

AUS DER KLINIK FÜR KIEFERORTHOPÄDIE  
UNIVERSITÄTSKLINIKUM DES SAARLANDES, HOMBURG/SAAR  
DIREKTOR: UNIV.-PROF. DR. JÖRG LISSON

***SYSTEMATISCHES REVIEW ZUR FORCIERTEN GAUMENNAHTERWEITERUNG***

**DISSERTATION ZUR ERLANGUNG DES GRADES EINES DOKTORS DER ZAHNHEILKUNDE  
DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT  
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES  
2013**

VORGELEGT VON SANDRA SPLIETHOFF  
GEBOREN AM 08.11.1969 IN RHEINHAUSEN, JETZT DUISBURG

# Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	8
2. Einleitung.....	10
2.1 Grundlagen und Stand der Forschung.....	12
2.1.1 Die Geschichte der Gaumennahterweiterung .....	12
2.1.2 Indikation zur Gaumennahterweiterung .....	16
2.1.3 Verwendete Apparaturen .....	17
2.1.4 Die Funktion der forcierten Gaumennahterweiterung.....	17
2.1.5 Unerwünschte Nebeneffekte der Gaumennahterweiterung .....	21
2.1.6 Prognostische Parameter .....	23
3. Material und Methoden .....	25
3.1 Studiendesign.....	25
3.2 Literaturrecherche.....	25
3.3 Ein- und Ausschlusskriterien.....	26
3.4 Ausgewählte Artikel .....	27
3.5 Statistik .....	41
4. Ergebnisse.....	42
4.1 Fallzahlen .....	42
4.2 Alter .....	43
4.3 Apparaturen.....	44
4.4 Art und Aufbau der verwendeten Systeme .....	45
4.4.1 Befestigungsvariationen.....	45
4.4.2 Funktionsmechanismen der aktivierbaren Schrauben .....	47
4.4.2.1 Drehintervall .....	48
4.4.2.2 Öffnung .....	49
4.5 Aktive Expansion.....	52
4.6 Retentionszeit .....	55
4.7 Beobachtungszeitraum.....	56
4.8 Bildgebung .....	58
4.9 Anatomische Messpunkte .....	59
5. Diskussion .....	60
5.1 Fallzahlen .....	61
5.2 Alter .....	62
5.3 Apparatur.....	63
5.4 Aktive Expansion.....	65
5.5 Retentionszeit .....	66
5.6 Messzeitpunkte.....	67
5.7 Bildgebende Verfahren.....	67
5.8 Anatomische Messpunkte .....	68

5.9 Schlussfolgerung .....	70
6. Literaturverzeichnis .....	72
7. Danksagung .....	80

## Abkürzungsverzeichnis

BAME	bone anchored maxillary expander
CBCT	cone-beam computed tomography Kegelstrahl Computertomographie
CT	Computertomographie
FRS	Fernröntgenseitbild
GNE	Gaumennahterweiterung
MSCT	multislice spiral computed tomography Mehrschicht-Spiral-Computertomographie
n	Anzahl
p.a.-Aufnahme	posteroanterior Röntgenaufnahme
SD	Standardabweichung
T1	erster Messzeitpunkt
T2	zweiter Messzeitpunkt
T3	dritter Messzeitpunkt
T4	vierter Messzeitpunkt
TSME	transverse sagittal maxillary expander

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Apparatur nach Angell	12
Abbildung 2: Apparatur nach Derichsweiler	13
Abbildung 3: Haas-Apparatur	13
Abbildung 4: Kunststoffkappenschiene	14
Abbildung 5: Kunststoffkappenschiene	14
Abbildung 6: Hyrax-Apparatur, 4-banded	14
Abbildung 7: Hyrax-Apparatur	14
Abbildung 8: Dresden-Distraktor	15
Abbildung 9: Transpalatinaldistraktor	15
Abbildung 10: Hybrid-Hyrax	15
Abbildung 11: bilateraler Kreuzbiss	16
Abbildung 12: „banded“-Apparatur	17
Abbildung 13: „bonded“-Apparatur	17
Abbildung 14: Maxilla, Sutura intermaxillaris	18
Abbildung 15: Sutura palatina mediana	18
Abbildung 16: „V“-förmige Öffnung der Sutura palatina mediana	19
Abbildung 17: „V“-förmige Öffnung des Zahnbogens	19
Abbildung 18: „V“-förmige Öffnung der Sutura intermaxillaris	20
Abbildung 19: Entwicklung der Sutura palatina mediana vom Kind bis zum Erwachsenen	20
Abbildung 20: Suchstrategie und Workflow	28
Abbildung 21: butterfly palatal expander an Milchmolaren befestigt	33
Abbildung 22: TSME (“transverse sagittal maxillary expander”)	34
Abbildung 23: Implantat getragene Apparatur („BAME“)	38
Abbildung 24: „bonded“-Apparatur	39
Abbildung 25: Modifikation einer Hyrax-Apparatur mit palatinalen Drahtausläufern zu den ersten Prämolaren	39
Abbildung 26: Fallzahl der ausgewählten Studien	42
Abbildung 27: Altersverteilung zu Beginn der Untersuchung	43
Abbildung 28: Verteilungshäufigkeit der verwendeten Apparaturen	44
Abbildung 29: Befestigungsvariationen	45
Abbildung 30: Verteilung der unterschiedlichen Befestigungsvariationen	47
Abbildung 31: Drehungen der Schraube pro Tag	48

Abbildung 32: Öffnung der Schraube pro Drehung	49
Abbildung 33: Öffnung der Schraube pro Tag	51
Abbildung 34: Minimale aktive Expansion	52
Abbildung 35: Maximale aktive Expansion	54
Abbildung 36: Retentionszeit	55
Abbildung 37: Messzeitpunkt T2	57
Abbildung 38: Messzeitpunkt T3	58
Abbildung 39: Bildgebendes Verfahren	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ausgewählte Artikel	29
Tabelle 2:	Fallzahl der ausgewählten Studien	42
Tabelle 3:	Alter zu Beginn der Untersuchung (Jahre)	43
Tabelle 4:	Standardabweichung des Alters (Jahre)	44
Tabelle 5:	Häufigkeit der verwendeten Apparaturen	45
Tabelle 6:	Befestigungsvariationen	45
Tabelle 7:	Verteilung der unterschiedlichen Befestigungsvariationen	47
Tabelle 8:	Drehungen der Schraube pro Tag	48
Tabelle 9:	Drehungen der Schraube pro Tag	49
Tabelle 10:	Öffnung der Schraube pro Drehung	50
Tabelle 11:	Öffnung der Schraube pro Tag	51
Tabelle 12:	Öffnung der Schraube pro Tag	51
Tabelle 13:	Minimale aktive Expansion	52
Tabelle 14:	Minimale aktive Expansion	53
Tabelle 15:	Maximale aktive Expansion	53
Tabelle 16:	Maximale aktive Expansion	54
Tabelle 17:	Häufigkeitsverteilung der Retentionszeit	55
Tabelle 18:	Retentionszeit	56
Tabelle 19:	Messzeitpunkt T2	57
Tabelle 20:	Messzeitpunkt T3	58
Tabelle 21:	Bildgebendes Verfahren	59

# 1. Zusammenfassung

Obwohl die forcierte Gaumennahterweiterung (GNE) bereits seit über 150 Jahren eingesetzt wird und sie sich als integraler und unverzichtbarer Bestandteil der Kieferorthopädie etabliert hat, existieren bis heute keine Standards bezüglich der Verfahrensweise. Das hier vorliegende systematische Review ist entstanden, um diese Standards zu erarbeiten und künftig vergleichbare Messdaten zur Evaluierung der dentalen und skelettalen Therapieeffekte zu ermöglichen.

Durch eine strukturierte Literaturrecherche konnten 16 Studien identifiziert werden, mit deren Hilfe die Notwendigkeit vergleichbarer Studiendesigns veranschaulicht und mögliche künftige Verfahrensweisen zusammengestellt wurden.

Als Ergebnis des systematischen Reviews konnten folgende Punkte herausgearbeitet werden: Während der gesamten Durchführung der GNE sollten keine anderen kieferorthopädischen Maßnahmen zum Einsatz kommen, um die ausfindig gemachten Effekte eindeutig der GNE zuschreiben zu können. Es sollte eine prospektive Studienanalyse zur Ermittlung der notwendigen Fallzahl durchgeführt werden. Verwertbare Ergebnisse lassen sich altersunabhängig erzielen. Bei der zum Einsatz gebrachten Apparatur sollte es sich um eine an vier Zähnen (möglichst erste Molaren und erste Prämolaren des Oberkiefers) durch Bänder befestigte Hyrax-Apparatur mit transversaler Dehnschraube oder alternativ an minimalinvasiv inserierten Implantaten bzw. einer Kombination dieser mit Bändern an den oberen ersten Molaren handeln. Die in die Geräte eingearbeitete Expansionsschraube wird idealerweise morgens und abends um je eine Viertel Umdrehung um 0,25 mm aktiviert, bis es zu einer Überkorrektur des Kreuzbisses gekommen ist. Nach dieser aktiven Expansion verbleibt die gewählte Apparatur für sechs Monate als passives Retentionsgerät im Mund. Zur Bildgebung dienen CT-Aufnahmen, wobei, bei kritischer Betrachtung der Strahlenexposition, gegebenenfalls vergleichbare Werte mit Hilfe klassischer Röntgenbilder in posteroanteriorer Richtung und Okklusalaufnahmen erzielt werden können. Die Aufnahmen müssen zu Beginn der Behandlung, am Ende der aktiven Expansion und direkt nach der Retentionsphase angefertigt werden. Es sind sechs dentale Messpunkte, apikal und koronal der Inzisivi, der Eckzähne und der ersten Molaren des Oberkiefers, sowie drei skelettale Abstandsmessungen der Maxillahälften in Höhe der Spina nasalis anterior, der Spina nasalis posterior und des Limbus alveolaris zwischen den beiden oberen mittleren Inzisivi, zur Bewertung der Ratio zwischen dentalen und skelettalen Effekten ausreichend.

Mit Umsetzung dieser hier vorgeschlagenen Standards wird eine Vergleichbarkeit der Studien gegeben sein, so dass künftig auch Metaanalysen zur Erfassung der Effekte der forcierten GNE möglich sein werden.

## Summary

Although the rapid maxillary expansion has already been carried out for more than 150 years, and has become an integral and indispensable element of orthodontics, to this day, no common standards regarding procedures exist. The present systematic review was compiled in order to develop these standards and to enable comparable measuring data for the evaluation of dental and skeletal therapy effects in the future.

Structured literature research identified 16 studies, which illustrated the necessity of comparable study designs. On this basis, possible future procedures were compiled.

As a result of the systematic review, the following points could be determined: During the entire process of a rapid maxillary expansion, no other orthodontic measures shall be implemented, so that the identified effects can be clearly attributed to the rapid maxillary expansion. A prospective study analysis needs to be carried out to determine the necessary number of cases. Preferably, a hyrax appliance with a transversal screw should be used, fixed on four teeth with bands (possibly first molars and first premolars of maxilla) or alternatively fixed on minimally invasive inserted implants, or a combination of this with bands on the upper first two molars. Ideally, the incorporated expansion screw is activated in the morning and evening by a quarter turn of 0.25 mm each, until an overcorrection of the crossbite has been achieved. After this active expansion, the chosen apparatus remains in the mouth as passive retention apparatus for six months. CT images serve as digital imaging. However, where required, classic radiographs in posteroanterior direction (critically considering radiation exposure) and occlusal images can achieve comparable results. These must be taken at the beginning of the treatment, at the end of the active expansion and immediately after the retention phase. In order to evaluate the ratio between dental and skeletal effects, six dental measuring points are sufficient: apical and coronal of the incisors, the canines and the first molars of the maxilla, as well as three skeletal distance measurements of the maxilla halves on the level of the spina nasalis anterior, the spina nasalis posterior and the limbus alveolaris between the two upper middle incisors. The implementation of the suggested standards will enable comparability of studies in the future and therefore allows meta-analyses to determine the effects of the rapid maxillary expansion.

## 2. Einleitung

Bei der Gaumennahterweiterung (GNE) handelt es sich bis heute um eine der bedeutendsten und langjährig durchgeführten Therapien der Kieferorthopädie. Sie gilt als etablierte kieferorthopädische Standardbehandlungsmethode zur Erweiterung des Oberkiefers. Bereits vor über 150 Jahren wurde sie von Angell angewandt und als Fallpräsentation im „Dental Cosmos“ erstmals veröffentlicht. In der Literatur besteht Einigkeit darüber, dass es sich bei der GNE um eine erfolgreiche, bei den meisten Patienten problemlos anzuwendende Therapieform des einseitigen oder beidseitigen Kreuzbisses sowie der transversalen Mikrognathie des Oberkiefers handelt. Gegenstand vieler Studien der letzten Jahre war allerdings die Fragestellung, ob es hierbei durch eine gewünschte skelettale oder um eine meist unerwünschte dentale Veränderung zu den scheinbaren Behandlungserfolgen gekommen ist. Die eigentliche Intention dieser Studie war es, in einer systematischen Metaanalyse das Verhältnis zwischen skelettaler und dentaler Expansion bei Anwendung der forcierten GNE zu beschreiben und somit die Effektivität dieser Behandlungsmethode herauszufinden.

Die Metaanalyse stellt nach den Empfehlungen der „Agency for Healthcare Research and Quality“ die höchste Evidenzebene in der wissenschaftlichen Forschung der Medizin dar. Sie befasst sich mit der Analyse von randomisierten, kontrollierten Primärstudien und wurde bereits 1976 von dem amerikanischen Statistiker und Wissenschaftler Glass als „Analyse von Analysen“ beschrieben, als „statistische Analyse einer großen Sammlung von Analyse-Ergebnissen mehrerer Einzelstudien, die dadurch zusammengeführt werden sollen“<sup>61</sup>. Entsprechend der Ergebnisse einer Metaanalyse lässt sich eine wissenschaftlich begründete Behandlungsempfehlung aufstellen. Voraussetzung für eine Metaanalyse ist die Homogenität der Primärstudien.

Aufgrund der über einhundertjährigen Anwendung der Gaumennahterweiterung in der Kieferorthopädie war anzunehmen, dass der Datenpool eine ausreichende Größe haben müsste, um gesicherte Ergebnisse zu liefern und so war mit etwa 50 vergleichbaren Studien zu rechnen, die bestimmte, zuvor festgelegte Einschlusskriterien erfüllen würden.

Bei der Analyse der infrage kommenden Publikationen stellte sich jedoch heraus, dass es keine Kontinuität in der Auswahl der wissenschaftlichen Untersuchungskriterien gibt und sie somit im Sinne einer Metaanalyse nicht vergleichbar und verwertbar sind.

Durch diese fehlende Konsistenz der Datenlage und die Abwesenheit einer standardisierten Studiengestaltung nehmen sich die einzelnen Studien ihren Wert. Näheres wird dazu in Kapitel 3 aufgeführt.

Die Zielsetzung dieser Studie soll es nun sein, anhand eines systematischen Reviews eine Empfehlung für künftige Studienmodelle zu entwerfen, um vergleichbare Daten zu erhalten und somit die Wirksamkeit der forcierten GNE zu überprüfen. Weiterhin sollen Qualitätsstandards erzeugt werden und somit als Hilfestellung für standardisierte Messungen und Vorgehen bei künftigen Studien zur forcierten GNE dienen.

Es wurde hierbei ein Schwerpunkt auf die Aufarbeitung folgender Fragen gelegt:

Welche standardisierten Parameter sind zur Untersuchung der Effektivität der forcierten GNE im Sinne einer Vergleichbarkeit der Studien unumgänglich?

Wo liegen definierte Messpunkte, die das Ergebnis einer GNE darstellen können?

Welche Effekte müssen zu diesem Zweck gemessen werden?

Zu welchem Zeitpunkt ist eine definierte Messung der Effekte sinnvoll und notwendig?

## 2.1 Grundlagen und Stand der Forschung

### 2.1.1 Die Geschichte der Gaumennahterweiterung

Die Geschichte der Kieferorthopädie lässt sich bis in die Zeiten von Hippokrates (460 – 370 v. Chr.) zurückverfolgen. In seinen Epidemien beschrieb er Zahnfehlstellungen und Abweichungen der Kieferausprägungen. Er berichtete von Zusammenhängen zwischen diesen Fehlstellungen und allgemeinen Symptomen wie Kopfschmerz, „Ohrenfluss“ (Otorrhö) und Mundatmung, gab aber keine therapeutische Empfehlung<sup>5, 67</sup>. Celsus (25 v. Chr. – 50 n. Chr.) schlug in seinem Werk „De medicina“ vor, persistierende Milchzähne nach Durchbruch der bleibenden Zähne zu entfernen und die Fehlstellung der bleibenden Zähne durch tägliches Schieben mit den Fingern in die korrekte Position zu verhindern<sup>5</sup>. Zum Zwecke der transversalen Erweiterung des Oberkiefers setzte bereits im Jahr 1839 Lefoulon eine Dehnsperre ein<sup>38</sup>. Die erste Veröffentlichung einer Fallbeschreibung zur forcierten Gaumennahterweiterung lieferte Angell aus San Francisco, USA, im Journal „Dental Cosmos“ des Jahres 1860. Als Gegner der Extraktionstherapie applizierte er zur Platzgewinnung im Oberkiefer eine Apparatur mit „zwei sich in gegensätzlicher Richtung drehender Schrauben mit je einem Gewinde nach rechts und links“, die ausschließlich durch den Spannungsdruck der Apparatur an den Zahnhälsen befestigt wurde (Abbildung 1).

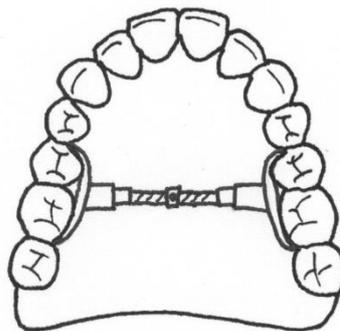


Abb. 1: Apparatur nach Angell (entsprechend<sup>82</sup>)

Resultat dieser Behandlung war das Auftreten eines Diastemas, welches Angell als Ergebnis der „Sprengung der Sutura palatina mediana“ erklärte. Da Angell dies nicht röntgenologisch beweisen konnte, war die Resonanz seitens der Kollegenschaft eher skeptisch<sup>5, 38, 162</sup>. Größere Anerkennung erfuhr die GNE nach Vorträgen zum Thema „Separation of the superior maxilla at the symphysis“ von Goddard im Jahr 1893, in welchen er über ein kieferorthopädisches Gerät sprach, das aus Bändern und Doppelschrauben bestand<sup>134</sup>. Landsberger bestätigte 1909 als

Erster die Öffnung der Sutura palatina mediana mit Hilfe eines Röntgenbildes<sup>99, 162</sup>. Im Jahr 1913 wurde von Schröder-Benseler eine große Studie über den Zusammenhang zwischen Gaumennahterweiterung und Nasenhöhlen veröffentlicht. Hier wurde ein Gerät verwendet, bei dem erstmals die Kraft auf den Kieferknochen über körperlich gefasste Zähne übertragen wurde<sup>134, 141</sup>. Eine Weiterentwicklung dieses Kraftübertragungsprinzips beschrieb Derichsweiler in seinen umfangreichen Werken der 1950er Jahre. Er beabsichtigte durch Abstützung der Apparaturen am Gaumen die Kippung der Ankerzähne zu vermeiden und gleichzeitig die auf den Kieferknochen wirkenden Kräfte zu erhöhen (Abbildung 2)<sup>41-44, 134</sup>.

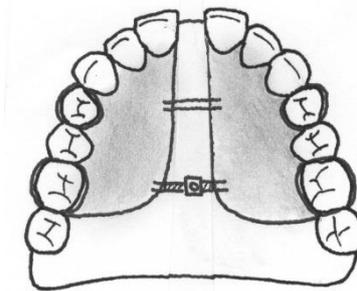


Abb. 2: Apparatur nach Derichsweiler (entsprechend<sup>38</sup>)

Von Haas wurde 1961 eine kieferorthopädische Apparatur mit medianer Schraube vorgestellt. Die Apparatur besteht aus Metallbändern, die die Zähne körperlich fassen, und aus Kunststoffbasisanteilen, die fest am Gaumen anliegen (Abbildung 3). Durch die großflächige Auflage am Gaumen konnte auch hier die Kraft neben den Zähnen zusätzlich auf die bedeckten Knochenareale wirken, die Hygienefähigkeit war jedoch genau aufgrund dieser ausgedehnten Gaumenabdeckung sehr eingeschränkt<sup>38, 68, 69, 71, 72, 134</sup>.

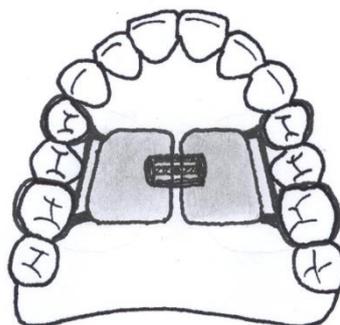


Abb. 3: Haas-Apparatur (entsprechend<sup>38</sup>)

Eine Abwandlung dieser Konstruktion stellt die Kunststoffkappenschiene dar, bei der die Zähne mit Kunststoff körperlich gefasst sind (Abbildung 4 und 5).

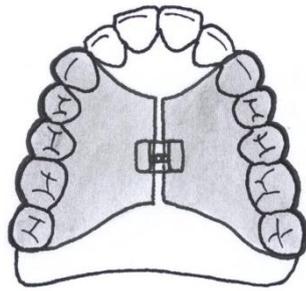


Abb. 4: Kunststoffkappenschiene  
(entsprechend <sup>38</sup>)

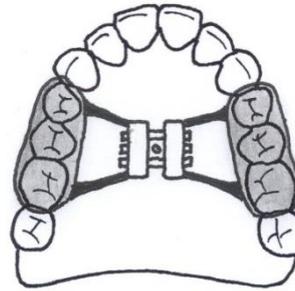


Abb. 5: Kunststoffkappenschiene  
(entsprechend <sup>123</sup>)

Durch die Entwicklung der aktivierbaren Hyrax-Schraube, die beide Hälften der Apparaturen miteinander verbindet, gelang es Biedermann einige Jahre später sowohl die Hygiene zu verbessern als auch die technische Herstellung der Geräte zu vereinfachen (Abbildung 6 und 7)

17, 38, 134

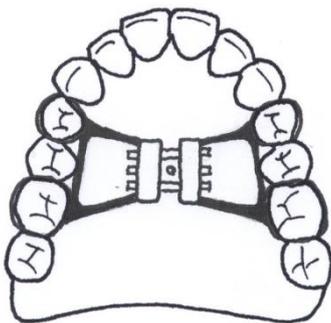


Abb. 6: Hyrax-Apparatur, 4-banded  
(entsprechend <sup>123</sup>)

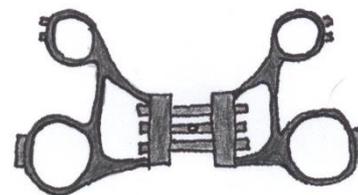


Abb. 7: Hyrax-Apparatur  
(entsprechend <sup>131</sup>)

Auf dieser Basis entstanden viele Modifikationen des Apparaturdesigns, die alle dental verankert blieben. Während der letzten zwei Jahrzehnte erschloss man auf dem Gebiet der GNE einen anderen Weg. Um die unerwünschten Nebeneffekte der rein dentalen Verankerung (z. B. dentale Kippung der Ankerzähne, näheres siehe Kapitel 2.2.6 „Unerwünschte Nebeneffekte der Gaumennahterweiterung“) so gering wie möglich zu halten oder sogar zu eliminieren, nutzte man die Möglichkeit der skelettalen Verankerung, welche sich mittels Implantaten realisieren ließ. Eine dieser Implantat getragenen Hyraxschraubenkonstruktionen für die Behandlung von oberen Schmalkiefern bei Erwachsenen war der „Dresden Distraktor“ von Harzer et al (Abbildung 8) <sup>76</sup>.

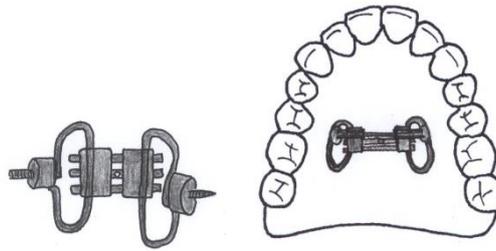


Abb. 8: „Dresden-Distraktor“<sup>76</sup>

Er wurde im Zuge der notwendigen Vollnarkose inseriert, die zur chirurgischen Schwächung der verknöcherten Sutura palatina mediana im fortgeschrittenen Lebensalter zum Einsatz kam. Weniger invasiv war die Insertion des transpalatinalen Distraktors TPD, 1999 von Mommaerts beschrieben (Abbildung 9)<sup>115</sup>.

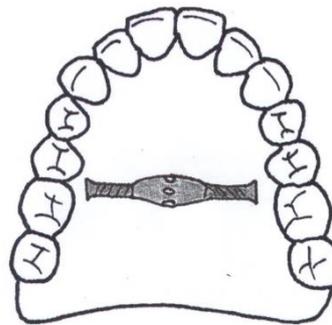


Abb. 9: Transpalatinaldistraktor (entsprechend<sup>82</sup>)

Sie erfolgte nach T-förmiger Inzision mit Lappenbildung der Gaumenschleimhaut in der Region der Prämolaren und bestand aus teleskopierenden Zylindern. Eine weitere Neuerung auf dem Gebiet der GNE-Apparaturen stellt die Hybrid-Hyrax dar (Abbildung 10).

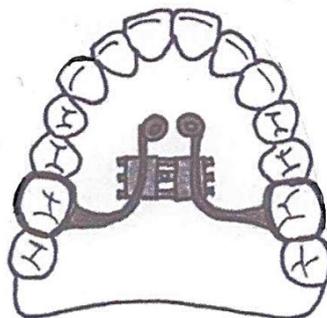


Abb. 10: Hybrid-Hyrax (entsprechend<sup>162</sup>)

Diese von Ludwig und Wilmes<sup>162</sup> entwickelte Konstruktion kombiniert die dentale und skelettale Abstützung durch Bebänderung der ersten Molaren und die minimalinvasive Insertion von Miniimplantaten im anterioren Gaumenanteil. Eine Pilotstudie hierzu wurde 2011 veröffentlicht.

## 2.1.2 Indikation zur Gaumennahterweiterung

Bei der Gaumennahterweiterung (GNE) handelt es sich um eine kieferorthopädische Behandlungsmethode hauptsächlich zur Behebung der transversalen Diskrepanz zwischen Oberkiefer und Unterkiefer, einhergehend mit einem uni- oder bilateralen Kreuzbiss (Abbildung 11) <sup>41, 46, 68, 69, 72, 96, 137, 151, 161</sup>.

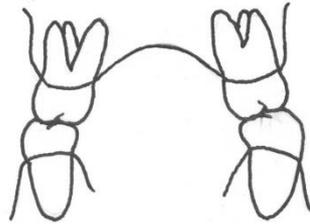


Abb. 11: bilateralen Kreuzbiss (entsprechend <sup>48</sup>)

Korbmacher ermittelte in einer repräsentativen, nationalen Umfrage unter niedergelassenen Kieferorthopäden die Unterentwicklung der Maxilla als gesehene Hauptindikation für eine Behandlung mit GNE <sup>92</sup>.

Eine weitere, rhinologische Indikation stellt die Verbesserung der Nasenatmung und die Vergrößerung des Nasenraumes dar <sup>10, 41, 42, 95, 129, 160</sup>. Durch die Öffnung der Sutura palatina mediana und das Auseinanderdrängen der Oberkieferknochen werden auch die lateralen Wände der Nasenhöhlen verschoben, das Gaumendach und der Nasenboden abgesenkt und gegebenenfalls eine vorhandene Septumdeviation begradigt <sup>41, 42</sup>. Nach Wertz sollte die Indikationsstellung jedoch weiterhin in der transversalen Verbreiterung des Oberkiefers liegen und die Behebung der nasalen Probleme nur ein positiver Nebeneffekt sein <sup>160</sup>.

Patienten, die unter einer Lippen-Kiefer-Gaumenspalte leiden, können ebenfalls von der GNE profitieren. Die häufig auf Narbenentwicklung nach der operativen Spaltendeckung und Knochenersatz zurückzuführende transversale Unterentwicklung der Maxilla führt wiederum unter anderem zu einem posterioren Kreuzbiss, welcher, wie oben bereits erwähnt, die Hauptindikation der GNE darstellt <sup>25, 126</sup>.

### 2.1.3 Verwendete Apparaturen

Derzeit am gebräuchlichsten ist die Durchführung der forcierten GNE mit Hilfe von an Zähnen getragenen oder an Zähnen und Schleimhaut getragenen Apparaturen, die alle eine Dehnschraube zur Verbindung der rechten und der linken Apparaturhälfte und zur Aktivierung der Konstruktion gemein haben <sup>49, 94, 127, 143, 146</sup>. Die Befestigung kann zum einen durch Bebänderung der Zähne („banded“), zum anderen durch Bekleben der Zähne mit Kunststoffüberzügen („bonded“) erfolgen (Abbildung 12 und 13).



Abb. 12: „banded“-Apparatur  
(entsprechend <sup>123</sup>)

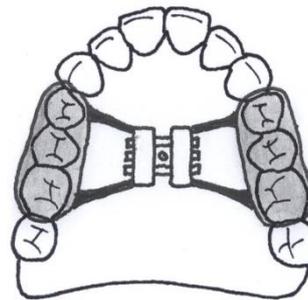


Abb. 13: „bonded“-Apparatur  
(entsprechend <sup>123</sup>)

Eine ganz andere Befestigungsmethode verkörpert die skelettal verankerte Apparatur. Hier werden entweder ausschließlich Implantate in den palatinalen Knochen eingebracht (z. B. „tranpalatal distractor“) (Abbildung 9) oder diese Implantate werden zusätzlich mit Bändern an Zähnen kombiniert („Hybrid-Hyrax“) (Abbildung 10). Für die vorliegende Untersuchung wurden ausschließlich die Studien berücksichtigt, die sich mit „banded“ oder Implantat getragenen Geräten befassten.

### 2.1.4 Die Funktion der forcierten Gaumennahterweiterung

Mit Hilfe unterschiedlicher, festsitzender kieferorthopädischer Geräte wird durch eine skelettale Erweiterung der Sutura palatina mediana die transversale Enge des Oberkiefers behoben <sup>58</sup>.

Die Sutura palatina mediana stellt die Verbindung der paarig angelegten rechten und der linken Maxilla dar (Abbildung 15). Von frontal betrachtet, bezeichnet die Sutura intermaxillaris die Stoßkante der Maxillae (Abbildung 14). Die Maxilla ist pyramidenförmig gestaltet, besteht aus vier Flächen (Fascies) und vier Fortsätzen (Processus) und beinhaltet zentral die Kieferhöhle

(Sinus maxillaris). Die Fascies orbitalis bildet hauptsächlich den Boden der Orbita und das Dach der Kieferhöhle, die Fascies nasalis die laterale Nasenwand, die Fascies anterior die Gesichtsfäche und die Fascies infratemporalis trägt die Tuber maxillae. Der Processus frontalis verbindet die Maxilla über die Sutura nasomaxillaris mit dem Os nasale, über die Sutura lacrimomaxillare mit dem Os lacrimale und über die Sutura frontomaxillaris mit dem Os frontale, der Processus zygomaticus verbindet sie über die Sutura zygomaticomaxillaris mit dem Os zygomaticum, der Processus alveolaris trägt die Zähne und die Processus palatini bilden die anteriore Großfläche des harten Gaumens, der dorsal verbunden über die Sutura palatina transversa in das Os palatinum übergeht<sup>29, 38, 163</sup>.

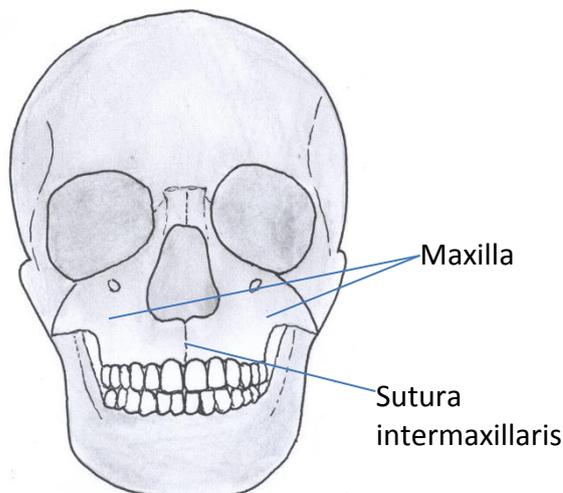


Abb. 14: Maxilla, Sutura intermaxillaris

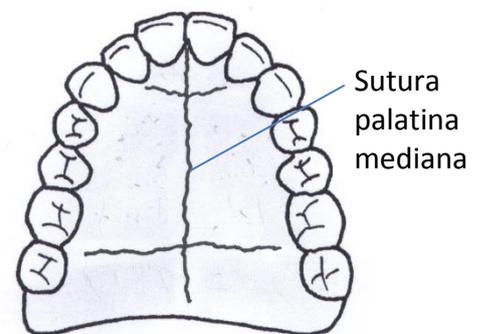


Abb. 15: Sutura palatina mediana

Bei den zahngetragenen Apparaturen übt die in die Apparatur eingebaute transversale Dehnschraube durch in regelmäßigen Abständen mehrmals täglich wiederkehrende Aktivierung einen Druck auf die Ankerzähne aus, der auf die Maxilla übertragen wird<sup>19</sup>. Um durch diesen Druck nicht ausschließlich eine orthodontische, also rein die Zähne betreffende Verbreiterung des Zahnbogens zu erzielen, sondern den erwünschten orthopädischen, also skelettalen Effekt, muss der Druck und die Geschwindigkeit der Aktivierung ein bestimmtes Maß übersteigen<sup>19, 84</sup>. Die Ankerzähne werden nach bukkal gedrängt, wodurch es zu einer Kompression der Gefäße im parodontalen Ligament und einer durch die Zirkulationsstörung bedingte Hyalinisierung kommt. Aufgrund der Tatsache, dass der nächste Aktivierungsimpuls der Dehnschraube und damit die nächste Kompressionswelle innerhalb kürzester Zeit auf das Parodontium einwirkt, bleibt dem Körper nicht ausreichend Zeit, mit Hilfe von Osteoklasten und Osteoblasten einen knöchernen Umbauprozess einzuleiten. Somit ist die transversale Kraft auf die Sutura palatina mediana ausgerichtet, welche sich durch Mikrofrakturen aufdehnt, wobei das Periost und die Schleimhaut unversehrt bleiben. Neben der Sutura palatina mediana werden auch tiefer

liegende, craniale Gefüge durch die auf die Dehnungsschraube ausgeübte Kraft verändert. Es kommt zu einem Spannungsvektor nach dorsal Richtung Os palatinum, von dort zum Os sphenoidale, dem Processus zygomaticus und der medialen Orbitawand<sup>26</sup>. Das Os sphenoidale reagiert als zentral gelegener, unpaariger Knochen auf diese Spannung mit einer Aufbiegung der Processus pterygoidei nach lateral, wodurch es zu einer Breitenzunahme im Bereich der Hamuli pterygoidei kommt<sup>81, 87, 153</sup>. Timms beschrieb 1980, dass die durch die Suturae pterygopalatina und palatomaxillaris verbundenen knöchernen Strukturen sich nicht trennen, sondern in der Dehnungsphase eine Einheit bleiben<sup>153</sup>.

Die Sutura palatina mediana öffnet sich von okklusal betrachtet in der Inzisivenregion weiter als in der Molarenregion, was zu einer „V“-Form und dem typischen Diastema mediale führt (Abbildung 16).

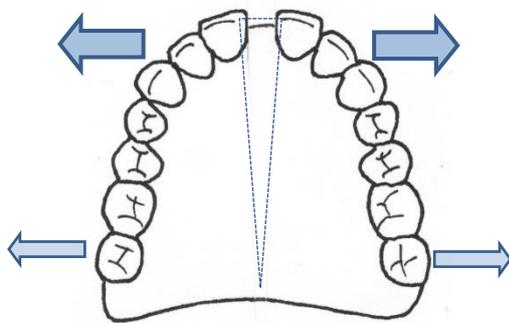


Abb. 16: „V“-förmige Öffnung der Sutura palatina mediana

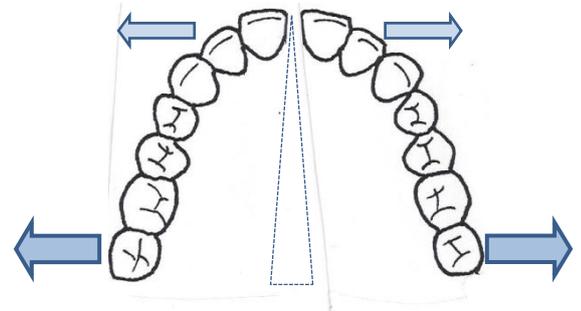


Abb. 17: „V“-förmige Öffnung des Zahnbogens

Der Zahnbogen hingegen weist nach der Aktivierungsphase der forcierten GNE in der Molarenzone eine größere Breitenzunahme auf als im anterioren Bereich, ausgelöst durch die zusätzliche Bukkalkippung der Molaren (Abbildung 17). Betrachtet man den Schädel von frontal, wird hier ebenfalls ein „V“-förmiges Auseinanderdriften der Maxillahälften erkennbar, wobei die Spitze der „V“-Form kranial liegt (Abbildung 18)<sup>15, 18, 19, 33, 45, 69, 75, 93, 95, 161</sup>.

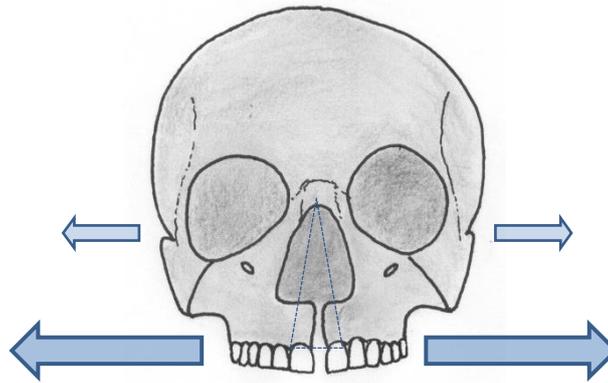


Abb. 18: „V“-förmige Öffnung der Sutura intermaxillaris

Die GNE bedingt durch die unterschiedlichen Bewegungs- und Rotations-Reaktionen der einzelnen Strukturen, dass es während der Behandlung zu einer vorübergehenden Verlagerung der Maxilla nach vorne und unten kommt, einer Absenkung des Gaumendaches sowie einer ventrale Verlagerung des A-Punktes und einer Zunahme des SNA-Winkels <sup>18, 27, 37, 40, 64, 69, 70, 80, 117, 129, 135, 157, 161</sup>.

Bei den ausschließlich Implantat getragenen Apparaturen wirkt die Dehnkraft direkt auf die knöchernen Strukturen ohne die Zwischenschaltung der dentalen Komponente. Um eine ausreichend große Kraftübertragungsfläche zu gewährleisten, ist für diese Geräte ein invasiver chirurgischer Eingriff erforderlich.

Der bereits angesprochene Mix aus zahn- und Implantat getragener Konstruktion führt im anterioren Gaumenbereich, in dem die Implantate inseriert werden, zu einer skelettalen Krafteinwirkung, im posterioren, zahngestützten Bereich, zu einer initialen dentalen Krafteinwirkung, die nach dem oben beschriebenen Prinzip auf die knöchernen Areale geleitet wird.

In der Literatur wird die GNE vorzugsweise im Wechselgebiss noch vor Erreichen des Wachstumsgipfels der Pubertät empfohlen <sup>7</sup>. Dies soll Zeitverzögerungen oder sogar Behandlungsmisserfolge verhindern, da die Sutura palatina mediana zu diesem Zeitpunkt noch nicht verknöchert sei (Abbildung 19) <sup>113</sup>.

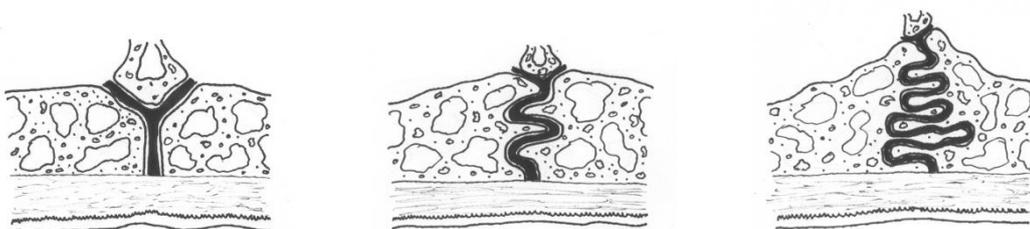


Abb. 19: Entwicklung der Sutura palatina mediana vom Kind (links) über den Jugendlichen (Mitte) bis zum Erwachsenen (rechts) (entsprechend <sup>113</sup>)

Bei zu großem knöchernen Widerstand gegen das Aufdehnen der Suture geht man davon aus, dass es weniger zu einer skelettalen Verbreiterung der Oberkieferbasis kommt als viel mehr zu einer hauptsächlich oder ausschließlich dentalen Verbreiterung des Zahnbogens durch einen Molarentorque oder die Kippung der Kiefersegmente einschließlich der Zähne<sup>7, 152</sup>. Knaup et al. stellten in ihrer histomorphometrischen Studie jedoch fest, dass die Sutura palatina mediana auch im fortgeschrittenen Alter nicht vollständig verknöchert und dies somit als Ursache für die „erhöhte transversale Resistenz“ ausscheidet<sup>91</sup>. Ihrer Ansicht nach sind dafür die angrenzenden Schädelstrukturen verantwortlich. Bishara schreibt dies neben den knöchernen Anteilen des Craniums auch dem muskuloskelettalen Faszien-System zu<sup>19</sup>.

Die Ausprägung dieses nicht erwünschten Effekts der GNE soll auch abhängig sein von der Wahl der Befestigungspositionen der unterschiedlichen Apparaturen<sup>4, 39, 56, 69, 70, 72, 98, 131, 159</sup>. Zur Verifizierung der oben erwähnten Vermutungen erscheint es sinnvoll, das Verhältnis von skelettaler zu dentaler Veränderung während der Behandlung zu untersuchen.

## 2.1.5 Unerwünschte Nebeneffekte der Gaumennahterweiterung

Abgesehen von den gewünschten Effekten der forcierten GNE wie der skelettalen Verbreiterung des Zahnbogens, der damit einhergehenden Platzbeschaffung im Oberkiefer oder der verbesserten Nasenatmung, wurde bei der Anwendung auch immer wieder über unerwünschte Nebeneffekte berichtet. Borel-Scherf führte zu diesem Thema im Rahmen ihrer Dissertation eine Umfrage unter niedergelassenen Kieferorthopäden und einigen Kliniken durch, die die GNE anwendeten, und erhielt so 95 verwertbare Fragebögen. Den Fokus der Studie legte sie auf die unerwünschte dentale Komponente: Die Kippung der Ankerzähne nach bukkal<sup>142</sup>. Die laterale Impulsbelastung der Ankerzähne und die Kompression des Desmodontalspaltes bedingen die gelegentlich beschriebenen externen Wurzelresorptionen, Fenestrations des bukkalen Alveolarknochens und Gingivarezessionen<sup>2, 11, 55, 100, 120, 124, 142, 154, 156</sup>. Auch wenn Wurzelresorptionen bei elektronenmikroskopischen Untersuchungen nachzuweisen sind, röntgenologisch können diese erst visualisiert werden, wenn sie ein gewisses Ausmaß angenommen haben und bleiben so in der Regel unerkannt<sup>11</sup>.

Einige Autoren führten die unerwünschte Nebenwirkung des Ausbleibens der Suturenöffnung auf die Rigidität der anatomischen Strukturen im fortgeschrittenen Alter zurück und empfahlen daher, die forcierte GNE vor dem pubertären Wachstumsgipfel durchzuführen<sup>7, 32, 105, 152, 161</sup>. Beim Erwachsenen wurde zu einer chirurgischen Schwächung der Processus zygomatici und

gegebenenfalls der Sutura palatina mediana vor der GNE-Behandlung geraten<sup>81, 87, 91, 109, 112, 113, 164</sup>, um diese Rigidität zu eliminieren und so übermäßige Zahnkippen oder Spannungen in den knöchernen Anteilen zu vermeiden. Handelman und Basdra verfolgten in neueren Studien den Ansatz, auch jenseits der Pubertät die GNE ohne chirurgische Vorbehandlung durchzuführen, um die nicht unerheblichen Eingriffe und die damit wiederum verbundenen Risiken zu umgehen<sup>12, 142</sup>.

Die häufigste beschriebene Nebenwirkung ist der Schmerz während der Behandlung. Da Schmerz ein sehr subjektives Empfinden darstellt, ist in der Literatur kein Konsens zu den Faktoren Alter, Geschlecht, Dehnkraft oder sozialer Prägung zu finden. Aufgrund der Tatsache, dass trotz angegebener Schmerzen selten schmerzlindernde Medikamente eingenommen wurden, ist in den meisten Fällen wohl eher von einem mehr oder weniger ausgeprägten, unangenehmen Gefühl auszugehen<sup>16, 142</sup>.

Sowohl die Verlagerung der Maxilla nach kaudal-ventral als auch die damit verbundene Positionsänderung des A-Punktes konnten Chang et al. im Jahr 1997 über einen Langzeitbeobachtungszeitraum als nicht signifikant und damit für die Klinik als unbedeutend bestätigen. Der offene Biss gehört zu den Beobachtungen während der GNE, die nur von kurzer Dauer sind. Durch Überexpansion des Oberkieferzahnbogens kommt es zu einem vorübergehenden Kontaktpunktverhältnis vom palatinalen Höcker des ersten Oberkiefermolaren zum bukkalen Höcker des ersten Unterkiefermolaren, welches die vermeintliche Bisshebung erklärt<sup>27</sup>.

Ebenfalls zu den vorübergehenden Nebenwirkungen kann eine beschriebene Verbreiterung der Nase<sup>161</sup> gezählt werden. Durch Ausbildung von Hämatomen und einer gewissen damit verbundenen Volumenzunahme während der forcierten GNE im Bereich der Sutura frontomaxillaris, dem Drehpunkt der an der GNE beteiligten Strukturen, kommt es zu einer reversiblen Verformung des Weichgewebes<sup>142</sup>.

Ausgehend von einer Verbiegung des unpaarigen Os sphenoidale während der GNE, befürchtete Holberg, dass es an den nervführenden Foramina dieses Knochens zu Spannungen und somit eventuell zu Deformationen der Kanäle und theoretischen Schädigungen der beinhalteten Nervenstrukturen kommt. Mittels des Finite-Elemente-Modells konnte er diese Spannungen bestätigen, die er im juvenilen Knochen als moderat, im adoleszenten allerdings als deutlich größer bezeichnete. Vor diesem Hintergrund empfahl er neben der oben bereits erwähnten chirurgischen Vorbereitung der GNE außerdem die chirurgische Separation von Os sphenoidale und Maxillae. Eine tatsächliche neurale oder vaskuläre Schädigung wurde von ihm nicht beschrieben<sup>81</sup>.

Die Rezidivneigung wird in der Praxis damit verhindert, dass der Oberkiefer über das am Ende angestrebte Maß hinaus gedehnt wird<sup>19, 74, 110, 114, 152, 157, 161</sup>.

## 2.1.6 Prognostische Parameter

Ob die Behandlung mit einer forcierten GNE erfolgreich war, lässt sich relativ leicht ermitteln.

Es müssen zwei Fragen positiv beantwortet werden:

- Wurde ein ausreichendes Maß an Oberkiefererweiterung erzielt?
- Wurde dieses Ergebnis mit so wenig unerwünschten Nebeneffekten erzielt wie möglich?

Die erste Frage wird der die Indikation stellende und ausführende Behandler durch einfache Messungen und anhand der Betrachtung des erzielten Ergebnisses schnell beantworten können.

Die Beantwortung der zweiten Frage kann jedoch nur auf dem Wege der Evidenz erfolgen. Im Zuge von wissenschaftlichen Studien und Forschungen sowie Erfahrungen ergeben sich im Idealfall standardisierte Parameter, die den Erfolg der Behandlung vorhersehbar machen.

Die Erfahrungen auf dem Gebiet der GNE sind seit Angell<sup>3</sup> über 150 Jahre gesammelt worden. Die Verifizierung dieser Erfahrungen durch die Untersuchung der Ergebnisse erstreckt sich etwa über den gleichen Zeitraum.

Das ideale Ergebnis der GNE ist erzielt, wenn die Ratio zwischen skelettalen und dentalen Effekten 1:1 ist und sich der skelettale Verbreiterungseffekt nahezu parallel und symmetrisch in der Le-Fort-1-Ebene ausdehnt<sup>150</sup>.

Folgende Parameter sind für die Prognose der forcierten GNE wichtig:

- Welche Apparatur sollte wann angewendet werden?
- Welcher Drehrhythmus sollte verwendet werden?
- Wie häufig wird die Dehnschraube gedreht und welche Öffnung sollte pro Drehung erzielt werden?
- An welchen Zähnen ist es sinnvoll, die dentale Veränderung während der GNE zu messen?
- Welche knöchernen Punkte müssen ausgewertet werden, um die Effektivität der GNE zu bestimmen?

- Wie lang sollte die Apparatur nach der aktiven Dehnungsphase im Mund verbleiben, um das Ergebnis zu sichern?
- Zu welchen Zeitpunkten ist es sinnvoll, diese Effekte zu messen?
- Welches bildgebende Verfahren ist geeignet, um die erzielten Effekte darzustellen?

Um diese Parameter zu vergleichen, wurden sie in der vorhandenen Literatur recherchiert und zusammengetragen. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, standardisierte Handlungsabläufe aus den gewonnenen Erkenntnissen abzuleiten.

## 3. Material und Methoden

### 3.1 Studiendesign

Zur Literaturrecherche wurde die Datenbank „PubMed“ genutzt, die als biomedizinische Literatursammlung mit über 5000 Journalen einen äußerst umfangreichen und wissenschaftlich international anerkannten Nachweis zu entsprechenden Veröffentlichungen darstellt.

Unter Einbeziehung aller hier bis November 2011 verfügbaren Artikel sollte eine Metaanalyse hinsichtlich der Ratio von dentalen und skelettalen Effekten der forcierten Gaumennahterweiterung entstehen. Bei der in Kapitel 3.2 und in Kapitel 3.4, Abbildung 20 näher erläuterten Analyse der infrage kommenden Publikationen ergab sich, dass keine einheitlichen, vergleichbaren Studienaufbauten zu finden waren. In Folge dessen wurde aufgrund der nicht gegebenen Durchführbarkeit einer Metaanalyse das Design eines systematischen Reviews gewählt.

### 3.2. Literaturrecherche

Mit Hilfe von „PubMed“ wurde in der Zeit von Juli 2011 bis November 2011 eine Suche nach geeigneten Publikationen durchgeführt.

Zunächst wurde die Datenbank nach den englischen Begriffen für die Gaumennahterweiterung „palatal expansion“ und „maxillary expansion“ durchsucht. Dabei wurden nahezu 2400 Artikel aus den Jahren 1952 bis 2011 identifiziert. Da ausschließlich die forcierte GNE Ziel der Analyse war, wurde die Suche durch das Hinzufügen des Begriffes „rapid“ – also „rapid palatal expansion“ beziehungsweise „rapid maxillary expansion“ - weiter um ca. zwei Drittel auf etwa 770 Studienbeschreibungen eingeschränkt. Ob diese Artikel in die Studie einbezogen werden konnten, wurde bestimmt, indem alle Abstracts dieser Artikel gelesen und hinsichtlich der zuvor festgelegten und unten aufgeführten Ein- und Ausschlusskriterien überprüft wurden. Somit reduzierte sich die Anzahl der für die Studie infrage kommenden Veröffentlichungen auf 192. Nach Analyse der verbliebenen 192 Artikel in der Vollversion erfüllten lediglich 16 diejenigen Kriterien, nach der die Meta-Analyse durchgeführt werden sollte. Eine grafische Darstellung dieser Suchstrategie findet sich in Kapitel 3.4, Abbildung 20. Zur Literaturverwaltung wurde EndNote X5 verwendet.

### 3.3. Ein- und Ausschlusskriterien

Im Vorfeld wurden folgende Einschlusskriterien festgelegt und auf die ausgewählten Abstracts angewandt, die aus der Datenbank gefiltert werden konnten:

- Der Artikel musste in PubMed zu finden sein.
- Es musste sich um eine Studie zu dem Thema „forcierte Gaumennahterweiterung“ also „rapid palatal expansion“ / „rapid maxillary expansion“ handeln.
- Die Untersuchungen fanden am Menschen statt.
- Die in der Studie verwendete kieferorthopädische Apparatur musste entweder rein bandgetragen sein, wobei es irrelevant war, ob es sich um eine 2-fach oder 4-fach befestigte Apparatur handelte, oder eine Implantat getragene Konstruktion.
- Die Messwerte wurden anhand von Röntgenbildern oder CT-Aufnahmen ermittelt.
- Weil ein Verhältnis von dentaler zu skelettaler Veränderung beschrieben werden sollte, mussten in der Studie sowohl dentale als auch skelettale Effekte beschrieben werden.
- Die Anzahl der untersuchten Personen musste  $\geq 10$  sein.

Die ursprüngliche Überlegung, bei der Auswahl der einzubeziehenden Journale einen impact factor von 1 zugrunde zu legen, musste verworfen werden. Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei kieferorthopädischen Journalen um solche Literatur handelt, bei dem bis 2004 lediglich 3 Journale einen impact factor besaßen (American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Angle Orthodontist, European Journal of Orthodontics) <sup>89</sup>, konnte die ursprüngliche Maßgabe nicht beibehalten werden. Der impact factor kieferorthopädischer Journale lag bis einschließlich 2006 unter 1. Hätte bei der Literatursauswahl dieses Kriterium Anwendung gefunden, wären eine Vielzahl von Studien aus der Recherche herausgefallen. Der impact factor spiegelt das wissenschaftliche Ansehen eines Journals wider. Er ergibt sich aus dem Verhältnis der Anzahl von wissenschaftlichen Zitaten, die sich auf die Artikel eines bestimmten Journals beziehen zu der Anzahl aller zitierbaren Artikel, begrenzt auf die Zitierungen der ersten zwei Jahre nach Erscheinen des Artikels. Es handelt sich um eine rein quantitative und nicht um eine qualitative Messgröße.

Keine Berücksichtigung fanden Studien, die in ihren Designs

- an Tieren oder am präparierten menschlichen Schädel arbeiteten
- mit Apparaturen arbeiteten, die nicht zur forcierten GNE geeignet sind, sich aber dennoch unter diesem Begriff in „PubMed“ finden ließen (Quadhelix, Plattenapparaturen)
- die GNE-Konstruktion mit anderen kieferorthopädischen Geräten zur extraoralen Abstützung kombinierten, wie z. B. Headgear, Kopf-Kinn-Kappen oder Masken
- die GNE zusätzlich mit chirurgischer Suturenverbreiterung oder chirurgischer Suturenschwächung unterstützen
- Apparate anwendeten, die sich mit Hilfe einer Kunststoffplatte an den Palatinalflächen der Zähne abstützten oder die Zähne sogar komplett mit Kunststoff fassten, sogenannte „Kunststoffkappenschienen“
- die Messwerte ausschließlich anhand von Modellanalysen generierten.

Studien, die den Behandlungseffekt der Expansionsapparatur verfälschten, indem bereits während der aktiven Expansionsphase gleichzeitig weitere Behandlungen mit Hilfe orthodontischer Maßnahmen wie Brackets und Bögen durchgeführt wurden, fanden in der Auswahl der Artikel ebenfalls keine Berücksichtigung.

### 3.4. Ausgewählte Artikel

Alle verbliebenen 16 Artikel (Tabelle 1) erfüllten die oben genannten Kriterien und sollten nun zu einer systematischen Metaanalyse zusammengeführt werden.

Es wurde eine Tabelle in dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 2010 erstellt, in welche die Messgrößen der einzelnen Studien eingetragen und verglichen werden konnten. Aufgrund der Tatsache, dass keine definierten Parameter auffindbar waren, sollen nachfolgend die einzelnen Artikel kurz beschrieben werden.

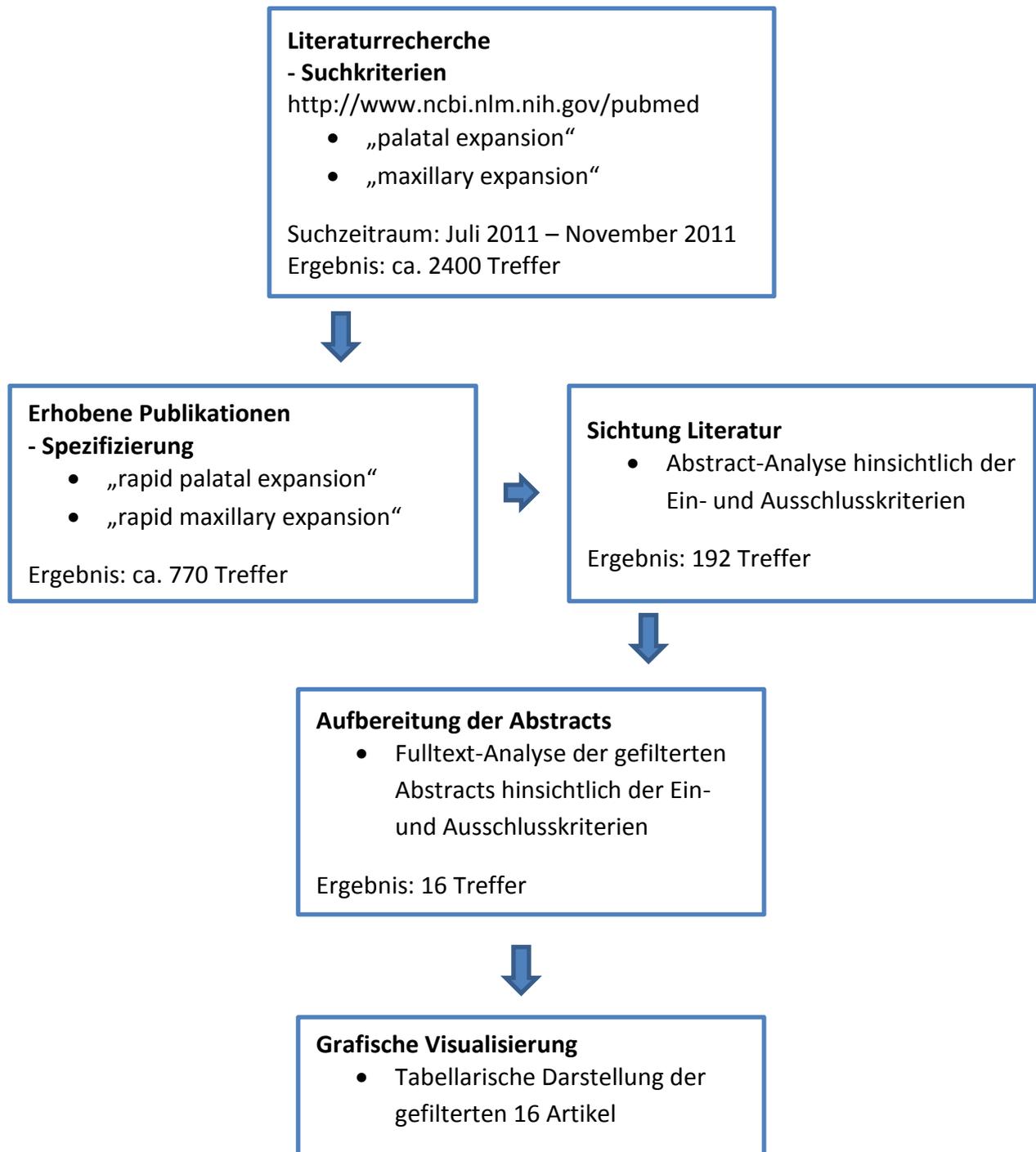


Abb. 20: Suchstrategie und Workflow

Studiennummer	Autor	Jahr	Journal	Titel	Fallzahl
1a	Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA	2001	Angle Orthodontist	Treatment timing for rapid maxillary expansion	29
1b	Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA	2001	Angle Orthodontist	Treatment timing for rapid maxillary expansion	13
2	Ballanti F, Lione R, Baccetti T, Franchi L, Cozza P	2010	AJODO	Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion investigated with low-dose computed tomography in growing subjects	17
3	Cameron CG, Franchi L, Baccetti T, McNamara JA	2002	AJODO	Long-term effects of rapid maxillary expansion: A posteroanterior cephalometric evaluation	42
4	Chung CH, Font B	2004	AJODO	Skeletal and dental changes in the sagittal, vertical, and transverse dimension after rapid palatal expansion	20
5	Cozza P, Giancotti A, Petrosino A	2001	Journal of Orthodontics	Rapid palatal expansion in mixed dentition using a modified expander: a cephalometric investigation	20
6a	Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD	2005	AJODO	Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances	14
6b	Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD	2005	AJODO	Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances	14
7	Farronato G, Maspero C, Esposito L, Briguglio E, Farronato D, Giannini L	2011	European Journal of Orthodontics	Rapid maxillary expansion in growing patients. Hyrax versus transverse sagittal maxillary expander: a cephalometric investigation	25
8	Ghoneima A, Abdel-Fattah E, Eraso F, Fardo D, Kula K, Hartsfield J	2010	Australian Journal of Orthodontics	Skeletal and dental changes after rapid maxillary expansion: a computed tomography study	20
9	Gohl E, Nguyen M, Enciso R	2010	AJODO	Three-dimensional computed tomography comparison of the maxillary palatal vault between patients with rapid palatal expansion and orthodontically treated controls	19
10a	Halicioğlu K, Yavuz I	2011	European Journal of Orthodontics	Comparison of the effects of rapid maxillary expansion caused by treatment with either a memory screw or a Hyrax screw on the dentofacial structures - transversal effects	17
10b	Halicioğlu K, Yavuz I	2011	European Journal of Orthodontics	Comparison of the effects of rapid maxillary expansion caused by treatment with either a memory screw or a Hyrax screw on the dentofacial structures - transversal effects	15
11	Kartalian A, Gohl E, Adamian M, Enciso R	2010	AJODO	Cone-beam computerized tomography evaluation of the maxillary dentoskeletal complex after rapid palatal expansion	25
12a	Lagravère MO, Carey J, Heo G, Toogood RW, Major PW	2010	AJODO	Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: A randomized clinical trial	21
12b	Lagravère MO, Carey J, Heo G, Toogood RW, Major PW	2010	AJODO	Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: A randomized clinical trial	20
13	Reed N, Ghosh J, Nanda RS	1999	AJODO	Comparison of treatment outcomes with banded and bonded RPE appliances	38
14	Rungcharassaeng K, Caruso JM, Kan JY, Kim J, Taylor G	2007	AJODO	Factors affecting buccal bone changes of maxillary posterior teeth after rapid maxillary expansion	30
15	Sandikcioglu M, Hazar S	1997	AJODO	Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition	10
16a	Weissheimer A, Menezes LMd, Mezomo M, Dias MM, Lima EMSd, Rizzato SMD	2011	AJODO	Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: A randomized clinical trial	18
16b	Weissheimer A, Menezes LMd, Mezomo M, Dias MM, Lima EMSd, Rizzato SMD	2011	AJODO	Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: A randomized clinical trial	15

Tab. 1: Ausgewählte Artikel

## **Studie 1a und 1b**

Baccetti et al.<sup>7</sup> verglichen in ihrer Studie aus dem Jahr 2001 Kurz- und Langzeiteffekte der GNE bei unterschiedlichen Zeitpunkten des Behandlungsstarts. Ein Teil der Studie wurde mit Probanden durchgeführt, die noch vor dem Höhepunkt ihrer Pubertät waren (Tabelle 1, Studie 1a), während der andere Teil sich gerade in der Pubertät oder unmittelbar danach befand (Tabelle 1, Studie 1b). Verwendet wurde eine Haas-Apparatur, von der man vermuten kann, dass es sich um eine Apparatur handelt, die an 4 Zähnen befestigt ist, wahrscheinlich an den oberen ersten Prämolaren und ersten Molaren. Dies wird aber in der Beschreibung des Gerätes nicht explizit erwähnt. Bei allen Probanden wurde die Schraube bis zu einer Öffnung von 10,5mm gedreht. Mittels posterior-anterior-Röntgenaufnahmen wurden dentale und skelettale Effekte untersucht. Die Messungen beschränkten sich auf die Transversalebene und fanden zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten statt: a) vor Beginn der Behandlung, b) nach der aktiven Expansion und c) mindestens 5 Jahre nach Behandlungsende. Direkt im Anschluss an die Retentionsphase von 9 Wochen und Entfernung der Haas-Apparatur wurden orthodontische Geräte eingegliedert. Somit gibt der Messzeitpunkt 5 Jahre nach Behandlungsende keinen Aufschluss mehr über den Effekt einer forcierten GNE.

Als skelettale Messpunkte wurden Euryon, der am weitesten lateral gelegen Punkt des Hirnschädels, Medioorbitale, der am weitesten medial gelegene Punkt der Augenhöhle, Lateroorbitale, der Schnittpunkt zwischen der lateralen Orbitawand und dem großen Flügel des Os sphenoidale, der am weitesten lateral gelegene Punkt des Jochbeins (Zygomatic) sowie der Schnittpunkt zwischen Os zygomaticum und dem aufsteigenden Ast des Unterkiefers (Zygomandibulare), der laterale Punkt des Kiefergelenkköpfchens (Condylar lateral), der Schnittpunkt zwischen dem Unterrand der Maxilla und der medialen Kontur des aufsteigenden Unterkieferastes (Maxillomandibulare), der tiefste Punkt der lateralen Maxillakontur am Verbindungspunkt von Maxilla und Os zygomaticum (Maxillare), der am weitesten lateral gelegen Punkt der Nasenkavität (Lateronasal), Gonion als dem am weitesten außen, unten und nach hinten liegende Punkt des Unterkieferwinkels und Antegonion, der Einkerbung vor dem Gonion-Punkt, festgelegt.

Dentale Messpunkte stellten die am weitesten lateral gelegenen Punkte Bukkalflächen der oberen und unteren ersten Molaren, die am weitesten mesial gelegenen Punkte der oberen zentralen Inzisivi und deren Apex sowie der Winkel zwischen ihren Längsachsen dar. Baccetti et al. fanden heraus, dass in der Gruppe der Patienten, bei denen bereits vor der Pubertät mit der GNE begonnen wurde, als Kurzzeiteffekt eine signifikant größere Zunahme des Volumens der Nasenhöhle zu verzeichnen war. Als Langzeiteffekte waren die Breitenzunahme der Maxilla, des

Abstandes der Oberkiefermolaren, der Abstand der lateralen Nasalwände und der lateralen Orbitawände signifikant größer als bei den Patienten, die erst während oder nach dem Höhepunkt ihrer Pubertät eine GNE erhielten. Diese Gruppe zeigte Signifikanzen im Abstand der lateralen Nasenwände und der Ober- und Unterkiefer Molaren. Fazit der Studie war es, dass eine Behandlung vor Beginn der Pubertät größere Veränderungen in der transversalen, skelettalen Ebene erzielt als eine Behandlung zu einem späteren Zeitpunkt.

## **Studie 2**

Im Jahr 2010 veröffentlichten Ballanti et al.<sup>8</sup> ihre Studie über die Veränderung der Suturenweite während und nach der Behandlung mit einer GNE-Apparatur. Das hier gewählte Gerät war ein butterfly palatal expander, basierend auf einer Haas-Apparatur. Das Besondere an dieser Apparatur ist die Tatsache, dass sie lediglich an den ersten Oberkiefermolaren mit Bändern zementiert ist, an denen Drahtausläufer in Richtung der Palatinalflächen der Milchmolaren angebracht sind.

Inklusionskriterium für die Patienten dieser Studie war ein verlagerter oberer Eckzahn.

Die Aktivierungszeit betrug bei allen Patienten 14 Tage, bis eine Expansion von 7 mm erreicht war. Mittels multislice CT wurden zu Beginn der Behandlung, nach der aktiven Expansion und nach einem weiteren Zeitraum von 6 Monaten, in denen die Apparatur als passives Retentionsgerät im Mund verblieb, die Breite der Sutura palatina in drei unterschiedlichen Sagittalebene senkrecht zur Okklusionsebene gemessen: a) In Höhe der Spina nasalis anterior, b) in Höhe der Spina nasalis posterior und c) in der Mitte zwischen Spina nasalis anterior und posterior. Als dentale Effekte wurden während der oben genannten Zeitpunkte zudem noch die Abstände zwischen den beiden oberen, zentralen Inzisivi in Kronenhöhe und am Apex aufgezeichnet. Als Ergebnis zeigten Ballanti et al., dass sich die Sutura palatina parallel öffnet und nicht triangulär und dass sie sich nach der passiven Retentionszeit von 6 Monaten wieder reorganisiert zu haben scheint. Die ebenfalls gemessene vergrößerte Nasenkavität blieb auch nach diesem Zeitraum stabil.

## **Studie 3**

In der dritten ausgewählten Studie wurden von Cameron et al.<sup>22</sup> in erster Linie mit Hilfe von posterior-anterior Röntgenaufnahmen Langzeitveränderungen nach der GNE mit einer Haas-Apparatur beschrieben. Der Studienaufbau, die Apparatur und die Messpunkte entsprechen denen der Studie von Baccetti et al.<sup>7</sup> aus dem Jahr 2001, allerdings wurde hier als zweiter Messzeitpunkt (T2) ein Zeitraum von mindesten 5 Jahren nach der kieferorthopädischen

Behandlung angegeben. Während die Patienten zum Zeitpunkt T1 (vor Behandlungsbeginn) ein durchschnittliches Alter von 11 Jahren und 10 Monaten aufwiesen, waren es bei T2 bereits 20 Jahre und 6 Monate. Die beschriebenen Langzeitergebnisse bezogen sich auf eine Therapie mit GNE und darauf folgenden orthodontischen Behandlungen. Als Ergebnis wurde die Effektivität der GNE im Bereich der signifikanten Breitenzunahme der Maxilla, des vergrößerten Abstandes der Apices der Oberkieferinzisivi und zugleich der der ersten Molaren des Oberkiefers angegeben.

#### **Studie 4**

Eine Untersuchung zu dentalen und skelettalen Effekten der GNE sowohl in sagittaler, vertikaler als auch in transversaler Richtung veröffentlichten Chung und Font im Jahr 2004<sup>28</sup>. Bei vier der insgesamt 20 Probanden wurde bereits während der Retentionsphase mit einer orthodontischen Behandlung im Unterkiefer begonnen. Die Messergebnisse dieser vier Probanden wurden in der Effektbeschreibung nicht separat aufgeführt. Ebenso fehlen spezifizierte Werte zu weiteren vier Probanden, deren erste Oberkieferprämolaren noch nicht durchgebrochen waren und bei denen die Haas-Apparatur nur an zwei Zähnen anstelle der sonst in dieser Studie üblichen vier Zähnen, befestigt wurde, nämlich an den oberen ersten Molaren. Die dentalen transversalen Effekte wurden allein anhand von Gipsmodellen ermittelt. Die kephalometrische Analyse der Fernröntgenseitenbilder und der posterior-anterior Aufnahmen beurteilte die dentalen und skelettalen sagittalen, die vertikalen und die skelettalen transversalen Veränderungen. Die Messpunkte und -ebenen wurden die wie folgt festgelegt:

Für das FRS Sella, Nasion, Orbitale, Spina nasalis anterior und posterior, Porion, der A-Punkt (Subnasale), der B-Punkt (Supramentale), Pogonion und Menton, die Frankfurter Horizontale (zwischen Porion und Nasion) und die Mandibularebene (zwischen Gonion und Menton).

Für die p.a.-Aufnahme Mediorbitale (der am weitesten medial gelegene Punkt der Augenhöhle), der am weitesten lateral gelegen Punkt der Nasenkavität (Lateronasal), der tiefste Punkt der lateralen Maxillakontur am Verbindungspunkt von Maxilla und Os zygomaticum (Maxillare) sowie das Antegonion.

Diese Studie zeigte, dass es zu einer leichten Vorwärtsbewegung der Maxilla durch die GNE-Behandlung kam und sie sich nach unten bewegte. Der Unterkiefer veränderte seine Position in Richtung hinten und unten und die Höhe des Vordergesichts stieg ebenso signifikant an, wie der Orbitaabstand, die Breite der Maxilla und der Nasenhöhle.

## Studie 5

Cozza et al.<sup>30</sup> verwendeten wie Ballanti in ihrer Studie den butterfly palatal expander, basierend auf Haas-Apparatur, diesmal allerdings an den zweiten Milchmolaren befestigt (Abbildung 21).

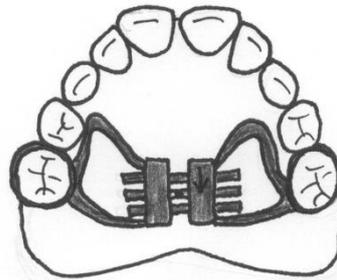


Abb. 21: butterfly palatal expander an Milchmolaren befestigt (entsprechend<sup>30</sup>)

Die Apparatur wurde bereits unmittelbar nach der Eingliederung viermal eine Viertel Umdrehung gedreht, danach täglich dreimal jeweils eine Viertel Umdrehung. Eine Millimeter-Angabe zur Schraubenöffnung fehlt in der Studienbeschreibung. Die kephalometrischen Punkte und Ebenen am FRS Sella, Nasion, Spina nasalis anterior und posterior, der A-Punkt (Subnasale), der B-Punkt (Supramentale), Pogonion und Menton, Artikulare, Gonion und Gnathion, die pterygomaxilläre Fissur, die Frankfurter Horizontale, die Okklusionsebene und zusätzlich die oberen und unteren ersten Molaren wurden zur Untersuchung sagittaler und vertikaler Effekte sowohl skelettal als auch dental herangezogen.

Es konnten keine signifikanten Veränderungen in sagittaler Ebene festgestellt werden. Die apikale Basis rotierte nicht-signifikant nach unten hinten. Signifikant war allerdings die Zunahme der Vordergesichtshöhe ohne signifikante Veränderung der vertikalen Dimension sondern als Resultat einer Verschiebung der Oberkiefermolaren im Verhältnis zur Gaumenebenen.

## Studie 6a und 6b

Den Unterschied zwischen den Behandlungen mit einer Hyrax-Apparatur, die an zwei Zähnen befestigt ist (Studie 6b, Tabelle 1), und einer Hyrax-Apparatur mit vier Befestigungspunkten (Studie 6a, Tabelle 1), beleuchteten Davidovitch et al.<sup>39</sup> in ihrer Arbeit von 2005. Die Expansionsschraube erweiterte das Gerät in beiden Fällen um lediglich 0,24 mm pro Vierteldrehung. Hauptaugenmerk lag auf der Veränderung der Suturenbreite und der Zahnkipfung der oberen Molaren und ihrem Abstand zueinander. Letztere wurden mit Hilfe von sogenannten „jigs“ beurteilt, welche man sich als „L“-förmige Drahtkonstruktionen mit

einem kreisrunden oder diamantförmig gebogenen Ende vorstellen kann. Diese wurden während der Röntgenaufnahmen in die Slots der Molarenbänder gesteckt. Gemessen wurden die Werte anhand von Aufbissaufnahmen und PA-Röntgenbildern. Andere transversale dentale Größen wie der Abstand der Inzisivi, der Eckzähne und der Mittelfissur der ersten Molaren des Oberkiefers, erhielt man durch Modellanalysen. Bereits während des Zeitfensters zwischen T2 (Ende der Aktivierungsphase) und T3 (ein Jahr nach T2 – in der Studienbeschreibung „postretention“ genannt) wurden weiterführende orthodontische Behandlungen vorgenommen. Beide Apparaturen wiesen eine „V“-förmige Suturenverbreiterung (Breite in regio der 1er > Breite in regio der 3er > Breite in regio der 6er) auf, wohingegen der Zahnbogen eine genau umgekehrte Reaktion offenbarte (Abstandszunahme der 1er < Abstandszunahme der 3er < Abstandszunahme der 6er). Die Suturenverbreiterung zum Zeitpunkt T2 war bei dem an vier Zähnen befestigten Gerät 2,5-mal so groß wie bei dem an zwei Zähnen befestigten. Während in der Gruppe der 2-Zahn-Befestigung bei Patienten, die älter als 12 Jahre waren, die Signifikanz der Suturenöffnung fehlt, war dieser Effekt in der 4-Zahn-Befestigung unabhängig vom Alter der Probanden. Davidovitch zog unter anderem als Konsequenz aus seiner Studie, dass die Suturenerweiterung umso kleiner ausfällt, je größer die skelettale Widerstandsfähigkeit ist. Die dentale Reaktion fällt mit zunehmender Widerstandsfähigkeit hingegen umso größer aus.

### Studie 7

Farronato et al.<sup>51</sup> stellten 2011 die Behandlung mit einer Hyrax-Apparatur und diejenige mit einem „transverse sagittal maxillary expander“ (TSME) gegenüber (Abbildung 22).



Abb. 22: TSME („transverse sagittal maxillary expander“) (entsprechend<sup>51</sup>)

Der vorliegenden Studie entnehmend wurde diese Apparatur 2007 von dem Autor selbst entwickelt. Nähere Angaben zu der Befestigung der Hyrax-Vorrichtung und zur Expansionskraft der Schrauben in beiden Geräten wurden nicht gemacht. Das Alter aller untersuchten Probanden, sowohl der Gruppe der behandelten Kinder als auch der Kontrollgruppe wurde mit

zwischen 6 und 15 Jahren angegeben. Eine Altersdifferenzierung beider Gruppen wird nicht aufgeführt. Zwecks Messung der skelettalen und dentalen Effekte in sagittaler Richtung wurden FRS-Aufnahmen der Patienten angefertigt. Als Messpunkte wurden Sella, Nasion, Spina nasalis anterior und posterior, der A-Punkt (Subnasale), der B-Punkt (Supramentale), Gonion und Gnathion, die Frankfurter Horizontale, die Okklusionsebene sowie die oberen und unteren ersten Molaren festgelegt. Signifikante Resultate zeigten sich in der TSME-Gruppe in der Vorwärtsbewegung des dentoalveolären maxillären Fortsatzes (Abstand der Spina nasalis posterior zum A-Punkt) und in der Neigung des Oberkiefer Inzisivus in Abhängigkeit zur Frankfurter Horizontalen (I FH) und zur Sella-Nasion-Ebene (I SN). Die Hyrax-Gruppe wies eine signifikante Rotation des Oberkiefers in Richtung unten und hinten und eine Zunahme des Abstandes zwischen dem ersten Molaren des Oberkiefers und der Palatinalebene auf. Die Bilanz dieser Untersuchung wurde darin gesehen, dass die TSME in der Behandlung der maxillären Hypoplasie und zur Erzielung skelettaler und dentoalveolärer Modifikationen gegenüber der Hyrax-Apparatur zu bevorzugen sei und sie auch bei frontal offenem Biss angewendet werden könne.

### **Studie 8**

Skelettale und dentale Effekte in der Transversalebene nach forcierter GNE untersuchten Ghoneima et al.<sup>59</sup> an 20 Patienten. Hierfür fertigten sie MSCT-Aufnahmen vor Beginn der Behandlung (T1) und nach der passiven Retentionsphase (T2) an, ein Tag nachdem die Apparatur entfernt wurde. In ihrer Studienbeschreibung wird nicht erwähnt, wie weit sich die Schraube der verwendeten Hyrax-Apparatur pro Drehung öffnet oder wie lang die Expansionsphase andauerte. Es wurden die skelettalen Veränderungen anhand der Breite der maxillären Basis zu den beiden Zeitpunkten gemessen, ebenso jeweils der Abstand der Alveolarfortsätze des Oberkiefers, der Augenhöhlen, der zuoberst gelegenen Anteile der Kondylen, der Abstand der Zygomatic-Punkte, der Zygomandibular-Punkte (Projektion der Schnittstelle des Os zygomaticus und der Kontur der Mandibula), des Schnittpunktes zwischen der Kontur des unteren Randes der Maxilla und des Unterkieferastes, der Maxillare sowie der Gonion- und Antegonion. Bei den dentalen Effekten wurden die Verhältnisse der oberen ersten Molaren, der unteren ersten Molaren und der oberen Inzisivi sowohl in der koronalen als auch in der apikalen Höhe beschrieben. In der Vergleichstabelle der Studie finden sich auch Abstandswerte zu den Eckzähnen und Prämolaren. Wo diese Messpunkte genau gelegen haben, geht aus der Studie nicht hervor.

Die Quintessenz, die Ghoneima aus seinen Untersuchungen zog, stellte dar, dass die Kippung der Zähne und des Alveolarkams von anterior nach posterior sukzessive ansteigt. Die Breite der Maxilla-Basis vergrößerte sich nicht so stark wie die Breite des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes. Auch hier wurde festgestellt, dass die größte Breitenzunahme in der Molarenregion zu finden war und in anteriore Richtung, zu den Eckzähnen hin, abnahm. Ghoneima weist darauf hin, dass der größte Teil des Expansionseffekts der GNE auf die Zahnkipfung, vorrangig im Molarenbereich, zurückzuführen ist.

### **Studie 9**

Die retrospektive Studie von Gohl et al.<sup>62</sup> prüfte die Unterschiede bei Behandlungen mit GNE und rein orthodontisch behandelten Patienten. Bildgebendes und zur Auswertung herangezogenes Verfahren war hierbei das CBCT. In seinem Untersuchungspool aus den Jahren 2003 bis 2007 wurde das Volumen des Gaumens, dessen Höhe und Länge und der Abstand der Eckzähne und der ersten Molaren des Oberkiefers zu Beginn der Behandlung (T1) und zur Mitte der Gesamtbehandlung nach etwa 18 Monaten (T2) ermittelt. Bereits während der Retentionsphase wurde eine ungenannte Anzahl der Patienten mit orthodontischen Geräten behandelt. Schlussfolgerung der Untersuchung ist, dass es zu einer effektiven Volumenzunahme des Gaumens durch die GNE im Vergleich mit der Kontrollgruppe gekommen ist, die in der Hauptsache durch den Zugewinn an Breite zwischen den Molaren und zwischen den Eckzähnen entstanden ist.

### **Studie 10a und 10b**

2011 befassten sich Halicioglu und Yavuz<sup>73</sup> mit einer anderen Art der Expansionsschraube, der Memory-Schraube (Studie 10a, Tabelle 1), die zusätzlich zu der Drehspindel Federn besitzt, die die Expansionskräfte gleichmäßig verteilen und auch bei Patienten funktionieren sollen, deren Compliance zu wünschen übrig lässt. Sie verglichen die transversalen dentalen und skelettalen Effekte mit denen der Hyrax-Schraube (Studie 10b, Tabelle 1). Zur Messung der Effekte wurden posterior-anterior Röntgenaufnahmen und Modelle herangezogen. Die Messpunkte der posterior-anterior-Aufnahmen legte man wie folgt fest: Lateroorbitale, Zygomatic, Maxillary, Nasal, Antegonion und die am weitesten lateral gelegenen Flächen der oberen und unteren ersten Molaren. Darüber hinaus wählte man als Referenzebenen die frontale Gesichtsebene und die Okklusalebene. Um der vom Hersteller der Memory-Schraube gegebenen Anwendungsempfehlung Rechnung zu tragen, wurden beide Schraubentypen während der Retentionszeit nicht, wie sonst üblich, verblockt. Dies führte dazu, dass sich der Expansionspalt

der Hyrax-Schraube in dieser Zeit verkleinerte, während der Abstand der Molaren ohne Aktivierung in der Gruppe Memory-Schrauben durch die Federwirkung größer wurde.

### **Studie 11**

Mittels Cone-Beam-Computer-Tomographie untersuchten 2010 Kartalian et al.<sup>90</sup> transversale Effekte und Kippungen, die durch die Anwendung von Hyrax-Apparaturen erzielt wurden. Nähere Angaben zu den Eigenschaften der verwendeten Transversalschrauben bezüglich der Schraubenöffnung pro Drehung werden nicht gemacht. Genauso fehlen Spezifizierungen zur Dauer der Expansions- und der Retentionszeit. Die skelettalen und dentalen Veränderungen wurden während der Retentionszeit bei einigen Patienten mittels inaktiver Hyrax-Apparatur und bei anderen mit einem Transversalbogen stabilisiert. Auch in dieser Studie kam es in einer ungenannten Anzahl von Fällen zu einer orthodontischen Behandlung schon während der Retentionsphase. Die Schichtebenen der Messungen gehen jeweils durch die bukkale halbierende koronale Einziehung und durch die palatinalen Wurzeln der oberen ersten Molaren. Die dentalen Abstandsveränderungen der oberen ersten Molaren bukkal und palatinal wurden genauso beurteilt, wie die Angulationen zwischen deren palatinalen Wurzeln und einer Parallele zum harten Gaumen, skelettal die Kippung des Alveolarkamms, die Streckenveränderung seiner bukkalen und seiner palatinalen Wände zueinander, außerdem die Weite des Nasenbodens und die des Gaumens. Alle begutachteten Effekte durch die GNE-Behandlung waren signifikant. Kartalian bestätigt mit seiner Studie die in der Literatur beschriebene pyramidenförmige Öffnung der Sutura<sup>18, 69, 161</sup>, wobei die Pyramidenbasis auf der dentalen Höckerebene liegt und die Öffnung in Richtung maxilläre Basis abnimmt. Daneben zeigte sich, dass sich nach Beendigung der Behandlung die Zunahme der maxillären Basisbreite und der alveolären Neigung durch die GNE sich derjenigen der ohne GNE behandelten Kontrollgruppe wieder annäherte. Die Zunahme des Winkels zwischen Alveolarfortsatz und hartem Gaumen betrug zwischen T1 (vor Behandlungsbeginn) und T2 (nach der Hälfte der Gesamtbehandlungszeit) im Schnitt 5,6 °, während die dentale Kippung bei beiden Zeitpunkten nahezu identisch blieb.

### **Studie 12a und 12b**

Lagravère und seine Kollegen führten die mit Abstand umfangreichste Untersuchung in der vorliegenden Literaturliste durch. In ihrer Studie aus dem Jahr 2010<sup>94</sup> erforschten sie dental und skelettale Veränderungen sowohl in transversaler als auch sagittaler und vertikaler Richtung. Die Probanden wurden in zwei Gruppen aufgeteilt, von denen die eine Gruppe mit

einer üblichen, an vier Zähnen befestigten Hyrax-Apparatur versorgt wurde (Studie 12b, Tabelle 1), während die Transversalschraube der anderen Gruppe mit zwei Miniimplantaten direkt im Kieferknochen der Maxilla verankert wurde (Studie 12a, Tabelle 1). Positioniert wurden die Implantate beidseitig palatinal zwischen dem zweiten oberen Prämolaren und dem ersten oberen Molaren mit einem Abstand von 6 mm zur Sutura palatina (Abbildung 23).



Abb. 23: Implantat getragene Apparatur („BAME“) (entsprechend <sup>94</sup>)

Mit Hilfe weniger Orientierungspunkte an einem CBCT wie dem Foramen spinosum, der Pulpenkammern der bei den Messungen berücksichtigten Zähne, deren Apex (Inzisivi) bzw. bukkaler (Prämolaren) und mesio-bukkaler Apex (Molaren), dem Alveolarknochen, dem Foramen infraorbitale, dem Mentale und der Außenlamelle des Processus pterygoideus zu vier definierten Zeitpunkten (T1 vor Behandlungsbeginn, T2 nach der Aktivierungsphase, T3 nach der Retentionsphase von 6 Monaten und T4 nach 12 Monaten) kam Lagravère zu der Erkenntnis, dass beide Apparaturen ähnliche Ergebnisse lieferten. Die größten Effekte fand er in transversaler Richtung, die Veränderungen in sagittaler und vertikaler Dimension fielen in seinem Studiendesign geringfügiger aus.

### Studie 13

Reed et al. <sup>131</sup> verglichen im Jahr 1999 GNE-Apparaturen, die mit Bändern an den Zähnen befestigt waren („banded“), mit Apparaturen, deren Kunststoffanteil über die Okklusionsflächen der Oberkieferzähne gezogen und dort verklebt wurde („bonded“) (Abbildung 24).

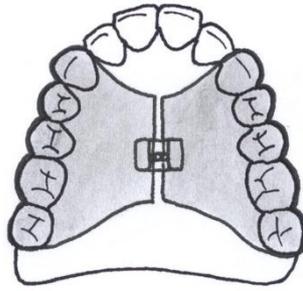


Abb. 24: „bonded“-Apparatur (entsprechend <sup>131</sup>)

Weder in der „banded“- noch in der „bonded“-Gruppe werden nähere Angaben zur Öffnung der Transversalschraube hinsichtlich der Millimeter gemacht. Die Schrauben wurden nach einem besonderen Rhythmus gedreht. Von den Probanden wurden Fernröntgenseitenbilder angefertigt und durch kephalometrische Analysen interpretiert sowie Gipsmodelle hergestellt. Ergebnis dieser Studie war, dass es durch die mit Bändern befestigte Apparatur mehr vertikale Veränderungen gab, diese aber aufgrund der Geringfügigkeit ihrer absoluten Werte von einem Grad oder einem Millimeter in klinischer Hinsicht als unerheblich gelten dürften.

#### Studie 14

Eine weitere Modifikation der Hyrax-Apparatur wurde von Rungcharassaeng et al. <sup>133</sup> 2007 beschrieben. Hierbei handelt es sich um ein kieferorthopädisches Gerät mit Transversalschraube, welches an den beiden ersten Molaren mit Bändern befestigt ist. An diesen Bändern sind Drahtausläufer in Richtung der ersten Prämolaren angebracht, die dort palatinal mit Kunststoff fixiert werden (Abbildung 25).

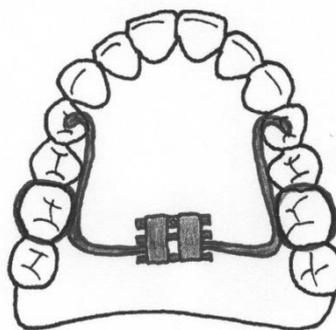


Abb. 25: Modifikation einer Hyrax-Apparatur mit palatinalen Drahtausläufern zu den ersten Prämolaren (entsprechend <sup>133</sup>)

Rungcharassaeng verwendete in seiner Untersuchungsgruppe neben dieser Apparatur (n=13) auch eine reguläre, an den ersten Molaren und ersten Prämolaren befestigten Hyrax-Apparatur (n=17). Die Effekte beider Apparaturen wurden nicht getrennt voneinander untersucht. Es wurden lediglich Durchschnittswerte der Öffnungsbreite der Apparatur, des Drehintervalls und der Aktivierungs- und Retentionszeit über alle Probanden angegeben. Bei insgesamt vier

Patienten wurden noch vor Erreichen des Zeitpunktes T2 die oberen ersten Prämolaren entfernt. Man fertigte zu den beiden Untersuchungszeitpunkten (T1 = vor Behandlungsbeginn, T2 = innerhalb von drei Monaten nach Ende der Aktivierung) CBCT-Aufnahmen an und wertete sie für einige transversale Parameter aus. Gemessen wurden neben der Neigung der oberen ersten und zweiten Prämolaren und der ersten Molaren auch deren Abstände zueinander. Referenzpunkt war die jeweilige Zentralfissur. Skelettal wurden die bukkalen Knochenstärken an den bereits erwähnten Zähnen gemessen und das dortige bukkale, marginale Knochenlevel. Die statistische Analyse dieser Messwerte führten Rungcharassaeng zu dem Resultat, dass unmittelbar mit Einsatz der GNE-Apparatur neben einer Zahnkipfung auch eine Abnahme sowohl der bukkalen Knochenstärke als auch des marginalen Knochenlevels einhergeht. Das Ausmaß der Knochenveränderungen und der Neigung der oberen ersten Molaren und ersten Prämolaren hängt nach seiner Untersuchung hauptsächlich vom Alter des Patienten, der anfänglichen Knochenstärke und der Expansion der ab, aber nicht vom Drehintervall oder der Retentionszeit.

### **Studie 15**

Effekte der GNE im Wechselgebiss sowohl in transversaler, in sagittaler als auch in vertikaler Richtung untersuchten Sandikcioglu und Hazar <sup>135</sup> anhand von Fernröntgenseitenbildern, posterior-anterior-Aufnahmen und Gipsmodellanalysen. Sie verglichen die forcierte GNE (Hyrax-Apparatur) mit der langsamen (Quadhelix) und der semi-forcierte GNE (abnehmbare Platte). Sella, Nasion, Porion, Orbitale, Spina nasalis anterior und posterior, A- und B-Punkt, Apex und Schneidekante der oberen und unteren Inzisivi, Gonion, Pogonion, Menton und Gnathion wurden als Messpunkte des FRS festgelegt, für die posterior-anterior-Röntgenaufnahmen waren dies die äußersten Punkte der Nasenkavität, die Schnittpunkte der Maxilla mit dem Os zygomaticum, die äußersten Punkte der oberen und unteren ersten Molaren sowie der rechte und linke Antegonion. Es wurden bei Anwendung der forcierten GNE, die in dieser Arbeit näher untersucht wird, in allen Ebenen signifikante Effekte erzielt.

### **Studie 16a und 16b**

Die aktuellste Studie dieser Auswahl wurde im September 2011 von Weissheimer et al. <sup>159</sup> im American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics veröffentlicht. Mit Hilfe von CBCT-Aufnahmen beschrieb er die unmittelbaren transversalen Effekte einer GNE hervorgerufen durch die Haas-Apparatur (Studie 16a, Tabelle 1) und die Hyrax-Apparatur (Studie 16b, Tabelle 1). Als Messzeitpunkte legte er neben der Baseline vor Beginn der

Behandlung das Ende der Aktivierung fest. Beide Gruppen folgten einem dynamischen Drehrhythmus der Transversalschraube, die sich pro Vierteldrehung um 0,2 mm öffnete. Zu Beginn wurde die Schraube viermal täglich aktiviert, danach nur noch zweimal. Wann genau dieser Wechsel stattfand, wird nicht beschrieben. Die Aktivierung wurde beendet, nachdem die Schraube eine Expansion von 8 mm aufwies. Gemessen wurden dental gleichfalls die Neigung der oberen ersten Molaren im Verhältnis zur Ebene der Nasenkavität wie die Abstände der Zähne in der koronalen und der apikalen Höhe. Skelettale Parameter waren die Suturenbreite im anterioren und posterioren Bereich, die Breite der anterioren und posterioren Basis der Nasenkavität und das marginale, bukkale Knochenlevel. Weissheimer kam zu dem Schluss, dass „beide Apparaturen zur Korrektur eines transversalen Defizits der Maxilla geeignet“ sind. Die „rein skelettalen Effekte waren größer als die eigentlichen dentalen Expansionen“. Zwar waren die orthopädischen Effekte der Haas-Apparatur kleiner als die der Hyrax-Apparatur, allerdings in einem sehr geringen, für die Klinik nahezu irrelevanten, absoluten Maß.

### 3.5. Statistik

Über die ausgewählten Artikel wurde eine deskriptive Statistik mit Hilfe von SPSS für Windows, Version 19.0 (SPSS Inc., U.S.A.) gerechnet.

Metrische Variablen wurden als Mittelwerte und Mediane dargestellt, Streumaße als Standardabweichungen und Quartile. Die Häufigkeit von Variablen wurde in absoluten Zahlen und prozentual angegeben.

In den grafischen Darstellungen, die ebenfalls mittels SPSS erstellt wurden, zeigen Kreis- und Balkendiagramme die Häufigkeit von kategorisierten Parametern. Zur Veranschaulichung der Verteilung von Werten stetiger Variablen fanden Histogramme ihre Anwendung.

## 4. Ergebnisse

Im Folgenden wurden die wesentlichen Parameter der ausgewählten Studien grafisch aufbereitet präsentiert und beschrieben.

### 4.1 Fallzahlen

Das Balkendiagramm der Abbildung 26 veranschaulicht die in den ausgewählten Studien beschriebenen Fallzahlen. Hierbei werden Fallzahlen von zehn bis 42 Patienten beschrieben, wobei, wie in der Grafik ersichtlich, ein Häufigkeitsgipfel bei 20 rekrutierten Patienten lag. Bei etwa 2/3 der Untersuchungsgruppen lag die Fallzahl zwischen zehn und 20 Patienten.

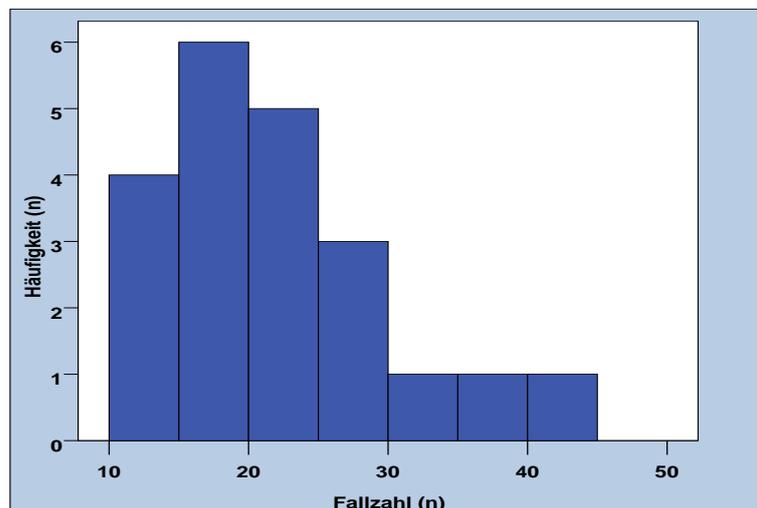


Abb. 26: Fallzahl der ausgewählten Studien

Insgesamt ließ sich ein Mittelwert von  $21,1 \pm 8,1$  Patienten sowie ein Median von 20,0 in allen verfügbaren Studien berechnen (Tabelle 2).

n	21
Mittelwert $\pm$ SD	$21,1 \pm 8,1$
Median	20,0
Minimum	10
Maximum	42

Tab. 2 : Fallzahl der ausgewählten Studien (n)

## 4.2 Alter

Das Alter der rekrutierten Patienten zu Beginn der Untersuchung variierte zwischen acht und 14,8 Jahren (Abbildung 27). In einer Studie fehlten spezifizierte Altersangaben zu der Gruppe der behandelten Patienten <sup>51</sup>, in einer anderen Studie waren im Text und in den Grafiken der Arbeit unterschiedlich Werte angegeben. In der hier aufgeführten Darstellung wurden die Werte aus den Grafiken berücksichtigt <sup>62</sup>. Eine weitere Studie machte eine statistische Altersangabe für alle untersuchten Patienten in zwei unterschiedlichen Behandlungsgruppen <sup>159</sup>.

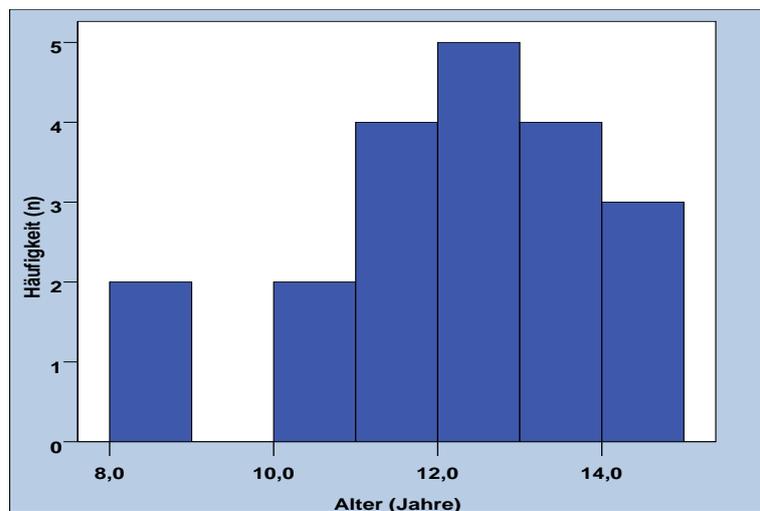


Abb. 27: Altersverteilung zu Beginn der Untersuchung

n	20
Mittelwert ± SD	12,2 ± 1,7
Median	12,4
Minimum	8,0
Maximum	14,8

Tab. 3: Alter zu Beginn der Untersuchung (Jahre)

Der Häufigkeitsgipfel des Untersuchungsbeginns lag bei 12 Jahren (Abbildung 27 und Tabelle 3).

Wie in Tabelle 4 zu sehen, wurden in der Hälfte der Studien keine Angaben zur Streuabweichung gemacht.

n		10
Mittelwert ± SD		1,7 ± 0,4
Median		1,8
Minimum		1,3
Maximum		2,5
Perzentile	25	1,3
	50	1,80
	75	2,0

Tab. 4: Standardabweichung des Alters (Jahre)

### 4.3 Apparaturen

Insgesamt wurden in den vorliegenden Untersuchungen Ergebnisse zu fünf unterschiedlichen Apparatortypen beschrieben. Über die Hälfte beschäftigte sich mit den Effekten der Hyrax-Apparatur, etwa ein Viertel untersuchte Probanden, denen ein Haas-Gerät inseriert wurde, zwei Autoren verwendeten den butterfly-palatal-expander und jeweils eine Studie beschäftigte sich mit der Wirkung von Memory-Schrauben und Implantat getragenen Konstruktionen (Abbildung 28 und Tabelle 5).

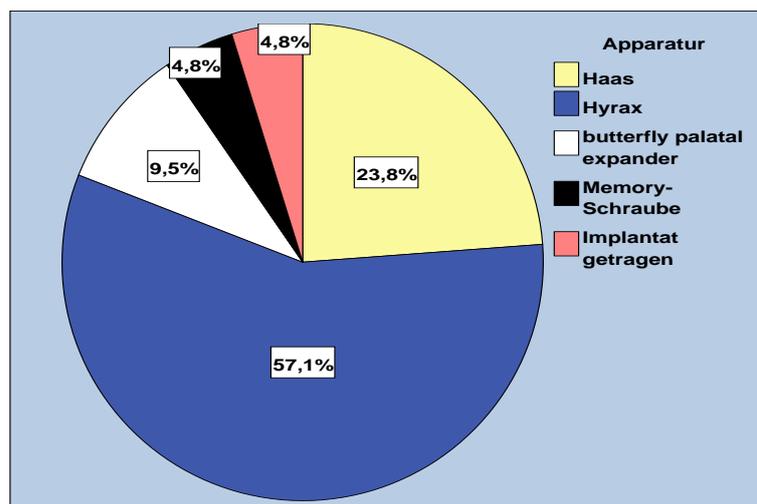


Abb. 28: Verteilungshäufigkeit der verwendeten Apparaturen

	Häufigkeit (n)	Prozent
Haas	5	23,8
Hyrax	12	57,1
butterfly palatal expander	2	9,5
Memory-Schraube	1	4,8
Implantat getragen	1	4,8
Gesamt	21	100,0

Tab. 5: Häufigkeit der verwendeten Apparaturen

## 4.4 Art und Aufbau der verwendeten Systeme

### 4.4.1 Befestigungsvariationen

Abbildung 29 veranschaulicht, an welchen Positionen die unterschiedlichen Apparaturen befestigt wurden. Es gab die Variationen der an zwei Zähnen befestigten Geräte, der an vier Zähnen befestigten sowie der Verankerung an zwei im Gaumen inserierten Implantaten. Bevorzugt wurde in zwei Drittel der ausgewählten Studienreihen die Befestigung an vier Zähnen (siehe Tabelle 6).

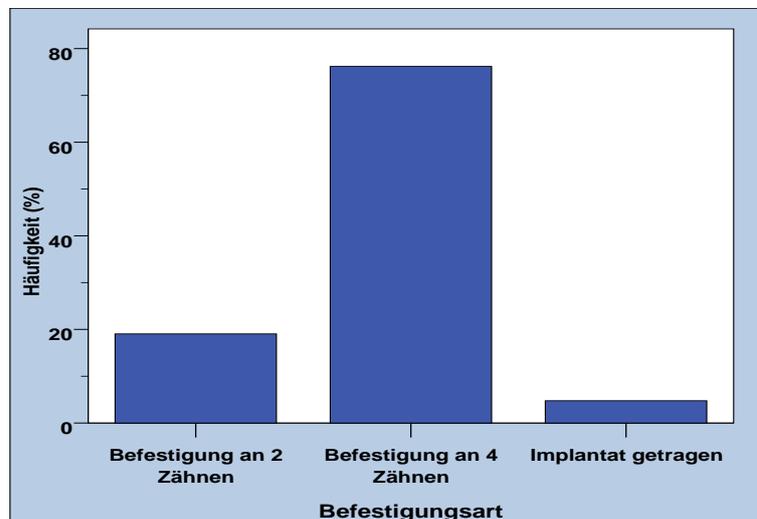


Abb. 29: Befestigungsvariationen

	Häufigkeit (n)	Prozent
Befestigung an 2 Zähnen	4	19,0
Befestigung an 4 Zähnen	16	76,2
Implantat getragen	1	4,8
Gesamt	21	100,0

Tab. 6: Befestigungsvariationen

Ein Autor <sup>133</sup> unterschied in seiner Untersuchungsgruppe nicht zwischen den Geräten, die mit Hilfe von Bändern an zwei oder an vier Zähnen befestigt wurden. Die Geräte, die nur zwei Zähne durch Bänder körperlich fassten, waren mit Drahtausläufern versehen, welche mit Hilfe von Komposite an zwei weiteren Zähnen punktförmig oder flächig verbunden waren.

In einer anderen ausgewählten Studie hat sich der Autor dazu entschlossen, bei fehlendem Durchbruch der ersten Oberkiefer-Prämolaren, die Apparatur in vier von insgesamt 20 Fällen nur an zwei Zähnen zu befestigen <sup>28</sup>. In der Auswertung der Ergebnisse wurde hier keine Unterscheidung vorgenommen.

Aufgrund der im ersten Fall gegebenen vier-Punkt-Befestigung des Gerätes und der im anderen Fall überwiegenden Anzahl von vier bebänderten Zähnen wurden diese Studien den an vier Zähnen befestigten Apparaturen zugeordnet. Fraglich ist jedoch, ob der Umstand der fehlenden Differenzierung nicht zu einem Ausschluss aus der Liste der ausgewählten Studie führen müsste.

Im Kreisdiagramm der Abbildung 30 und der Tabelle 7 wird die Lokalisation der Befestigungspunkte näher beschrieben. Nahezu 60 % der in den Artikeln beschriebenen Konstruktionen wurde den ersten Oberkiefer-Molaren und den ersten Oberkiefer-Prämolaren montiert. Waren die ersten Prämolaren nicht vorhanden, wurde entweder auf die ersten Milchmolaren zurückgegriffen oder die Apparatur nur mit zwei Bändern befestigt. Drei Autoren beschränkten sich auf die Befestigung an zwei Zähnen, wobei es zum Teil altersabhängig war, ob es sich bei den Zähnen um die ersten Molaren des Oberkiefers handelte oder um die zweiten Milchmolaren. In einer weiteren Gruppe waren die Apparaturen grundsätzlich nur für die Befestigung an zwei Zähnen vorgesehen, besaßen aber eine nicht fixierte Abstützung an zwei weiteren Zähnen.

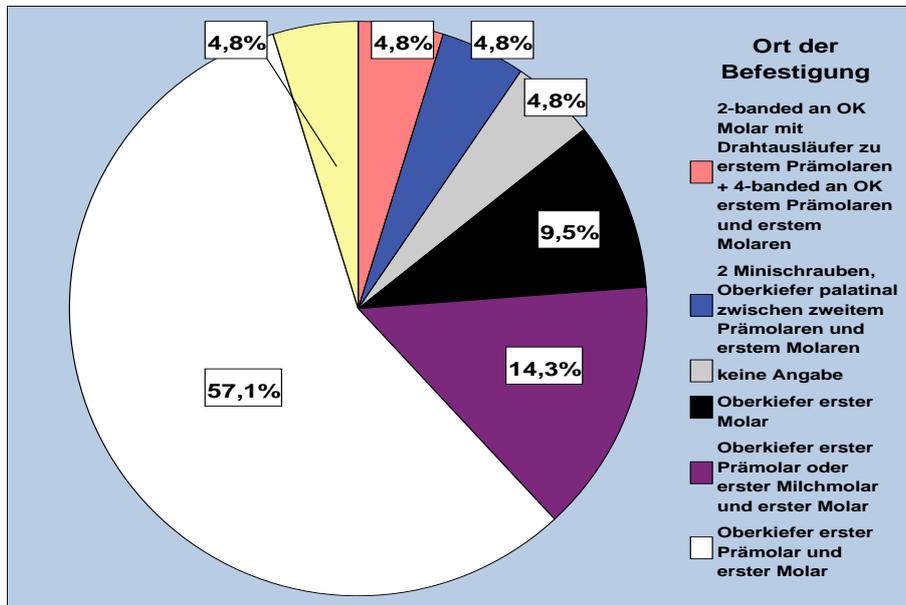


Abb. 30 Verteilung der unterschiedlichen Befestigungsvariationen

	Häufigkeit (n)	Prozent
2-banded an Oberkiefer Molar mit Drahtausläufer zu erstem Prämolaren, der dort polymerisiert wurde, 4-banded an Oberkiefer erstem Prämolaren und Oberkiefer erstem Molaren	1	4,8
2 Minischrauben, Oberkiefer palatinal zwischen zweitem Prämolaren und erstem Molaren, 6 mm von der Sutura palatina entfernt	1	4,8
keine Angabe	1	4,8
Oberkiefer erster Molar	2	9,5
Oberkiefer erster Prämolaren oder erster Milchmolar und erster Molar	3	14,3
Oberkiefer erster Prämolaren und erster Molar	12	57,1
Oberkiefer zweiter Milchmolar	1	4,8
Gesamt	21	100,0

Tab. 7: Verteilung der unterschiedlichen Befestigungsvariationen

#### 4.4.2 Funktionsmechanismen der aktivierbaren Schrauben

Die zur forcierten Gaumennaht eingegliederten kieferorthopädischen Geräte unterschieden sich nicht nur in der Position ihrer Befestigung, sondern auch in der Funktionsweise ihrer aktivierbaren Schrauben. Es wurden unterschiedliche Schraubentypen verwendet und das Intervall der Aktivierung variiert.

#### 4.4.2.1 Drehintervall

Der vom Behandler vorgegebene zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Aktivierungsphasen durch den Patienten bzw. seine Betreuungsperson variierte in den einzelnen Studien. Ein Häufigkeitsgipfel lag bei zwei Umdrehungen pro Tag bei einer Bandbreite von einem Drehrhythmus einmal alle zwei Tage bis hin zu sechsmal pro Tag. Im Verlauf der Behandlung kam es in einigen Studien zur Änderung des Aktivierungsintervalls. So wurde beispielsweise in der Implantat getragenen Studie <sup>94</sup> beschrieben, dass die Aktivierung durch Drehen der Schraube erst eine Woche nach der Eingliederung der Apparatur gestartet wurde. Andere Behandler reduzierten das Drehintervall ab einer bestimmten Suturenöffnung <sup>73</sup> oder nach einer festgelegten Zeit <sup>131 159</sup>. Ein Autor <sup>133</sup> machte keine Angaben zur Häufigkeit der Schraubenaktivierung und ein Autor legte die Anzahl der Schraubendrehungen mit ein- bis zweimal pro Tag nicht explizit fest <sup>90</sup>. In der vorliegenden Studie wurde der jeweilige Initialrhythmus der Aktivierungsphase in Abbildung 31 und in den Tabellen 8 sowie 9 dargestellt.

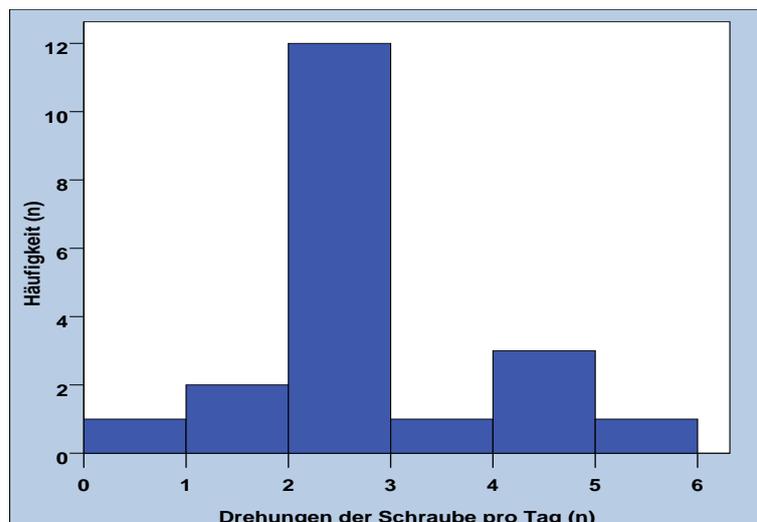


Abb. 31: Drehungen der Schraube pro Tag

n	20
Mittelwert $\pm$ SD	2,38 $\pm$ 1,27
Standardfehler des Mittelwertes	0,28
Median	2,00
Minimum	0,5
Maximum	6

Tab. 8: Drehungen der Schraube pro Tag (n)

Tabelle 9 macht deutlich, dass der Häufigkeitsgipfel der Drehungen pro Tag bei 2 lag. Insgesamt ließ sich ein Mittelwert von 2,38 in allen verfügbaren Studien berechnen bei einer Standardabweichung von 1,27 (Tabelle 8).

	Häufigkeit (n)	Prozent	Gültige Prozente
>1	1	4,8	5,0
1	2	9,5	10,0
2	12	57,1	60,0
3	1	4,8	5,0
4	3	14,3	15,0
6	1	4,8	5,0
Gesamt	20	95,2	100,0
Fehlend	1	4,8	
Gesamt	21	100,0	

Tab. 9: Drehungen der Schraube pro Tag (n)

#### 4.4.2.2 Öffnung

Die in die kieferorthopädischen Apparaturen eingebauten Dehnschrauben haben in Abhängigkeit vom Schraubentyp einen standardisierten Dehnweg. Dies ist der Weg, den sich die Schraube durch Drehung bzw. Aktivierung maximal öffnen lässt. Die Öffnungseigenschaft der Dehnschraube wird in Millimetern pro Viertel Schraubenumdrehung angegeben. In den untersuchten Studien wurden unterschiedliche Schraubentypen verwendet, die sich zum Teil pro Viertel Umdrehung unterschiedlich weit öffneten. Sieben Autoren machten keine Angaben zur Schraubenkonstruktion. In den anderen Studien lag der Häufigkeitsgipfel bei einer Öffnung 0,25 mm / Umdrehung (siehe Abbildung 32 und Tabelle 10).

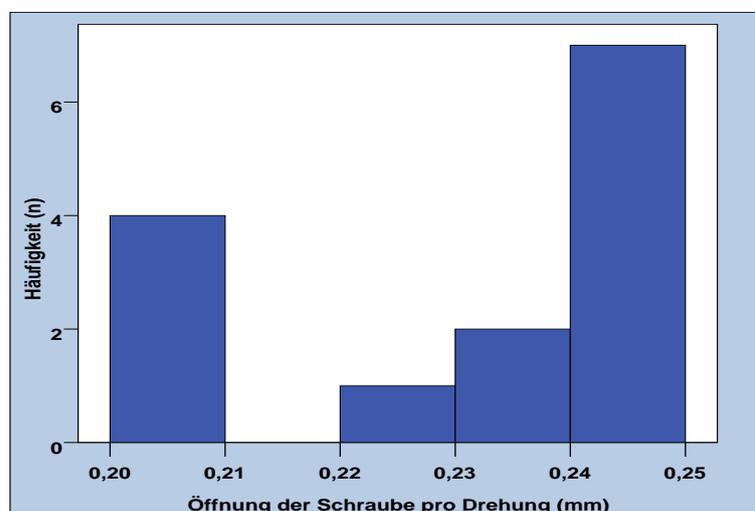


Abb. 32: Öffnung der Schraube pro Drehung

Wie in Tabelle 10 veranschaulicht, wurde ein Drittel der Untersuchungen mit Schrauben durchgeführt, die pro Drehung um 0,25 mm geöffnet wurden. Etwa ein Fünftel der Studien bediente sich eines Schraubentypus, der 0,20 mm pro Drehung geöffnet wurde, also eine um 20 % geringere Aktivität aufwies.

	Häufigkeit (n)	Prozent	Gültige Prozente
0,20	4	19,0	28,6
0,23	1	4,8	7,1
0,24	2	9,5	14,3
0,25	7	33,3	50,0
Gesamt	14	66,7	100,0
Fehlend	7	33,3	
Gesamt	21	100,0	

Tab. 10: Öffnung der Schraube pro Drehung (mm)

Aus der Kombination von standardisiertem Öffnungsmodus des Schraubentypus und der durch den Behandler vorgegebenen Häufigkeit des Drehvorgangs ergibt sich die für die Expansion dadurch pro Tag erzielte Öffnung der Apparatur.

Das Balkendiagramm in Abbildung 33 zeigt einen Häufigkeitsgipfel bei 0,5 mm Öffnung pro Tag. Ein Autor<sup>133</sup> gab keine näheren Informationen zu dem von ihm untersuchten Schraubentypus an, stellte jedoch in einer Tabelle seiner Arbeit die „rate of appliance expansion“ in Millimeter pro Woche dar. Fünf weitere Autoren machten keine Angaben zur Öffnung, die an einem Tag erreicht wurde.

Da es sich bei der Ermittlung dieser Werte um ein Produkt aus der Häufigkeit des Drehens und der Schraubenöffnung handelt, beziehen sich auch hier die dargestellten Ergebnisse auf die angegebenen Initialwerte der Autoren, wie es bereits eingehen unter Abschnitt 4.4.2.1 erläutert wurde.

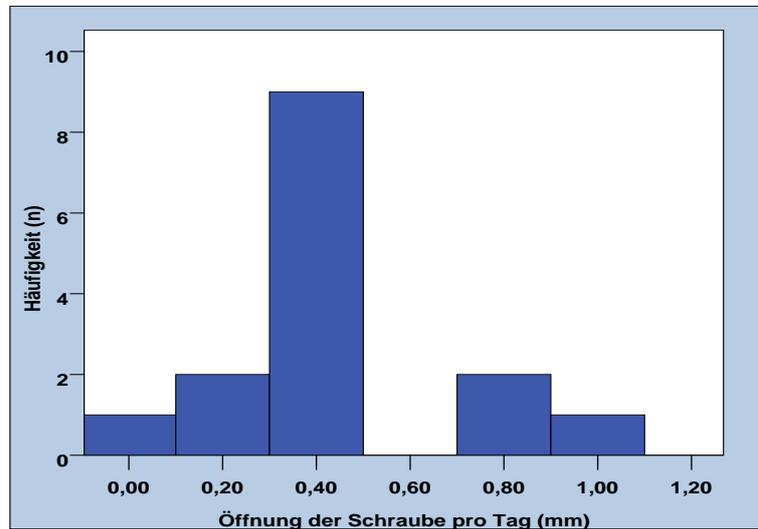


Abb. 33: Öffnung der Schraube pro Tag (mm)

Aus Tabelle 11 und 12 wird ersichtlich, dass Öffnungen pro Tag von 0,03 mm bis zu 1,2 mm erzielt wurden.

n	15
Mittelwert ± SD	0,50 ± 0,28
Median	0,50
Minimum	0,03
Maximum	1,20
Perzentile	25 0,40
	50 0,50
	75 0,50

Tab. 11: Öffnung der Schraube pro Tag (mm)

	Häufigkeit (n)	Prozent	Gültige Prozente
0,03	1	4,8	6,7
0,13	1	4,8	6,7
0,25	1	4,8	6,7
0,40	1	4,8	6,7
0,45	1	4,8	6,7
0,48	2	9,5	13,3
0,50	5	23,8	33,3
0,80	2	9,5	13,3
1,20	1	4,8	6,7
Gesamt	15	71,4	100,0
Fehlend	6	28,6	
Gesamt	21	100,0	

Tab. 12: Öffnung der Schraube pro Tag (mm)

## 4.5 Aktive Expansion

Unter der „aktiven Expansion“ versteht man die Zeit, in der das kieferorthopädische Gerät nach Eingliederung aktiv vom Patienten durch Drehen der Schraube geweitet wird. In acht Fällen <sup>39, 59, 94, 131, 159</sup> wurden bei den Studien keine Angaben zur aktiven Expansion gemacht (siehe Tabelle 13, 14, 15 und Tabelle 16). Die Variationsbreite der Aktivierungsdauer lag im Minimum zwischen 7 und 28 Tagen mit einem Häufigkeitssgipfel bei 14 und bei 21 Tagen (Abbildung 34, Tabelle 14) und einem Mittelwert von  $18,98 \pm 8,2$  Tagen (Tabelle 13).

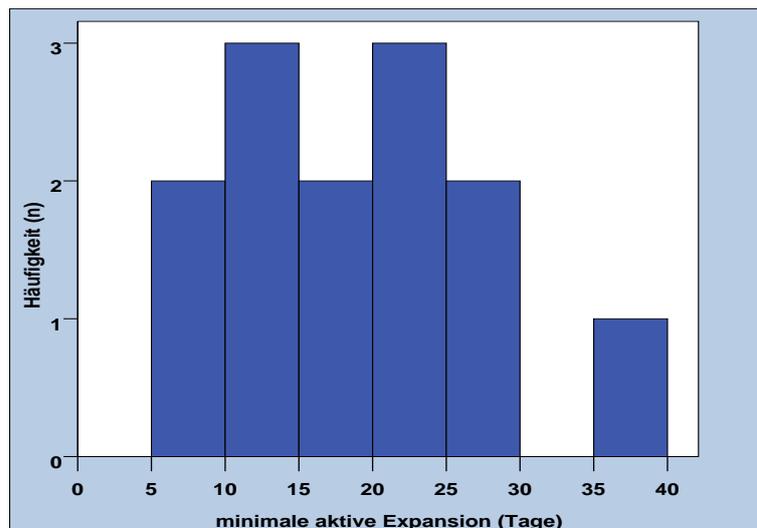


Abb. 34: Minimale aktive Expansion

n	13
Mittelwert $\pm$ SD	$18,98 \pm 8,2$
Median	19,20
Minimum	7,0
Maximum	35,5
Perzentile	
25	14,0
50	19,2
75	24,5

Tab. 13: Minimale aktive Expansion (Tage)

	Häufigkeit (n)	Prozent	Gültige Prozente
7,0	1	4,8	7,7
7,8	1	4,8	7,7
14,0	3	14,3	23,1
15,0	1	4,8	7,7
19,2	1	4,8	7,7
21,0	3	14,3	23,1
28,0	2	9,5	15,4
35,5	1	4,8	7,7
Gesamt	13	61,9	100,0
Fehlend	8	38,1	
Gesamt	21	100,0	

Tab. 14: Minimale aktive Expansion (Tage)

Die maximale aktive Expansionszeit wurde mit einer Spanne von 7,8 bis 126 Tagen beschrieben mit einem Häufigkeitsgipfel bei 21 Tagen (Tabelle 16).

Wie aus der Tabelle 15 ersichtlich wird, wurden die Apparaturen im Mittel maximal 30,88 Tage aktiviert bei einer Standardabweichung von 30,69.

n	13
Mittelwert ± SD	30,88 ± 30,69
Median	21,0
Minimum	7,8
Maximum	126,0
Perzentile	25 14,5
	50 21,0
	75 38,7

Tab. 15: Maximale aktive Expansion (Tage)

	Häufigkeit (n)	Prozent	Gültige Prozente
7,8	1	4,8	7,7
9,0	1	4,8	7,7
14,0	1	4,8	7,7
15,0	1	4,8	7,7
19,2	1	4,8	7,7
21,0	3	14,3	23,1
28,0	1	4,8	7,7
35,5	1	4,8	7,7
42,0	2	9,5	15,4
126,0	1	4,8	7,7
Gesamt	13	61,9	100,0
Fehlend	8	38,1	
Gesamt	21	100,0	

Tab. 16: Maximale aktive Expansion (Tage)

Abbildung 35 veranschaulicht, dass die häufigsten Werte zwischen unter 10 Tagen und 42 Tagen liegen. Nur eine Studie <sup>133</sup> beschreibt eine deutlich höhere maximale aktive Expansionszeit von 126 Tagen.

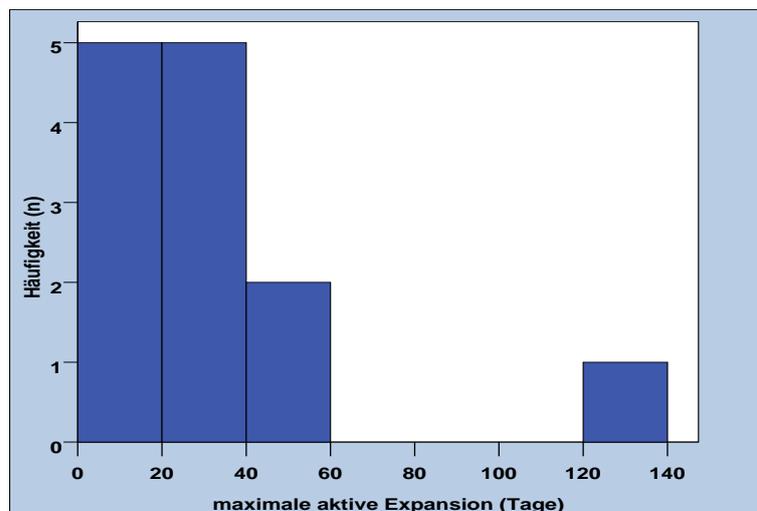


Abb. 35: Maximale aktive Expansion

Einige Autoren unterschieden in Ihren Ausführungen nicht zwischen minimaler und maximaler aktiver Expansionszeit. In diesen Fällen war nur ein Wert angegeben, der in der hier vorliegenden Studie sowohl bei den Minimal- als auch bei den Maximalwerten Berücksichtigung fand.

## 4.6 Retentionszeit

Die Retentionszeit gibt an, wie lange die kieferorthopädische Apparatur im Mund verblieb, ohne sie aktiv zu erweitern, um das erzielte Ergebnis zu stabilisieren.

Die Häufigkeitsverteilung in den untersuchten Studien lag in einem Bereich von 3,6 Wochen bis zu 25,68 Wochen. In drei Studiendesigns<sup>28, 159</sup> fehlt eine Angabe zur Retentionszeit (Abbildung 36, Tabelle 17).

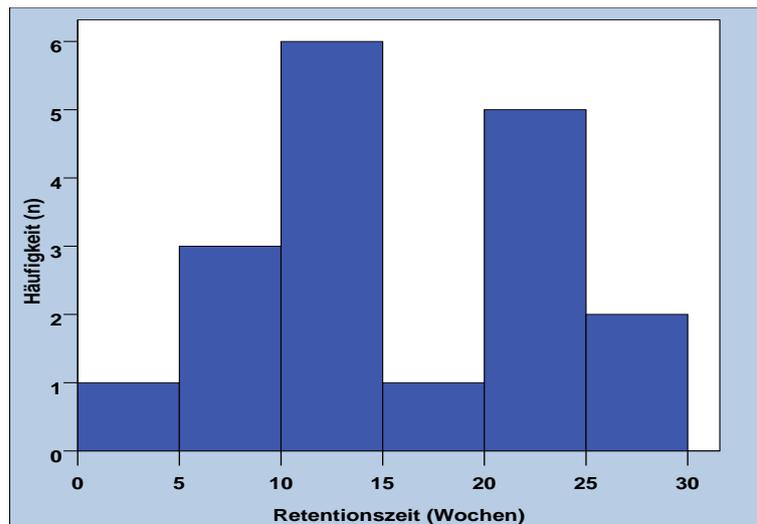


Abb. 36: Retentionszeit (Wochen)

	Häufigkeit (n)	Prozent	Gültige Prozente
3,60	1	4,8	5,6
9,29	3	14,3	16,7
12,00	6	28,6	33,3
19,60	1	4,8	5,6
24,00	4	19,0	22,2
24,68	1	4,8	5,6
25,00	1	4,8	5,6
25,68	1	4,8	5,6
Gesamt	18	85,7	100,0
Fehlend	3	14,3	
Gesamt	21	100,0	

Tab. 17: Häufigkeitsverteilung der Retentionszeit

Aus den Angaben zur Retentionszeit ergab sich eine durchschnittliche Retentionszeit von 16,36 Wochen bei einer Standardabweichung von 7,28 (Tabelle 18).

n		18
Mittelwert ± SD		16,36 ± 7,28
Median		12,0
Minimum		3,60
Maximum		25,68
Perzentile	25	11,32
	50	12,00
	75	24,00

Tab. 18: Retentionszeit (Wochen)

Während in 80 % der Studien nur Einzelwerte zu den jeweiligen Retentionszeiten genannt wurden, gab es in 4 Fällen auch Aussagen zu deren Standardabweichung<sup>73, 131, 133</sup>. Aufgrund der geringen absoluten Zahl wurde in dieser Ergebniszusammenfassung auf eine Darstellung verzichtet.

#### 4.7 Beobachtungszeitraum

Die Autoren führten zu unterschiedlichen Zeitpunkten Effektmessungen der von ihnen verwendeten Apparaturen durch. Alle Autoren nahmen eine Baseline vor Behandlungsbeginn zum Messzeitpunkt T1 auf. Die weiteren Messzeitpunkte zeigten eine hohe Varianz.

In Abbildung 35 wird dargestellt, dass in über 50 % der Fallbeschreibungen der zweite Messzeitpunkt T2 unmittelbar nach Ende der Aktivierungsphase lag.

Jeweils zwei Studiendesigns nahmen die neuen Messwerte sechs Monate nach der aktiven Expansion im Anschluss an die Entfernung der Apparatur bzw. in der Mitte der Gesamtbehandlungszeit nach  $18 \pm 4$  Monaten auf. Abbildung 37 und Tabelle 19 zeigen die Messzeitpunktvariationen der anderen Autoren.

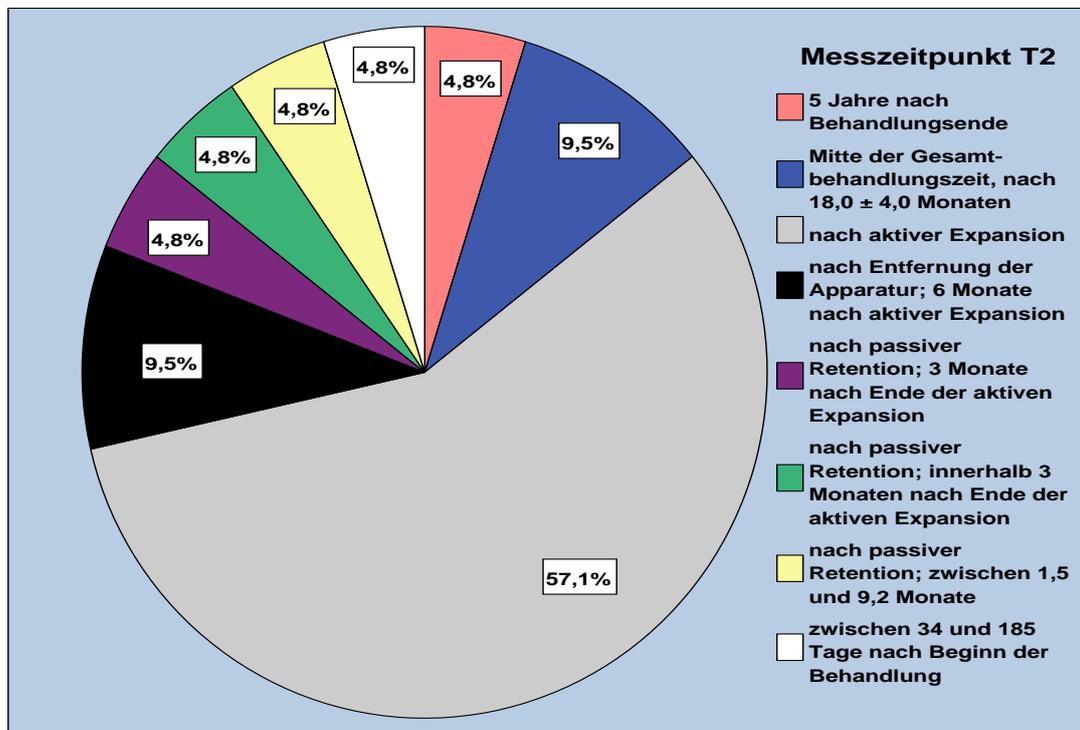


Abb. 37: Messzeitpunkt T2

	Häufigkeit (n)	Prozent
5 Jahre nach Behandlungsende	1	4,8
Mitte der Gesamtbehandlungszeit, nach 18,0 ± 4,0 Monaten	2	9,5
nach aktiver Expansion	12	57,1
nach Entfernung der Apparatur; 6 Monate nach aktiver Expansion	2	9,5
nach passiver Retention; 3 Monate nach Ende der aktiven Expansion	1	4,8
nach passiver Retention; innerhalb 3 Monaten nach Ende der aktiven Expansion	1	4,8
nach passiver Retention; zwischen 1,5 und 9,2 Monate	1	4,8
zwischen 34 und 185 Tage nach Beginn der Behandlung	1	4,8
Gesamt	21	100,0

Tab. 19: Messzeitpunkt T2

Knapp die Hälfte aller untersuchten Studien führte eine dritte Messung durch. Bei 52,4 % der Studien fehlt ein Messpunkt T3.

War die dritte Messung vorhanden, so fand sie, wie der Abbildung 38 und Tabelle 20 zu entnehmen, in jeweils zwei Fällen ein Jahr nach Beendigung der aktiven Expansionsphase bzw. fünf Jahre nach Behandlungsende statt und in jeweils drei Fällen sechs Monate nach der Beginn der Behandlung oder nach der Retentionsphase.

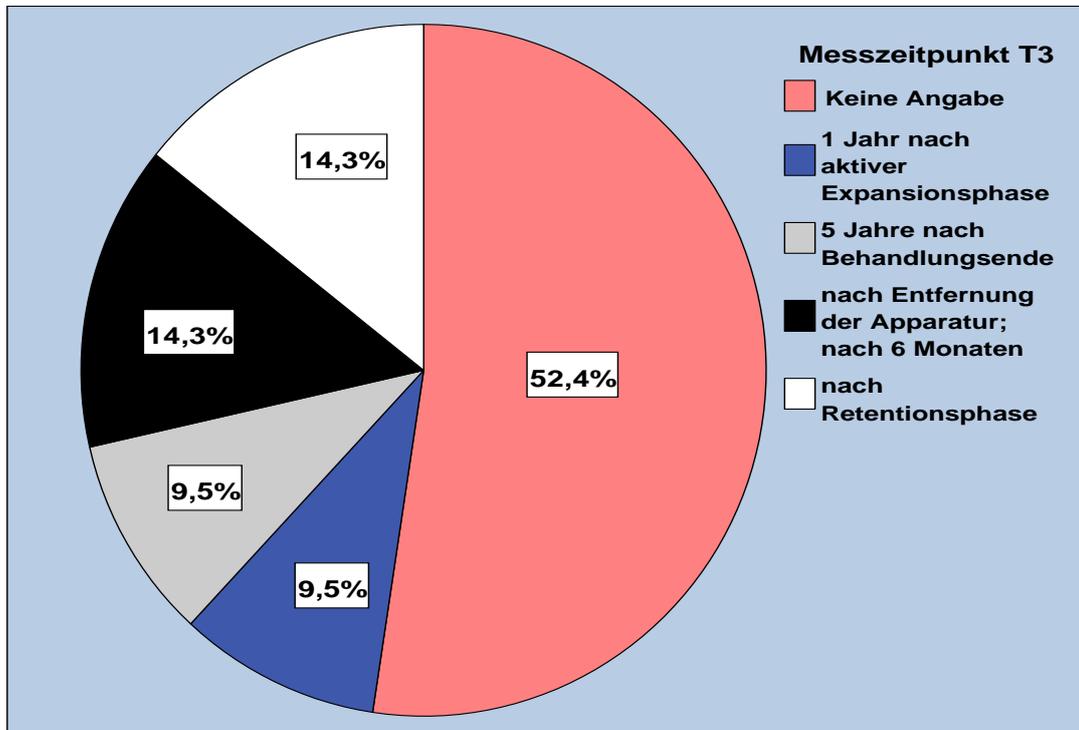


Abb. 38: Messzeitpunkt T3

	Häufigkeit (n)	Prozent
Keine Angabe	11	52,4
1 Jahr nach aktiver Expansionsphase	2	9,5
5 Jahre nach Behandlungsende	2	9,5
nach Entfernung der Apparatur; nach 6 Monaten	3	14,3
nach Retentionsphase	3	14,3
Gesamt	21	100,0

Tab. 20: Messzeitpunkt T3

Ein Autor <sup>94</sup> beschrieb eine vierte Messung zum Zeitpunkt T4, die zwölf Monate nach Behandlungsbeginn stattfand.

## 4.8 Bildgebung

42,8 % der radiologischen Dokumentation wurde mit Hilfe von Computertomografien durchgeführt, hiervon der überwiegende Teil (78 %) mit einem Kegelstrahl-CT (CBCT) und 22 % mit einem Mehrschicht-Spiral-CT.

Alle anderen bildgebenden Verfahren entstammen der konventionellen zahnärztlichen Radiodiagnostik. Weitere Einzelheiten zur Häufigkeitsverteilung sind in der Abbildung 39 und der Tabelle 21 aufgeführt.

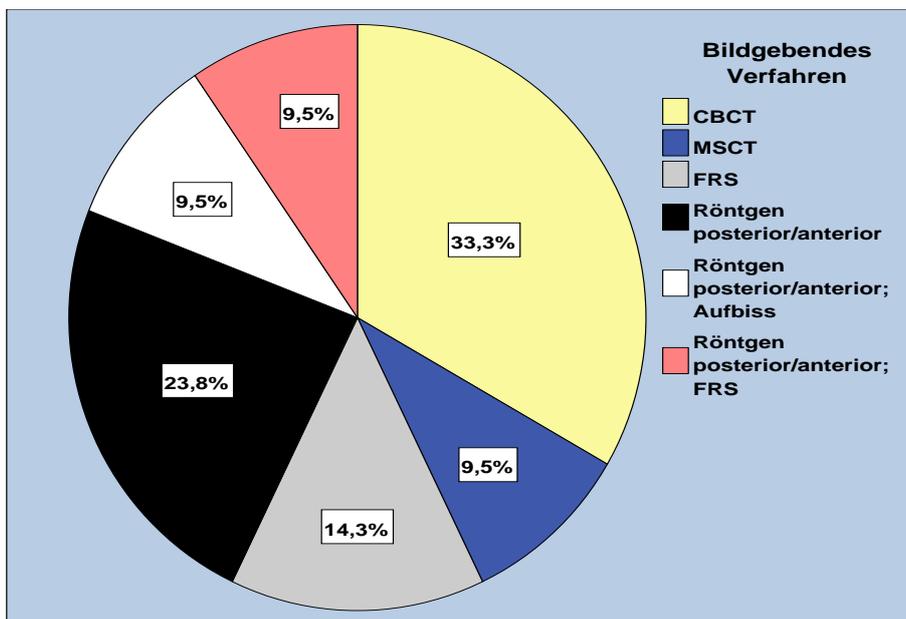


Abb. 39: Bildgebendes Verfahren

	Häufigkeit (n)	Prozent
CBCT	7	33,3
MSCT	2	9,5
FRS	3	14,3
Röntgen posterior/anterior	5	23,8
Röntgen posterior/anterior; Aufbiss	2	9,5
Röntgen posterior/anterior; FRS	2	9,5
Gesamt	21	100,0

Tab. 21: Bildgebendes Verfahren

## 4.9 Anatomische Messpunkte

Die Variationsbreite der gewählten anatomischen Messpunkte, Messebenen und Messwege war sehr groß. Nahezu jeder Autor verwendete unterschiedliche Referenzpunkte, teilweise auch dann, wenn er auf den gleichen Datenpool wie ein anderer Autor zurückgriff.

## 5. Diskussion

Bei der Literaturrecherche zu der vorliegenden Arbeit wurde schnell offensichtlich, dass es eine Metaanalyse als seriöse und aussagekräftige Studie zum Thema Gaumennahterweiterung nicht geben kann. Es liegen zu viele Einzelstudien mit unterschiedlichen Untersuchungskriterien und Effekten vor. Es scheint keinerlei Anhalt für Präferenzen zu geben. Insgesamt lassen sich somit weder in Review-analysierten Artikeln noch in der hinzugezogenen Literatur Hinweise zu standardisierten Messarten finden.

Für aussagekräftige Ergebnisse ist es unumgänglich, kompatible Effekte zu untersuchen. Dies gestaltet sich nach Sichtung der Literatur jedoch aufgrund der vielen Einzeldaten als nicht unproblematisch. Bereits Schiffmann<sup>139</sup> und Lagravère<sup>95</sup> haben in ihren Metaanalysen zur forcierten GNE lediglich sechs beziehungsweise 14 Studien gefunden, die sich ihren Kriterien entsprechend vergleichen ließen. Noch geringer ist die Ausbeute der untersuchten Artikel bei den systematischen Reviews. Baratieri<sup>10</sup> konnte acht Artikel in ihre Studie aufnehmen, Lagravère entdeckte einmal drei<sup>97</sup> und einmal vier<sup>96</sup> komparable Studien. Ebenfalls vier vergleichbare Arbeiten waren das Ergebnis der Literaturanalyse im systematischen Review von Rossi<sup>132</sup>.

Bedenkt man, dass die Methode der Gaumennahterweiterung, wie bereits erwähnt, seit über 150 Jahre ein äußerst bedeutendes Element in der Kieferorthopädie ist, veranschaulicht dieses Ergebnis eindrucksvoll die Abwesenheit von standardisierten Messarten in der Anwendung und Erforschung der GNE.

Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungsparameter der ausgewählten Studien zur forcierten GNE näher beschrieben und mit der verfügbaren Literatur verglichen. Hierbei wird herausgearbeitet, ob es Standards gibt und wie diese zu definieren sind oder ob sich zumindest Empfehlungen unter Berücksichtigung der aktuellen Datenlage aussprechen lassen.

## 5.1 Fallzahlen

Die Variationsbreite der Anzahl der untersuchten Patienten in der Forschung zur forcierten GNE liegt zwischen einer Person<sup>138, 155</sup> und 500 untersuchten Fällen<sup>21, 111</sup>. Bei den Studien, in denen lediglich ein bis zwei Fälle beschrieben wird, handelt es sich um Fallbeschreibungen, Pilotstudien<sup>155</sup>, respektive Studien, in welchen bis dato unübliche Untersuchungsmethoden vorgestellt oder analysiert wurden<sup>116, 138</sup>. Fallbeschreibungen mit über 30 Patienten sind häufig retrospektive oder prospektive Arbeiten<sup>14, 21, 50, 65, 111</sup> oder reine Analysen von angefertigten Patientenmodellen, ohne dass röntgenologische oder klinische Befunde einbezogen wurden<sup>74, 86, 110, 149</sup>. Die am häufigsten vertretene Größe des Untersuchungspools liegt zwischen zehn und 40 Patienten. Im Vergleich zu anderen, allgemeinmedizinischen Studien erscheint diese Größenordnung recht gering. In Anbetracht der relativen Vorkommenshäufigkeit der Indikation für eine forcierte GNE ist diese jedoch erklärbar und realistisch. Reine Modellanalysen entbehren jeglicher nachweisbarer skelettaler Komponente und sind somit für eine umfassende Effektdarstellung unbrauchbar. Während die Einzelfallstudien einen wichtigen Anstoß in der Forschung geben können, sich mit bestimmten Themen näher zu befassen, stellen retrospektive und prospektive Analysen eine Zusammenfassung oder Neubetrachtung bereits ermittelter Werte dar. Um eine ausreichende Anzahl auswertbarer Effektgrößen und Standardabweichungen zu erzielen, ist eine hinreichende Fallzahl anzustreben. Zur Fallzahlberechnung benötigt man Angaben über die zu erwartenden Effekte und über die bestehenden Standardabweichungen. Diese statistischen Größen sind allerdings meist nicht bekannt. Hinzu kommt, dass die Studien im klinischen Alltag umsetzbar sein müssen, so dass die Anzahl an möglichen Fallzahlgewinnungen nicht unbegrenzt ist. Aus diesem Grunde wurde von den Autoren anscheinend keine vorherige Fallzahlanalyse durchgeführt und es wählten viele Forschungsgruppen eine praktisch umsetzbare Fallzahlgröße, so dass sich eine Fallzahl von etwa 30 behandelten Patienten in vielen Studien wiederfindet<sup>1, 31, 32, 34, 36, 37, 39, 47, 57, 63, 73, 83, 85, 98, 102, 103, 108, 133, 135, 136, 144, 147, 153, 157, 159</sup>.

## 5.2 Alter

Gerade auf dem Gebiet der forcierten GNE bestimmte in der Vergangenheit die Intention der Arbeit die Wahl der Altersgruppe der untersuchten Patienten. Ausgehend davon, dass bis vor einigen Jahren Stand der allgemeinen wissenschaftlichen Meinung war, dass eine der Hauptuntersuchungsregionen der GNE, die Sutura palatina mediana, mit zunehmendem Alter verknöchert und somit nicht ohne vorherige chirurgische Intervention zu öffnen sei<sup>76-78, 113, 115</sup>, wurde der größte Anteil der Studien mit Patienten vor oder während Erreichen des pubertären Wachstumsgipfels durchgeführt. Capelozza beschrieb in seiner Untersuchung aus dem Jahr 1996, dass es in über 80 % der Erwachsenen durch forcierte GNE ohne vorherigen chirurgischen Eingriff zu einer Ausbildung eines Diastema mediale zwischen den beiden mittleren Inzisivi kommt<sup>24</sup>, welches als Zeichen für eine Öffnung der Suture gewertet werden kann. Knaup et al. widerlegten die Verknöcherungstheorie mit ihrer Studie aus dem Jahr 2004<sup>91</sup>. Ein anderer Untersuchungsansatz nutzt die vermeintlich leichtere skelettale Manipulation im Alter des Milchgebisses und des frühen Wechselgebisses für seine Analysen<sup>30, 35-37, 118</sup>. Nachteil dieser Methode liegt sicherlich in der deutlich schwächeren knöchernen Verankerung der Milchzähne gegenüber den bleibenden Zähnen, an denen eine entsprechende Apparatur befestigt werden muss. Noß konnte in seiner Arbeit aus dem Jahr 2010 darstellen, dass auch die alleinige Befestigung der Apparatur an den beiden ersten Molaren mit Drahtausläufern bis hin zu den Milcheckzähnen bereits im Wechselgebiss zu einer transversalen Erweiterung des anterioren Zahnbogens führt, die der unterschiedlicher Studien mit zusätzlicher fester anteriorer Verankerung entspricht<sup>119</sup>. Andere Autoren beschäftigten sich speziell mit dem Unterschied der Effekte zwischen den Altersgruppen diesseits und jenseits des pubertären Wachstumsgipfels<sup>7, 74, 88</sup>. Nachhaltige Unterschiede konnten nicht nachgewiesen werden. Nach Betrachtung der langfristigen Untersuchungsergebnisse in der Literatur erscheint es eines bedeutsamen Effektvergleichs nicht abträglich, unterschiedliche Altersgruppen gleichzeitig in einer Studie zu untersuchen.

In der gewählten Auswahl der vorliegenden Studie hat allein Davidovitch<sup>39</sup> eine breite Spanne in seiner Altersverteilung gewählt. Seine Patienten waren zwischen acht und 20 Jahre alt. Leider gibt er in seinem Artikel keine Altersverteilung oder Standardabweichung an. Auch Reed<sup>131</sup> und Gohl<sup>62</sup> führten ihre Untersuchungen unter anderem an Kindern durch, die mit etwa 16 Jahren außerhalb des pubertären Wachstumsschubes lagen. Beide Autoren nannten zumindest das

Durchschnittsalter ihrer Untersuchungsgruppen, einmal bei 12,75 Jahren <sup>131</sup> und einmal bei 12,9 Jahren <sup>62</sup>.

### 5.3 Apparatur

Das Design der Apparaturen hat sich im Laufe der Zeit gewandelt. War es in den 1950er bis 1990er Jahren noch Standard, die Zähne körperlich entweder mit aus Stahl gegossenen Overlays oder Kunststoffkappen körperlich zu fassen und die Schleimhaut des Gaumens durch palatinale Acrylplatten zu bedecken, setzte sich später die bereits 1968 von Biedermann <sup>17</sup> vorgestellte, wesentlich hygienischere und einfacher herzustellende Bebänderung einzelner Zähne durch, wobei der Gaumen größtenteils frei blieb. Seit Ende des letzten Jahrhunderts <sup>115</sup> finden sich auch Studien zu rein skelettal oder kombiniert skelettal und dental getragenen Apparaturen, die inzwischen auch minimalinvasiv inseriert werden können <sup>162</sup>.

In der vorliegenden Studie wurde die Verwendung von Apparaturen, die einige oder alle Zähne mit Kunststoff oder Metall körperlich umfassten, ausgeschlossen. Bereits 1997 zeigte Asanza <sup>4</sup> in seiner Vergleichsstudie von Hyrax- und sogenannten „bonded“- Apparaturen, dass keine signifikanten Unterschiede bei den erzielten Effekten der Geräte vorliegen. Betrachtet man nun die Konstruktion der Vorrichtungen, so ist dem reduzierten Design der rein bandgetragenen Hyrax-Apparatur sowohl im Hinblick auf die Hygienefähigkeit als auch der Herstellung und wohl auch der Compliance der Vorzug zu geben. Einen Kompromiss stellt die klassische Haas-Apparatur dar, die rein auf die Schleimhaut begrenzte, palatinale Kunststoffabstützungen beinhaltet. Sie ist ebenfalls mit Bändern an den Zähnen befestigt, so dass deren Reinigungsmöglichkeit weiterhin gegeben ist. Diese Geräte oder Modifikationen hiervon sind auch heute noch weit verbreitet und Gegenstand vieler Untersuchungen <sup>6, 23, 24, 27, 31, 34-37, 52, 54, 56, 63, 66, 74, 83, 103, 104, 110, 118, 121, 122, 128, 136, 157, 158</sup>, so dass sie ebenfalls in dieser Studie Berücksichtigung fanden und von sechs der selektierten Autoren als Behandlungsgerät ausgewählt wurden <sup>7, 8, 22, 28, 30, 159</sup>. Studien zu implantatgetragenen beziehungsweise implantat- und zahngetragenen Konstruktionen findet man in der Literatur noch eher selten <sup>76, 78, 162</sup>. Lagravère <sup>94</sup> ist der einzige Autor der vorliegenden Auswahl, der diese Befestigungsvariante untersucht und mit einer Hyrax-Apparatur verglichen hat. Davon ausgehend, dass es sich bei der Implantatverankerung um eine minimalinvasive Vorgehensweise handelt, könnte auch diese Apparatur eine vielversprechende Alternative zu der herkömmlichen Hyrax-Vorrichtung sein. Die oben bereits erwähnten wenigen Untersuchungen zu dieser Vorgehensweise lassen

die Vermutung zu, dass besonders hier das Verhältnis zwischen skelettalen und dentalen Effekten annähernd ausgeglichen sein könnte. Weitergehende Forschungen auf diesem Gebiet wären zur Sicherung dieser Annahme erforderlich. Alle anderen ausgewählten Autoren verwendeten eine Hyrax-Vorrichtung.

Ob die kieferorthopädische Vorrichtung zur forcierten GNE besser an zwei Punkten oder an vier Zähnen befestigt wird, untersuchten unter anderem Schneidmann<sup>140</sup>, Lamparski<sup>98</sup> und Davidovitch<sup>39</sup>. Schneidmann und Lamparski entdeckten keine signifikanten Unterschiede. Davidovitch empfahl die an zwei Zähnen befestigte Vorrichtung wegen der von ihm festgestellten Ausfälle nur bis zu einem Alter von 12 Jahren. Er konnte die typische „V“-förmige Öffnung der Suture und die umgekehrte „V“-förmige Expansion des Zahnbogens bei beiden Versionen beobachten, sah in speziellen Fällen (massiver Frontengstand einhergehend mit einem konischen Zahnbogen) aber dennoch die Befestigung an vier Zähnen indiziert. Im Wechselgebiss mit moderatem Frontengstand und posteriorer Konstriktion hingegen erkannte er Vorteile für die Befestigung an zwei Zähnen. Schlussendlich scheint es allerdings im Wesentlichen unerheblich zu sein, ob die Apparatur an zwei oder vier Zähnen verankert wird. Dies wird auch in den Dissertationen von Noß aus dem Jahr 2010<sup>119</sup> und Hassdenteufel aus dem Jahr 2008<sup>79</sup> deutlich. So lassen drei der hier vorgestellten Autoren<sup>7, 22, 51</sup> diese Angaben in ihren Artikeln auch unerwähnt. Es werden zwar die Apparaturen genannt, da es aber für jede Gerätschaft die Möglichkeit gibt, sie an 2 oder 4 Zähnen zu befestigen, wäre ein ausdrücklicher Hinweis hierauf angebracht gewesen. Neben dem bereits erwähnten Davidovitch<sup>39</sup> kamen auch bei Rungcharassaeng<sup>133</sup> beide Versionen zum Einsatz. Cozza<sup>30</sup> und Ballanti<sup>8</sup> wählten zwei Zähne, alle anderen vier Zähne als Anker.

Die Bauart der Dehnschraube bestimmt, wie groß die transversale Aufdehnung der Apparatur pro Aktivierungsprozess ist. Die in der Literatur verwendeten Schraubentypen öffnen das Gerät zwischen 0,175 mm<sup>153</sup> und 0,25 mm pro 90°-Drehung. Über 40 % der in diesem Review ausgewählten Autoren<sup>30, 51, 59, 90, 131, 133, 135</sup> machen keine Angaben zur Schraubenöffnung. Dies ist zwar eine große Anzahl, liegt aber unter dem Wert, der bei der anfänglichen Sichtung der Literatur deutlich wurde. Hier ließen etwa 2/3 die Schraubenöffnung unerwähnt. Ob, wie bei Chung<sup>28</sup>, Halicioglu<sup>73</sup> und Weissheimer<sup>159</sup> die Schraube pro Viertel Drehung um 0,2 mm geöffnet wird oder wie bei den meisten anderen ausgewählten Autoren um 0,25 mm<sup>7, 8, 22, 62, 94</sup>, bedeutet immerhin pro Drehung einen Unterschied von 20 %, welcher sich bei mehrfachem täglichem Aktivieren noch potenziert.

Die Angabe über die Frequenz der Schraubenaktivierung, das heißt, wie häufig pro Tag die in die Apparatur eingebaute Dehnschraube gedreht wird, variiert in den untersuchten Artikeln zwischen ein- bis dreimal täglich. Lediglich Lagravère<sup>94</sup> ließ die implantatverankerte Schraube nur jeden zweiten Tag aktivieren, Halicioğlu<sup>73</sup> hingegen seine „memory-screw“-Untersuchungsgruppe sechsmal täglich. Einige Autoren<sup>94</sup> nennen das zweimal tägliche Drehen der Schraube „traditionell“, was es nach Auswertung der Literaturrecherche zu der vorliegenden Studie auch zu sein scheint, aber von einem standardisierten Aktivierungsprotokoll kann hier keine Rede sein. Durch fehlende Werte lässt sich die am Aktivierungstag erreichte Gesamtöffnung der Apparatur nicht bestimmen und nicht vergleichen. Hinweise auf eine standardisierte Vorgehensweise hinsichtlich der Wahl des Schraubendesigns und Aktivierungsprotokolls lassen sich somit weder in den review-analysierten Artikeln noch in der hinzugezogenen Literatur finden. Lediglich auffällig ist, dass in über der Hälfte der Studien eine an den oberen Molaren und den oberen ersten Prämolaren befestigte Hyrax-Apparatur verwendet wurde, die mit einer Schraube versehen war, die sich bei einer Drehung von 360 ° um einen Millimeter öffnete und diese zweimal täglich um jeweils ein Viertel Drehung aktiviert wurde, sodass dieses Apparaturdesign und Aktivierungsprotokoll als Standard vorgeschlagen werden kann.

## 5.4 Aktive Expansion

Bei der Frage, über welchen Zeitraum die Dehnschraube der GNE geöffnet werden sollte, gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze. Die eine Gruppe der Autoren<sup>9, 13, 27, 31, 52-54, 56, 76, 88, 107, 110, 145, 155</sup> vertritt die Ansicht, dass der Zeitpunkt der Aktivierung durch die Öffnung der Schraube limitiert werden sollte. Hierbei wurde eine bestimmte Anzahl von Tagen angegeben, nach denen der Öffnungsspalt um eine bestimmte Spanne geweitet sein soll. Die andere, deutlich größere Gruppe beendet die aktive Expansion individuell nach klinischen Gesichtspunkten. In der Regel streben sie eine Überkorrektur des Kreuzbisses um zwei bis drei Millimeter an. Dies entspricht in etwa der okklusalen Kontaktbeziehung zwischen dem palatinalen Höcker des ersten oberen Molaren und dem bukkalen Höcker des ersten unteren Molaren. Eine weitere Gruppe macht überhaupt keine Angaben zur Aktivierungszeit. Diese Studien<sup>6, 31, 36, 125, 128, 136, 148, 158</sup> sind für weiterführende, vergleichende Arbeiten nicht hilfreich. In der Selektion gab Rungcharassaeng<sup>133</sup> eine aktive Expansionszeit von 14 bis 126 Tagen an, bei einem durchschnittlichen Aktivierungszeitraum von 54,6 Tagen und einer

Standardabweichung von 30,8. Wie dieses Aktivierungsprotokoll praktisch umgesetzt worden ist, lässt sich nur vermuten. Rein rechnerisch dürften die Probanden bei einer Expansionszeit von 126 Tagen die transversale Dehnschraube nur eine Viertel Umdrehung pro Woche rotiert haben, was allerdings nicht einer forcierten GNE entspräche.

Zum Ausschluss von Compliance-abhängigen Unregelmäßigkeiten im Drehrhythmus ist diejenige Variante zu bevorzugen, in der die Höcker-Höcker-Beziehung den zeitlichen Rahmen der Aktivierung begrenzt. Diese Methode trägt auch den individuellen Bedürfnissen der Dehnungsweite und der Gewebereaktion Rechnung, welche die Methode, die die millimetergenaue Öffnung der Apparatur als Zielpunkt setzt, nicht berücksichtigt.

## 5.5 Retentionszeit

Wie schon bei der aktiven Expansionszeit liefern nicht alle Autoren Daten zu dem Zeitraum, in welchem die GNE-Apparatur passiv als Retentionsgerät getragen wird. Bei denjenigen, die Angaben hierzu machen, liegt dieser in der Regel zwischen drei und sechs Monaten. Zu vernachlässigen sind sicherlich Extremwerte, wie die von Ramoglu<sup>130</sup> aus dem Jahr 2010 mit 14 Tagen und von Linder-Aronson<sup>106</sup> in dem Artikel von 1979 mit bis zu 7 Jahren.

Einige Autoren<sup>62, 90</sup> der reviewanalytierten Artikel führen bereits während der Retentionszeit andere kieferorthopädische Maßnahmen durch, so dass bei Messungen nach der Retentionszeit, die Effekte der GNE verfälscht und für eine Betrachtung der reinen forcierten GNE-Behandlung unbrauchbar werden.

Wie bereits in Kapitel 2.1.4 erwähnt, kommt es durch die Technik der Gaumennahterweiterung unter anderem zu einer Spaltbildung der Sutura palatina mediana. Dieser Spalt soll im Anschluss an die aktive Expansion wieder konsolidieren. Bis zum „modeling“ und „remodeling“ des Knochens vergehen mindestens drei bis vier Monate. Bereits zur Bildung von Geflechtknochen, der Kallushärtung, benötigt der Organismus zwischen vier bis 12 Wochen<sup>20</sup>. Da die radiologischen Anzeichen dieser Gewebeneubildung um etwa zwei Wochen hinterherhinken<sup>20</sup>, sollte die Öffnung der Suture zumindest vier, besser sechs Monate fixiert werden, um ein stabiles, auch röntgenologisch sichtbares Ergebnis der GNE zu erhalten. Wenn nach diesem Behandlungsabschnitt die Effekte der forcierten GNE analysiert werden sollen, dürfen währenddessen keine weiteren kieferorthopädischen Maßnahmen durchgeführt werden.

## 5.6 Messzeitpunkte

Was die Wahl der Messzeitpunkte betrifft, sind sich die ausgewählten Autoren einzig darüber einig, dass vor Beginn der Behandlung diagnostische Unterlagen angefertigt werden sollten. Hierin stimmen auch alle anderen hinzugezogenen Studien überein. Über diesen festgesetzten Zeitpunkt hinaus variieren die weiteren Messzeitpunkte allerdings deutlich, sowohl in der Anzahl als auch in ihrem zeitlichen Abstand. In den in dieser Studie analysierten Artikeln werden im gesamten Behandlungsverlauf zwischen zwei- und viermal Effekte gemessen. Die meisten Anwender legen den zweiten Untersuchungspunkt an das Ende der aktiven Expansion, einige messen die Effekte dagegen erst wieder am Ende der Behandlungszeit<sup>22, 131</sup> nach Durchführung einer zusätzlichen, festsitzenden kieferorthopädischen Multibandbehandlung. Gohl<sup>62</sup> und Kartalian<sup>90</sup> geben an, die zweite Messung in der Mitte der Gesamtbehandlungszeit durchgeführt zu haben. Beide Autoren scheinen den gleichen Untersuchungspool zu nutzen. Es wird allerdings aus ihren Beschreibungen nicht deutlich, wie sie bereits im Vorfeld sicherstellen konnten, dass der gewählte Zeitpunkt nun tatsächlich der Mitte der Behandlungsdauer entspricht, zumal die Gesamtbehandlung bei den einzelnen Probanden mit zwischen 11,5 und 24,5 bzw. 24,6 Monaten beziffert wird.

Hier fällt die Studie von Lagravère<sup>94</sup> auf, die sehr detailliert und transparent die Messzeitpunkte darstellt. Er wählt, wie alle Autoren, den Behandlungsbeginn als Baseline. Der Moment, in dem die aktive Expansion abgeschlossen ist, wird sein zweiter Untersuchungspunkt. Die dritte Messung erfolgt im Anschluss an die halbjährige Retentionsphase und weitere sechs Monate später, in denen keine weitere kieferorthopädische Behandlung stattfand, untersuchte er ein letztes Mal die Effekte der forcierten GNE. Diese gut nachzuvollziehenden Zeitangaben können für künftige Studiendesigns als Empfehlung dienen.

## 5.7 Bildgebende Verfahren

Für eine Darstellung der erforderlichen Parameter in der transversalen, der sagittalen und der vertikalen Ebene bedarf es in der klassischen Röntgentechnik zwei unterschiedlicher Ausrichtungen. Erforderlich sind pro Messzeitpunkt eine posteroanteriore Aufnahme sowie eine Okklusalaufnahme. Viele Autoren verzichten auf die Aufbissaufnahmen und fertigen stattdessen Gipsmodelle zur Analyse der Zahnbögen an<sup>1, 45, 130, 135, 137, 148</sup>. Skelettale Effekte,

wie zum Beispiel die Öffnung der Sutura palatina mediana, lassen sich hieran allerdings nicht messen. Allein Timms hatte 1980 versucht, skelettale Effekte am Modell durch Abformung des Hamulus pterygoideus zu untersuchen<sup>153</sup>. Ebenso wird die Darstellung von Zahnkippen nicht ausreichend dokumentiert werden können, da ein Bezug zu der Zahnwurzel im Modell naturgemäß fehlt. Auffällig und nachvollziehbar ist die Tatsache, dass bei CT-Untersuchungen auf weitere Analysen von Modelle verzichtet wurde. Mit Hilfe dieser Technik lässt sich die sonst am Modell zu erkennende Zahnbogenveränderung wie auch jegliche andere morphologischen Effekte bereits am Befundmonitor darstellen. Ideal wäre daher die Durchführung eines CT zu jedem Messzeitpunkt. Dies ist aber vor allem aufgrund der erhöhten Strahlenexposition bei den überwiegend untersuchten Kindern und aus Kostengründen fragwürdig. Rechnet man jedoch die Strahlenbelastung der beiden klassischen Röntgenbilder zusammen, zu welchen sich in der Regel zumindest für die Anfangsdiagnostik noch ein Panoramaschichtaufnahme gesellt und für die kephalometrische Auswertung der allgemeinen kieferorthopädischen Behandlung eine Fernröntgenseitausnahme, wird der Faktor der erhöhten Strahlenbelastung durch eine CT-Aufnahme wieder relativiert. Aufgrund der nahezu unendlichen Auswertbarkeit von CT-Aufnahmen ist selbigen bei der Analyse der forcierten GNE der Vorzug zu geben. Diese Technik wurde in der ausgewählten Studiengruppe bereits von sieben Autoren umgesetzt<sup>8, 59, 62, 90, 94, 133, 159</sup>. Lediglich Davidovitch fertigte sowohl eine posteroanterior als auch eine Aufbiss-Aufnahme an und stellte zudem auch Modelle zur Analyse von Zahnbogenveränderungen her. In drei weiteren Studien wurden neben posteroanterior oder FRS-Bildern Modelle zur Auswertung der Parameter herangezogen<sup>39, 73, 131, 135</sup>. Ob die CT-Aufnahme jedoch zur Diagnostik und Vergleichbarkeit der Werte als zwingend erforderlich festgelegt werden kann, muss im Hinblick auf die Strahlenhygiene kritisch betrachtet werden. Zudem kann nicht vorausgesetzt werden, dass diese Technik allen Forschungsgruppen zugänglich ist, obschon sie inzwischen weit verbreitet ist.

## 5.8 Anatomische Messpunkte

Wie bereits in Kapitel 4.9 dieser Arbeit erwähnt, ist es unmöglich, die Messpunkte der einzelnen, hier aufgeführten Autoren miteinander zu vergleichen, da nahezu jeder Autor seine Präferenzen anders setzt. Stellt man sich die Frage, welche Effekte bei der forcierten GNE analysiert werden sollen und kommt man zu dem Schluss, dass die hauptsächliche Beachtung der Ratio zwischen skelettalen und dentalen Veränderungen gelten sollte, wird deutlich, dass

man sich bei künftigen Studien auf wenige Messpunkte beschränken kann. Hierbei ist es nebensächlich, ob diese Messpunkte mit Hilfe der herkömmlichen Röntgentechnik oder der Computertomographie ermittelt werden. Benötigt werden skelettale und dentale Referenzpunkte sowohl in transversaler als auch in sagittaler und vertikaler Ebene, deren Veränderungen während der Behandlung unschwer nachvollziehbar sein müssen und die ebenso unabhängig von Alter und der Apparatur wie auch dem bildgebenden Verfahren sind. Dental sollten diese inzisal, im anterioren und im posterioren Bereich des Zahnbogens liegen. Die Abstandsveränderung der am weitesten mesial gelegenen Punkte der oberen mittleren Inzisivi<sup>7, 22</sup> sowie deren Apices<sup>7, 22, 135</sup> geben einen dentalen Anhaltspunkt darüber, wie weit die Öffnung der Sutura palatina mediana während der Behandlung fortgeschritten ist. Im anterioren und posterioren Zahnbogen lässt sich durch eine Abstandsmessung beispielsweise der Zentralfissur der ersten Prämolaren bzw. des ersten Milchmolaren sowie der ersten Molaren ebenfalls ein eingeschränkter Bezug zur skelettalen Expansion der Maxilla herstellen. Rungcharassaeng<sup>133</sup> wählte diese anterioren und posterioren Punkte in seiner Studie. Da in diesem Bereich jedoch zumeist die zahngetragenen Apparaturen befestigt sind und die Kraft der geöffneten Dehnschraube zuerst hier auftritt, muss in dieser Region immer auch die Zahnkipfung beachtet werden. Daher ist es sinnvoll, auch die apikalen Regionen der Molaren und Prämolaren zu betrachten, hier im Speziellen die bukkale Wurzel der oberen 4er und die palatinalen Wurzelspitzen der oberen 6er. Muss aufgrund der Entwicklung oder einer Aplasie des permanenten Prämolaren auf den ersten Milchmolaren zurückgegriffen werden, kann okklusal ebenfalls die Zentralfissur als Beobachtungspunkt dienen, apikal sollte es die am weitesten bukkal liegende Wurzelspitze sein. Lagravère<sup>94</sup> untersuchte die dentalen Effekte anhand der äußeren Kortikalis des Alveolarknochens in Höhe des Apex der ersten Oberkiefermolaren, der ersten Oberkieferprämolaren und oberen mittleren Schneidezähne. Streng genommen bildete dieser Messpunkt eher einen skelettalen denn einen dentalen Anhalt, da durch die Krafteinwirkung der forcierten GNE die bukkale Knochendicke an den Apparatur tragenden Zähnen verändert werden kann<sup>9</sup>. Vorteilhafter wäre hier eine klare Projektion des Punktes auf eindeutig dentale Strukturen gewesen.

Bereits durch diese sechs Messpunkte je Kieferhälfte lässt sich die „V“-förmige Öffnung des Zahnbogens nach dorsal überprüfen und eine eventuelle Zahnkipfung entdecken.

Skelettale Messpunkte mögen die Öffnung der Sutura palatina mediana von anterior nach posterior und die der Sutura intermaxillaris von kaudal nach kranial veranschaulichen. Hierzu reicht es vollkommen aus, die Breite der Sutura palatina mediana in Höhe der oberen Inzisivi und der Spina nasalis posterior zu messen. Für die Effektmessung an der Sutura intermaxillaris

liegen die Referenzpunkte am Limbus alveolaris zwischen den oberen mittleren Schneidezähnen und der Spina nasalis anterior.

Lediglich Studien der Literaturübersicht, welche sich hauptsächlich oder ausschließlich mit suturalen Veränderungen beschäftigen, reduzierten ihre Messpunkte auf diese wesentlichen Messungen<sup>35, 53, 60, 101</sup>. Andere Autoren des hier ausgewählten Kollektivs erhoben 20 und mehr röntgenologische Messpunkte<sup>28, 131, 135</sup>.

## 5.9 Schlussfolgerung

Nach intensiver Studie der Publikationen zur forcierten GNE ließen sich bis zum heutigen Tag keine Guidelines für ein standardisiertes Studiendesign finden, welche die Effektivität der forcierten Gaumennahterweiterung im Hinblick auf die Ratio zwischen dentalen und skelettalen Effekten überprüfbar machten. In Beantwortung der eingangs gestellten Fragen ergibt sich als Hilfestellung für zukünftige Studiendesigns nachfolgende Empfehlung:

Wichtig ist, dass während der gesamten Behandlungszeit mit Hilfe der forcierten GNE bis zum Ende der Retentionszeit keine anderen kieferorthopädischen Maßnahmen durchgeführt werden, damit die erzielten Effekte nicht verfälscht werden.

Eine valide Abschätzung der Fallzahl gelingt nur nach vorheriger Powerkalkulation, die für künftige Studien zur Studienplanung herangezogen werden sollte, wobei das Alter der Probanden als unerheblich angesehen werden kann.

Als geeignetes Apparaturdesign und Aktivierungsprotokoll offenbarte sich die an vier Zähnen, möglichst an den ersten oberen Molaren und an den ersten oberen Prämolaren, durch Bänder befestigte Hyrax-Apparatur mit einer Dehnschraube, die sich pro volle Umdrehung um einen Millimeter öffnet, welche jeweils morgens und abends um eine Viertel Umdrehung aktiviert wird, was einer täglichen Schraubenöffnung von 0,5 mm entspricht.

Vielversprechend sind auch einige erste Untersuchungen mit minimalinvasiv inserierten Implantaten, an welchen die Apparatur befestigt ist oder solche Geräte, die sowohl an Implantaten als auch an Zähnen verankert sind. Bis auf das Apparaturdesign sollten alle anderen Parameter wie beschrieben beibehalten werden, so dass hierdurch eine Vergleichbarkeit mit anderen Geräten möglich wird.

Die Zeit der aktiven Expansion muss individuell gestaltet werden. Die Aktivierung sollte bis zu einer Überkorrektur des Kreuzbisses durchgeführt werden. Erst wenn sich der palatinale Höcker

des ersten oberen Molaren mit dem bukkalen Höcker des ersten unteren Molaren in Kontakt befindet, darf in die passive Retentionsphase übergegangen werden.

Diese Retentionsphase sollte sechs Monate betragen, um eine knöcherne Konsolidierung der gedehnten Regionen zu gewährleisten.

Neben der Messung zu Beginn der Behandlung liegt die weitere Messung am Ende der aktiven Expansion und am Ende der Retentionsphase nahe, bevor mit der weiteren kieferorthopädischen Behandlung begonnen wird.

Wird die Untersuchung mit Hilfe von klassischer Röntgentechnik durchgeführt, werden zur Analyse der GNE-Effekte zu jedem der genannten Messzeitpunkte sowohl eine posteroanteriore Aufnahme sowie eine Aufbissaufnahme benötigt. Aussagekräftiger sind jedoch CT-Aufnahmen. Sie bieten die präzisesten Aufnahmen mit größter Detailgenauigkeit. Hier können jegliche Effekte, auch weiterführende, problemlos in allen Ebenen ausgewertet werden. Bei der Indikationsstellung ist die jeweilige Strahlenexposition, die im CT im Vergleich zu konventionellen Röntgenaufnahmen deutlich höher ist, mit zu berücksichtigen. Auch durch die noch nicht flächendeckende Verteilung der Computertomographie ist diese Methode der Bildgebung leider wenig praktikabel und kann zum heutigen Zeitpunkt nicht als Standard angesehen werden.

Die gewählten Messpunkte können auf sechs dentale Positionen pro Kieferhälfte eingeschränkt werden. Sinnvoll sind hier die am weitesten mesial gelegenen Punkte der oberen mittleren Inzisivi und deren Apices, die Zentralfissuren der oberen ersten Prämolaren und ersten Molaren sowie die Wurzelspitzen der bukkalen Wurzel der oberen 4er und die palatinalen Wurzelspitzen der oberen 6er. Sollte der erste Prämolare noch nicht vorhanden sein, wird alternativ der erste Milchmolar zur Messung herangezogen. Okklusal kann ebenfalls die Zentralfissur als Markierung dienen, apikal muss auf die am weitesten bukkal liegende Wurzelspitze zurückgegriffen werden.

Bei den skelettalen Messpunkten bietet sich die Messung des Abstandes der Maxillahälften in Höhe der Spina nasalis anterior, der Spina nasalis posterior und am Limbus alveolaris zwischen den beiden oberen mittleren Inzisivi an. Um das Verhältnis von skelettaler zu dentaler Erweiterung zu bestimmen, sind diese Messpunkte absolut ausreichend.

Dieser Hilfestellung folgend lassen sich Konsistenzen schaffen. Künftige Studien werden vergleichbar und gewinnen folglich an wissenschaftlichem Wert.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Alcan T, Ceylanoglu C (2006) Upper midline correction in conjunction with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:671-5
2. Alpern MC, Yurosko JJ (1987) Rapid palatal expansion in adults with and without surgery. *Angle Orthod* 57:245-63
3. Angell EC (1860) Treatment of irregularities of the permanent or adult teeth. *Dent Cosmos* 1:540-4, 99-600
4. Asanza S, Cisneros GJ, Nieberg LG (1997) Comparison of Hyrax and bonded expansion appliances. *Angle Orthod* 67:15-22
5. Asbell MB (1990) A brief history of orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 98:176-83
6. Azizi M, ShROUT MK, Haas AJ, Russell CM, Hamilton EH, Jr. (1999) A retrospective study of Angle Class I malocclusions treated orthodontically without extractions using two palatal expansion methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116:101-7
7. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA, Jr. (2001) Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 71:343-50
8. Ballanti F, Lione R, Baccetti T, Franchi L, Cozza P (2010) Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion investigated with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:311-7
9. Ballanti F, Lione R, Fanucci E, Franchi L, Baccetti T, Cozza P (2009) Immediate and post-retention effects of rapid maxillary expansion investigated by computed tomography in growing patients. *Angle Orthod* 79:24-9
10. Baratieri C, Alves M, Jr., de Souza MM, de Souza Araujo MT, Maia LC (2011) Does rapid maxillary expansion have long-term effects on airway dimensions and breathing? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:146-56
11. Barber AF, Sims MR (1981) Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *Am J Orthod* 79:630-52
12. Basdra EK (2005) Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop* 66:250; author reply 251
13. Bayram M, Ozer M, Arici S, Alkan A (2007) Nonextraction treatment with rapid maxillary expansion and mandibular symphyseal distraction osteogenesis and vertical skeletal dimensions. *Angle Orthod* 77:266-72
14. Beebe DA, Quinonez RB, Shick EA, Kim SH, Kennedy DB (2008) Failure rates and survival analysis of maxillary expansion appliances: a 24-year retrospective analysis. *Pediatr Dent* 30:469-74
15. Bell RA (1982) A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod* 81:32-7
16. Bergius M, Kiliaridis S, Berggren U (2000) Pain in orthodontics. A review and discussion of the literature. *J Orofac Orthop* 61:125-37
17. Biederman W (1968) A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO J Pract Orthod* 2:67-70
18. Biederman W (1973) Rapid correction of Class 3 malocclusion by midpalatal expansion. *Am J Orthod* 63:47-55
19. Bishara SE, Staley RN (1987) Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 91:3-14
20. Bohndorf K, Imhof H, Fischer W (2006) Radiologische Diagnostik der Knochen und Gelenke. Thieme, Stuttgart
21. Brogan WF (1977) The stability of maxillary expansion. *Aust Dent J* 22:92-9

22. Cameron CG, Franchi L, Baccetti T, McNamara JA, Jr. (2002) Long-term effects of rapid maxillary expansion: a posteroanterior cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121:129-35; quiz 93
23. Canuto LF, de Freitas MR, Janson G, de Freitas KM, Martins PP (2010) Influence of rapid palatal expansion on maxillary incisor alignment stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:164 e1-6; discussion -5
24. Capellozza Filho L, Cardoso Neto J, da Silva Filho OG, Ursi WJ (1996) Non-surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 11:57-66; discussion 7-70
25. Capellozza Filho L, De Almeida AM, Ursi WJ (1994) Rapid maxillary expansion in cleft lip and palate patients. *J Clin Orthod* 28:34-9
26. Chaconas SJ, Caputo AA (1982) Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Am J Orthod* 82:492-501
27. Chang JY, McNamara JA, Jr., Herberger TA (1997) A longitudinal study of skeletal side effects induced by rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 112:330-7
28. Chung CH, Font B (2004) Skeletal and dental changes in the sagittal, vertical, and transverse dimensions after rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126:569-75
29. Cloet E, Groß, B (1999) *Osteopathie im kranialen Bereich*. Hippokrates, Stuttgart
30. Cozza P, Giancotti A, Petrosino A (2001) Rapid palatal expansion in mixed dentition using a modified expander: a cephalometric investigation. *J Orthod* 28:129-34
31. Cozzani M, Guiducci A, Mirengi S, Mutinelli S, Siciliani G (2007) Arch width changes with a rapid maxillary expansion appliance anchored to the primary teeth. *Angle Orthod* 77:296-302
32. Cozzani M, Rosa M, Cozzani P, Siciliani G (2003) Deciduous dentition-anchored rapid maxillary expansion in crossbite and non-crossbite mixed dentition patients: reaction of the permanent first molar. *Prog Orthod* 4:15-22
33. Cross DL, McDonald JP (2000) Effect of rapid maxillary expansion on skeletal, dental, and nasal structures: a postero-anterior cephalometric study. *Eur J Orthod* 22:519-28
34. da Silva Filho OG, Boas MC, Capellozza Filho L (1991) Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 100:171-9
35. da Silva Filho OG, Lara TS, de Almeida AM, da Silva HC (2005) Evaluation of the midpalatal suture during rapid palatal expansion in children: a CT study. *J Clin Pediatr Dent* 29:231-8
36. da Silva Filho OG, Magro AC, Capellozza Filho L (1998) Early treatment of the Class III malocclusion with rapid maxillary expansion and maxillary protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 113:196-203
37. da Silva Filho OG, Montes LA, Torelly LF (1995) Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107:268-75
38. Dannhauer KH, Walter F, Börngen J, Krey KF (2000), in: *Die Gaumennahterweiterung*. URL: [kieferorthopaedie.uniklinikum-leipzig.de/gaumen/index.htm](http://kieferorthopaedie.uniklinikum-leipzig.de/gaumen/index.htm) (Stand 11.09.2012).
39. Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD (2005) Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127:483-92
40. Davis WM, Kronman JH (1969) Anatomical changes induced by splitting of the midpalatal suture. *Angle Orthod* 39:126-32
41. Derichsweiler H (1956) *Die Gaumennahterweiterung*. Carl Hanser, München

42. Derichsweiler H (1954) Die Umstellung der Mundatmung zur Nasenatmung durch die Gaumennahterweiterung. *Fortschr Kieferorthop* 15:234 - 41
43. Derichsweiler H (1954) [Palatorrhaphy]. *Osterr Z Stomatol* 51:597-600
44. Derichsweiler H (1953) [The removal of the palatine suture]. *Fortschr Kieferorthop* 14:5-23
45. Doruk C, Bicakci AA, Basciftci FA, Agar U, Babacan H (2004) A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dentofacial structures. *Angle Orthod* 74:184-94
46. Ekstrom C, Henrikson CO, Jensen R (1977) Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *Am J Orthod* 71:449-55
47. Enoki C, Valera FC, Lessa FC, 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. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 70:1225-30
48. Ersoy U (2004) Principles of Cross-bite Treatment. URL: [http://www.columbia.edu/itc/hs/dental/D5300/ERSOY%20Principles%20of%20Cross-bite%20Treatment\\_BW.pdf](http://www.columbia.edu/itc/hs/dental/D5300/ERSOY%20Principles%20of%20Cross-bite%20Treatment_BW.pdf) (Stand 11.09.2012).
49. Erverdi N, Okar I, Kucukkeles N, Arbak S (1994) A comparison of two different rapid palatal expansion techniques from the point of root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 106:47-51
50. Farronato G, Giannini L, Galbiati G, Maspero C (2011) Sagittal and vertical effects of rapid maxillary expansion in Class I, II, and III occlusions. *Angle Orthod* 81:298-303
51. Farronato G, Maspero C, Esposito L, Briguglio E, Farronato D, Giannini L (2011) Rapid maxillary expansion in growing patients. Hyrax versus transverse sagittal maxillary expander: a cephalometric investigation. *Eur J Orthod* 33:185-9
52. Franchi L, Baccetti T, Cameron CG, Kucipal EA, McNamara JA, Jr. (2002) Thin-plate spline analysis of the short- and long-term effects of rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 24:143-50
53. Franchi L, Baccetti T, Lione R, Fanucci E, Cozza P (2010) Modifications of midpalatal sutural density induced by rapid maxillary expansion: A low-dose computed-tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:486-8; discussion 12A-13A
54. Garib DG, Henriques JF, Carvalho PE, Gomes SC (2007) Longitudinal effects of rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 77:442-8
55. Garib DG, Henriques JF, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY (2006) Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129:749-58
56. Garib DG, Henriques JF, Janson G, Freitas MR, Coelho RA (2005) Rapid maxillary expansion--tooth tissue-borne versus tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation of dentoskeletal effects. *Angle Orthod* 75:548-57
57. Garrett BJ, Caruso JM, Rungcharassaeng K, Farrage JR, Kim JS, Taylor GD (2008) Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:8-9
58. Gerlach H (1954) Die Gaumennahtsprengung. *Fortschr Kieferorthop* 15:243-8
59. Ghoneima A, Abdel-Fattah E, Eraso F, Fardo D, Kula K, Hartsfield J (2010) Skeletal and dental changes after rapid maxillary expansion: a computed tomography study. *Aust Orthod J* 26:141-8
60. Ghoneima A, Abdel-Fattah E, Hartsfield J, El-Bedwehi A, Kamel A, Kula K (2011) Effects of rapid maxillary expansion on the cranial and circummaxillary sutures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:510-9

61. Glass GV (1976) Primary, secondary, and meta-analyses of research. *Educational Researcher* 5:3-8
62. Gohl E, Nguyen M, Enciso R (2010) Three-dimensional computed tomography comparison of the maxillary palatal vault between patients with rapid palatal expansion and orthodontically treated controls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:477-85
63. Gracco A, Malaguti A, Lombardo L, Mazzoli A, Raffaelli R (2010) Palatal volume following rapid maxillary expansion in mixed dentition. *Angle Orthod* 80:153-9
64. Gray LP (1987) Rapid maxillary expansion and impaired nasal respiration. *Ear Nose Throat J* 66:248-51
65. Gray LP (1975) Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons. *J Laryngol Otol* 89:601-14
66. Greenbaum KR, Zachrisson BU (1982) The effect of palatal expansion therapy on the periodontal supporting tissues. *Am J Orthod* 81:12-21
67. Guerini VA (1909) *A history of dentistry from the most ancient times until the end of the eighteenth century.* Lea & Febiger, Philadelphia New York
68. Haas AJ (1980) Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *Angle Orthod* 50:189-217
69. Haas AJ (1970) Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod* 57:219-55
70. Haas AJ (1961) Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 31:73-90
71. Haas AJ (1973) Rapid palatal expansion: A recommended prerequisite to Class III treatment. *Trans Eur Orthod Soc* 311-8
72. Haas AJ (1965) *The Treatment of Maxillary Deficiency by Opening the Midpalatal Suture.* *Angle Orthod* 35:200-17
73. Halicioglu K, Yavuz I (2011) Comparison of the effects of rapid maxillary expansion caused by treatment with either a memory screw or a Hyrax screw on the dentofacial structures--transversal effects. *Eur J Orthod* (Epub ahead of print)
74. Handelman CS, Wang L, BeGole EA, Haas AJ (2000) Nonsurgical rapid maxillary expansion in adults: report on 47 cases using the Haas expander. *Angle Orthod* 70:129-44
75. Hansen L, Tausche E, Hietschold V, Hotan T, Lagraverre M, Harzer W (2007) Skeletally-anchored rapid maxillary expansion using the Dresden Distractor. *J Orofac Orthop* 68:148-58
76. Harzer W, Reusser L, Hansen L, Richter R, Nagel T, Tausche E (2010) Minimally invasive rapid palatal expansion with an implant-supported hyrax screw. *Biomed Tech (Berl)* 55:39-45
77. Harzer W, Schneider M, Gedrange T (2004) Rapid maxillary expansion with palatal anchorage of the hyrax expansion screw--pilot study with case presentation. *J Orofac Orthop* 65:419-24
78. Harzer W, Schneider M, Gedrange T, Tausche E (2006) Direct bone placement of the hyrax fixation screw for surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE). *J Oral Maxillofac Surg* 64:1313-7
79. Hassdenteufel DM (2008) *Die forcierte Gaumennahterweiterung - klinischer Vergleich zweier Systeme.* Dissertation, Homburg/Saar
80. Herold JS (1989) Maxillary expansion: a retrospective study of three methods of expansion and their long-term sequelae. *Br J Orthod* 16:195-200
81. Holberg C (2005) Effects of rapid maxillary expansion on the cranial base--an FEM-analysis. *J Orofac Orthop* 66:54-66

82. Hoppe-Walter G (2006) Prospektive klinische Studie zur Therapie des unilateralen posterioren Kreuzbisses mittels Gaumennahterweiterung. Dissertation, Münster
83. Huertas D, Ghafari J (2001) New posteroanterior cephalometric norms: a comparison with craniofacial measures of children treated with palatal expansion. *Angle Orthod* 71:285-92
84. Isaacson RJ, Ingram, A. H. (1964) Forces produced by rapid maxillary expansion. II. Forces present during treatment. *Angle Orthod* 34:261-270
85. Isci D, Turk T, Elekdag-Turk S (2010) Activation-deactivation rapid palatal expansion and reverse headgear in Class III cases. *Eur J Orthod* 32:706-15
86. Isik F, Sayinsu K, Nalbantgil D, Arun T (2005) A comparative study of dental arch widths: extraction and non-extraction treatment. *Eur J Orthod* 27:585-9
87. Jafari A, Shetty KS, Kumar M (2003) Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces--a three-dimensional FEM study. *Angle Orthod* 73:12-20
88. Johnson BM, McNamara JA, Bandeen RL, Baccetti T (2010) Changes in soft tissue nasal widths associated with rapid maxillary expansion in prepubertal and postpubertal subjects. *Angle Orthod* 80:995-1001
89. Kanavakis G, Spinos P, Polychronopoulou A, Eliades T, Papadopoulos MA, Athanasiou AE (2006) Orthodontic journals with impact factors in perspective: trends in the types of articles and authorship characteristics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 130:516-22
90. Kartalian A, Gohl E, Adamian M, Enciso R (2010) Cone-beam computerized tomography evaluation of the maxillary dentoskeletal complex after rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138:486-92
91. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H (2004) Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop* 65:467-74
92. Korbmacher H, Huck L, Merkle T, Kahl-Nieke B (2005) Clinical profile of rapid maxillary expansion--outcome of a national inquiry. *J Orofac Orthop* 66:455-68
93. Krebs A (1959) Expansion of the midpalatal suture studied by means of metallic implants. *Acta Odontol Scand* 17:491-501
94. Lagravere MO, Carey J, Heo G, Toogood RW, Major PW (2010) Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:304 e1-12; discussion -5
95. Lagravere MO, Heo G, Major PW, Flores-Mir C (2006) Meta-analysis of immediate changes with rapid maxillary expansion treatment. *J Am Dent Assoc* 137:44-53
96. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C (2005) Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *Angle Orthod* 75:155-61
97. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C (2005) Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review. *Angle Orthod* 75:1046-52
98. Lamparski DG, Jr., Rinchuse DJ, Close JM, Sciote JJ (2003) Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 123:321-8
99. Landsberger R (1909) Anatomische Veränderungen im Knochengewebe des Gaumens bei kieferorthopädischer Behandlung. *Korres. f. Zahnärzte* 49-57
100. Langford SR (1982) Root resorption extremes resulting from clinical RME. *Am J Orthod* 81:371-7
101. Leonardi R, Sicurezza E, Cutrera A, Barbato E (2011) Early post-treatment changes of circummaxillary sutures in young patients treated with rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 81:36-41

102. Lima AC, Lima AL, Filho RM, Oyen OJ (2004) Spontaneous mandibular arch response after rapid palatal expansion: a long-term study on Class I malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126:576-82
103. Lima AL, Lima Filho RM, Bolognese AM (2005) Long-term clinical outcome of rapid maxillary expansion as the only treatment performed in Class I malocclusion. *Angle Orthod* 75:416-20
104. Lima Filho RM, de Oliveira Ruellas AC (2008) Long-term maxillary changes in patients with skeletal Class II malocclusion treated with slow and rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:383-8
105. Lima Filho RM, Lima AC, de Oliveira Ruellas AC (2003) Spontaneous correction of Class II malocclusion after rapid palatal expansion. *Angle Orthod* 73:745-52
106. Linder-Aronson S, Lindgren J (1979) The skeletal and dental effects of rapid maxillary expansion. *Br J Orthod* 6:25-9
107. Lione R, Ballanti F, Franchi L, Baccetti T, Cozza P (2008) Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion studied with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:389-92
108. Marini I, Bonetti GA, Achilli V, Salemi G (2007) A photogrammetric technique for the analysis of palatal three-dimensional changes during rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 29:26-30
109. Matteini C, Mommaerts MY (2001) Posterior transpalatal distraction with pterygoid disjunction: a short-term model study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120:498-502
110. McNamara JA, Jr., Baccetti T, Franchi L, Herberger TA (2003) Rapid maxillary expansion followed by fixed appliances: a long-term evaluation of changes in arch dimensions. *Angle Orthod* 73:344-53
111. McNamara JA, Jr., Sigler LM, Franchi L, Guest SS, Baccetti T (2010) Changes in occlusal relationships in mixed dentition patients treated with rapid maxillary expansion. A prospective clinical study. *Angle Orthod* 80:230-8
112. Melsen B (1972) A histological study of the influence of sutural morphology and skeletal maturation on rapid palatal expansion in children. *Trans Eur Orthod Soc* 499-507
113. Melsen B (1975) Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod* 68:42-54
114. Mew J (1983) Relapse following maxillary expansion. A study of twenty-five consecutive cases. *Am J Orthod* 83:56-61
115. Mommaerts MY (1999) Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 37:268-72
116. Moura PM, Giraldo G, Lira PH, Leite DA, Rodrigues PS, Faria M, Gutfilen B (2011) Image assessment of MSCT and CBCT scans for rapid maxillary expansion: a pilot study. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 14:1089-95
117. Murray JM, Cleall JF (1971) Early tissue response to rapid maxillary expansion in the midpalatal suture of the rhesus monkey. *J Dent Res* 50:1654-60
118. Mutinelli S, Cozzani M, Manfredi M, Bee M, Siciliani G (2008) Dental arch changes following rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 30:469-76
119. Noß M (2010) Vergleich einer modifizierten GNE-Apparatur mit herkömmlichen Apparaturen zur Transversalerweiterung. Dissertation, Homburg/Saar
120. Odenrick L, Lilja E, Lindback KF (1982) Root surface resorption in two cases of rapid maxillary expansion. *Br J Orthod* 9:37-40
121. Oliveira De Felipe NL, Da Silveira AC, Viana G, Kusnoto B, Smith B, Evans CA (2008) Relationship between rapid maxillary expansion and nasal cavity size and airway resistance: short- and long-term effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 134:370-82

122. Oliveira NL, Da Silveira AC, Kusnoto B, Viana G (2004) Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: a comparison of 2 kinds of palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126:354-62
123. Olmez H, Akin E, Karacay S (2007) Multitomographic evaluation of the dental effects of two different rapid palatal expansion appliances. *Eur J Orthod* 29:379-85
124. Oppenheim A (1911-1912) Tissue changes, particularly of the bone, incident to the tooth movement. *Am J Orthod* 3:113-23
125. Ozbek MM, Memikoglu UT, Altug-Atac AT, Lowe AA (2009) Stability of maxillary expansion and tongue posture. *Angle Orthod* 79:214-20
126. Pan X, Qian Y, Yu J, Wang D, Tang Y, Shen G (2007) Biomechanical effects of rapid palatal expansion on the craniofacial skeleton with cleft palate: a three-dimensional finite element analysis. *Cleft Palate Craniofac J* 44:149-54
127. Parr JA, Garetto LP, Wohlford ME, Arbuckle GR, Roberts WE (1997) Sutural expansion using rigidly integrated endosseous implants: an experimental study in rabbits. *Angle Orthod* 67:283-90
128. Phoenix A, Valiathan M, Nelson S, Strohl KP, Hans M (2011) Changes in hyoid bone position following rapid maxillary expansion in adolescents. *Angle Orthod* 81:632-8
129. Podesser B, Williams S, Crismani AG, Bantleon HP (2007) Evaluation of the effects of rapid maxillary expansion in growing children using computer tomography scanning: a pilot study. *Eur J Orthod* 29:37-44
130. Ramoglu SI, Sari Z (2010) Maxillary expansion in the mixed dentition: rapid or semi-rapid? *Eur J Orthod* 32:11-8
131. Reed N, Ghosh J, Nanda RS (1999) Comparison of treatment outcomes with banded and bonded RPE appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116:31-40
132. Rossi M, Rocha RASS, Gavião MBD (2008) Effects of bonded rapid maxillary expansion appliance (brmea) in vertical and sagittal dimensions: a systematic review. *Braz J Oal Sci.* 7:1571-4
133. Rungcharassaeng K, Caruso JM, Kan JY, Kim J, Taylor G (2007) Factors affecting buccal bone changes of maxillary posterior teeth after rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132:428 e1-8
134. Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M (2011) *Kieferorthopädie. Vol 2: Thieme, Stuttgart*
135. Sandikcioglu M, Hazar S (1997) Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111:321-7
136. Sandstrom RA, Klapper L, Papaconstantinou S (1988) Expansion of the lower arch concurrent with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94:296-302
137. Sari Z, Uysal T, Usumez S, Basciftci FA (2003) Rapid maxillary expansion. Is it better in the mixed or in the permanent dentition? *Angle Orthod* 73:654-61
138. Sarnas KV, Bjork A, Rune B (1992) Long-term effect of rapid maxillary expansion studied in one patient with the aid of metallic implants and roentgen stereometry. *Eur J Orthod* 14:427-32
139. Schiffman PH, Tuncay OC (2001) Maxillary expansion: a meta analysis. *Clin Orthod Res* 4:86-96
140. Schneidman E, Wilson S, Erkis R (1990) Two-point rapid palatal expansion: an alternate approach to traditional treatment. *Pediatr Dent* 12:92-7
141. Schroeder-Benseler (1913) Die Mundatmung der Schulkinder und die orthopädische Behandlung derselben in der Schulzahnklinik. *Zeitschrift für gesunde Jugend* 7:
142. Schuster G, Borel-Scherf I, Schopf PM (2005) Frequency of and complications in the use of RPE appliances--results of a survey in the Federal State of Hesse, Germany. *J Orofac Orthop* 66:148-61

143. Shapiro PA, Kokich VG (1988) Uses of implants in orthodontics. *Dent Clin North Am* 32:539-50
144. Sicurezza E, Palazzo G, Leonardi R (2011) Three-dimensional computerized tomographic orbital volume and aperture width evaluation: a study in patients treated with rapid maxillary expansion. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 111:503-7
145. Sigler LM, Baccetti T, McNamara JA, Jr. (2011) Effect of rapid maxillary expansion and transpalatal arch treatment associated with deciduous canine extraction on the eruption of palatally displaced canines: A 2-center prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139:e235-44
146. Smalley WM, Shapiro PA, Hohl TH, Kokich VG, Branemark PI (1988) Osseointegrated titanium implants for maxillofacial protraction in monkeys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 94:285-95
147. Sokucu O, Doruk C, Uysal OI (2010) Comparison of the effects of RME and fan-type RME on nasal airway by using acoustic rhinometry. *Angle Orthod* 80:870-5
148. Sokucu O, Ozturk F, Babacan H, Bicakci AA (2008) Does rapid maxillary expansion affect the eruption of upper third molars? *Angle Orthod* 78:195-200
149. Spillane LM, McNamara JA, Jr. (1995) Maxillary adaptation to expansion in the mixed dentition. *Semin Orthod* 1:176-87
150. Tanne K, Matsubara S, Sakuda M (1995) Location of the centre of resistance for the nasomaxillary complex studied in a three-dimensional finite element model. *Br J Orthod* 22:227-32
151. Timms DJ (1986) *Forcierte Gaumennahterweiterung*. Quintessenz, Berlin
152. Timms DJ (1981) *Rapid maxillary expansion*. Quintessence, Chicago
153. Timms DJ (1980) A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod* 77:500-7
154. Timms DJ, Moss JP (1971) An histological investigation into the effects of rapid maxillary expansion on the teeth and their supporting tissues. *Trans Eur Orthod Soc* 263-71
155. Timms DJ, Preston CB, Daly PF (1982) A computed tomographic assessment of maxillary movement induced by rapid expansion - a pilot study. *Eur J Orthod* 4:123-7
156. Vardimon AD, Graber TM, Pitaru S (1991) [The causes of and repair procedures in external root resorption following palatal suture expansion with magnetic and conventional dilators. Experimental animal research on *Macaca fascicularis* monkeys]. *Fortschr Kieferorthop* 52:193-203
157. Velazquez P, Benito E, Bravo LA (1996) Rapid maxillary expansion. A study of the long-term effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 109:361-7
158. Volk T, Sadowsky C, Begole EA, Boice P (2010) Rapid palatal expansion for spontaneous Class II correction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137:310-5
159. Weissheimer A, de Menezes LM, Mezomo M, Dias DM, de Lima EM, Rizzato SM (2011) Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 140:366-76
160. Wertz RA (1968) Changes in nasal airflow incident to rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 38:1-11
161. Wertz RA (1970) Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod* 58:41-66
162. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D (2010) Application and effectiveness of a mini-implant- and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World J Orthod* 11:323-30
163. Zilles K, Tillmann B (2010) *Anatomie*. Springer, Heidelberg
164. Zöller J, Ullrich H (1991) Die kombinierte chirurgisch-kieferorthopädische Gaumennahterweiterung im Erwachsenenalter. *Fortschr Kieferorthop* 52:61-5

## 7. Danksagung

Für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas möchte ich Herrn Professor Dr. Jörg Lisson meinen herzlichen Dank aussprechen.

Herrn Dr. Björn Ludwig gilt mein besonderer Dank für die Übernahme der Betreuung der Arbeit und seine stets kollegialen und zeitnahen fachlichen Hilfestellungen.

Mein ganz herzlicher Dank gilt Frau Dr. Tanja Kottmann für die unermüdliche Unterstützung bei der Datenverarbeitung, der statistischen Auswertung und ihre stetige Motivation.

Bedanken möchte ich mich bei meinem Mann Michael für die Begleitung und Unterstützung auf diesem Weg.

Meiner Familie, im Besonderen meinen Eltern möchte ich dafür danken, dass sie mir diesen Weg ermöglicht haben und meiner Schwester Heike sowie meiner Nichte Lina für ihren ausdauernden, subtilen Ansporn.

Abschließenden Dank sagen möchte ich Frau Claudia Lange-Merfeld, ohne die ich diese Arbeit niemals begonnen hätte.