen kommen [38, 39]. Zur Erzielung von größtmöglicher skelettaler Modulation und stabilen Langzeitergebnissen ist eine Therapie vor dem Wachstumsmaximum optimal [8]. Somit lässt sich keine exakte Altersgrenze angeben. Da röntgenologisch nicht immer eindeutig zu ermitteln ist, inwiefern eine Suturenverknöcherung vorliegt, muss jeweils patientenabhängig eine Behandlungsmethode erwogen werden [87].

#### **2.3.5 Biomechanik der GNE**

Ziel ist eine Erweiterung der Gaumennaht und Verbreiterung der Maxilla durch die Öffnung der Sutura palatina mediana, da die Kräfte über die Ankerzähne auf den Oberkiefer übertragen werden. Herausnehmbare und festsitzende Apparaturen unterscheiden sich in dem Verhältnis Kraftangriff zu Drehmoment. So ist bei einer Oberkieferplatte zur Transversalerweite-

rung das Drehmoment relativ groß, der Kraftangriff punktförmig. Die Seitenzähne kippen nach bukkal. Eine festsitzende Apparatur hat ein kleines Drehmoment mit einem Vielpunkte-Kraftangriff, sodass die Bukkalbewegung der Seitenzähne körperlich ist [88]. Der zentrale Unterschied ist die einheitliche Kraftaufteilung auf die Wurzeln und den Alveolarknochen mittels fixierter Apparatur. Auch handelt es sich um eine forcierte Vorgehensweise. In kurzer Zeit wird die größtmögliche Expansionskraft innerhalb des Alveolarfortsatzes aufgebaut. Immer wieder wurden Gewebeschäden und Wurzelresorptionen vermutet [35, 66, 73]. Da die zum Knochenumbau führenden Mediatoren eine verzögerte Aktivität von bis zu drei Wochen besitzen, kommt es nicht zu einer orthodontischen Knochenresorption. Anhand der schematischen Darstellung der Entwicklung der Sutura palatina mediana lässt sich erkennen, dass die Sprengung bei einem Erwachsenen aufgrund der fortgeschrittenen Verzahnung erschwert ist (Abb. 5). Klinische Symptome sind das Spannungsgefühl des Patienten und das auftretende Diastema mediale. Letzteres ist reversibel und schließt sich spontan aufgrund des transseptalen Faserzugs. Einwirkungen auf die Nachbarstrukturen Apertura piriformis, Ossa ethmoidalia und zygomatica und das Vomer sind Frakturen und Deformationen [21]. Obgleich das Osteoid innerhalb der ersten drei Monate mineralisiert, verbleibt die Retentionsapparatur bis zu einem Jahr, da erst nach diesem Zeitraum neustrukturierter Knochen und eine stabile Situation vorliegen.

### 2.3.6 Überblick über die verschiedenen Apparaturen

Die vorhandene Gerätevielfalt lässt sich nochmals in drei Behandlungssystematiken unterteilen: Eine langsame Erweiterung der Gaumennaht (SME = slow maxillary expansion) mit geringer erzielter Expansion. Zudem eine zügige Erweiterung der Sutur (RME = rapid maxillary expansion) mit einer Aktivierung von ca. 0,5mm / Tag, und eine chirurgisch unterstützte Variante (SARME = surgically assisted maxillary expansion). Letztere wird in eine GNE mit paramedianer Schwächung oder modifizierter Le-Fort-I-Osteotomie unterteilt. Bei beiden Methoden wird die Maxilla iatrogen entkräftet und erst im Anschluss mit der Dehnung des Gaumens begonnen.

#### 2.3.6.1 Herausnehmbare Apparaturen

Plattenapparaturen werden insbesondere in der Wachstumsphase und bei palatinaler Kippung der Molaren angewandt. Das Therapiekonzept entspricht einer langsamen maxillären Expansion. Die herausnehmbare Zahnspange, deren Schraube der Patient 1-2 Mal pro Woche aktiviert, wird ganztägig getragen (Abb. 7). Das Ausmaß der linearen Bewegung (Hub) beträgt 0,2mm. Innerhalb eines Kontrollintervalls (üblicherweise 6 Wochen) ist eine Expansion von mehr als 1mm zu erwarten. Es findet jedoch nicht nur eine skelettale, sondern auch eine dentale Kompensation der Zähne mittels Kippung nach vestibulär statt [31, 70].



Abb. 7 Herausnehmbare GNE, Quelle: © Klinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik des Saarlandes

#### 2.3.6.2 Festsitzende Apparaturen

Bei der ursprünglich beschriebenen Gaumennahterweiterungsapparatur handelt es sich um eine festzementierte Apparatur mit palatinaler Hyrax-Schraube und vier konfektionierten oder individuell angepassten Ankerbändern, je zwei an den ersten Prämolaren und zwei an den ersten Molaren im bleibenden Gebiss, oder wahlweise den zweiten Milchmolaren und den Milcheckzähnen der 1. Dentition.

Die Aktivierung erfolgt durch den Patienten oder Behandler entweder mit dem Ziel der langsamen Dehnung (SME, slow maxillary expansion) oder der forcierten Expansion (RME, rapid maxillary expansion), mittels einer Schraube. Es kommt zur Öffnung der bei Jugendlichen noch nicht ossifizierten Sutur. Der Behandlungserfolg kann anhand des entstehenden Diastema mediale erkannt werden. Dieses verschließt sich in der anschließenden Retentionsphase von zwei bis sechs Monaten durch den Zug transseptaler Fasern ohne weiteres Zutun wieder [20]. Im Anschluss kann die Retention mit einer Oberkieferplatte für den Zeitraum von mindestens einem Jahr erfolgen. Das gebildete Osteoid mineralisiert erst nach drei Monaten und erst nach einem Jahr ist ein neustrukturierter Knochen vorhanden.

Man unterscheidet rein dental und kombiniert dental-skelettal verankerte GNE-Apparaturen voneinander. Eine schnelle maxilläre Expansion ist das Ziel. Die dental verankerten Apparaturen lassen sich in zwei Befestigungstypen klassifizieren: "banded expander", eine Bebänderung der Zähne, und "bonded expander", eine Apparatur mit Acrylüberzug der Zähne [65]. Die Apparaturen sind schleimhaut- und zahngetragen. Zentral im Gaumen ist eine aktivierbare Dehnschraube, meist Hyraxschraube, lokalisiert und über Retentionsarme an die Bänder fixiert. Die Aktivierung erfolgt bis zu 2-mal täglich. Es kommt zu einem Hub von 0,8mm – 0,9mm bei einer 360° Drehung [20]. Es kann eine Verankerung mittels zweier zementierter Bänder an den Sechsjahrmolaren und in Kombination mit einer okklusalen Auflage an den ersten Prämolaren oder den Molaren der 1. Dentition erfolgen. Eine Verankerung mittels vier Bändern ist ebenso möglich. Allerdings sind keine therapeutischen Abweichungen nachzuweisen.

### **2.3.6.3 Implantat-getragene oder -unterstützte Apparaturen**

2011 wurde eine Kombination aus Mini-Implantaten und posteriorer Verankerung an den Molaren entwickelt (Abb. 8). Die Implantate werden seitlich der Sutur oder hintereinander in den anterioren Bereich des Os palatum, zwischen der 2. und 3. Rugae palatina inseriert [89]. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Geschlechts oder aber des Seitenverhältnisses zur Insertion. Obgleich das Knochenangebot weiter dorsal reduziert ist, wird dieser Bereich ebenso als geeignet bewertet [25]. Andere Autoren postulieren große Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Testpersonen. Daher empfehlen sie eine hochauflösende Computertomographie-gestützte Bildgebung vor der Insertion [43]. Das geeignetste Knochenangebot ist am anterioren Gaumen, mittig um die Sutur. Lateral und dorsal dieses Bereiches verringert es sich [43, 90]. Mit den Implantat-Abutments und den Bändern ist ebenfalls eine Hyrax-Schraube verbunden. Nach der Behandlung erfolgt eine Retentionsphase von drei Monaten. Der frühe Behandlungsbeginn, die Möglichkeit zu behandeln, wenn die dentalen Verankerungsoptionen reduziert sind, sowie die Kombination mit einer Gesichtsmaske und die Vermeidung der Bukkalkippungen und Mesialwanderungen sind die entscheidenden Vorteile dieses Behandlungskonzepts [89].

Die Hybrid-GNE, eine ebenfalls festzementierte dental-skelettal-getragene Apparatur, ist eine weitere Modifikation. Zentral ist ein Snap-Lock-Expander, eine palatinale Splitschraube, positioniert. Deren Blattfeder-Mechanismus verhindert ein „Zurückdrehen“. Dominierend sind die skelettalen Effekte von 75% im Bereich des Diastemas und von 81% zwischen den Molaren. Vorteilhaft sind ein Behandlungszeitraum von 3 Monaten, gleichzeitig eine parallele Ausformung des Zahnbogens und das weitgefaste Spektrum der Früh-, Spät- und Erwachsenenbehandlung [54].



**Abb. 8 Hybrid-GNE, Quelle: Klinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik des Saarlandes**

#### 2.3.6.4 Chirurgisch-unterstützte Apparaturen

Bei abgeschlossener Ossifikation, kann eine Verbreiterung der Maxilla mittels chirurgisch-unterstützter GNE erreicht werden. Es existieren invasive Verfahren, mit mehr möglichen Komplikationen und weniger invasive Methoden, bei denen aber von parodontalen Problemen und/oder Brüchen ausgegangen werden muss [48]. Bei dieser Methode kann eine Kombination der horizontalen Osteotomie auf Höhe der Sutura zygomatico-maxillaris, einer seitlichen und medianen Osteotomie zur Schwächung des Oberkiefers und einer einseitigen oder beidseitigen paramedianen Osteotomie von palatinal erfolgen [31].

Eine 2013 durchgeführte Umfrage in Großbritannien ermittelte starke Schwankungen bei den Häufigkeiten von OP-Kombinationen: 91% nehmen eine mediane Sektion vor (Sutura palatina mediana), 70% der Befragten favorisierten eine anterior-lateral-posteriore-Kombination (apertura piriformis und zygomatic buttress) und 26% entlasten gar nicht nach posterior (processus pterygoidei) [56]. Das Alter wird als häufigster Grund bei einer chirurgisch unterstützten GNE genannt [10, 24]. "Im Patientenalter sahen 79,3% der Fachzahnärzte eine Indikation zu einer chirurgisch unterstützten GNE" [47]. Der zweitwichtigste Indikator für eine chirurgische Intervention war das Ausmaß der transversalen Diskrepanz mit 66,8% [47].

Zudem existiert die Option einer Le-Fort-I-Umstellungsosteotomie. Hierbei wird analog zu den Bruchlinien der Processus alveolaris maxillae von dem restlichen Schädel abgetrennt. Die Bruchlinie reicht vom Septum nasi bis hin zur Aperatura piriformis. Meist wird dies in Kombination mit anderen skelettalen Dysgnathien oder bei Lippen-Kiefer-Gaumenspalten-Patienten angewandt. Einzig eine transversale Enge des Oberkiefers stellt keine Indikation dar. In einem Vergleich wurde herausgearbeitet, dass es zwischen der chirurgisch-unterstützten GNE (SARME = surgically assisted rapid maxillary expansion) und einer raschen orthodontischen GNE (RME = rapid maxillary expansion) keinen Unterschied in der Patientenantwort zwischen den Testgruppen gab. Es stellte sich heraus, dass SARME eine erfolgreiche in Lokalanästhesie gut zu tolerierende Behandlungsmethode ist. Allerdings ist ebenfalls eine Überexpansion zur Vermeidung eines Rezidivs indiziert [4, 49].

In einem Vergleich zwischen einer skelettal- und dental-getragenen Apparatur nach SARME kam es gleichermaßen zur V-förmigen Verbreiterung der Oberkieferbasis und zur parallelen Erweiterung des Zahnbogens. Die Apparatur-Auswahl sollte den individuellen Gegebenheiten des Patienten entsprechend getroffen werden [92]. Auch wurden die Effekte von SARME mit und ohne Trennung der Processus pterygoidei untersucht [44, 45]. Bei jeglichen Formen der chirurgisch unterstützten GNE handelt es sich um eine etablierte Technik zur Korrektur der transversalen Diskrepanz. Es gibt keinen Konsens in der Literatur in Bezug auf das operative Verfahren, die Wahl des Distraktors, Indikationen, Rezidivneigung oder in welchem Maße eine Überkorrektur notwendig ist. Allerdings ist festzuhalten, dass mittels der weiter-

entwickelten Apparaturen ein vorhersehbares Ergebnis skizziert werden kann und die Inzidenz dentaler oder parodontaler Schäden immer geringer wird.

### 2.3.7 Rezidivneigung

Durch die mechanische Einwirkung kommt es zur Distraction der Partes maxillae innerhalb kurzer Zeit. Das zu erwartende Rezidiv eines solchen Eingriffs ist begrenzt, sofern die Retentionsphase ausreichend und stabil ist [18]. Bei den Studien zur Rezidivneigung einer GNE muss unterschieden werden, ob es sich um eine chirurgisch unterstützte oder eine klassische Therapie handelt. Es variieren die Ergebnisse bzgl. der Langzeitstabilität in Abhängigkeit von Operationstechnik, Alter, Retentionszeit und ob es sich um eine zahn- oder knochengetragene Apparatur handelt [48, 49, 59]. In der Retentionsphase wurde von einer Verringerung um 0,7mm im Bereich der Prämolaren berichtet. In der Post-Retentionsphase wurden hingegen Werte von 2,0mm - 2,6mm im Bereich der Prämolaren und Molaren ermittelt [13]. Eine weitere Studie belegte anhand von 112 Probanden, die einen Haas-Expander aktiv für 21 Tage und dann als Retentionsapparatur für 65 Tage trugen, einen Gewinn des Bogenumfangs von 6mm. Er bestätigte, dass es sich um eine effektive Behandlungsmethode handelte [59]. Einige Autoren sehen das Rezidiv als ein dentales Resultat an. Die skelettalen Veränderungen in der Vertikalen und Sagittalen seien demnach klinisch nicht signifikant, da bei der Studie der Gesamtrückfall lediglich 0,5mm - 1,00mm nach einem Jahr betrug [51]. Eine weitere Studie untersuchte vier Jahre nach der Behandlung die Stabilität einer zahn- und einer knochengetragenen Apparatur bei Jugendlichen im Alter von 13-15 Jahren. Beide Expansions-Systeme zeigten, dass die Veränderungen primär in der transversalen Dimension vorhanden waren. Allerdings war auch hier die dentale Expansion größer als die skelettale [51, 52]. In einer Metaanalyse wurden skelettale und dentale Langzeitveränderungen anhand zehn klinischer Studien im Zeitraum 1992 bis 2010 verglichen. Allerdings stellten sich hierbei nicht nur die verschiedenen Messvorgänge der einzelnen Autoren als Schwierigkeit heraus, sondern auch die Variabilität in puncto Retentionszeit, Nachhaltigkeit und angewandte Apparatur. VILANI *et al.* verwiesen auf stabile Molarendistanz, wohingegen eine Rückbildung der erworbenen Eckzahn-Abstände von 1,5mm signifikant war. Eine Überkorrektur erschien ihm als empfehlenswert [85]. Die Resultate der aktuellen Studien bestätigen die schon zuvor aufgestellte Hypothese, dass eine transversale Nachentwicklung und eine Überkorrektur von bis zu 1/3 notwendig sind. Mittels der schnellen GNE ist eine größtmögliche Suture-Erweiterung bei minimaler Zahnmobilisation erreichbar, da die Kraftübertragung ausschließlich auf den Knochen wirkt. Die benötigte Regenerationsphase beträgt 3-6 Monate, sodass die Kraftapplikation nicht zu einer Knochenresorption führt [3, 11, 20, 27, 28].

### **2.3.8 Nebeneffekte der Behandlung**

Insbesondere in den ersten Terminen geben Patienten Schmerzen und ein Spannungsgefühl an. Ferner variieren Schleimhautirritationen, Bukkalkippung der Seitenzähne, Schmerzen an den Verankerungszähnen, Rezessionen und Resorptionen. Die positiven Nebeneffekte für den oberen Respirationstrakt sind die Senkung des Gaumendachs und des Nasenbodens, sowie die Begradigung von Septumdeviationen. So kam es bei manchen Patienten zu der Spontanumstellung auf Nasenatmung bei vorheriger Mundatmung [19, 36]. Auch wurden verminderte Infektanfälligkeit, verbesserte Symptomatik bei Schlafapnoe und leichtere Mittelohrbelüftung aufgewiesen [20]. Es wurde eine durchschnittliche Erhöhung des Nasenvolumens von 5,1% beschrieben. Die größte Volumenzunahme (35,3%) wurde am vorderen Nasenboden gemessen. In Korrelation zu der V-förmigen Erweiterung der Sutur nahm diese nach cranial-posterior ab [17]. Zudem zeigte sich eine Verbesserung des obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms bei Kindern, die einer GNE in Kombination mit Atemübungen und gezieltem Muskeltraining unterzogen wurden [53]. Eine weitere Studie belegte, dass das naso-labiale Weichgewebe mit einer Verbreiterung der basalen Nasenweite, einem Einzug und einer Abflachung der Nasenspitze einhergeht [2, 36]. Kephalometrische und tomographische Aufnahmen haben die positiven skelettalen Folgen auf den gesamten Schädel und Respirationstrakt belegt. Jedoch ist es fraglich, diese Behandlungsmethode nur bei otorhinologischen Problemen anzuwenden. Es sollte eine transversal unterentwickelte Maxilla indiziert sein [23, 44, 46].

## **2.4 Ziele der Arbeit**

Die TRA wurde in der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums des Saarlandes inzwischen mehrfach eingesetzt. So ergibt sich die Möglichkeit einer erstmalig vergleichenden Studie, die den Erfolg der TRA sowie der GNE untersucht und gegenüberstellt. Dabei wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Kann eine Reduzierung der transversalen Zahnbogenbreite mit einer TRA erreicht werden?
- Zeigt die TRA dentale Nebenwirkungen und wenn ja, inwieweit sind skelettale Wirkungen zu erkennen?
- Ist der Behandlungserfolg der TRA verglichen zur klassischen GNE-Behandlung weniger wirkungsvoll?
- Zeigt die GNE eine größere transversale Expansion verglichen mit der transversalen Reduktion durch die TRA?

### **Nullhypothese**

Aus den oben genannten Fragestellungen lässt sich die Nullhypothese wie folgt formulieren:  
Es sind keine skelettalen und dentalen Unterschiede im Therapieerfolg der TRA im Vergleich zu der GNE erkennbar.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Probanden**

Anhand der Befund- und Behandlungsdokumentation, intraoraler Fotos und dreidimensional getrimmter kieferorthopädischer Modelle wurden aus dem Patientenpool der Klinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Homburg/Saar zehn Patienten mit transversal überexpandierter Maxilla ausgewählt. Korrespondierend hierzu wurden zehn Patienten mit umgekehrter Diagnose, einer transversal reduzierten Maxilla, selektiert. Da es sich um eine seltene Dysgnathie handelt, wurden alle in der Klinik vorstellig gewordenen Patienten gewählt: Ein TRA-Patient in der ersten Dentition, zwei TRA-Patienten im frühem Wechselgebiss, ein TRA-Patient mit spätem Wechselgebiss und sechs TRA-Patienten mit zweiter Dentition. Dem dentalen Alter der TRA-Patienten entsprechend wurden per Zufall aus dem Pool der GNE-Patienten übereinstimmende Partner gewählt. Es gab bei der Auswahl der Patienten keinerlei Beschränkung bezüglich Geschlecht oder Alter. Es wurden jeweils ein Modell unmittelbar vor Behandlungsbeginn ( $t_0$ ) ausgewählt und das Modell, das im Anschluss an die TRA- oder GNE-Behandlung ( $t_1$ ) entstanden ist.

#### **3.2 Transversale Reduktionsapparatur**

Die Transversale Reduktionsapparatur besteht aus einer geöffneten Hyrax-II-Spezialschraube (Dentaurum, Ispringen, Deutschland), die im Behandlungsverlauf geschlossen wird. Diese ist an die Bänder (Dentaurum) angeschweißt und entspricht so optisch einer „umgekehrten“ GNE-Apparatur. Die Anpassung der Bänder erfolgt auf den Molaren und Prämolaren je nach Dentitionsgrad. Die Schraube wird median auf Höhe der ersten Prämolaren positioniert. Nach zufriedenstellender Passung und Einweisung des Patienten in Mundhygiene und Schraubenaktivierung wird die Apparatur mit Ketac Cem Plus (Ketac Cem Plus, 3M Espe, Seefeld, Deutschland) einzementiert. Die Aktivierung der geöffneten Schraube erfolgt 1x / Woche oder 2x / Tag je nach Ausprägung der transversalen Überexpansion. Die lineare Bewegung (Hub) der sich schließenden Schraube beträgt 0,25mm. Nach Erreichen einer transversalen Neutralokklusion im Sinne einer stabilen Verzahnung wird die Schraube mit Zement (Ketac Cem Plus) verschlossen und bleibt als Retentionsapparatur in situ. Bei einigen Patienten wurde eine nachfolgende kieferorthopädische Behandlung mit Multibracketapparatur während des Retentionszeitraums begonnen.

### 3.3 Gaumennaht-Erweiterungs-Apparatur

Die Apparatur zur Gaumennahterweiterung besteht aus einer geschlossenen Hyrax<sup>®</sup>-II-Spezialschraube (Dentaurum), die im Therapieprozess geöffnet wird. Diese ist über die Molarenbänder (Dentaurum) verbunden. Mit genügendem Abstand zur Schleimhaut wird die Transversalschraube mittig im Gaumen platziert und mit den anderen Anteilen verschweißt, poliert und desinfiziert. Lediglich die Molarenbänder werden mit Zement (Ketac Cem Plus) befüllt und die Apparatur eingesetzt. Mit dem Patienten wird die Aktivierung der Schraube geübt und die Häufigkeit der Schraubenaktivierung, zwischen 1-2x / Tag, besprochen. Die lineare Bewegung (Hub) der sich öffnenden Schraube entspricht 0,25mm. Ein wöchentlicher Kontrolltermin zur Überprüfung des auftretenden Diastema mediale und der korrekten Handhabung erfolgt. Sobald eine transversale Neutralokklusion erreicht ist, wird die Schraube mit Zement (Ketac Cem Plus) verschlossen. Als Retentionsgerät verbleibt sie ohne weitere Aktivierung in situ, parallel können kieferorthopädische Behandlungen erfolgen.

### 3.4 Scanner

Zur digitalen Darstellung der Gipsmodelle wurde der 3D-Modellscanner OrthoXScan<sup>®</sup> der Firma Dentaurum verwendet (Abb. 9). Es wurden die Modelle von Patientenkiefen digital, dreidimensional erfasst, archiviert und mit dem Programm OnyxCeph<sup>3TM</sup> der Firma Image Instruments GmbH (Chemnitz, Deutschland) ausgewertet. Die kieferorthopädischen Modelle werden in den herausnehmbaren Modellhalter eingespannt, der mit einer Schwenk- und Rotationsachse verbunden ist (Abb. 11). Die Kamera ist mit einem 3D-Sensor und einer Positionierungsmechanik ausgestattet. Sie zeichnet während des Scanvorgangs ein von dem 3D-Sensor projiziertes Streifenmuster auf. Die Positionierungsmechanik gewährleistet Aufnahmen aus verschiedenen Winkeln. Die Software errechnet aus diesen einzelnen Messungen ein 3-dimensionales Abbild des gescannten Modells. Das Patientenmodell wird durch einen Klemmmechanismus auf dem herausnehmbaren Modellhalter befestigt (Abb. 10). Zunächst erfolgen der Scanvorgang des Ober- und Unterkiefers einzeln. Danach werden beide Modelle in Okklusion gescannt, der Vestibulärschan. Um Kippbewegungen zu vermeiden und die richtige Position zu gewährleisten wird ein Wachsbiss eingelegt. Nach korrekter Positionierung des Modellpaares wird dieses mittels Gummiband auf dem Modellhalter fixiert. Auf der Programmoberfläche werden durch Klicken der jeweiligen Buttons die zu scannenden Modelle ausgewählt und im Anschluss der Patientennamen eingegeben. Parallel zum Scanvorgang kann die erstellte Vorschau auf dem Bildschirm beobachtet werden. Nach dem Scanvorgang erfolgt ein Matching-Prozess. Im Anschluss werden die Daten geladen und angezeigt.



Abb. 9 Außenansicht Scanner, Quelle: © Dentaureum GmbH & Co. KG.



Abb. 10 Eingespanntes Modell, Quelle: © Dentaureum GmbH & Co. KG.



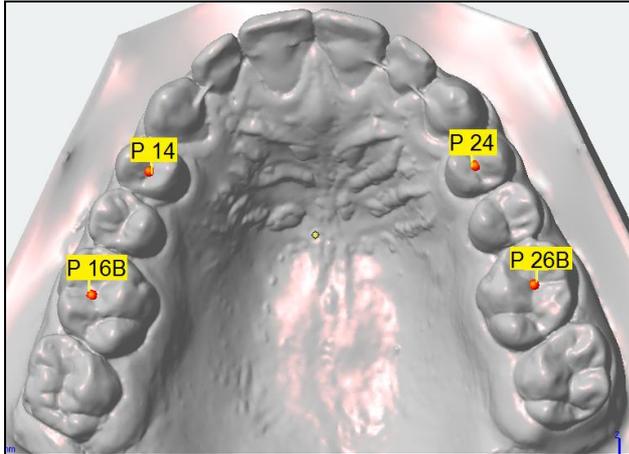
Abb. 11 Scanner Innenansicht, Quelle: © Dentaureum GmbH & Co. KG.

### **3.5 Modellauswertung**

Auf der Basis einer Alginat-Abformung (Kaniblu, Kanidenta GmbH & Co. KG, Herford) wurden aus Hartgips (Hinrizit®E, Ernst Hinrichs, Goslar, Deutschland) die Dokumentationsmodelle hergestellt. Zudem erfolgte in maximaler Interkuspidation ein Bissregistrar, welches die Relationen der Kiefer zueinander korrekt wiedergab. Die digitalisierten und visualisierten Modelle wurden mit der Analysesoftware OnyxCeph<sup>3TM</sup> ausgewertet. Das einheitliche Kephalometrie-Konzept 2D/3D gewährleistet beste Diagnose- und Planungsverfahren. Es können so Übertragungsfehler, wie sie bei der Verwendung von Schieblehren auftreten können, vermieden werden. Zunächst wurden die Modelle auf Löcher kontrolliert und sofern vorhanden, wurden diese gefüllt. Danach virtuell beschnitten, getrimmt, gesockelt und an der Okklusionsebene ausgerichtet. Für diese wurden der Inzisalpunkt des Schneidezahns und die Spitze des mesiobukkalen Höckers der ersten unteren Molaren als Referenzen festgelegt. Im Anschluss erfolgte für jedes Modell einzeln die Auswertung. Es wurden die beiden Analysen „Symmetrie“ und „Pont“ ausgewählt (Anhang: Auflistung der einzelnen Punkte und deren Bedeutung). Nicht nur die transversale Erweiterung ist relevant, sondern auch die Auswirkung auf den Gegenkiefer. Daher wurden im Unterkiefer die korrespondierend Punkte zu den im Oberkiefer ausgewählten Punkten gewählt.

### **3.6 Messpunkte**

Um die Modelle analysieren zu können, also Streckenmessungen und Seitenvergleiche durchzuführen, mussten Messpunkte gesetzt werden. Diese sind eindeutig definiert, reproduzierbar und universell. Der Index nach Pont gibt Richtwerte für die transversale Zahnbogenbreite im Prämolaren- und Molaren-Bereich in Abhängigkeit zu den mesiodistalen Breiten (SIOK) der vier oberen Schneidezähne an (Abb. 12). Jeweils in Bezug zu der vorderen oder der hinteren Zahnbogenbreite. In der Analyse des Symmetrievergleichs wurde dann der Abstand der Pont-Messpunkte zur Kiefermitte ermittelt (Abb. 13). Der gemessene Istwert wird mit der Hälfte des Sollwertes der Zahnbogenbreite verglichen. So kann eine asymmetrische Breitenentwicklung zwischen rechter und linker Kieferhälfte verdeutlicht werden.



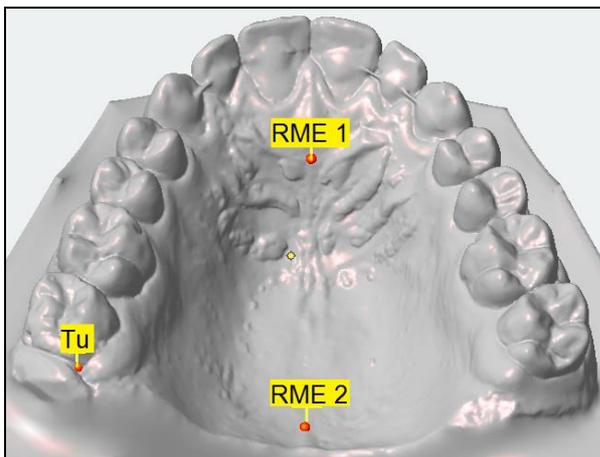
**Abb. 12 Punktsetzung der Analyse nach Pont**

P14 = Mitte der Hauptfissur des ersten rechten Prämolaren

P16B = Schnittpunkt der Querrfissur mit nach bukkal auslaufender Fissur des ersten Molaren des rechten Oberkiefers

P24 = Mitte der Hauptfissur des ersten linken Prämolaren

P26B = Schnittpunkt der Querrfissur mit nach bukkal auslaufender Fissur des ersten Molaren des linken Oberkiefers



**Abb. 13 Punktsetzung der Analyse der Symmetrie**

RME 1 = Abgang des zweiten Gaumenfaltenpaares der Raphe palatini

RME 2 = Übergang zwischen hartem und weichem Gaumen

Tu = Distaler Punkt des am weitesten posterior stehenden Molaren

### 3.7 Statistische Auswertung

#### 3.7.1 Angewandte Methoden

Die erhobenen Daten wurden in dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel<sup>®</sup> 2016 (Version 15.11 Microsoft Deutschland GmbH, München) anonymisiert gesichert. Mittels der Statistik-Software SPSS<sup>®</sup> („Statistical Package for the Social Sciences“, Version 23, IBM Armonk, NY, Vereinigte Staaten) wurden die importierten Daten ausgewertet. Sowohl tabellarisch, als auch in Form eines Boxplots, wurden für jede Variable der beiden Zeitpunkte  $t_0$  und  $t_1$  folgendes ermittelt: Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum. Zur Evaluation statistisch signifikanter Unterschiede zwischen den zwei Gruppen und innerhalb einer Gruppe wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test angewandt.

### 3.7.2 Systematik der Analysen und Zielsetzung

Der mittels SPSS durchgeführte Mann-Whitney-U-Test ist ein nichtparametrischer statistischer Test, der ermittelt, ob die zentrale Tendenz von zwei unverbundenen Stichproben unterschiedlich ist. Es handelt sich um einen Rangsummentest. Er dient der Überprüfung, ob zwei Verteilungen (TRA und GNE) zu derselben Grundgesamtheit gehören. Den ermittelten Werten wird innerhalb ihrer Gruppe aufsteigend vom kleinsten zum größten Wert ein Rang zugeteilt. Diese werden addiert und auf einen statistisch signifikanten Unterschied untersucht. Daher wurde auch eine Umkehrung der Vorzeichen bei den Ergebnissen der GNE-Werte durchgeführt. Verglichen zu dem Zeitpunkt  $t_0$  war bei diesen Patienten zum Zeitpunkt  $t_1$  der Wert größer. Subtrahiert man  $t_0-t_1$  ergibt sich ein Wert mit negativem Vorzeichen. Da somit eine falsche Rang-Verteilung der Variablen erfolgen würde, wurden die korrekten negativen Werte der GNE umgekehrt. So steht bei den Ergebnissen der Analyse ein positiver Wert für eine „Verbesserung“, ein negativer Wert für eine „Verschlechterung“- irrelevant, ob es sich um eine transversale Reduktion oder Expansion handelt.

Auch bei dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test handelt es sich um einen nichtparametrischen statistischen Rangsummentest. Er überprüft, ob der Median der Stichprobe von einem vorgegebenen Sollwert abweicht. Er testet nicht nur die Richtung der Differenzen, also die Vorzeichenverteilung, sondern berücksichtigt auch die Größe der jeweiligen Differenzen.

### 3.7.3 Auswertung

Visuell wurde mittels Boxplots das Streuungs- und Lagemaß der Datenverteilung dargestellt. Eine Box stellt 50% der mittleren Daten dar. Die zentrale schwarze Linie gibt den Median an, die 50% Perzentil. Je nach Lage des Medians erhält man einen Eindruck von der Neigung der Verteilung. Der obere Boxrand entspricht dem 75% Quantil, der untere dem 25% Quantil. Die T-Zeichen stellen jeweils die größten Beobachtungen ohne Ausreißer nach oben und nach unten dar, also die Maximal- und Minimalwerte der Messung.

Signifikanz bedeutet, dass ein Unterschied zwischen den zwei gemessenen Variablen vorliegt, sobald der p-Wert  $< 0,05$  ist. Ein Ergebnis der statistischen Berechnung ist umso signifikanter, je geringer der p-Wert ausfällt. Somit lässt sich für diese Studie folgendes Signifikanzniveau definieren:

- $p \geq 0,05$  = nicht statistisch signifikant
- $p < 0,05$  = statistisch signifikant
- $p \leq 0,01$  = hoch statistisch signifikant

### 3.8 Methodenfehler

Um die Exaktheit der Auswertungen gewährleisten zu können wurden aus jeder Gruppe jeweils 60% der Patienten willkürlich ausgewählt und deren Modell ( $t_0$  und  $t_1$ ) ein zweites Mal von dem gleichen Untersucher ausgewertet. Dies geschah im Abstand von acht Wochen zur ersten Evaluation um einen persönlichen Methodenfehler ausschließen zu können. Zur Fehlerberechnung der einzelnen Auswertungen wurde der Methodenfehler nach Dahlberg bestimmt:

$$MF = \sqrt{(\sum d^2 / 2n)}$$

Abb. 14 Verwendete Formel in Analogie zu Dahlberg (1940) zur Berechnung des Methodenfehlers (MF = Methodenfehler;  $d^2$  = Summe der quadratischen Differenzen der beiden Messungen;  $n$  = Anzahl der Messungen)

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Probanden

Die durchschnittliche Behandlungsdauer inklusive Retention, bis zur Abnahme der jeweiligen Apparatur oder bis zum Einsatz weiterer kieferorthopädischer Maßnahmen, betrug bei der TRA 86,2 Tage und bei der GNE 45,2 Tage. Die kürzeste Verweildauer der TRA entsprach 23 Tage, die längste 217 Tage. Bei der GNE-Therapie entsprach die kürzeste Zeit in situ 14 Tage und die längste Zeit 363 Tage.

### 4.2 Statistische Auswertung

#### 4.2.1 Vordere und hintere Zahnbogenbreite

Im Rahmen der TRA-Therapie kam es zu einer Verschmälerung der transversalen Breite des Oberkiefers. Die vZBB war zu  $t_0$  39,33mm  $\pm$  4,16mm, zu  $t_1$  37,35mm  $\pm$  4,32mm. Die hZBB war zu  $t_0$  49,27mm  $\pm$  5,86mm und zu  $t_1$  45,76mm  $\pm$  4,56mm. Es ist eine Reduktion bei der vZBB von 1,98mm und bei der hZBB von 3,51mm zu verzeichnen. Anhand des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests wurde gezeigt, dass sich sowohl die vordere Zahnbogenbreite (vZBB) als auch die hintere Zahnbogenbreite (hZBB) statistisch signifikant verändert hat ( $p$ -Wert 0,022).

Tab. 1 Vergleich der vorderen und hinteren Zahnbogenbreite (MW, SD) der TRA und GNE in [mm] für die Zeitpunkte  $t_0$ ,  $t_1$ . Vergleich der Tragedauer in Tage (MW, SD).

	MW	SD				
<b>Tage</b>	54,44	39,35				
	MW $t_0$	MW $t_1$	MW $\Delta$	SD $t_0$	SD $t_1$	SD $\Delta$
<b>vZBB</b>	39,33	37,35	1,98	4,16	4,32	2,55
<b>hZBB</b>	49,27	45,76	3,51	5,86	4,56	4,01

Tab. 2 Vergleich der vorderen und hinteren Zahnbogenbreite (Median, IQR) der TRA und GNE in [mm] für die Zeitpunkte  $t_1$ ,  $t_2$ . Angabe des  $p$ -Wertes.

	<b>T<sub>1</sub> vZBB</b>	<b>T<sub>2</sub> vZBB</b>	<b>p-Wert</b>
<b>TRA</b>	37,56 (8,05)	36,43 (4,95)	0,022
<b>GNE</b>	31,66 (4,86)	35,46 (5,60)	0,005
	<b>T<sub>1</sub> hZBB</b>	<b>T<sub>2</sub> hZBB</b>	<b>p-Wert</b>
<b>TRA</b>	47,86 (8,21)	47,46 (8,50)	0,022
<b>GNE</b>	39,95 (5,66)	45,62 (9,53)	0,005

Im Rahmen der GNE-Therapie war die vZBB zu  $t_0$   $32,08\text{mm} \pm 2,47\text{mm}$ , zu  $t_1$   $35,46\text{mm} \pm 3,52\text{mm}$ . Die hZBB war zu  $t_0$   $41,27\text{mm} \pm 4,06\text{mm}$  und zu  $t_1$   $45,98\text{mm} \pm 4,91\text{mm}$ . Es ist eine Expansion der vZBB von  $4,02\text{mm}$  und bei der hZBB von  $5,35\text{mm}$  festzustellen. Diese Werte für die vZBB und die hZBB sind statistisch signifikant verändert ( $p$ -Wert  $0,005$ ). Die Ergebnisse bedeuten eine erfolgreiche transversale Erweiterung der Maxilla. Die Veränderungen der Maxilla konnten durch Überlagerung der Modelle zusätzlich bildlich dargestellt werden, wobei das Modell zum Zeitpunkte  $t_0$  weiß und das Modell zum Zeitpunktes  $t_1$  eingefärbt ist (Abb.15 und 16).

Die Millimeterdifferenz zwischen der GNE- und der TRA-Apparatur entspricht  $2,05\text{mm}$  für die vZBB und  $2,44\text{mm}$  für die hZBB. Die Expansion im Bereich der Sutura palatina mediana war im Mittel um  $2,25\text{mm}$  erfolgreicher als die Kompression.

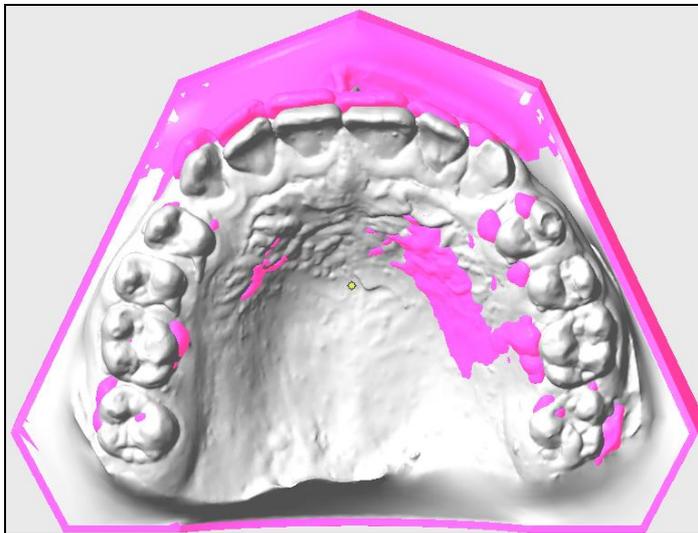


Abb. 15 Überlagerte OK-Modelle ( $t_0$  und  $t_1$ ) eines TRA-Patienten der 2. Dentition

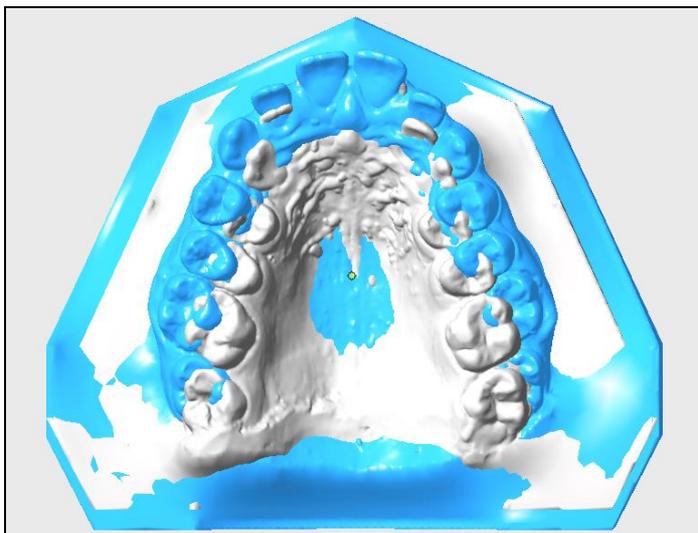


Abb. 16 Überlagerte OK-Modelle ( $t_0$  und  $t_1$ ) eines GNE-Patienten der 2. Dentition

#### 4.2.2 Vergleich von weiblichen und männlichen Patienten

Der Geschlechtervergleich zeigte eine Reduktion der vZBB bei den TRA-Patienten für die Mädchen um  $1,89\text{mm} \pm 3,02\text{mm}$ , für die Jungen um  $2,09\text{mm} \pm 2,07\text{mm}$ . Diese ist so deutlich, dass sie als statistisch signifikant gilt ( $p = 0,019$ ). Die Reduktion der hZBB hingegen war nicht statistisch signifikant (MW ♀:  $2,52\text{mm} \pm 3,42\text{mm}$ ; ♂:  $3,48\text{mm} \pm 3,29\text{mm}$ ;  $p = 0,067$ ). Der Vergleich der beiden Geschlechter für die der GNE-Patienten zeigte ebenfalls eine Vergrößerung der vZBB (MW ♀:  $-4,26\text{mm} \pm 2,17\text{mm}$ ; ♂:  $-3,04\text{mm} \pm 1,44\text{mm}$ ) und der hZBB (MW ♀:  $-4,72\text{mm} \pm 2,67\text{mm}$ ; ♂:  $-7,85\text{mm} \pm 1,32\text{mm}$ ), allerdings waren die Werte für diese Messungen nicht signifikant (vZBB:  $p = 0,711$ ; hZBB:  $p = 0,178$ ).

Tab. 3 Vergleich weiblicher und männlicher Patienten beider Therapien (Median, IQR). Veränderungen der vZBB und hZBB zwischen  $t_0$  und  $t_1$  in [mm] sowie IQR.

	Männlich	Weiblich	p-Wert
<b>TRA vZBB</b>	3,74 (5,29)	0,25 (1,25)	0,019
<b>TRA hZBB</b>	6,20 (6,34)	0,65 (4,07)	0,067
<b>GNE vZBB</b>	3,03 (?)	3,36 (3,25)	0,711
<b>GNE hZBB</b>	7,85 (?)	5,27 (5,45)	0,178

#### 4.2.3 Vergleich der 2. Dentition mit Wechselgebissphasen

Im Rahmen der TRA-Therapie verringerte sich die vZBB im Vergleich der Patienten der zweiten Dentition mit Patienten in den anderen Wechselgebissphasen (MW 2. Dentition:  $1,74\text{mm} \pm 1,88\text{mm}$ ; Wechselgebiss:  $2,31\text{mm} \pm 3,79\text{mm}$ ). Ebenso verringerte sich die hZBB (MW 2. Dentition:  $3,19\text{mm} \pm 3,41\text{mm}$ ; Wechselgebiss:  $2,47\text{mm} \pm 3,79\text{mm}$ ), jedoch waren die Unterschiede nicht signifikant ( $p\text{-Wert} > 0,05$ ).

Im Rahmen der GNE-Therapie zeigten weder die vZBB (MW 2. Dentition:  $-5,05\text{mm} \pm 2,78\text{mm}$ ; Wechselgebiss:  $-3,47\text{mm} \pm 0,43\text{mm}$ ;  $p = 1$ ), noch die hZBB (MW 2. Dentition:  $-6,84\text{mm} \pm 1,59\text{mm}$ ; Wechselgebiss:  $-4,60\text{mm} \pm 2,79\text{mm}$ ;  $p = 0,48$ ) signifikante Unterschiede zwischen der zweiten Dentition zu den anderen Gebissphasen unterschieden. Für beide Werte konnte eine Zunahme der transversalen Breite festgestellt werden.

Tab. 4 Vergleich der anderen dentalen Altersgruppen mit der 2. Dentition beider Therapien

	Wechselgebissphasen	2.Dentition	p-Wert
<b>TRA vZBB</b>	0,88 (6,13)	1,42 (3,27)	1
<b>TRA hZBB</b>	0,76 (6,07)	3,84 (5,94)	1
<b>GNE vZBB</b>	3,36 (0,79)	3,75 (5,65)	1
<b>GNE hZBB</b>	5,25 (5,17)	6,56 (4,15)	0,476

#### 4.2.4 Vergleich von TRA und GNE

Der Vergleich der beiden Behandlungsapparaturen miteinander zeigte transversale Unterschiede für die vZBB. Diese waren so deutlich, dass sie bei der Analyse als statistisch signifikant imponierten (p-Wert = 0,029). Für die hZBB wurden ebenfalls Differenzen gemessen, jedoch konnten im Vergleich TRA- und GNE-Therapie keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (p-Wert = 0,096). Aufbauend auf den oben genannten Vergleichen der 2. Dentition zu weiteren Wechselgebissphasen wurde jeweils die 2. Dentition der beiden Therapieformen miteinander verglichen. Die Untersuchungswerte der maxillären Reduktion bzw. Expansion waren erkennbar, jedoch konnten bei der Analyse keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden (vZBB: p-Wert = 0,093; hZBB: p-Wert = 0,132).

Tab. 5 Vergleich TRA- und GNE-Therapie miteinander und bezogen auf die 2. Dentition.

	TRA	GNE	p-Wert
<b>Allgemein vZBB</b>	0,88 (3,27)	3,36 (2,25)	0,029
<b>Allgemein hZBB</b>	2,36 (5,49)	6,25 (4,25)	0,096
<b>2.Dentition vZBB</b>	1,42 (3,27)	3,75 (5,65)	0,093
<b>2.Dentition hZBB</b>	3,84 (5,94)	6,56 (4,15)	0,132

### 4.3 Fehlerberechnung

Der Methodenfehler nach Dahlberg erfasst die während des Messprozesses durch den Untersucher oder bei den virtuell gesetzten Messpunkten entstandenen Fehler. Dieser war für die mesio-distalen Distanzen im Oberkiefer, die vordere Zahnbogenbreite im Ober- und Unterkiefer und für die hintere Zahnbogenbreite im Unterkiefer  $< 1$ . Für die hintere Zahnbogenbreite im Oberkiefer war er = 1.

Tab. 6 Darstellung des Methodenfehlers nach Dahlberg beschrieben für alle Variablen der Modellanalyse und Mittelwert des Methodenfehlers.

Variable	Bezeichnung	Methodenfehler
1	SIOK	0,47
2	vZBBo	0,59
3	hZBBo	1,10
4	vZBBu	0,97
5	hZBBu	0,41
<b>Mittelwert des Methodenfehlers</b>		0,71

## 5 Diskussion

Im Rahmen dieser Studie wurde der Erfolg der Therapie einer bukkalen Nonokklusion, resultierend aus einer maxillären Makrognathie, mittels einer Transversalen Reduktionsapparatur untersucht. Anhand eines Vergleiches mit einem dentitionsähnlichem Patientengut, jedoch einer transversalen Enge im Oberkiefer, wurde der Therapieerfolg belegt.

Die transversale Dimension eines Kiefers kann auch aufgrund eines Missverhältnisses zwischen der Zahnbreite und Kiefergröße in Form eines Platzdefizits vermindert sein. Liegt eine definitive Unterentwicklung eines Kiefers vor, spricht man von Mikrognathie bzw. Mikrogenie. Allerdings handelt es sich dann um eine verminderte Breite, die auch die sagittale und vertikale Dimension betrifft. Somit ist eine Unterscheidung weshalb eine transversale Anomalie vorliegt ausschlaggebend für den Behandlungsverlauf, da bei einem Missverhältnis keine Zahnbogenerweiterung, sondern eine Extraktionstherapie indiziert ist.

Mit einer verkleinerten Oberkieferbasis geht größtenteils ein Kreuzbiss, mit sich uni- oder bilateral kreuzenden Zahnbögen, oder aber eine Lingual- oder Bukkalokklusion, mit an dem jeweiligen Antagonisten vorbei beißenden palatinalen Höckern, einher [72].

Handelt es sich jedoch um eine aus der maxillären Makrognathie resultierenden bukkalen Nonokklusion, so sind Transversalen Reduktionsapparaturen als Therapieform bisher nur zweimal beschrieben [26, 40]. Zwar ist es mittels eines chirurgischen Eingriffs möglich eine vorliegende Makrognathie transversal zu reduzieren, jedoch ist der Patient damit höheren Risiken ausgesetzt als mit einer konventionellen Therapie. Da durchschnittlich bis zum 25. Lebensjahr lediglich ein Viertel der Suturen verknöchert ist, wäre eine Reduktion der Oberkiefer-Transversalen, die Umkehrung der GNE, genauso möglich.

### 5.1 Probanden

Aufgrund der Seltenheit der Dysgnathie konnten lediglich zehn Patienten, die mit einer Transversalen Reduktionsapparatur behandelt wurden, selektiert werden. Das Angebot an GNE-Patienten war größer. So wurden bezüglich des dentalen Alters korrespondierende Patienten frei gewählt. In einer von LAGRAVERE *et al.* 2006 untersuchten Metaanalyse ist die vorliegende Gruppengröße mit derjenigen aus anderen Untersuchungen vergleichbar [51]. Die vorhandenen Werte gewährleisteten bei den Statistikverfahren Mann-Whitney-U- und Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test eine Stichprobenverteilung sowie Prüfung der Nullhypothese.

Patienten mit Syndromen oder Entwicklungsstörungen wurden ausgenommen, sodass ungeprüfte Parameter oder falsch positive Ergebnisse ausgeschlossen werden konnten.

Das durchschnittliche Patientenalter der TRA-Patienten betrug  $15,2 \pm 6,1$  Jahre und der GNE-Patienten  $11,3 \pm 3,3$  Jahre. Der Behandlungsbeginn war durchschnittlich später als die von vielen Autoren geforderte Behandlung vor dem pubertären Wachstumsgipfel. Dieses liegt laut Harzer bei Mädchen im Zeitraum von 9-11 Jahren, bei Jungen von 12-13 Jahren [31]. Insbesondere während der Pubertät eines Patienten ist der Wachstumsschub relevant. In diesem Zeitraum kann eine Synchronisierung zwischen Maxilla und Mandibula durch therapeutische Stimulation des unterentwickelten Kiefers bestmöglich erzielt werden. Zwei Jahre nach dem Wachstumsgipfel ist das kieferorthopädisch ausnutzbare Wachstum beendet [42]. Eine Einwirkung ist dann nur bedingt möglich.

Anhand dieser Studie konnte sowohl die skelettale als auch die dentale Wirkung der jeweiligen Apparaturen herausgestellt werden.

Der Pool der TRA-Probanden war begrenzt durch die geringe relevante Patientenzahl. Es wurden die GNE-Patienten den TRA-Patienten bestmöglich angeglichen. Allerdings lag nicht das biologische, sondern das dentale Alter im Focus. Kieferorthopädisch relevant ist das skelettale Alter, für den Beginn der orthodontischen Therapie hingegen ist das Dentitionsalter bestimmend [31]. Die TRA-Behandlung soll auch das skelettale Wachstum beeinflussen. Daher darf das Wachstum nicht abgeschlossen sein. Um dies isoliert betrachten zu können sind nicht nur ein größerer Patientenpool mit maxillärer Makrognathie notwendig, sondern auch Probanden, die vor oder während des Wachstumsschubes behandelt werden. Dies bestätigt, dass die Verringerung der Zahnbogenbreite dentalen Ursprungs ist. Ob eine transversale Reduktion mit der TRA auf skelettaler Ebene genauso zu erreichen ist wie eine transversale Expansion mittels GNE lässt sich anhand dieser Probanden nicht feststellen. Auch im geschlechtlichen Vergleich der Ergebnisse lässt sich dies darstellen: Die männlichen TRA-Probanden waren durchschnittlich 12,8 Jahre, die weiblichen TRA-Probanden hingegen 17,5 Jahre. Es ist anzunehmen, dass die Reduktion der vZBB bei den männlichen Probanden deswegen statistisch signifikant war, da diese Gruppe im idealen Behandlungsalter lag.

## 5.2 Transversale Reduktionsapparatur

Eine 1980 von THILANDER veröffentlichte Arbeit über die Beeinflussbarkeit des suturalen Wachstums stellte heraus, dass eine orthodontische Expansion oder Kompression, möglichst vor der Hyalinisierung eingesetzt werden sollte [79]. Belege oder drauffolgende Studien über strukturelle Veränderungen blieben aus. Es existieren nur zwei Literaturangaben zu der Therapie einer überexpandierten Maxilla: HUA *et al.* berichteten über einen Patienten mit einseitigem Kreuzbiss und asymmetrischem Zahnbogen, dessen Zahnstellungsanomalie zu Mastikations-Problemen führte. Nach zwölf Monaten Therapie mittels herausnehmbarer Kontraktions-Platte erfolgte eine Multibandbehandlung [40]. GYR *et al.* berichteten zur Therapie

der bukkalen Nonokklusion von einem Patienten mit maxillärer Makrognathie und linksseitiger Nonokklusion im Prämolaren- und Molarenbereich, sowie von einer Patientin mit maxillärer Mikrognathie und ausgeprägter Bukkalkippung der oberen Molaren. Beide wurden mittels festsitzender Apparatur (TRA) therapiert [26]. Da es sich um zwei verschiedene Behandlungsmethoden (herausnehmbar/festsitzend) handelt, sind die Ergebnisse nicht eindeutig vergleichbar. Es können jedoch Parallelen festgestellt werden. Beide Arbeiten zeigen, dass die Therapie der bukkalen Nonokklusion durch eine Aufrichtung der nach bukkal gekippten Seitenzähne erfolgreich erreicht wurde. Daraus resultierte eine Verringerung der anterioren sowie posterioren Zahnbogenbreite. Diese kann durch die Ergebnisse dieser Studie bestätigt werden. Bei einer herausnehmbaren Apparatur ist dieses Ergebnis nicht in einer körperlichen Bewegung begründet, sondern in einer dentalen Kippung. Es gibt bei dieser Therapieform keine skelettalen Effekte. Daher ist davon auszugehen, dass eine Rezidivneigung größer ist. Es ist fraglich, inwiefern der Vorteil der herausnehmbaren Apparatur, die bessere Hygienefähigkeit, dem Nachteil der Compliance-Abhängigkeit überwiegt. Die festsitzende Apparatur ist zwar schlechter zu reinigen, allerdings wirkt sie unabhängig von der Compliance 24h/Tag. Zudem ist anzunehmen, dass eine Kompression der Sutura palatina mediana durch eine festsitzende Apparatur erfolgt. Ein Knochenabbau der Kompakta und der Spongiosa des Knochens sind durch Druckatrophie beschrieben [55, 81]. Um dies zu belegen müssen weitere Studien erfolgen. Auch im geschlechtlichen Vergleich lässt sich darstellen: Die männlichen TRA-Probanden waren durchschnittlich 12,8 Jahre, die weiblichen TRA-Probanden hingegen 17,5 Jahre alt. Die Reduktion der vZBB bei den männlichen Probanden lässt sich damit erklären, dass diese Gruppe im idealen Behandlungsalter lag.

### **5.3 Gaumennaht-Erweiterungs-Apparatur**

Die Aktivierung erfolgt durch den Patienten oder Behandler entweder mit dem Ziel der langsamen Dehnung (SME, slow maxillary expansion) oder der forcierten Expansion (RME, rapid maxillary expansion) mittels einer Schraube. Es kommt zur Öffnung der bei Jugendlichen noch nicht ossifizierten Sutur. Der Behandlungserfolg kann anhand des sich bildenden Diastema mediale dokumentiert werden. Dieses verschließt sich in der anschließenden Retentionsphase von zwei bis sechs Monaten durch den Zug transseptaler Fasern wieder [20]. Im Anschluss erfolgt eine Oberkieferplatte zur Retention für den Zeitraum von mindestens einem Jahr. Das gebildete Osteoid mineralisiert erst nach drei Monaten und erst nach einem Jahr ist ein neustrukturierter Knochen vorhanden.

Da die Ossifikation der Sutur Schwankungen unterliegt, existiert noch eine weitere Therapieform: Die chirurgisch unterstützte GNE. Bei dieser Methode kann eine Kombination der horizontalen Osteotomie auf Höhe der Sutura zygomatico-maxillaris, einer seitlichen und medianen Osteotomie zur Schwächung des Oberkiefers und einer einseitigen oder beidseitigen

paramedianen Osteotomie von palatinal erfolgen [20]. Die Schneidezahnbreiten und die transversale Ausdehnung des Zahnbogens im Seitenzahngbiet stehen zueinander in Bezug. So ist aufgrund der Raphe-Median-Ebene als Bezugsebene ein transversaler Symmetrievergleich möglich. Daher kann ermittelt werden, ob ein seitlicher Kreuzbiss, ein lateraler Zwangsbiss oder eine Unterkieferschwenkung vorliegen.

Die bisherigen Studien zur GNE befassen sich mit den Modifikationen der Apparatur, biomechanischen Vorgängen, Rezidiven, Auswirkungen auf den oro-pharyngeal-Komplex oder ob die Behandlung chirurgisch unterstützt oder konservativ durchgeführt wurde [72].

#### **5.4 Modellauswertung**

In dieser Studie wurde ein Modell vor Behandlungsbeginn ( $t_0$ ) und ein im Anschluss an die Behandlung ( $t_1$ ) entstandenes Modell ausgewertet. Zur Fehlerreduzierung und Reproduzierung wurden die Modelle von Patientenkiefen mittels eines Scanners dreidimensional erfasst und ausgewertet wie es in ähnlichen Studien erfolgt ist [12, 16, 37, 41, 57, 84]. Die Platzierung der Punkte und die Messung sind vergleichbar mit der analogen Auswertung mittels Schieblehre. Ablesefehler können durch diese Methode eliminiert werden. Da die Punktsetzung für jeden Behandler minimal abweicht und so individuelle Fehler entstehen können, wurden alle Modelle von einem Behandler in einem kurzen Intervall (3 Wochen) ausgewertet. Zwei Monate später erfolgte eine weitere Evaluation und Berechnung des individuellen Methodenfehlers [15]. Wie anhand des Methodenfehlers ersichtlich, kam es zu keinen nennenswerten Abweichungen. Für die Streckenmessungen und Seitenvergleiche sind diverse Messpunkte möglich: Die Zahnbogenvermessung nach KORKHAUS, nach BOTON, nach LINDER und HARTH oder auch der Index nach PONT. Letztere wurde 1909 von PONT entwickelt, nachdem dieser aufgrund von Mittelwerten eines ideal geformten Kiefers die Abhängigkeit zwischen der Breitensumme der Inzisivi und der transversalen Zahnbogen-Ausdehnung im Seitenzahnbereich postuliert hatte. Da es sich um eine südfranzösische Population handelte, wurden seine Werte von KORKHAUS, LINDER und HARTH der hiesigen Bevölkerung angepasst. Dennoch wurden PONTs Messwerte ausgewählt, da sie sich über das letzte Jahrhundert bewährt haben. Die Werte dürfen nicht therapeutisch übertragen werden. Sie dienen lediglich als Orientierungspunkte, ermöglichen eine Beurteilung der Transversalen und helfen eine Therapie zu planen. Um den Symmetrievergleich zu ermöglichen wurde zudem der Abstand der Pont-Messpunkte zur Kiefermitte ermittelt [42].

#### **5.5 Statistische Auswertung**

Die statistische Signifikanz für die vZBB bei dem Vergleich der TRA mit der GNE lässt sich anatomisch belegen: PERSSON und THILANDER stellten 1977 nicht nur große Variationsbreite beim zeitlichen Einsatz der Ossifikation heraus, sondern auch, dass diese oral und

posterior früher als nasal und anterior beginnt [67]. ENNES *et al.* und weitere Autoren bestätigten dies [7, 22, 69].

Die TRA-Probanden waren im Durchschnitt 15,6 Jahre alt. Von einer beginnenden Ossifikation im dorsalen Segment ist bei dieser Gruppe eher auszugehen, als bei den GNE-Probanden, deren Altersdurchschnitt 11,6 Jahre betrug. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Wachstumsgipfel beider Geschlechter kann dies das signifikante Ergebnis erklären [31].

Betrachtet man die Ergebnisse der TRA-Behandlung separiert, zeigen sich diese als statistisch signifikant. Man kann von einer erfolgreichen Reduktion des Oberkiefers mittels TRA sprechen. Die vZBB hat sich im Mittel um ca. 2,0mm und die hZBB um ca. 3,5mm verringert. Die vZBB der GNE hat sich um ca. 3,4mm und die hZBB um ca. 4,7mm verbreitert. Da es anatomisch irrelevant ist, ob eine Zahnbewegung nach palatinal oder bukkal erfolgt, ergibt die Subtraktion die skelettale Expansion: Diese ist nur durch die Erweiterung der Sutur erreichbar.

Daher kann diese Therapie nicht in dem gleichen Maße erfolgreich sein wie die GNE. Dies würde eine Kompression der Sutur und damit eine Knochenatrophie bedeuten. Intra- und extraossäre Arterien würden zunächst eine Zirkulationsstörung erfahren. Durch die Minderversorgung käme es zu einer vaskulären Atrophie, die die Auflösung der Knochenstruktur und letztlich Deformitäten mit sich bringen würde [14, 58].

Daraus resultiert die Erkenntnis, dass die TRA zwar eine Umkehrung der GNE in Funktion und Mechanismus ist, man aber nicht mit der gleichen Ergebnis-Spannweite rechnen kann. Die Anatomie der Maxilla begrenzt das Wirkspektrum der TRA.

Vergleicht man die Ergebnisse mit den Werten der herausnehmbaren Apparatur von HUA *et al.* so ergibt sich für die festsitzende TRA eine Reduktion von 0,8mm für die vordere und 0,94mm für die hintere Zahnbogenbreite [40]. Dies lässt sich damit erklären, dass die TRA eine festsitzende Compliance-unabhängige Apparatur ist. Zudem erfolgte die Bebänderung auf den Prämolaren und/oder Molaren und wirkt sich somit stärker auf den vorderen und hinteren Zahnbogen aus als eine herausnehmbare Apparatur mit Halteelementen.

## 5.6 Methodenfehler

Der durchgeführte Methodenfehler nach Dahlberg bestätigt die korrekte Punktsetzung und Auswertung. Er liegt unterhalb des Grenzwertes 1 und ist somit reproduzierbar.

## 5.7 Schlussfolgerung

Es ergeben sich bezugnehmend auf die Ziele der Arbeit folgende Erkenntnisse:

Mittels der TRA ist einer Reduzierung der transversalen Zahnbogenweite möglich. Sowohl die vordere als auch die hintere Zahnbogenbreite wurde signifikant verringert.

Skelettale Einwirkungen sind nicht nachweisbar. Die Effekte der TRA sind anhand der vorliegenden Studie nur dental messbar. Insbesondere nach bukkal gekippte Seitenzähne wurden aufgerichtet und eine Zahnbogenweite damit dental kompensiert.

Mittels TRA erfolgt keine Suturenkompression. Daher sind die erreichbaren Strecken geringer als bei der GNE. Diese wirkt auch skelettal und kann eine größere Expansion erreichen, da eine Suturensprengung erfolgt. Damit lässt sich postulieren, dass der Behandlungserfolg der TRA verglichen zur GNE auf skelettaler Basis weniger wirkungsvoll ist. Die transversale Expansion ist bei der GNE größer als die Reduktion durch die TRA. Dies ist in der skelettalen Wirkweise der GNE begründet.

Die oben genannten Schlussfolgerungen widerlegen somit die eingangs formulierte Nullhypothese: Reduktion der Zahnbogenweite mittels TRA erfolgt hauptsächlich auf die Dentition und nicht auf das Skelett.

## 5.8 Fazit

Die Studienergebnisse dokumentieren die signifikante Reduktion der Zahnbogenweite mittels TRA sowie die effektive Expansion einer Oberkiefer-Zahnbogenenge mittels GNE. Es überwiegt bei der TRA die dentale Komponente, sodass diese zum Aufrichten von nach bukkal geneigten Zähnen genutzt werden kann. Die Apparatur ist hierfür besonders geeignet, da die Konstruktion aufgrund der hohen gerichteten Kraft und der starren Verankerung eine körperliche Bewegung der Zähne ermöglicht.

## 5.9 Ausblick

Mit der TRA können die transversale Expansion der Maxilla, die anteriore und die posteriore Zahnbogenbreite reduziert werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Untersuchungen an einem kleinen Patientengut durchgeführt wurden. Es ist wünschenswert einen größeren Probandenpool zu untersuchen. Besonderes Augenmerk muss hierbei auf das skelettale Alter in Verbindung mit dem Geschlecht gelegt werden. Um die tatsächliche skelettale Einwirkung der TRA ermitteln zu können muss der Behandlungsbeginn vor oder während des Wachstumsschubes erfolgen. Hierzu wäre eine detaillierte Untersuchung der exakten anatomischen Expansion der Sutura palatina mediana durch die GNE notwendig. Darauf aufbauend kann dann eine Reduzierung der maxillären Breite durch Kompression der Sutur ermittelt werden. Um die Streckenveränderungen zu ermitteln wurde als diagnostisches Instrument ausschließlich die 3D-Auswertung gewählt. Um strukturelle Veränderungen bestmöglich darzustellen sind weitere bildgebende Verfahren wie die Computer- oder die Magnetresonanztomographie notwendig. Auswertungen mittels eines Fern-Röntgen-Seitenbildes (FRS) sind unerheblich, da diese den Schädel in der Lateralen zeigen und somit keine transversalen Effekte analysiert werden können.

Zudem müssen bei der Auswahl der Probanden weitere Parameter wie Spaltbildungen, Syndrome oder Erkrankungen ausgeschlossen werden. Sie verfälschen die Ergebnisse.

Es ist bewiesen, dass die GNE positive Nebeneffekte auf den oberen Respirationstrakt wie die Senkung des Nasenbodens hat. Unsicher ist, ob die TRA negative Effekte auf den oropharyngealen Komplex haben könnte. Inwiefern eine Kompression der Sutur Septumdeviation oder verminderte Mittelohrbelüftung mit sich bringt ist noch nicht untersucht.

Der Therapieerfolg der GNE ist anhand des sich bildenden Diastema mediale zu dokumentieren. Ungeklärt bleibt, ob ein bestehender Frontzahnengstand wie approximales Überlappen der Inzisalkanten, durch die TRA-Behandlung verstärkt wird. Bei weiteren Studien müssen Wurzel- und koronaler Engstand separiert beurteilt werden. Dabei ist patientenindividuell auf die Zahnkronenmorphologie einzugehen. Langzeitstudien zur Untersuchung der Rezidivneigung der TRA und auch im Vergleich zum Rezidivverhalten der GNE sind denkbar.

## 6 Verzeichnisse

### 6.1 Literaturverzeichnis

1. Agarwal A, Rinku M (2010) Maxillary Expansion. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 3: 139-146
2. Altorkat Y, Khambay BS, McDonald JP, Cross DL, Brocklebank LM, Ju X (2014) Immediate effects of rapid maxillary expansion on the naso-maxillary facial soft tissue using 3D stereophotogrammetry. *The Surgeon: Journal of the Royal Colleges of Surgeons of Edinburgh and Ireland*: 63-68
3. Altug Atac AT, Karasau HA, Aytac D (2006) Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion Compared with Orthopedic Rapid Maxillary Expansion. *Angle Orthodontist* 76: 353-359
4. Altug Atac AT, Atac MS, Kurt G, Karasud HA (2010) Changes in nasal structures following orthopaedic and surgically assisted rapid maxillary expansion. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 39: 129-135
5. Angelieri F, Cevidanes LHS, Franchi L, Goncalves JR, Benavides E, McNamara JA (2013) Midpalatal suture maturation: Classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 144: 759-769
6. Angell EC (1860) Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. *Dent Cosmos*: 99-600
7. Arnold WH, Sperber GH, Machin GA (1998) Craniofacial skeletal development in three human synophthalmic holoprosencephalic fetuses. *Annals of Anatomy* 180: 45-53
8. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA (2001) Treatment Timing for Rapid Maxillary Expansion. *The Angle Orthodontist* 71: 343-350
9. Baratieri C, Alves M, Gomez de Souza MM, Tirre de Souza Araujo M, Cople Maia L (2010) Does rapid maxillary expansion have long-term effects on airway dimensions and breathing? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 140: 146-156
10. Bays RA, Greco JM (1992) Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: An Outpatient Technique With Long-Term Stability. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 50: 110-113
11. Bell RA (1982) A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 81: 32-37

12. Bukhari, SAA, Reddy KA, Reddy MR, Shah SH (2016) Evaluation of virtual models (3Shape Ortho System) in assessing accuracy and duration of model analyses based on the severity of crowding. *The Saudi Journal for Dental Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjdr.2016.05.004>
13. Byloff FK, Mossaz CF (2004) Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *European Journal of Orthodontics* 26: 403-409
14. Carlos T (1996) *Spezielle Pathologie*. Schattauer, Stuttgart New York
15. Dahlberg G (1940) Statistical Methods for Medical and Biological Students. *The British Medical Journal*: 358-359
16. De Waard O, Rangel FA, Fudalej PS, Bronkhorst EM, Kuijpers-Jagtman AM, Breuning KH (2014) Reproducibility and accuracy of linear measurements on dental models derived from cone-beam computed tomography compared with digital dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 146: 328-336
17. Deeb W, Hansen L, Hotan T, Hietschold V, Harzer W, Tausche E (2010) Changes in nasal volume after surgically assisted bone-borne rapid maxillary expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 137: 782-789
18. Derichsweiler H (1953) Die Gaumennahtsprengung. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 14: 5-23
19. Derichsweiler H (1954) Die Umstellung der Mundatmung zur Nasenatmung durch die Gaumennahterweiterung. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 15: 234-243
20. Diedrich (2000) *Kieferorthopädie I,II,III*. Urban & Fischer, Jena/Stuttgart
21. Ekström C, Henrikson CO, Jensen R (1977) Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 71: 449-455
22. Ennes J, Consolaro A (2004) Sutura palatina mediana: avaliação do grau de ossificação em crânios humanos. *Dental Press Journal of Orthodontics* 9: 64-73
23. Enoki C, Cardoso Pereira Valera F, Campos Rosetti Lessa F, Elias AM, Matsumoto MA, Anselmo-Lima WT (2006) Effect of rapid maxillary expansion on the dimension of the nasal cavity and on nasal air resistance. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 70: 1225—1230
24. Glassmann AS, Nahigian SJ, Medway JM, Aronowitz HI (1984) Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: Sixteen cases. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 86: 207-213
25. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G (2008) Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 134: 361-369

26. Gyr AK, Ludwig B, Lisson J (2010) Zur Möglichkeit der Therapie der bukkalen Nonokklusion sowie ausgeprägter Bukkalkippungen mit Hilfe einer transversalen Reduktionsapparatur (TRA). *Kieferorthopädie* 24: 37-46
27. Haas AJ (1965) The Treatment Of Maxillary Deficiency By Opening The Midpalatal Suture. *The Angle Orthodontist* 35: 200-217
28. Haas AJ (1961) Rapid Expansion Of The Maxillary Dental Arch And Nasal Cavity By Opening The Midpalatal Suture. *The Angle Orthodontist* 31: 73-90
29. Handelman CS, Wang L, BeGole EA, Haas AJ (2000) Nonsurgical Rapid Maxillary Expansion in Adults: Report on 47 Cases Using the Haas Expander. *The Angle Orthodontist* 70: 129-140
30. Handelman CS (1997) Nonsurgical rapid maxillary alveolar expansion in adults: A clinical evaluation. *The Angle Orthodontist* 67: 291-308
31. Harzer W (2011) *Kieferorthopädie Checklisten Zahnmedizin*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
32. Harzer W, Reußler L, Hansen L, Richter R, Nagel T, Tausche E (2010) Minimally invasive rapid palatal expansion with an implant-supported hyrax screw. *Biomed Tech* 55: 39-45
33. Harzer W, Schneider M, Gedrange T, Tausche E (2006) Direct Bone Placement of the Hyrax Fixation Screw for Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion (SARPE). *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 64: 1313-1317
34. Harzer W, Schneider M, Gedrange (2004) Gaumennahterweiterung mit Knochenverankerung der Hyraxschraube – eine Pilotstudie mit Fallpräsentation. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 5: 419-424
35. Heimlich, AF (1935) Tissue changes incident to tooth movemet. *Presented to the American Board of Orthodontia*: 1022-1026
36. Hellak A, Schauseil M, Ludwig B, Zorkun B, Korbmacher-Steiner H (2015) Führt die Hybrid-GNE zu einer ungewünschten Verbreiterung der Weichnase? *Kieferorthopädie* 29: 217-223
37. Hino CT, Cevidanes LH, Nguyen TT, De Clerck HJ, Franchi L, McNamara JA (2013) Three-dimensional analysis of maxillary changes associated with facemask and rapid maxillary expansion compared with bone anchored maxillary protraction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 144: 705-714
38. Holberg C (2005) Effects of rapid maxillary expansion on the cranial base - an FEM-analysis. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 132: 54-66
39. Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I (2007) Surgically assisted rapid maxillary expansion: Midfacial and cranial stress distribution. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 132: 776-782

40. Hua X, Xiong H, Han G, Cheng X (2012) Correction of a dental arch-width asymmetric discrepancy with a slow maxillary contraction appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 142: 842-853
41. Im J, Cha JY, Lee KJ, Yu HS, Hwang CJ (2014) Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 145: 434-442
42. Kahl-Nieke, B (2001) *Einführung in die Kieferorthopädie*. Deutscher Zahnärzterverlag, Köln
43. Kang S, Lee SJ, Ahn SJ, Heo MS, Kim W (2007) Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131: 74-81
44. Kilic E, Kilic B, Kurt G, Sakin C, Alkan A (2013) Effects of surgically assisted rapid palatal expansion with and without pterygomaxillary disjunction on dental and skeletal structures: a retrospective review. *Oral and Maxillofacial Surgery* 115: 167-174
45. Kilic N, Oktay H, Selimoglu E, Erdem A (2008) Effects of semirapid maxillary expansion on conductive hearing loss. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 131: 846-851
46. Kilic N, Oktay H (2008) Effects of rapid maxillary expansion on nasal breathing and some naso-respiratory and breathing problems in growing children: A literature review. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 72: 1595-1601
47. Korbmacher H, Huck L, Merkle T, Kahl-Nieke B (2005) Das klinische Profil der Gaumennahterweiterung – Ergebnisse einer nationalen Umfrage. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, 66: 455-468
48. Koudstaal MJ, Wolvius EB, Schulten AJ, Hop WC, van der Waal KG (2009) Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 38: 308-315
49. Kurt G, Altug-Atac AT, Sancar Atac M, Karasu HA (2010) Stability of surgically assisted rapid maxillary expansion and orthopedic maxillary expansion after 3 years' follow-up. *Angle Orthodontist* 80: 613-619
50. Lagravere MP, Major PW, Flores-Mir C (2006) Dental and skeletal changes following surgically assisted rapid maxillary expansion. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 35: 481–487
51. Lagravère MO, Heo G, Major PW, Flores-Mir C (2006) Meta-analysis of immediate changes with rapid maxillary expansion treatment. *The Journal of the American Dental Association* 137: 44-53

52. Lagravere MO, Carey J, Heo G, Toogood RW, MajorPW (2010) Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: A randomized clinical trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 127: 304.e1–304.e12
53. Levrini L, Lorusso P, Caprioglio A, Magnani A, Diaferia G, Bittencourt L, Bommarito S (2014) Model of oronasal rehabilitation in children with obstructive sleep apnea syndrome undergoing rapid maxillary expansion: Research review. *Sleep Science* 4: 225-233
54. Ludwig B, Glasl B, Zorkun B, Wilmes B, Kinzinger G, Lisson J (2009) Forcierte Gaumennahterweiterung mit skelettalem Kraftansatz: Die Hybrid-GNE. *Kieferorthopädie* 23: 267-274
55. Lüllmann-Rauch R (2009) *Taschenlehrbuch Histologie* Thieme, Stuttgart
56. MacLaine JK, Thickett EM, Power SM (2013) Nationwide survey of surgically assisted rapid maxillary expansion. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 51: 841-844
57. Magnusson A, Bjerklin K, Kim H, Nilsson P, Marcusson A (2013) Three-dimensional computed tomographic analysis of changes to the external features of the nose after surgically assisted rapid maxillary expansion and orthodontic treatment: A prospective longitudinal study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 144: 404-413
58. Maurer G (1940) *Umbau, Dystrophie und Atrophie an den Gliedmaßen* Springer, Berlin Heidelberg
59. McNamara JA, Baccetti T, Franchi L, Herberger TA (2003) Rapid Maxillary Expansion Followed by Fixed Appliances: A Long-term Evaluation of Changes in Arch Dimensions. *Angle Orthodontist* 73: 344-353
60. Melsen, B (1975) Palatal growth studied on human autopsy material. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 68: 42-54
61. Micheletti KR, De Mello JA, De Almeida Barreto Ramos SR, Cabrini-Scheibel P, Giampa-Scheibel G, Ramos A (2012) Effects of rapid maxillary expansion on middle ear function: One-year follow-up. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 76: 1184–1187
62. Möller F (2002) *Geschichte der Kieferorthopädie*, Weimar
63. Mommaerts MY (1999) Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery* 37: 268-272
64. Moss ML, Salentijn L (1969) The primary role of functional matrices in facial growth. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 55: 566-577

65. Ölmez H, Akin E, Karacay S (2007) Multitomographic evaluation of the dental effects of two different rapid palatal expansion appliances. *European Journal of Orthodontics* 29: 379–385
66. Oppenheim A (1930) Bone changes during tooth movement. *Fortschritte der Zahnheilkunde* 4: 535-551
67. Persson M, Thilander B (1977) Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 72: 42-52
68. Podesser B, Williams S, Crismani AG, Bantleon HP (2007) Evaluation of the effects of rapid maxillary expansion in growing children using computer tomography scanning: a pilot study. *European Journal of Orthodontics* 29: 37-44
69. Radlanski RJ (2011) *Curriculum Orale Struktur- und Entwicklungsbiologie* Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin
70. Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M (2011) *Kieferorthopädie, Reihe ZMK-Heilkunde*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
71. Sari Z, Uysal T, Usumez S, Basciftci FA (2006) Rapid Maxillary Expansion. Is it Better in the Mixed or in the Permanent Dentition. *Angle Orthodontist* 73: 654-661
72. Schopf P (2008) *Curriculum Kieferorthopädie, Bd. 1 und 2*. Quintessenz-Verl.-GmbH, Berlin
73. Schwarz MA (1931) Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Second International Orthodontic Congress*, London 331-352
74. Sperber GH (1992) *Embryologie des Kopfes*. Quintessenz-Verl.-GmbH, Berlin
75. Steinhäuser EW (1972) Midline Splitting of the Maxilla for Correction of Dental-Facial Disharmonies. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*: 413-422
76. Stöckli PW, Ben-Zur ED, Hotz RP (1994) *Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen*. Thieme, Stuttgart
77. Stuart DA, Wiltshire WA (2003) Rapid Palatal Expansion in the Young Adult: Time for a Paradigm Shift? *Journal of the Canadian Dental Association* 69: 374-377
78. Taspinar F, Ücüncü H, Bishara SE (2003) Rapid Maxillary Expansion and Conductive Hearing Loss. *Angle Orthodontist* 73: 669-673
79. Thilander B (1980) Beeinflussbarkeit des suturalen Wachstums durch kieferorthopädische Maßnahmen. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 41: 200-211
80. Thilander B, Lennartsson B (2002) Eine Untersuchung über den behandelten und unbehandelten unilateralen Kreuzbiss im Milchgebiss. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 63: 371–83
81. Thomas C, Adler CP (1996) *Spezielle Pathologie*. Schattauer, Stuttgart
82. Timms DJ (2000) Die Anfänge der forcierten Gaumennahterweiterung. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie* 32: 187-192

83. Timms DJ (1999) The dawn of rapid maxillary expansion. *The Angle Orthodontist* 69: 247-250.
84. Varga E, Hammer B, Hardy BM, Kamer L (2013) The accuracy of threedimensional model generation. What makes it accurate to be used for surgical planning? *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 42: 1159–1166
85. Vilani GN, de Oiveira Ruellas AC, Trindade Mattos C, Cople Maia L (2012) Long-term dental and skeletal changes in patients submitted to surgically assisted rapid maxillary expansion: A meta-analysis. *Oral and Maxillofacial Surgery* 114: 689-697
86. Villano A, Grampi B, Fiorentini R, Gandini P (2006) Correlations between Rapid Maxillary Expansion (RME) and the Auditory Apparatus. *Angle Orthodontist* 76: 752-758
87. Wehrbein H, Yildizhan F (2001) The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *European Journal of Orthodontics* 23: 105-114
88. Wertz RA (1970) Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 58: 41-66
89. Wilmes B, Nienkemper M, Lübberink G, Ludwig B, Drescher D (2011) Anwendung und Effektivität einer auf Zähnen und Mini-Implantaten abgestützten Apparatur zur Gaumen nahterweiterung: die Hybridhyrax. *Kieferorthopädie* 25: 1-9
90. Wilmes B, Drescher D (2008) A Miniscrew System with Interchangeable Abutments. *Journal of Clinical Orthodontics* 42: 574-580
91. Woods M, Wiesenfeld D, Probert T (1997) Surgically-assisted maxillary expansion. *Australian Dental Journal* 42: 38-42
92. Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A (2014) Short-term skeletal and dental changes following bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: A randomized clinical trial study. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 42: 1190-1195
93. Zeng J, Gao X (2013) A prospective CBCT study of upper airway changes after rapid maxillary expansion. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 11: 1805-1810

## 6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Neurocranium (grau) und Viscerocranium (blau), Quelle: © Alexa van Schöll ...	5
Abb. 2 Knochen des Schädels, Quelle: © Alexa van Schöll .....	5
Abb. 3 Strukturen der Maxilla, Quelle: © Alexa van Schöll .....	6
Abb. 4 Wachstumsrichtungen, Quelle: © Alexa van Schöll.....	7
Abb. 5 Entwicklungsbiologische Veränderungen, Quelle: © Alexa van Schöll .....	8
Abb. 6 TRA in UDS, Quelle: © Klinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik des Saarlandes .....	11
Abb. 7 Herausnehmbare GNE, Quelle: © Klinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik des Saarlandes.....	16
Abb. 8 Hybrid-GNE, Quelle: Klinik für Kieferorthopädie der Universitätsklinik des Saarlandes .....	18
Abb. 9 Außenansicht Scanner, Quelle: © Dentaurum GmbH & Co. KG.....	25
Abb. 10 Eingespanntes Modell, Quelle: © Dentaurum GmbH & Co. KG.....	25
Abb. 11 Scanner Innenansicht, Quelle: © Dentaurum GmbH & Co. KG. ....	25
Abb. 12 Punktsetzung der Analyse nach Pont .....	27
Abb. 13 Punktsetzung der Analyse der Symmetrie.....	27
Abb. 14 Verwendete Formel in Analogie zu Dahlberg (1940) zur Berechnung des Methodenfehlers (MF = Methodenfehler; $d^2$ = Summe der quadratischen Differenzen der beiden Messungen; n = Anzahl der Messungen) .....	29
Abb. 15 Überlagerte OK-Modelle ( $t_0$ und $t_1$ ) eines TRA-Patienten der 2. Dentition .....	31
Abb. 16 Überlagerte OK-Modelle ( $t_0$ und $t_1$ ) eines GNE-Patienten der 2. Dentition .....	31

### 6.3 Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1 Vergleich der vorderen und hinteren Zahnbogenbreite (MW, SD) der TRA und GNE in [mm] für die Zeitpunkte <math>t_0</math>, <math>t_1</math>. Vergleich der Tragedauer in Tage (MW, SD).</b>	30
<b>Tab. 2 Vergleich der vorderen und hinteren Zahnbogenbreite (Median, IQR) der TRA und GNE in [mm] für die Zeitpunkte <math>t_1</math>, <math>t_2</math>. Angabe des p-Wertes.</b>	30
<b>Tab. 3 Vergleich weiblicher und männlicher Patienten beider Therapien (Median, IQR). Veränderungen der vZBB und hZBB zwischen <math>t_0</math> und <math>t_1</math> in [mm] sowie IQR.</b>	32
<b>Tab. 4 Vergleich der anderen dentalen Altersgruppen mit der 2. Dentition beider Therapien.</b>	33
<b>Tab. 5 Vergleich TRA- und GNE-Therapie miteinander und bezogen auf die 2. Dentition.</b>	33
<b>Tab. 6 Darstellung des Methodenfehlers nach Dahlberg beschrieben für alle Variablen der Modellanalyse und Mittelwert des Methodenfehlers.</b>	34

## 7 Publikationen/Danksagung

### 7.1 Publikationen

Die Ergebnisse der Studie wurden auf der Tagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie anlässlich der Jahrestagung 2016 publiziert:

*Mayer, Constanze; van Schöll, Alexa; Lisson, Jörg (2016)*

#### **Behandlungseffekte der Transversalen Reduktionsapparatur (TRA)**

Jahrestagung der DGKFO 2016

Es erfolgte die Teilnahme am BZÄK / DGZMK / Dentsply – Hochschulförderpreis im Rahmen des Deutschen Zahnärztetages 2016:

*Van Schöll A, Lisson J (2016)*

#### **Behandlungseffekte der Transversalen Reduktionsapparatur (TRA)**

## 7.2 Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des Themas, seine freundliche Betreuung und zeitnahe Unterstützung bei der Anfertigung meiner Dissertation.

Frau Dr. Constanze Mayer danke ich für die motivierende und zuverlässige Betreuung und für ihre Hilfe bei allen aufkommenden Fragen.

Bei Herrn Jakob Schöpe bedanke ich mich für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung und bei Frau Sara Rothe bedanke ich mich für ihre Hilfe bei der Formatierung dieser Arbeit.

Bei Stefan Ingmann bedanke ich mich für die unterhaltsame Unterstützung bei dem Kampf gegen die Windmühlen des Alltages.

Schließlich danke ich meinen Eltern. Ein besonderer Dank gilt dabei meiner Mutter, da sie immer diejenige war, die an mich immer geglaubt und mich unterstützt hat.

## 8 Anhang

### 8.1 Abkürzungsverzeichnis

TRA	Transversale Reduktionsapparatur
GNE	Gaumennahterweiterung
LKG-Spalte	Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte
SME	Slow maxillary expansion
RME	Rapid maxillary expansion
SARME	Surgically assisted maxillary expansion
vZBB	Vordere Zahnbogenbreite
hZBB	Hintere Zahnbogenbreite
MW	Mittelwert
SD	Standardabweichung
IQR	Interquartilsabstand
bspw.	Beispielsweise
et al.	et alii / et aliae / et alia

## 8.2 Verwendete Punkte in der Modellanalyse

### 8.2.1 Oberkiefer

- 16d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des rechten Oberkiefers
- 16mb Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des rechten Oberkiefers
- 15d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des rechten Oberkiefers
- 15m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des rechten Oberkiefers
- 14d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des rechten Oberkiefers
- 14m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des rechten Oberkiefers
- 13d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des rechten Oberkiefers
- 13m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des rechten Oberkiefers
- 12d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des seitlichen Schneidezahns des rechten Oberkiefers
- 12m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des seitlichen Schneidezahns des rechten Oberkiefers
- 11d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des rechten Oberkiefers
- 11m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des rechten Oberkiefers
- 21m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des linken Oberkiefers
- 21d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des linken Oberkiefers
- 22m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des seitlichen Schneidezahns des linken Oberkiefers
- 22d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des seitlichen Schneidezahns des linken Oberkiefers
- 23m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des linken Oberkiefers

- 23d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des linken Oberkiefers
- 24m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des linken Oberkiefers
- 24d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des linken Oberkiefers
- 25m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des linken Oberkiefers
- 25d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des linken Oberkiefers
- 26mb Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des linken Oberkiefers
- 26d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des linken Oberkiefers

### **8.2.2 Unterkiefer**

- 36d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des linken Unterkiefers
- 36mb Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des linken Unterkiefers
- 35d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des linken Unterkiefers
- 35m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des linken Unterkiefers
- 34d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des linken Unterkiefers
- 34m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des linken Unterkiefers
- 33d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des linken Unterkiefers
- 33m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des linken Unterkiefers
- 32d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des seitlichen Schneidezahns des linken Unterkiefers
- 32m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des seitlichen Schneidezahns des linken Unterkiefers

- 32d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des linken Unterkiefers
- 31m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des linken Unterkiefers
- 41m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des rechten Unterkiefers
- 42d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des mittleren Schneidezahns des rechten Unterkiefers
- 43m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des rechten Unterkiefers
- 43d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des Eckzahns des rechten Unterkiefers
- 44m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des rechten Unterkiefers
- 44d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Prämolaren des rechten Unterkiefers
- 45m Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des rechten Unterkiefers
- 45d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des zweiten Prämolaren des rechten Unterkiefers
- 46mb Mesialer Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des rechten Unterkiefers
- 46d Distaler Punkt des größten mesio-distalen Kronendurchmessers des ersten Molaren des rechten Unterkiefers