



Aus der Klinik und Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universität Würzburg
Direktorin: Professor Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer

**Dentale Auswirkungen bei der chirurgisch unterstützten
Gaumennahterweiterung durch skelettal verankerte Apparaturen im
Vergleich zur Anwendung dental verankerter Apparaturen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Gregor Ludwig Viktor Baunach
aus Würzburg

Würzburg, 05.10.2015

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Philipp Meyer-Marcotty

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. med. Norbert Kleinsasser

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 12.05.2016

Der Promovend ist Zahnarzt.

IN LIEBE UND DANKBARKEIT MEINER FAMILIE GEWIDMET.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Einführung.....	1
1.2 Anatomie des Oberkiefers.....	4
1.3 Transversale Unterentwicklung der Maxilla, Schmalkiefer	6
1.4 Die rasche Gaumennahterweiterung (GNE)	8
1.4.1 Krafteinwirkung auf die Maxilla und Belastungszonen bei der GNE	9
1.4.2 Knöcherne Widerstände bei der GNE	10
1.4.3 Auswirkungen der GNE auf die umliegenden anatomischen Strukturen der Maxilla	13
1.4.4 Komplikationen bei Durchführung der GNE bei erwachsenen Patienten	13
1.5 Segmentierte LeFort-I-Osteotomie	14
1.6 Die chirurgisch unterstützte rasche Gaumennahterweiterung (SARME).....	15
1.6.1 Indikationsstellung für die SARME	16
1.6.2 Physiologische Prozesse bei der Distractionsosteogenese	18
1.6.3 OP-Methoden	19
1.6.4 Apparaturen zur Durchführung der SARME.....	21
1.6.4.1 Dental verankerte Geräte	22
1.6.4.2 Skelettal verankerte Geräte.....	23
1.6.5 Aktivierung der Apparaturen während der SARME.....	26
1.6.6 Bewegungsrichtungen der Knochensegmente bei der SARME	27
1.6.7 Retention, Stabilität und Rezidiv	28
1.7 Zielstellung	30
2 Material und Methoden	31
2.1 Studienteilnehmer.....	31
2.2 Therapeutisches Vorgehen.....	31
2.2.1 Patientengruppen.....	31
2.3 Skelettal verankerte Apparaturen.....	34
2.4 Dental verankerte Apparatur	36

2.4.1	Operationsmethode.....	36
2.4.2	Aktivierung des TPD bzw. der Hyrax-Apparatur durch den Patienten.....	38
2.5	Patientenfälle.....	39
2.5.1	Ein Fall aus der TPD-Gruppe.....	39
2.5.2	Ein Fall aus der Hyrax-Gruppe.....	40
2.6	Generieren und Vermessen der virtuellen Modelle.....	41
2.6.1	Erstellen der Studienmodelle.....	41
2.6.2	Optischer Sensor.....	41
2.6.3	Software.....	42
2.6.4	Definieren der Messpunkte und der Referenzebene.....	43
2.6.4.1	Setzen der Messpunkte auf den virtuellen Modellen im OrthoAnalyzer.....	44
2.6.4.2	Definieren der Referenzebene (RefE).....	48
2.6.5	Vermessen der im Ortho Control Panel festgelegten Strecken durch den OrthoAnalyzer (3D-Analyse).....	49
2.6.6	Übersicht der durchgeführten Messungen.....	55
2.6.7	Statistische Analyse.....	56
2.6.8	Ermittlung des Methodenfehlers.....	57
3	Ergebnisse.....	58
3.1	Fehleranalyse mit dem Methodenfehler nach Dahlberg.....	58
3.2	Messungen der transversalen Erweiterung im Bereich der Seitenzähne.....	58
3.2.1	Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen.....	58
3.2.2	Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen.....	61
3.2.3	Erweiterung im Bereich der Sulci.....	64
3.2.4	Flächenzunahme im Bereich der Höckerspitzen zwischen den ersten Prämolaren und zweiten Molaren.....	67
3.2.5	Zusammenfassung Ergebnisse transversale Erweiterung.....	69
3.3	Vertikale Messungen.....	69
3.3.1	Betrag der Kippung gemessen zur Referenzebene (Kippungswinkel).....	69
3.3.2	Extrusion bzw. Intrusion der Zähne.....	74
3.3.3	Zusammenfassung Ergebnisse vertikale Messungen.....	77
3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	78
4	Diskussion.....	79
4.1	Einführung.....	79
4.2	Material und Methode.....	79

4.2.1	Patientengut, Studienmodelle, Datenerhebung.....	79
4.2.2	OP-Methode.....	81
4.2.3	Studienmodelle und Messmethode.....	81
4.2.4	Vorteile virtueller Modelle.....	82
4.3	Ergebnisse.....	82
4.3.1	Transversale Messungen.....	82
4.3.1.1	Erweiterung im Bereich der Höckerspitzen	82
4.3.1.2	Erweiterung im Bereich der Sulci.....	85
4.3.1.3	Flächenzunahme	89
4.3.2	Vertikale Messungen	89
4.3.2.1	Zahnkipfung.....	89
4.3.2.2	Intrusion bzw. Extrusion	93
4.3.3	Zahnbewegung und Betrag der Erweiterung	94
4.4	Vorteile und Nachteile skelettal verankerter Geräte	95
4.5	Schlussfolgerung.....	96
5	Zusammenfassung/Summary	97
5.1	Zusammenfassung.....	97
5.2	Summary.....	99
6	Publikationen	100
7	Abbildungsverzeichnis	102
8	Diagramm- und Tabellenverzeichnis	105
9	Literaturverzeichnis	107

Danksagung

Curriculum Vitae

Abkürzungsverzeichnis

bHS	=	bukkale Höckerspitze
DO	=	Distractionsosteogenese
GNE	=	rasche Gaumennahterweiterung
HS	=	Höckerspitze
MB	=	Multiband
mbHS	=	mesiobukkale Höckerspitze
mpHS	=	mesiopalatinale Höckerspitze
RefE	=	Referenzebene
RME	=	rapid maxillary expansion, rasche Gaumennahterweiterung
RPE	=	Rapid palatal expansion, rasche Gaumennahterweiterung
SARME	=	surgically assisted rapid maxillary expansion, chirurgisch unterstützte rasche Gaumennahterweiterung
SARPE	=	surgically assisted rapid palatal expansion, chirurgisch unterstützte rasche Gaumennahterweiterung
SK	=	Schneidekante
S. p. m.	=	Sutura palatina mediana
Su	=	Sulcus
TPD	=	Transpalatinaler Distraktor
Tu	=	Tuberculum

1 Einleitung

1.1 Einführung

Bimaxilläre transversale Defizite werden regelmäßig beobachtet und immer mehr als kieferorthopädisches Problem wahrgenommen. Das Vorkommen eines transversalen Defizits bei Patienten, die sich in der Wechselgebissphase in kieferorthopädischer Behandlung befinden, wird in der Literatur mit 8% bis 18% angegeben [172]. Für die Inzidenz bei erwachsenen Patienten liegen keine ausreichenden Daten vor [179].

Transversale Diskrepanzen treten sowohl solitär in Erscheinung als auch verbunden mit anderen Veränderungen des Gesichtsschädels. Die am häufigsten vorkommende Veränderung in der transversalen Ebene ist die Reduktion der transversalen Breite der Maxilla [3]. Ein transversales Defizit geht einher mit einer schmalen skelettalen Basis und einem reduzierten dentoalveolären Knochenangebot. Eine individuell ausreichende transversale Breite des Oberkiefers stellt einen entscheidenden Faktor für eine stabile Okklusion dar und hat dadurch einen positiven Effekt auf die Kaufähigkeit. Sie ist ferner entscheidend für die Ästhetik des Mittelgesichts [1].

Eine vollständige funktionelle Rekonstruktion des bimaxillären Defizits sollte nach Möglichkeit eine ausreichende Dimension des alveolaren Knochens herstellen, um eine eugnathe Stellung der Zähne, eine korrekt eingestellte Okklusion und somit eine adäquate Mastikation und Deglutition zu ermöglichen. Als weitere wichtige Aspekte der funktionellen Rekonstruktion gelten die Stimmigkeit des Zusammenspiels von Maxilla und Mandibula, die Erhaltung der Sensibilität der Mukosa und ein kompetenter Lippenschluss. Generell ist das Ziel der oralen Rekonstruktion ein Wiederherstellen der physiologischen Funktion und Ästhetik. Das Beachten der nötigen transversalen Dimension ist bei der Behandlungsplanung von Patienten mit transversalem Defizit essenziell [1].

Für die konservative Behandlung des bimaxillären Defizits stehen mehrere Behandlungsmethoden zur Auswahl. Zu diesen gehören Behandlungen durch

kompensierende kieferorthopädische Maßnahmen, funktionskieferorthopädische Geräte und andere kieferorthopädische Geräte, wie Platten oder an Molarenbändern verankerte Apparaturen wie die Quadhelix. Diese Behandlungsmethoden können bei jugendlichen Patienten eine Erweiterung des alveolären Knochens bewirken und zeigen relativ stabile Ergebnisse, besonders, wenn eine Korrektur eines lingualen Kippstandes der Seitenzähne angestrebt wird [139, 146].

Bei erwachsenen Patienten nimmt jedoch die Gefahr von Komplikationen wie Wurzelresorptionen oder unerwünschten Bewegungen von Ankerzähnen sowie die Gefahr eines Rezidivs zu, da der Platzgewinn hauptsächlich über Zahnbewegungen erreicht wird [1].

Eine Möglichkeit, ein bimaxilläres transversales Defizit rein kieferchirurgisch zu therapieren, stellt die fraktionierte Le-Fort-I-Osteotomie dar. Der Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass sich die Schleimhaut der abrupten Lageänderung der Knochenfragmente nicht anpassen kann. Daraus resultieren Rezidive sowie funktionelle und ästhetische Probleme [71, 131, 141]. Die Erweiterung der Maxilla mittels Distractionsosteogenese in Form der raschen Gaumennahterweiterung offenbart eine Lösung für diese Probleme [1]. Im jugendlichen Alter kann die rasche Gaumennahterweiterung (GNE; engl. rapid maxillary expansion, RME oder rapid palatal expansion, RPE) konservativ durchgeführt werden.

Bei erwachsenen Patienten stehen die Sutura palatina mediana (S. p. m.) und weitere knöcherne, die Maxilla umgebende Strukturen einer raschen Gaumennahterweiterung ohne chirurgische Unterstützung entgegen.

Zu diesen knöchernen Strukturen zählen die Mittelgesichtspfeiler, die Suturæ zygomaticotemporales, zygomaticofrontales und zygomaticomaxillares, sowie die Crista zygomaticoalveolaris. [102, 127, 130, 134, 166, 169]. Den größten Widerstand leistet jedoch nach JAFARI [102] und SHETTY [169] die Region im Bereich zwischen den Wurzeln der beiden mittleren Schneidezähne.

Deshalb wird die GNE bei erwachsenen Patienten chirurgisch unterstützt. Im englischen Sprachraum wird diese Methode „surgically assisted rapid maxillary expansion“ (SARME), oder „surgically assisted rapid palatal expansion“ (SARPE), genannt. Im Folgenden wird für den Begriff der chirurgisch unterstützten raschen

Gaumennahterweiterung die englische Abkürzung SARME verwendet. Zur Ausführung dieser Distractionsosteogenese stehen dem Kieferorthopäden dental und skelettal verankerte Apparaturen zur Verfügung.

Ein unerwünschter Nebeneffekt bei der SARME ist die Kippung der Seitenzähne. Eine bei der Aufdehnung verursachte Kippung der Seitenzähne muss zum Erreichen einer stabilen Okklusion mittels MB-Behandlung wieder teilweise rückgängig gemacht werden. Durch diese Wiederaufrichtung wird die erreichte Erweiterung um einen bestimmten Betrag reduziert. Um diesen Betrag so klein wie möglich zu halten, sollte eine Kippung der Seitenzähne bei der SARME so gering wie möglich ausfallen. Sowohl der Einsatz eines skelettal verankerten transversalen Distraktors als auch der einer dental verankerten Dehnschraube zielt darauf ab, eine schnelle transversale Erweiterung des Gaumens mit möglichst geringer Beeinträchtigung der Stellung und vornehmlich der Kippung der Seitenzähne des Oberkiefers nach bukkal durchzuführen.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob eine SARME, die mit einer skelettal verankerten Apparatur durchgeführt wurde, eine geringere Kippung der Seitenzähne zur Folge hat als eine SARME, die mit einer dental verankerten Apparatur durchgeführt wurde.

1.2 Anatomie des Oberkiefers

Die Maxilla ist ein paarig angelegter Knochen des Schädels. Er besteht aus dem Corpus, von dem vier Processus ausgehen. Diese sind der Processus frontalis, der Processus zygomaticus, der Processus alveolaris, verbunden durch die Sutura intermaxillaris (siehe Abbildung 1-1), und der Processus palatinus (siehe Abbildung 1-2).

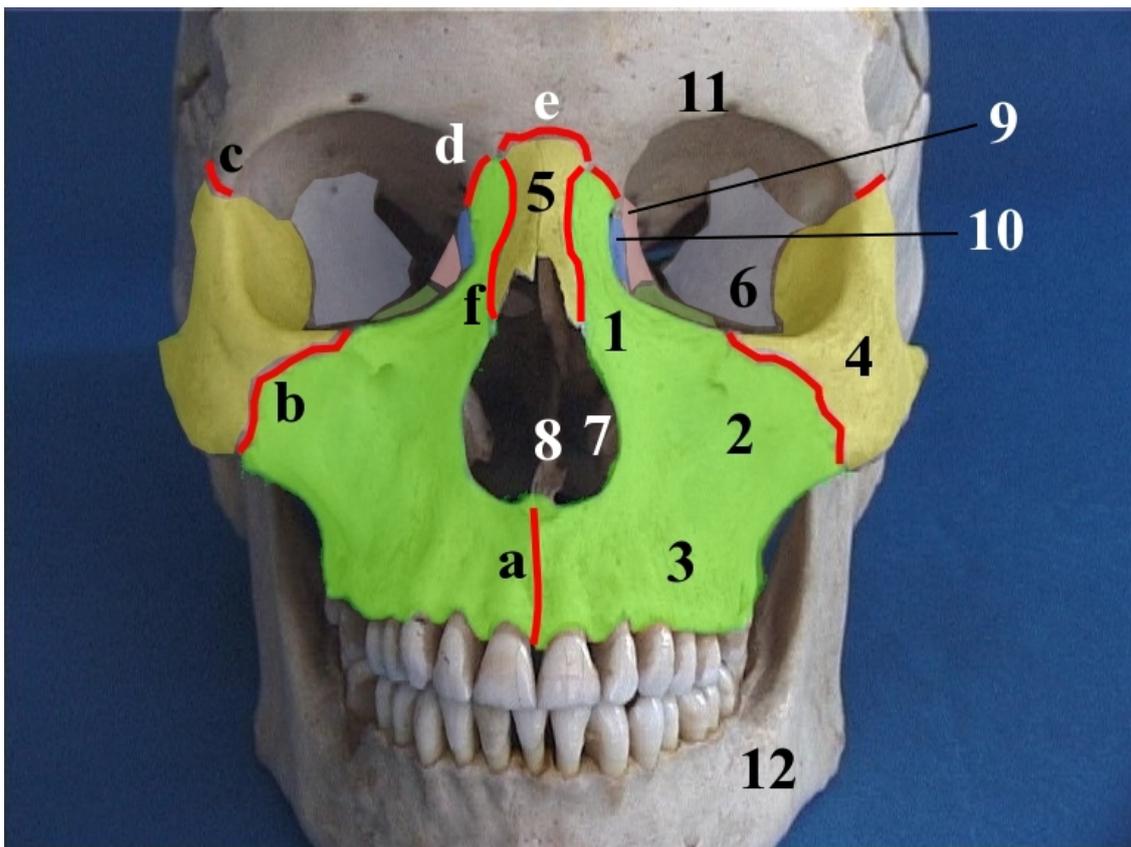


Abbildung 1-1: Schädel, Ansicht von frontal; 1=Processus frontalis der Maxilla, 2=Processus zygomaticus der Maxilla, 3=Processus alveolaris der Maxilla, 4=Os zygomaticum, 5=Os nasale, 6=Os sphenoidale, 7=Concha nasalis inferior, 8=Vomer, 9=Os ethmoidale, 10=Os lacrimale, 11=Os frontale, 12=Mandibula; a=Sutura intermaxillaris, b=Sutura zygomaticomaxillaris, c=Sutura zygomaticofrontalis, d=Sutura frontomaxillaris, e=Sutura frontonasalis, f=Sutura nasomaxillaris; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [128]

Das knöcherne Gaumen setzt sich aus dem Processus palatinus der Maxilla und dem Os palatinum zusammen. Das paarig angelegte Os palatinum besteht aus der Lamina horizontalis und der Lamina perpendicularis [150]. Der Processus palatinus der Maxilla und das Os palatinum bilden zugleich auch den Nasenboden und nach kranial einen Teil der lateralen Nasenwand. Die Lamina horizontalis des

Os palatinum und der Processus palatinus der Maxilla sind durch die transversal verlaufende Sutura palatina transversa verbunden. Dorsal besteht eine stabile Verbindung zwischen dem Os palatinum und dem Processus pterygoideus des Os sphenoidale (siehe Abbildung 1-2).

Die beiden Hälften der Maxilla und des Os palatinum werden durch die sagittal verlaufende S. p. m. verbunden. Diese stellt die Verbindung der drei paarig angelegten Knochen Prämaxilla, Maxilla und Os palatinum in der Körpermitte dar. Die S. p. m. wird im dorsalen Bereich von den Lamina horizontalis des Os palatinum und im anterioren Bereich von den Processus palatinus der Maxilla gebildet [162].

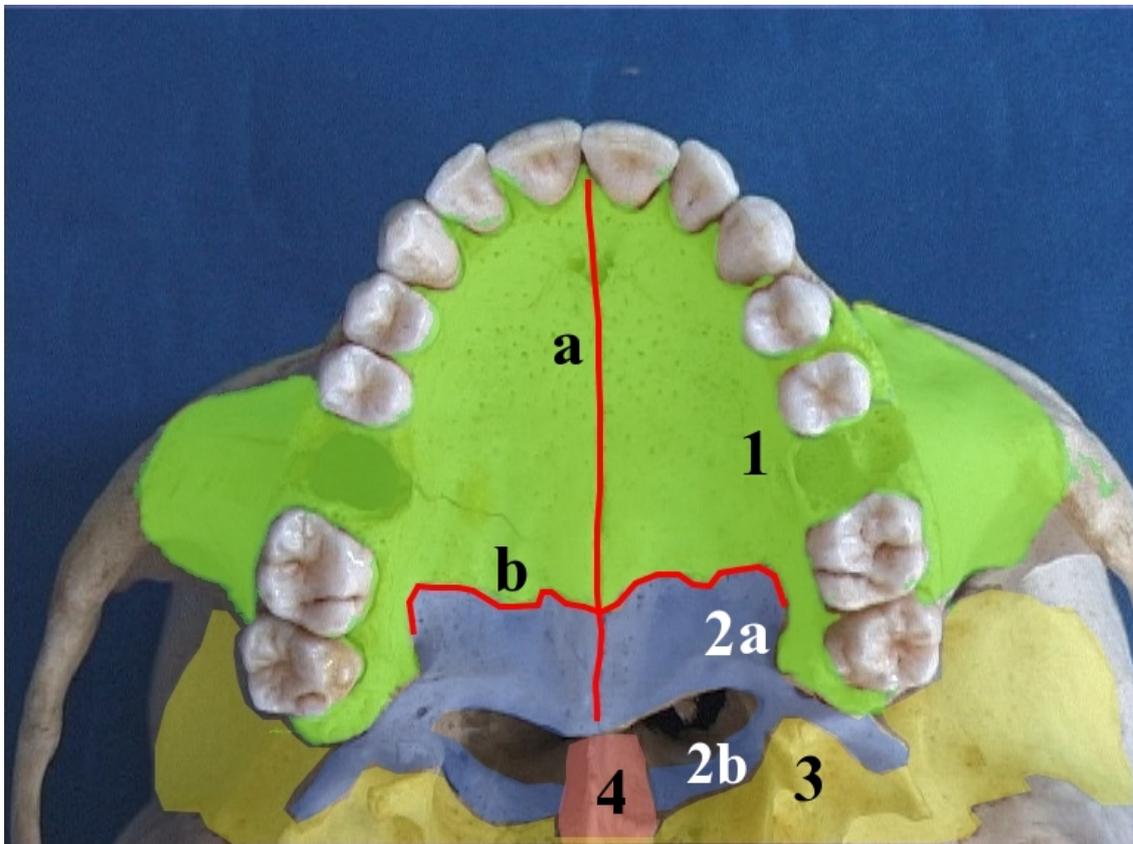


Abbildung 1-2: Maxilla, Ansicht von kaudal; 1=Processus palatinus der Maxilla, 2a=Lamina horizontalis des Os palatinum, 2b=Lamina perpendicularis des Os palatinum, 3=Processus pterygoideus des Os sphenoidale, 4=Vomer; a=S. p. m., b=Sutura palatina transversa; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [128]

Umgeben wird die Maxilla vom Os frontale, Os zygomaticum, Os nasale, Vomer, Os ethmoidale, Os palatinum, Os sphenoidale, Os lacrimale, der Concha nasalis

inferior und nach kaudal indirekt von der Mandibula [36, 39, 41] (siehe Abbildung 1-1 und Abbildung 1-2).

Da die Maxilla in enger lokaler und funktionaler Beziehung zur Kiefer-, Augen- und Nasenhöhle steht, findet sich in der Literatur auch die Bezeichnung des Oberkieferkomplexes, orbito-naso-maxillären Komplexes oder des nasomaxillären Komplexes [54, 177].

1.3 Transversale Unterentwicklung der Maxilla, Schmalkiefer

Es gibt mehrere klinische Anzeichen für eine transversale Unterentwicklung der Maxilla.

In der Literatur werden ein V-förmiger, enger Oberkieferzahnbogen, eine dadurch bedingte Schachtel- oder Fächerstellung in der Oberkieferfront, ein hoher, spitzer Gaumen mit einer verengten apikalen Oberkieferbasis und stark ausgeprägte Bukkal Korridore beim Lächeln zu diesen Merkmalen gezählt [16, 21, 25, 67, 134, 139, 140, 158, 159, 179, 192]. BETTS ET AL. [28] geben außerdem eine enge Basis der Nase und eine tiefe Nasolabialfalte als Merkmale an. Eine maxilläre Hypoplasie kann isoliert auftreten, aber auch mit einem vertikalen Wachstumsüberschuss der Maxilla, mit einer Klasse II- oder mit einer Klasse III-Verzahnung vergesellschaftet sein [15, 130].

Ein häufig auftretendes Begleitsymptom ist die behinderte Nasenatmung und die daraus resultierende Mundatmung, die eine Reihe klinischer Probleme, wie Xerostomie, erhöhte Kariesaktivität und wiederkehrende Infektionen der oberen Atemwege verursacht. Zusätzlich verlagert sich bei der Mundatmung die Ruheposition der Zunge und der Mandibula nach kaudal. Dadurch entfällt der wachstumsstimulierende Reiz der Zunge, der für eine korrekte Ausformung der Maxilla von Bedeutung ist [55]. Als Folge entsteht ein hoher, schmaler Gaumen. Um einen Lippenschluss zu erreichen, steigt die periorale und bukkale Muskelaktivität an. Der inkompetente Lippenschluss begünstigt eine Protrusion der Fronten [105]. Ein klinisch auffälliges Merkmal des Schmalkiefers ist der Kreuzbiss im Bereich der Seitenzähne [22, 28]. Dieser fällt durch eine Stellungsabweichung der in Okklusion stehenden Seitenzähne auf, bei der die bukkalen Höcker der Oberkieferzähne auf die Zentralfissur der Unterkieferzähne treffen [115].

Verschiedene ätiologische Faktoren wie Vererbung, eingeschränkte Nasenatmung, Engstände, Störungen während des Zahnwechsels und Lutschhabits werden in der Literatur diskutiert [2, 153]. Kreuzbisse treten im Milchgebiss häufiger auf als im Wechselgebiss und im permanenten Gebiss. Dies lässt darauf schließen, dass eine Möglichkeit zur Spontankorrektur besteht [182]. Kreuzbisse im permanenten Gebiss persistieren jedoch häufig [115, 153].

Die Ursache eines Kreuzbisses ist fast immer skelettaler Natur. Dies bedeutet, dass ein Missverhältnis der transversalen Dimension von Maxilla und Mandibula besteht. Um dies zu kompensieren, sind die Oberkieferzähne oft nach bukkal und die Unterkieferzähne nach lingual geneigt [28]. Beim seltener auftretenden rein dentoalveolären Kreuzbiss entsteht dieser durch eine starke Neigung der Oberkieferzähne nach palatinal und der Unterkieferzähne nach bukkal. Eine Kombination aus skelettaler und dentoalveolärer Ursache ist ebenfalls denkbar.

Es gibt einseitig und beidseitig auftretende Kreuzbisse. Der einseitige Kreuzbiss kann in einen echten unilateralen Kreuzbiss und einen unilateralen Kreuzbiss mit Lateralverschiebung der Mandibula unterteilt werden. Letzterer ist meist durch eine beidseitig verengte Maxilla bedingt. Ist die transversale Unterentwicklung der Maxilla stark ausgeprägt, imponiert ein bilateraler Kreuzbiss ohne Lateralverschiebung der Maxilla [115, 199].

Vor allem bei Patienten mit einem unilateralen Kreuzbiss zeigt sich eine Asymmetrie der Zahnbögen. Dadurch besteht bei ca. 80 % dieser Patienten ein Zwangsbiss, der das Risiko einer kranio-mandibulären Dysfunktion erhöht [153, 182].

Eine Therapie der maxillären Konstriktion bereits im Milchgebiss und im frühen Wechselgebiss ist anzustreben. Dadurch kann eine Neutralverzahnung der Seitenzähne des bleibenden Gebisses eingestellt und so einem Zwangsbiss vorgebeugt werden [153, 182]. Als therapeutische Maßnahmen stehen das Beschleifen von Milchzähnen oder eine transversale Nachentwicklung des Oberkieferzahnbogens mit Hilfe von Plattenapparaturen, Quadhelix oder eine GNE zur Verfügung [153]. Zudem kann so eine GNE im Erwachsenenalter, und deren Komplikationen, vermieden werden.

Die Situation eines Kreuzbisses im Seitenzahnbereich bei erwachsenen Patienten ist oft mit einer verkürzten Zahnbogenlänge vergesellschaftet. Daraus resultiert eine Schachtelstellung der Frontzähne. Die Erweiterung der Maxilla in der transversalen Ebene stellt eine Methode dar, um den Zahnbogen zu erweitern und dadurch den nötigen Platz für die Zähne in der Front zu schaffen. So können in einigen Fällen Extraktionen vermieden werden [95].

1.4 Die rasche Gaumennahterweiterung (GNE)

Die Therapie der transversalen Unterentwicklung der Maxilla, also einer beidseitig verengten apikalen Oberkieferbasis und des mit dieser vergesellschafteten einseitigen oder beidseitigen Kreuzbisses stellt die Hauptindikation für die GNE dar [61, 75, 199].

Bei der GNE wird die Maxilla im Bereich der S. p. m. durch eine fest einzementierte Apparatur mit transversaler Dehnschraube aufgedehnt. Dadurch wird der paarig angelegte harte Gaumen körperlich getrennt, wobei das Periost und die Schleimhaut intakt bleiben [197].

Die erste dokumentierte rasche Gaumennahterweiterung wurde im Jahr 1860 von E. C. ANGELL in den Vereinigten Staaten von Amerika bei einem 14 ½ jährigen Mädchen mit einem unilateralen Kreuzbiss durchgeführt [5, 6]. Agnell verwendete dafür eine Apparatur mit zwei sich in gegensätzlicher Richtung drehender Schrauben mit je einem Gewinde nach rechts und links. Die Apparatur wurde nur durch den Druck gegen die Zahnhäse der Prämolaren an ihrem Platz gehalten. Angell gab an, dass die Überstellung des Kreuzbisses nach zwei Wochen durch separieren der Maxilla entlang der S. p. m. erreicht war

1968 stellte BIEDERMANN [30] die Hyraxschraube vor. Sie konnte im Labor einfach hergestellt werden und wirkte sich durch ihre relativ zierliche Bauart positiv auf die Mundhygieneverhältnisse der Patienten aus. Die Hyraxschraube wird mit Retentionsarmen an Bändern, die zumeist an den ersten Prämolaren und ersten Molaren verankert sind, fest geschweißt oder gelötet. Auch Modifikationen dieser Apparatur, wie z.B. die Modellgusskappenschiene bei stark reduziertem Zahnbestand, sind möglich [30]. Die Hyrax-Apparatur ist das zur Zeit meist verbreitete Gerät, das bei der GNE zum Einsatz kommt [46, 73, 165].

Somit ist die GNE heute eine routinemäßig angewandte Methode zur Behandlung eines transversalen maxillären Defizits in der kieferorthopädischen Behandlung jugendlicher Patienten. Bei jungen Patienten kann diese normalerweise problemlos durchgeführt werden. Bei erwachsenen Patienten können jedoch Komplikationen auftreten, so dass eine GNE oft nicht problemlos durchgeführt werden kann [179]. Auf diese Komplikationen wird im Kapitel 1.4.4 eingegangen.

1.4.1 Krafteinwirkung auf die Maxilla und Belastungszonen bei der GNE

Während der GNE wirken hohe Kräfte im Bereich der basalen Maxilla und auf die die Maxilla umgebenden knöchernen Bereiche. Diese Kräfte können Beträge von 227 bis 450 Newton erreichen [97, 98, 112, 204]. Bei jugendlichen Patienten vermag diese große Krafteinwirkung die S. p. m. zu sprengen und die beiden Hälften der Maxilla nach lateral zu verschieben [75, 76, 77, 78, 198, 199].

Die Aufdehnung der Maxilla bei der GNE verursacht bei den Patienten häufig ein Druckgefühl in verschiedenen kraniofazialen Bereichen [100, 102, 204].

Um genauer herauszufinden, in welchen Arealen des Schädels besonders hohe Belastungen bei der GNE auftreten, führten HOLBERG, STEINHÄUSER UND RUDZKI [87], ISERI ET AL. [100] sowie JAFARI ET AL. [102] Studien über die biomechanischen Auswirkungen der GNE auf die kraniofazialen Strukturen mit Hilfe der Methode der finiten Elemente durch. Sehr stark ausgeprägte Belastungszonen fanden sich im Bereich der Processus pterygoidei des Os sphenoidale. Sie beobachteten hohe Belastungen im Bereich der Eckzähne und der Molaren des Oberkiefers, sowie im Bereich der seitlichen Wand der unteren Nasenhöhle. Ebenso konnten sie hohe Belastungen im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris, des Processus frontalis der Maxilla, des Os nasale, der Sutura nasomaxillaris, der Sutura frontonasalis, der Sutura frontomaxillaris, des Os zygomaticum, der Sutura zygomaticomaxillaris und der Sutura temporozygomatica messen (siehe Abbildung 1-4).

Die Untersuchungen von BAYDAS ET AL. [19] stützen diese Ergebnisse. Mithilfe der Knochenszintigrafie (single-photon emission computed tomographie, SPECT) untersuchten sie 17 erwachsene Patienten während einer GNE-Behandlung. Sie konnten einen signifikanten Anstieg der metabolischen Aktivität in diesen knöchernen Arealen der Maxilla zu Beginn der GNE-Behandlung nachweisen. Nach

dem Öffnen der S. p. m. sank die Aktivität in den von der Sutur weiter entfernten Bereichen stärker ab als in direkter Nachbarschaft zu dieser.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Krafteinwirkung auf die Bereiche der Suturen bis zur Öffnung der S. p. m. ansteigt und je weiter eine Struktur von dieser entfernt ist, desto geringer ist die Belastung durch eine GNE [19].

1.4.2 Knöcherne Widerstände bei der GNE

Die Verknöcherung der S. p. m. schreitet laut PERSSON UND THILANDER [152] von posterior nach anterior fort, wobei die Verknöcherung in den nasalen Anteilen beginnt und sich zu den oralen Anteilen hin entwickelt. DEEB ET AL. [52] vermuten, dass diese Verknöcherung die Expansion bei der GNE behindert und zu Rotationen im Bereich der Alveolarfortsätze führt.

Es herrscht keine einheitliche Meinung darüber, in welchem Lebensalter und zu welchem Grad die S. p. m. verknöchert beziehungsweise obliteriert. Studien belegen, dass die Verknöcherung nicht zwingend vom Alter des Patienten abhängt, sondern individuell unterschiedlich sein kann [107].

ALOISE ET AL. [3] und LANDES ET AL. [116] weisen in ihren Studien darauf hin, dass aufgrund des hohen Verknöcherungsgrades der S. p. m. bei Patienten ab dem fünfzehnten Lebensjahr eine GNE nicht sinnvoll ist. Andererseits konnten KNAUP ET AL. [106], KORBMACHER ET AL. [107], PERSSON [151] sowie PERSSON ET AL. [152] in ihren Studien zeigen, dass die Verknöcherung dieser nicht zwingend vom Alter der Patienten abhängt, sondern individuell unterschiedlich sein kann. So konnte bei einer 15-jährigen Patientin eine bereits geschlossene Sutur diagnostiziert werden, wogegen bei einer 25-jährigen Patientin die oblieterierten Anteile der S. p. m. bezogen auf die Gesamtlänge der Sutur weniger als 5 % betragen. TIMMS [183] weist aufgrund dieser großen Zeitspanne der Verknöcherung darauf hin, dass kein generelles oberes Alterslimit für eine GNE angesetzt werden kann.

Daraus lässt sich ableiten, dass weitere Faktoren in Form knöcherner Strukturen ein Hindernis für eine GNE darstellen.

Eine Struktur, die dafür in Frage kommt, ist z. B. eine ausgeprägte Interdigitation der S. p. m. Laut der Untersuchung von MELSEN [135] bildet sich diese Interdigitation ausgehend von einer Y-Form im frühkindlichen Alter über eine

sinusförmige Anlagerung in der Pubertät zu einer starken Verzahnung im Erwachsenenalter aus (siehe Abbildung 1-3). Sie führt auf, dass eine Trennung der verzahnten Sutura schon im frühen Erwachsenenalter nicht ohne deren Fraktur möglich sei.

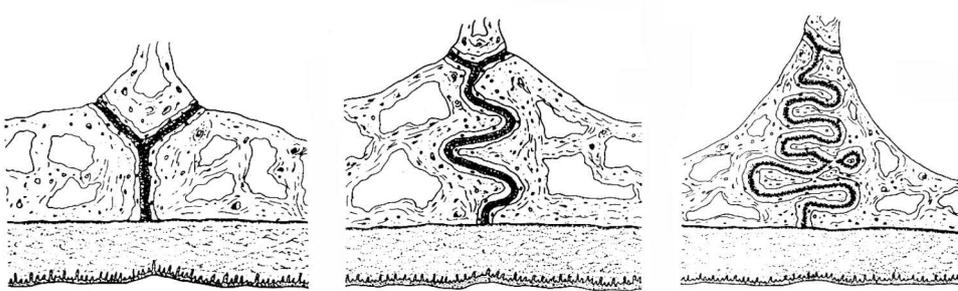


Abbildung 1-3: Interdigitation der Sutura palatina mediana in den verschiedenen Altersstadien: links: frühkindlich; Mitte: Pubertät; rechts: Erwachsenenalter [135]

Einen weiteren, von mehreren Autoren angegebener Faktor stellt eine mit dem Alter erhöhte Rigidität der Knochen des gesamten Viszerokraniums dar [40, 52, 97, 98, 106, 107, 196, 199].

Auch die Mittelgesichtspfeiler, nasomaxillärer Pfeiler, zygomaticomaxillärer Pfeiler und pterygomaxillärer Pfeiler [12], sind hier als relevante Strukturen nicht außer Acht zu lassen. Außerdem werden die Suturae zygomaticotemporalis, zygomaticofrontalis und zygomaticomaxillaris sowie die Crista zygomaticoalveolaris von mehreren Autoren als weitere Faktoren beschrieben [23, 102, 127, 130, 134, 166, 169] (siehe Abbildung 1-4).

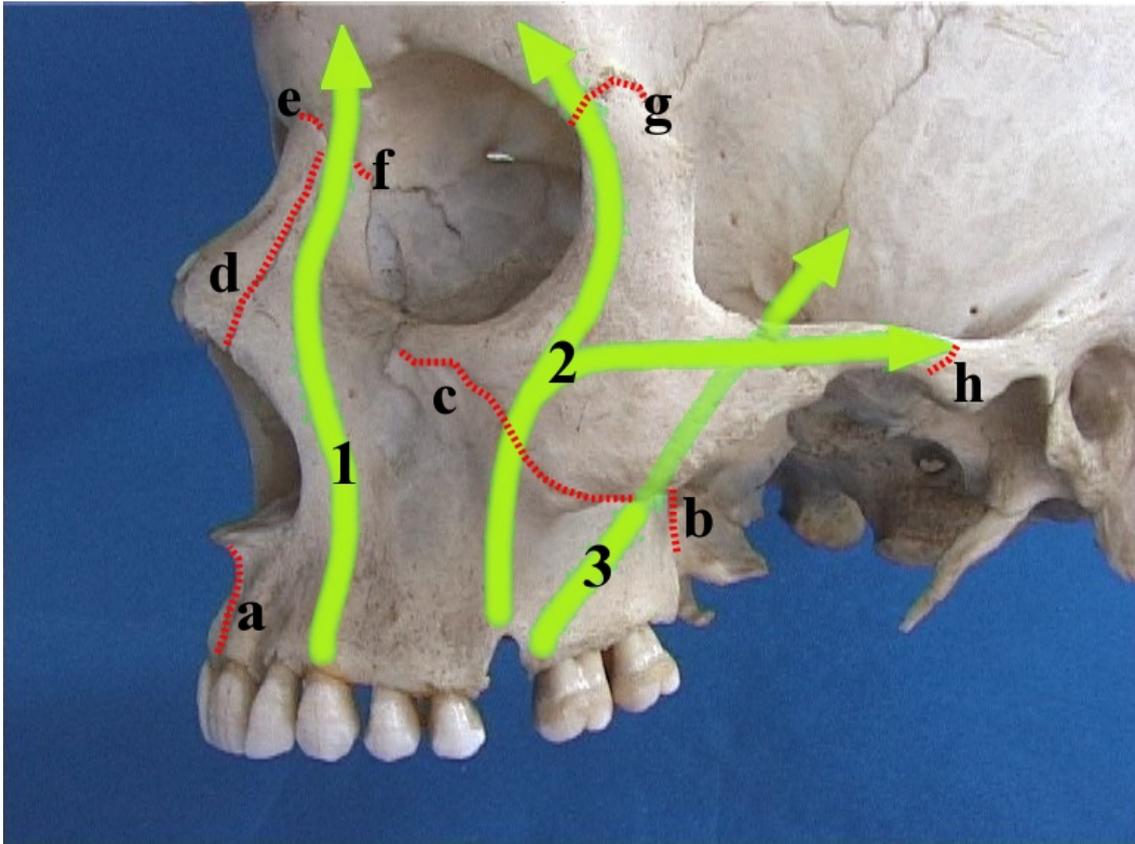


Abbildung 1-4: Widerstandszonen bei der GNE; 1=Nasomaxillärer Pfeiler, 2=Zygomaticomaxillärer Pfeiler, 3=Pterygomaxillärer Pfeiler; a=Sutura intermaxillaris, b: Sutura pterygomaxillaris, c=Sutura zygomaticomaxillaris, d=Sutura nasomaxillaris, e=Sutura frontonasalis, f=Sutura frontomaxillaris, g=Sutura zygomaticofrontalis, h=Sutura zygomaticotemporalis; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [128]

Sehr großen Widerstand leistet nach JAFARI ET AL. [102] und SHETTY ET AL. [169] die Region im Bereich zwischen den Wurzeln der beiden mittleren Schneidezähne, also der Bereich der Sutura intermaxillaris..

Zusammenfassend kann aufgeführt werden, dass trotz eines möglicherweise geringen Obliterationsgrades der S. p. m. knöcherne Strukturen vorhanden sind, die einen Widerstand für den Prozess der GNE im Erwachsenenalter darstellen und diesen somit behindern. Darauf deuten auch die Untersuchungen der Belastungszonen wie im Kapitel 1.4.1 erläutert hin. Idealerweise könnte vor einer geplanten GNE durch eine individuelle Diagnostik erarbeitet werden, ob auf eine chirurgische Unterstützung verzichtet werden kann, oder ob eine Schwächung der entsprechenden Strukturen erfolgen muss.

1.4.3 Auswirkungen der GNE auf die umliegenden anatomischen Strukturen der Maxilla

Das Ziel der GNE ist die Korrektur eines Schmalkiefers, aber die Auswirkungen der Behandlung beschränken sich nicht nur auf den knöchernen Oberkiefer [19]. Da die Maxilla mit zehn Knochen des Schädels in Verbindung steht, werden durch die GNE angrenzende Strukturen wie die Mandibula [21, 31, 75, 76, 77, 78, 184, 198, 199], der Nasenraum [75, 76, 77, 78, 198, 199], der Nasopharynx [175, 184], das Mittelohr [39], die Kiefergelenke [21] und der Processus pterygoideus des Os sphenoidale [184] direkt oder indirekt beeinflusst.

So berichten CEYLAN ET AL. [39] in diesem Zusammenhang z. B. über eine Beseitigung von Schwerhörigkeiten aufgrund von Schalleitungsstörungen, die durch Mittelohrentzündungen entstanden oder mit Problemen der Eustachischen Röhre zusammenhängen.

Weiterhin wird von einer spontanen Umstellung von der Mundatmung auf die Nasenatmung berichtet [53]. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich durch die Aufdehnung der Maxilla bei der GNE eine Erweiterung des Nasenbodens und der Nasenhöhle ergibt, wodurch sich der Luftstrom durch die Nase verbessert. [56, 173, 200].

1.4.4 Komplikationen bei Durchführung der GNE bei erwachsenen Patienten

Am häufigsten wird die GNE mit einer zahngetragenen Apparatur durchgeführt. Es treten hohe Kräfte auf, die von den Zähnen, und somit von den Parodontien der Zähne, auf den Knochen übertragen werden müssen [79, 100, 102]. Bei erwachsenen Patienten können sich dadurch Komplikationen bei der Durchführung ergeben.

Unter anderem kann es zu einer Kippung der Ankerzähne und Molaren nach bukkal [185, 199], Extrusionen [96, 139, 204], Kompressionen des Desmodonts, Resorptionen an den bukkalen Wurzeln [17, 118, 187], einer Verwindung des alveolären Knochens [199], Fenestrationen der bukkalen Kortikalis [142, 170, 187] und Nekrosen der palatinalen Schleimhaut [4] kommen.

Mehrere Autoren sehen außerdem mit steigendem Patientenalter die zunehmende Gefahr eines Rezidivs, da die Distraction eher über die Bewegung des

dentoalveolären Komplexes als über eine Bewegung der skelettalen Anteile der Maxilla realisiert wird [142, 199]. Bei einem größeren transversalen Defizit kann es dazu kommen, dass der gewünschte Betrag der Erweiterung nicht realisiert wird oder instabil ist [80]. Als weitere Komplikation kann eintreten, dass die S. p. m. nicht geöffnet werden kann. Auch in diesem Fall wäre die Erweiterung nicht realisierbar oder instabil [70, 78, 143, 199, 204].

Diese Komplikationen stehen in Zusammenhang mit der im Alter zunehmenden Rigidität der Schädelknochen, wie in Kapitel 1.4.2 aufgeführt. Daher empfiehlt es sich, mit steigendem Patientenalter die Korrektur eines transversalen maxillären Defizits durch chirurgisches Vorgehen zu unterstützen.

Vorwiegend zwei verschiedene chirurgische Vorgehensweisen kommen zur Anwendung: Die Segmentierung der Maxilla im Zuge einer Le-Fort-I Osteotomie, bei der die geschaffenen Segmente in größerem transversalen Abstand repositioniert werden oder die SARME [179].

1.5 Segmentierte LeFort-I-Osteotomie

Eine chirurgische Methode, die zur Behandlung der Unterentwicklung der Maxilla durchgeführt wird, ist die segmentierte Le-Fort-I-Osteotomie. Dabei wird der Oberkieferalveolarfortsatz oberhalb der Apices der Oberkieferzähne komplett abgetrennt und zusätzlich unterteilt. Bei der zweiteiligen Osteotomie erfolgt eine Trennung sagittal entlang der S. p. m., bei der dreiteiligen Osteotomie wird zusätzlich die ehemalige Prämaxilla dorsal des Foramen incisivum abgetrennt. Diese Methode kommt bevorzugt zur Anwendung, wenn zusätzlich zur transversalen Erweiterung der Maxilla eine vertikale oder sagittale Repositionierung der Maxilla und der Mandibula in einem Eingriff geplant ist. Alternativ zur einzeitigen Korrektur beim Vorliegen von maxillo-mandibulären Diskrepanzen kann eine Behandlung in zwei Eingriffen durchgeführt werden. Dabei wird zuerst die Unterentwicklung der Maxilla durch eine SARME therapiert, bevor in einer zweiten Operation die Repositionierung der Maxilla und Mandibula erfolgt [179].

Zur Behandlung großer transversaler Defizite im Oberkiefer von über acht Millimetern stellt die segmentierte Le-Fort-I-Osteotomie jedoch keine gute

Alternative zur SARME dar [201]. Sehr häufig zeigt sich ein ausgeprägtes Rezidiv. Des Weiteren wird durch die abrupte Aufweitung die palatinale Schleimhaut und deren Gefäßsystem in Mitleidenschaft gezogen [15, 154, 190].

1.6 Die chirurgisch unterstützte rasche Gaumennahterweiterung (SARME)

Das Vorgehen bei der GNE beruht auf der Trennung der S. p. m. und der transversalen Aufdehnung des Oberkiefers nach dem Prinzip der Distraktionsosteogenese.

Wie in Kapitel 1.4.2 dargestellt, nimmt der Widerstand, der der Aufdehnung des Oberkiefers entgegengebracht wird, mit dem Alter zu [20]. Um diesen Widerstand zu verringern und so die im Kapitel 1.4.4 aufgeführten negative Effekte der GNE wie Schmerzen bei der Aktivierung des Gerätes, Vitalitätsverlust einzelner Zähne, Extrusion und Kippung von Ankerzähnen, parodontale Schäden, Resorptionsprozesse am Desmodont, Rezessionen und Schleimhautnekrosen [60, 63, 67, 77, 112, 145, 189, 193, 199] zu vermeiden, wird diese bei erwachsenen Patienten chirurgisch unterstützt. Diese Vorgehensweise wird chirurgisch unterstützte rasche Gaumennahterweiterung (SARME) genannt [7, 35, 175].

Zur Schwächung der Kortikalis erfolgt dabei eine subtotale Le-Fort-I-Osteotomie, die durch eine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris unterstützt werden kann [7, 28, 33, 87]. Zusätzlich erfolgt eine Trennung der beiden Hälften der Maxilla durch eine paramediane Osteotomie im Bereich der S. p. m. [28, 49] (siehe Abb. Abbildung 2-4).

Die SARME stellt eine anerkannte, effektive, stabile und einfach durchzuführende Methode dar, um eine ausreichende Erweiterung einer unterentwickelten Maxilla zu erreichen [7, 20, 26, 148, 156, 192]. Laut BYLOFF UND MOSSAZ [35] ist durch die SARME die Überstellung des Kreuzbisses im Seitenzahnbereich gewährleistet. Daraus resultieren ein ästhetisch ansprechendes Ergebnis im Frontzahnbereich und eine sichere Abstützung im Seitenzahnbereich, die Abrasionen und parodontalen Schäden vorbeugen kann [35].

1.6.1 Indikationsstellung für die SARME

Es herrscht keine einheitliche Meinung zwischen Kieferorthopäden und Chirurgen bezüglich der Indikationsstellung für die SARME. Weiterhin ist es häufig unklar, wie ein transversales Defizit der Maxilla akkurat diagnostiziert wird [179].

In der Literatur können jedoch einige übereinstimmende Indikationen gefunden werden. Diese gelten für erwachsene Patienten, die einen oberen Schmalkiefer aufweisen:

- Erweiterung des Zahnbogenumfangs der Maxilla, um Kreuzbisse zu überstellen, wenn keine weiteren chirurgischen Stellungsänderungen der Kiefer geplant sind.
- Erweiterung der Maxilla als vorbereitende Maßnahme, wenn weitere chirurgische Eingriffe zur Stellungsveränderung der Kiefer geplant sind. Dieses Vorgehen zielt darauf ab, Risiken, Ungenauigkeiten und Instabilität zu vermeiden, die bei segmentierter maxillärer Osteotomie auftreten.
- Um Platz für Engstände der Oberkieferzähne zu schaffen, wenn eine Extraktionstherapie nicht indiziert ist.
- Aufweiten der Maxilla bei einer Hypoplasie der Maxilla, die mit einer Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalte vergesellschaftet ist.
- Reduzieren von großen Bukkkorridoren beim Lächeln.
- Schwächen der knöchernen Widerstände bei einer gescheiterten GNE.

Eine absolute Kontraindikation wird in der Literatur nicht beschrieben. Ein Nebeneffekt der SARME kann jedoch aufgrund der Kippung eine leichte Bissöffnung sein. Daher kann als relative Kontraindikation ein stark ausgeprägtes vertikales Wachstumsmuster genannt werden [162].

Alter der Patienten

Die meisten Autoren sehen das Alter der Patienten als stärksten Indikationsgrund für eine chirurgische Unterstützung der GNE. Allerdings können in der Literatur verschiedene Angaben über das Alterslimit für eine erfolgreiche GNE gefunden werden. EPKER UND WOLFORD [59] empfehlen eine chirurgische Unterstützung der GNE für Patienten, die über 16 Jahre alt sind. TIMMS UND VERO [188] sehen die Altersgrenze für eine erfolgreiche GNE bei 25 Jahren. MOSSAZ ET AL. [144]

empfehlen nach Ermessen des Behandlers eine chirurgische Unterstützung nach der zweiten Lebensdekade. Laut MOMMAERTS [139] ist eine GNE für Patienten unter 12 Jahren indiziert, während bei Patienten über 14 Jahren eine chirurgische Unterstützung nötig ist. ALPERN UND YUOSKO [4] beziehen auch das Geschlecht mit in ihre Empfehlung ein und geben an, dass bei Männern, die älter als 25 Jahre sind, und Frauen, die älter als 20 Jahre sind, eine chirurgische Unterstützung notwendig ist. Weitere Unklarheit über eine obere Altersgrenze entsteht durch Fallberichte über erfolgreich durchgeführte GNE bei erwachsenen Patienten [4, 37, 94].

Auch die Ergebnisse weiterer Studien geben konkrete Hinweise darauf, dass eine Durchführung der GNE bei einigen erwachsenen Patienten erfolgreich möglich ist [80, 106, 107, 152].

Laut CAPELOZZA ET AL. [37], NORHWAY UND MEADE [148], sowie HANDELMANN ET AL. [80] können kleinere transversale Defizite, mit vorwiegend dentaler Ursache, auch im Erwachsenenalter ohne chirurgische Unterstützung korrigiert werden.

Vor oder während des pubertären Wachstums ist eine GNE indiziert und gut umsetzbar [77, 85, 113, 130, 199]. Bei deren Durchführung nach dem pubertären Wachstum berichten jedoch viele Kliniker über Schwierigkeiten [78, 85, 113, 199]. Das skelettale Alter sollte bei der Patientenauswahl daher besonders berücksichtigt werden, da es womöglich vom chronologischen Alter abweicht [135].

Auswirkungen auf den Nasenraum und die Nasenatmung

Weiterhin können Patienten mit einem schmalen Nasenboden, adenoiden Wucherungen und Septumdeviation zur Indikationsgruppe hinzugezählt werden [138]. Es kann zu einer häufig wiederkehrenden Verstopfung der Nase und Infektionen im Nasen- und Rachenbereich führen [69, 76, 82, 84, 114, 186, 195, 202]. Bei diesen Patienten ist der Luftstrom in der Nasenhöhle verringert und die Nasenatmung so eingeschränkt, dass die Tendenz zur Mundatmung zunimmt. Dadurch können neuromuskuläre Dysfunktionen bei den Patienten auftreten [13, 133, 147].

Diese Probleme können durch eine SARME behoben werden. Die Erweiterung der Maxilla führt zu einem gesteigerten Luftstrom in der Nase [52]. Zurückzuführen ist

dies auf die Verbreiterung des Nasenbodens, somit der gesamten Nasenhöhle und der dadurch einhergehenden Zunahme des Nasenvolumens [9, 14, 114, 202].

Ausmaß der maxillären Unterentwicklung

Um den Betrag der gewünschten Erweiterung zu bestimmen, ist es wichtig, die bukkolinguale Kippung der Seitenzähne mit einzubeziehen, da diese das tatsächliche Ausmaß der Unterentwicklung der apikalen Basis der Maxilla verschleiern kann [179].

Nach BETTS ET AL. [28, 29] und einigen weitere Autoren spielt der gewünschte Betrag der Expansion ebenfalls eine Rolle für die Indikationsstellung. Sie erachten eine SARME bei einer Unterentwicklung der Maxilla von über fünf Millimetern als essentiell [15, 28, 174].

1.6.2 Physiologische Prozesse bei der Distractionsosteogenese

Die Distractionsosteogenese (DO), auch Kallusdistraction genannt, ist ein chirurgischer Prozess, der angewendet wird, um knöcherne Deformitäten zu rekonstruieren und um lange Röhrenknochen des Körpers zu verlängern [89, 90].

Es gibt verschiedene Typen der DO, abhängig von der Anzahl der Orte, an welchen eine Osteogenese stattfindet. Diese sind: monofokale, bifokale und trifokale Distraction. Im kraniofazialen Bereich ist die monofokale DO die am häufigsten angewandte Methode [1]. Bei der monofokalen DO wird eine einzelne Osteotomiestelle dazu verwendet, verkürzte Knochen durch Auseinanderziehen zu verlängern [47].

Dabei wird der Knochen getrennt und es bildet sich ein Kallus aus. Durch langsames kontinuierliches Auseinanderziehen des Gewebes wird dieses metabolisch aktiv. Dies führt zu einem Anstieg der proliferativen und biosynthetischen Funktionen der verschiedenen beteiligten Gewebearten. Daraus resultiert eine Neubildung von Knochen zwischen den distrahierten Knochenenden, die hauptsächlich durch intramembranöse Ossifikation realisiert wird. In der Folge daraus entsteht eine stabile Erweiterung des Knochens, die adäquat auf die einwirkenden Belastungen reagieren kann und sich so entsprechend in den vorhandenen Knochen einfügt [1, 92]. Nach etwa drei

Monaten zeigt sich die Knochenumbaurate wieder auf dem ursprünglichen Niveau [10, 57].

Mit der Verlängerung des Knochens wird bei der DO auch das Volumen des umgebenden Weichgewebes vergrößert. Dies ist gerade im Bereich der kraniofazialen Anomalien entscheidend, da bei der Hypoplasie knöcherner Strukturen fast immer auch ein Weichgewebsdefizit besteht [92, 93].

Der Erfolg einer DO hängt maßgeblich von der Stabilität der Fixation, der täglichen Distraktionsrate, der Erhaltung des den Knochen umgebenden Weichgewebes und der Sicherung der Blutversorgung des Knochens ab [62, 91].

Die DO kann in drei Phasen unterteilt werden: Unmittelbar an die Operation bzw. Osteotomie schließt sich die Ruhephase an. Diese dauert zwischen fünf und sieben Tagen. Danach folgt die Distraktionsphase bzw. Aktivierungsphase. Während dieser Phase wird die Distraktionsapparatur durch Drehen einer axialen Schraube aktiviert. ILIZAROV [89, 90, 91] erachtet in seinen Behandlungsfällen von langen Röhrenknochen eine kontinuierliche Distraktion der Knochenfragmente als optimal. Dies lässt sich jedoch in der Praxis nur schlecht umsetzen. Daher variiert die Aktivierung im Gebiet der kraniofazialen DO von 0,25 mm bis 1 mm und wird in ein oder zwei Aktivierungsschritten pro Tag durchgeführt [24, 32, 58, 71, 72, 74, 99, 139]. Sobald die angestrebte Distraktion erreicht wurde, folgt die Konsolidierungsphase. Die meisten Autoren führen eine Dauer von vier bis acht Wochen für die letzte Phase an, sie sollte jedoch nicht kürzer als die doppelte Zeitspanne der Distraktionsphase sein [11, 43, 157, 171].

1.6.3 OP-Methoden

Mehrere operative Vorgehensweisen wurden zur Durchführung der SARME über die Jahre entwickelt und angewendet. Sie dienen der Schwächung der im Kapitel 1.4.2 aufgeführten Strukturen, die die transversale Erweiterung der Maxilla behindern.

Einige Autoren sehen die S. p. m. als Zone des größten Widerstandes [135, 152, 188], andere die lateralen Mittelgesichtspfeiler (siehe Abbildung 1-4) [67, 127]. Aktuelle Studien deuten darauf hin, dass auch die Verbindung der Maxilla mit dem

Pterygoid, also die Sutura pterygomaxillaris (siehe Abbildung 1-5), einen hohen Widerstand leistet [79, 87, 100, 102, 129].

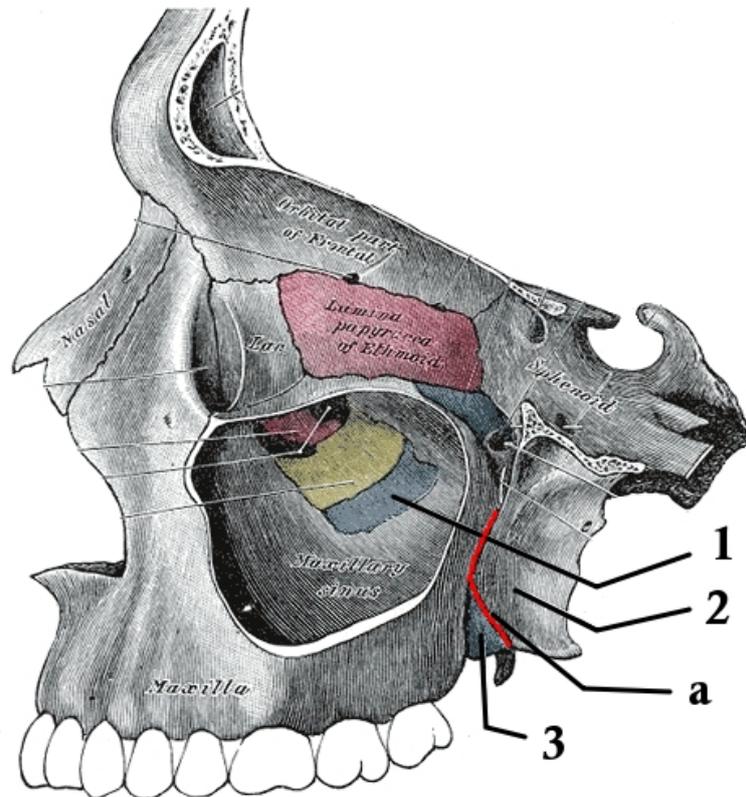


Abbildung 1-5: Ansicht der Maxilla von links, Sinus maxillaris eröffnet; 1=Os palatinum, 2=Os Sphenoidale processus pterygoideus lamina lateralis, 3=Os palatinum processus pyramidalis, a=Sutura pterygomaxillaris; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [68]

Entsprechend der verschiedenen Theorien und Studien über die Widerstände wurden verschiedene OP-Methoden entwickelt und durchgeführt. Sie können darin unterteilt werden, welche relevanten Strukturen geschwächt werden.

Der erste dokumentierte chirurgische Eingriff zur Unterstützung einer GNE fand 1938 durch BROWN [34] statt. Er führte eine Trennung der Maxilla entlang der S. p. m. ohne weitere Osteotomien durch. Diese Methode ist heute obsolet.

Eine durchgehende Osteotomie der seitlichen Nasenwand von der Apertura piriformis bis zu den Coanen wurde von GLASSMAN ET AL. [67] 1984 propagiert. Sie sahen die größten knöchernen Resistenzen im Bereich der lateralen Pfeiler und verzichteten auf eine Aufspaltung der Sutura palatina mediana. Diese weniger invasive Operationsmethode wurde auch von anderen Autoren später aufgegriffen

und durchgeführt [52, 74, 127, 164]. Eine Trennung der beiden Hälften der Maxilla durch eine Spaltung der S. p. m. mit zusätzlicher Schwächung des zygomaticomaxillären Pfeilers ohne vollständige Osteotomie der lateralen Nasenwand wurde von POGREL [156] angewendet. Eine kombinierte Form dieser beiden Operationsmethoden ist die vollständige Osteotomie der lateralen Nasenwand von der Apertura piriformis bis zu den Coanen mit zusätzlicher sagittaler Trennung der Maxilla median oder paramedian entlang der S. p. m. Weiterhin kann das Vomer vom Nasenboden abgetrennt werden, um eine Verschiebung der Nasenscheidewand zu vermeiden [20, 23, 148].

Um unerwünschte Belastungen im Bereich des Mittelgesichts und der Schädelbasis noch weiter zu reduzieren, kann zusätzlich eine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris erfolgen, um die Maxilla vom Keilbein zu trennen [29, 79, 87, 100, 102, 129, 144]. LAUDEMANN ET AL. [124] und GERLACH ET AL. [64] machen das Abtrennen des Pterygoid von der Maxilla vom Patientenalter abhängig. Sie schlagen dieses Vorgehen ab der zweiten Lebensdekade vor. Um eine Aufdehnung der Maxilla im posterioren Bereich zu ermöglichen, ist diese Schwächung laut JAFARI ET AL. [102] notwendig, da das Sphenoid im Gegensatz zur Maxilla nicht paarig angelegt ist, und so die Trennung des Gaumens im Bereich der S. p. m. stark behindert.

Mehrere Autoren sehen jedoch vom Abtrennen des Pterygoids von der Maxilla ab [20, 74, 148], da sich daraus intra- und extrakranielle Komplikationen ergeben können [119, 120, 122, 123, 191]. Unter anderem werden starke Blutungen der Arteria maxillaris und eine Verletzung der Vena jugularis interna oder der Arteria carotis interna durch scharfe Knochenfragmente oder chirurgische Instrumente während der Operation als mögliche Komplikationen angegeben [86]. Es existiert auch ein Fallbericht von einer Erblindung eines Patienten nach einer Le-Fort-Osteotomie mit dem Abtrennen des Pterygoids [48].

1.6.4 Apparaturen zur Durchführung der SARME

Zur Durchführung der SARME sind herausnehmbare Apparaturen nicht zu empfehlen, da keine ausreichende Verankerung und Stabilität intraoperativ und postoperativ erzielt werden kann [179]. Fest eingesetzte Apparate können sehr

viel besser an den Ankerzähnen oder im Gaumen fixiert werden und stellen das Mittel der Wahl dar. Man kann bei den festsitzenden Apparaturen, die bei der SARME zur Anwendung kommen, zwischen dental und skelettal verankerten Apparaturen unterscheiden.

1.6.4.1 Dental verankerte Geräte

Die Kraft zur Erweiterung wird bei diesen Geräten durch eine Dehnschraube erzeugt und über die Seitenzähne auf den Knochen übertragen.

Hyrax-Apparatur

Am häufigsten kommt die Hyrax-Apparatur zum Einsatz [33, 46].

Die Hyrax-Dehnschraube ist im Gaumendach positioniert und durch Drähte mit zwei oder vier bebanderten Ankerzähnen verbunden. Bei der Variante mit zwei Ankerzähnen sind in der Regel die ersten Molaren bebandert, bei der Variante mit vier Ankerzähnen kommen meist die ersten Prämolaren als Ankerzähne hinzu. Durch die Metallrahmenkonstruktion, die nicht auf der Schleimhaut aufliegt, kommt es zu keiner Irritation der Gaumenschleimhaut und eine einfache Durchführung der Mundhygiene ist möglich [51].

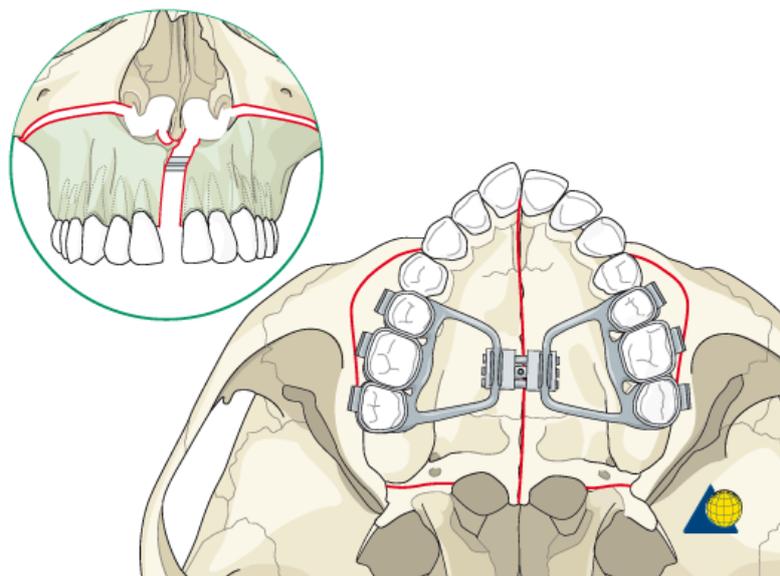


Abbildung 1-6: Schemazeichnung einer Hyrax-Apparatur in situ, Osteotomielinien rot eingezeichnet (Ansicht von kaudal); runder Bildausschnitt: Schematische Darstellung des durch die Distraktion entstehenden Diastema mediale (Ansicht von frontal) [8]

Bei der Hyrax-Apparatur besteht die Möglichkeit, einen Splint mit dem Gerät zu verbinden, der die Okklusionsebene komplett bedeckt. Dies kann bei Patienten mit Symptomen einer kranio-mandibulären Dysfunktion zum Einsatz kommen oder bei Patienten mit parodontal beeinträchtigten Zähnen, um mehr Ankerzähne für die Kraftübertragung auf den Knochen mit einzubeziehen [28].

Probleme durch Anwendung dental verankerter Apparaturen

Bei der SARME können ähnliche Komplikationen auftreten wie bei der GNE [27] (siehe Kapitel 1.4.4). Die Kraft der Dehnschraube wird über die Parodontien der Ankerzähne auf den Knochen übertragen. Der parodontale Faserapparat übernimmt bei Belastung der Zähne jedoch die Funktion eines Puffers. Somit wird die Kraft der Dehnschraube von diesem parodontalen Puffer reduziert. Dadurch kann es zu einer geringeren skelettalen Bewegung der Segmente kommen, die durch die Bewegung der Ankerzähne kompensiert wird [52]. Es besteht die Gefahr, dass ungewollte Bewegungen der Ankerzähne, wie z.B. Extrusionen oder Kippungen, während der Expansions- und Retentionsphase stattfinden [45, 109]. Daraus kann sich ein Rezidiv entwickeln [20, 67, 112]. Diesem durch die Kippung der Ankerzähne verursachten Rezidiv muss mit einer Überkorrektur entgegengewirkt werden [67, 101, 112, 156]. Außerdem kann es zu Schäden der Gingiva [38], und der Parodontien der Ankerzähne [193], kommen.

Zusätzlich kann die Mundhygiene erschwert oder eingeschränkt sein, was zu Gingivitis und Karies führen kann. Bei Syndrompatienten mit extrem schmalem Gaumen ist das Platzangebot oftmals so sehr eingeschränkt, dass eine dental verankerte Apparatur nicht eingesetzt werden kann [111].

1.6.4.2 Skelettal verankerte Geräte

Um die durch dental verankerte Geräte verursachten Probleme (siehe Kapitel 1.6.4.1) zu reduzieren, wurden verschiedene skelettal verankerte Geräte entwickelt. Diese sind im Gaumendach verankert und übertragen die Kraft der Dehnschraube direkt auf die knöchernen Anteile des Gaumens.

MOMMAERTS [139] gibt als Vorteil der skelettal verankerten Geräte gegenüber den dental verankerten Geräten eine bessere Verankerung und eine daraus resultierende bessere Kontrolle der knöchernen Bewegung an. Daraus sollte sich

eine geringere Tendenz zum Rezidiv während und nach der Expansion ergeben. Auch ist die Verankerung des Gerätes unabhängig von einer eventuell reduzierten Zahnzahl der Patienten möglich. Ein weiterer Vorteil zeigt sich darin, dass die postoperative kieferorthopädische Behandlung eher begonnen werden kann [65, 134, 139, 155, 179].

Viele der knochengetragenen Apparaturen können auch bei Patienten mit sehr schmalen Gaumen, eingesetzt werden, da sie entsprechend grazil gestaltet sind und in verschiedenen Größen angeboten werden. Es gibt eine Reihe von unterschiedlich konstruierten skelettal verankerten Apparaturen, die durch Dornen, Minischrauben oder Implantate im Knochen im palatinalen Knochen verankert werden:

Unter anderem den Rapid-Palatal-Expander (KLS Martin Group, Tuttlingen, Deutschland), den Trans Palatal Distractor (Surgi-Tec NV, Sint-Denijs-Westrem, Belgien) [139], den Magdeburg palatal distractor (Martin-Medizintechnik, Magdeburg, Deutschland) [64], den MDO-R (Orthognathics, Ltd, Zürich, Schweiz), den Dresden Distraktor [52, 81, 181] und den Rotterdam palatal distractor (KLS Martin Group, Tuttlingen, Deutschland) [111]. IIDA ET AL. [88] konstruierten aus einer kieferorthopädischen Dehnschraube und aus Schraubenringen des mandibulären Distractionssystems „DynaForm System“ (Leibinger Stryker GmbH, Freiburg, Deutschland) [71] einen durch vier Minischrauben verankerten Distraktor.

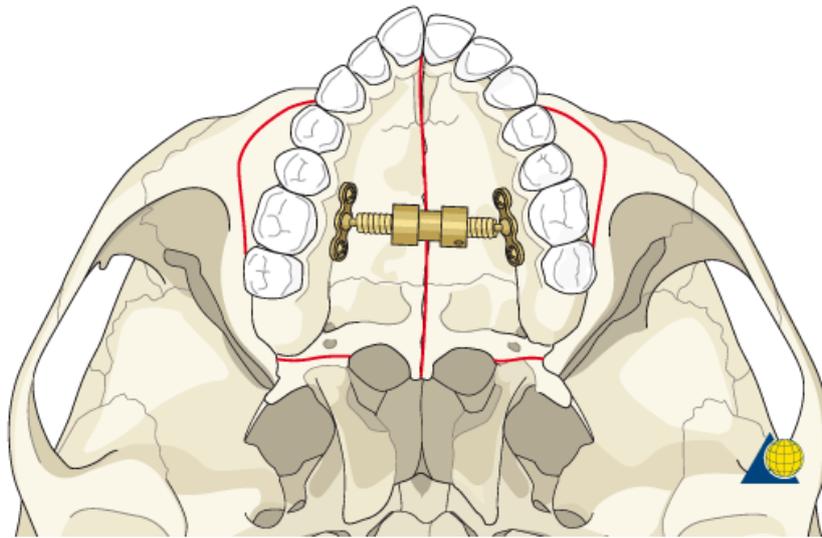


Abbildung 1-7: Schemazeichnung eines transpalatinalen Distraktors in Situ, Osteotomielinien der SARME rot eingezeichnet (Ansicht von kaudal) [8]

Probleme beim Einsatz skelettal verankerter Apparaturen

Die Anwendung von skelettal verankerten Geräten stellt eine effektive Methode mit einer niedrigen Komplikationsrate dar [74, 181]. Dennoch kann es zu diversen Komplikationen kommen. In der Literatur werden folgende Komplikationen erwähnt:

Wundinfektionen, Epistaxis, Hämatome im Bereich der Wangen, Sinusitis maxillaris, infraorbitale Hypästhesie, Ulzerationen im Gaumenbereich, Verlagerung oder Verlust von Modulen des Transpalatal Distractors, Verlagerung oder Verlust von Auflageplatten, Lockerungen von Osteosyntheseschrauben, die zur Befestigung eingesetzt wurden, ungewollte Kippung der Knochensegmente. Diese Komplikationen sind größtenteils von kurzer Dauer und durch entsprechende Maßnahmen reversibel [134, 139, 146, 155, 180].

Dentale Komplikationen sind durch den Einsatz skelettal verankerter Geräte während der Distraction nicht zu erwarten, können jedoch bei der Operation und dem Einbringen der Apparatur auftreten. So kann es während der Osteotomien zu Schäden an den Wurzeln von Zähnen kommen. Insbesondere die Wurzeln der mittleren oberen Schneidezähne sind gefährdet, wenn diese eng beieinander

stehen. Daher sollten die Wurzeln durch vorbereitende kieferorthopädische Maßnahmen auseinanderbewegt werden, um Platz für die Osteotomie zu schaffen [49].

Wenn die skelettal verankerten Geräte durch Osteosyntheseschrauben im Gaumen verankert werden müssen, ergeben sich weitere Gefahrenquellen. Die Wurzeln von Zähnen könnten durch die Pilotbohrungen oder die Schrauben selbst verletzt werden. Es ist ebenso möglich, dass der Bohrer oder eine Schraube in den Sinus maxillaris eindringt. Dies kann zu einer Mund-Antrum-Verbindung führen, welche eine Fistel verursachen kann [111].

KOUDSTAAL ET AL. [111] wurden beim Einsatz skelettal verankerter Apparaturen bei Syndrompatienten mit einigen Schwierigkeiten konfrontiert. Weil jedoch bei sehr schmalem Gaumen der Einsatz von zahngetragenen Apparaturen aus Platzmangel nicht möglich ist, stellen sie in einigen Fällen die einzige Möglichkeit dar, eine SARME durchzuführen. Es ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass andere Probleme, wie starke Einschränkung der Mundhygiene an den Ankerzähnen, weniger stark auftreten als dies bei dental verankerten Geräten der Fall ist.

Eine relative Kontraindikation kann bei Patienten mit sehr flachem Gaumen gestellt werden, da bei diesen Patienten zu wenig Platz für die ideale Positionierung der Auflageplatten und der Osteosyntheseschrauben vorhanden ist [64, 74]. Auch bei Patienten mit Immunschwäche und Patienten, die sich einer Strahlentherapie unterzogen haben oder unterziehen, ist die Anwendung problematisch [111], da bei diesen Patienten die Wundheilung bzw. Geweberegeneration eingeschränkt ist.

1.6.5 Aktivierung der Apparaturen während der SARME

In der Literatur sind verschiedene Aktivierungsprotokolle zu finden, die in Studien zur SARME angewandt wurden. Um zu kontrollieren, dass eine ausreichende Osteotomie der entscheidenden Bereiche stattgefunden hat und eine Trennung der Maxillahälften widerstandslos möglich ist, empfehlen die meisten Autoren eine intraoperative Aktivierung der eingesetzten Apparatur, bis ein Diastema zwischen den oberen mittleren Schneidezähnen zu erkennen ist. Es wird eine Aktivierung

von 0,75 mm [7] bis 3 mm [164] empfohlen. Diejenigen Autoren, die eine intraoperative Aktivierung von über zwei Millimeter empfehlen [64, 65, 164, 201], verringern diese noch während der Operation wieder um ein bis zwei Millimeter, um die Belastung der palatinalen Schleimhaut zu reduzieren. Nach dieser ersten Aktivierung folgt bei einigen Autoren eine Ruhephase von fünf bis sieben Tagen [28, 64, 65, 111, 139, 155]. In anderen Studien wird eine Ruhephase nicht erwähnt [7, 16, 44, 45, 121, 144, 164, 201, 202]. Die sich anschließende Aktivierung der Apparaturen wird mit einer Rate von 0,25 mm bis 1 mm pro Tag angegeben. Diese erfolgt ein bis zweimal täglich durch den Patienten selbst, in Abhängigkeit der eingesetzten Apparatur in Schritten von 0,25 mm bis 0,33 mm.

Das entscheidende Gebiet bei der stattfindenden DO ist die S. p. m., da sich dort der Kallus bildet, der distrahiert wird. Dies hat großen Einfluss auf das parodontale Ligament der mittleren oberen Schneidezähne. CURETON UND CUENIN [49] empfehlen, die Aktivierungsrate vom Zustand des gingivalen Attachments und ob ein symmetrischer Bruch des alveolaren Knochens zwischen den oberen mittleren Schneidezähnen erreicht wurde abhängig zu machen. So kann eine gesunde interdentale Papille und ein intaktes umgebendes Weichgewebe gewährleistet werden.

Eine zu rasche Expansion kann dazu führen, dass sich die getrennten Maxillahälften nicht oder nur ungenügend miteinander verbinden. Eine zu langsam durchgeführte Distraction führt hingegen dazu, dass eine vorzeitige Konsolidierung erfolgt, bevor der gewünschte Betrag der Expansion erreicht wurde [179].

1.6.6 Bewegungsrichtungen der Knochensegmente bei der SARME

Bewegung in der sagittalen Ebene

Durch Messungen am FRS konnten BRETOS ET AL. [33] sowie CHUNG ET AL. [44] eine leichte Verschiebung der Maxilla nach anterior feststellen. GILON ET AL. [66] berichten über eine vertikale Verschiebung der Maxilla. Sie registrierten keine Positionsveränderung nach anterior oder posterior.

Bewegung in der transversalen Ebene

DEEB ET AL. [52] registrierten in ihrer Studie eine doppelt so breite Öffnung der S. p. m. im Bereich der Apertura piriformis wie im Bereich der Choanen. Der Drehpunkt befand sich im dorsalen Abschnitt der S. p. m. auf Höhe der Weisheitszähne [52]. Sie führten keine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durch, was die V-förmige Öffnung mit verursacht haben könnte. Laut BELL [23] beeinflusst die starke Verbindung der Maxilla zu den umgebenden Knochen über die Sutura pterygomaxillaris, Sutura zygomaticomaxillaris und Sutura frontomaxillaris die Lage der einzelnen Drehpunkte.

LODDI ET AL. [132] berichten über eine parallelere Aufweitung der beiden Hälften. In ihrer Studie wurde eine Separation des Pterygoid von der Maxilla durchgeführt. Die OP-Methode könnte somit einen Einfluss auf die Öffnungsbewegung bei der SARME haben.

ALOISE ET AL. [3] führten eine Studie mit 30 erwachsenen Patienten durch. Sie vermaßen Studienmodelle und posterior-anterior-Röntgenaufnahmen. Sie kamen zu dem Schluss, dass generell eine größere Aufdehnung im anterioren als im posterioren Bereich des Kiefers auftritt.

Bewegung in der frontalen Ebene

Auch in der frontalen Ebene findet eine V-förmige Öffnung statt. Die beiden Segmente der Maxilla rotieren dabei etwas nach lateral, wobei sich der Drehpunkt im Bereich der Sutura frontonasalis befindet [52, 172].

Daraus ergibt sich für die Form der Öffnungsbewegung bei der SARME eine dreiseitige Pyramide, deren schmales Basisdreieck nach oral gewandt ist und dessen Spitze nach dorsal zeigt.

1.6.7 Retention, Stabilität und Rezidiv

Eine Stabilisierung der durch eine SARME erreichten Erweiterung in der Konsolidierungsphase kann entweder durch eine Blockierung der Distraktionsapparatur oder durch das Einsetzen eines Retentionsgerätes erreicht werden. Die Dauer der Retentionsphase wird in der Literatur in einer recht weiten Spanne von zwei bis zwölf Monaten angegeben [44, 67, 108, 112, 144, 148]. Manche Autoren halten eine Retentionsphase nicht für nötig, so dass die

kieferorthopädische Behandlung sofort nach der Distraktionsphase begonnen werden kann [20].

Die Langzeitstabilität der durch eine SARME erreichten Erweiterung wird als stabiler eingeschätzt als bei der GNE. Ein Rezidiv wird bei der SARME mit 5 % bis 25 % der erreichten Erweiterung angegeben [20, 26, 139, 146]. Diese Werte sind geringer als bei der GNE, bei der Distanzverluste von bis zu 63 % auftreten können [31, 136, 194].

Einige wenige Autoren erachten eine Überexpansion bei der SARME für nötig [112, 127, 156]. Der Kliniker sollte sich bewusst sein, dass ein Rezidiv auftreten kann. Die Häufigkeit eines Rezidivs wird jedoch als eher gering eingestuft [139, 203].

1.7 Zielstellung

Ein für die Kieferorthopädie entscheidender Aspekt bei der SARME ist die Stellungsveränderung der Seitenzähne, da diese zum Erreichen einer stabilen Okklusion mit einer Korrektur durch eine MB-Behandlung wieder rückgängig gemacht werden müssen.

Die Veränderung der Zahnstellung im Oberkiefer nach einer SARME wurde anhand von virtuellen Modellen untersucht und es wurden folgende Ziele formuliert:

1. Untersuchen der Kippung der Seitenzähne nach bukkal bei Anwendung einer skelettal verankerten Apparatur im Vergleich zur Anwendung einer dental verankerten Apparatur.
2. Untersuchen der Extrusion bzw. Intrusion der Seitenzähne bei Anwendung eines skelettal verankerten Apparatur im Vergleich zur Anwendung einer dental verankerten Apparatur.

Die Hypothese der Studie lautete, dass die Stellungsveränderung mit besonderem Augenmerk auf die Kippung der Seitenzähne bei Anwendung einer skelettal verankerten Apparatur geringer ausfällt als bei einer zahngetragenen Apparatur.

2 Material und Methoden

2.1 Studienteilnehmer

Insgesamt nahmen 28 Patienten kaukasischer Herkunft im Alter von 17,8 bis 53,8 Jahren (18 weiblich, 10 männlich, Altersdurchschnitt $27,4 \pm 9,1$ Jahre) an der retrospektiv angelegten Studie teil (Tabelle 2-1).

Die Einschlusskriterien waren wie folgt:

1. Alle Patienten waren zu Beginn der Studie erwachsen und am Ende ihres Wachstums.
2. Alle Patienten hatten eine transversale maxilläre Hypoplasie sowie klinisch einen einseitigen oder beidseitigen Kreuzbiss im Seitenzahnggebiet.

Die Ausschlusskriterien waren wie folgt:

1. Patienten, bei denen vor Beginn der Untersuchung eine Operation im Mund-, Kiefer- oder Gesichtsbereich durchgeführt wurde.
2. Patienten mit einer Lippen-Kiefer-Gaumen-Segel-Spalte.
3. Patienten mit einem kraniofazialen Syndrom.

2.2 Therapeutisches Vorgehen

2.2.1 Patientengruppen

Die Studie wurde nach den Vorgaben der Ethikkommission der Universität Würzburg durchgeführt und basierte auf einem retrospektiv longitudinalen Design mit standardisiertem Behandlungsprotokoll. Aufgrund der skelettalen Reife war eine isolierte kieferorthopädische Korrektur der transversalen Diskrepanz nicht indiziert. Die standardisierte Therapie umfasste bei allen Patienten eine SARME. Bei allen Patienten erfolgte eine subtotale Le-Fort-I-Osteotomie in ITN mit partieller Trennung der Processus pterygoidei vom Oberkiefer. Die Operation wurde bei allen Patienten in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische

Gesichtschirurgie der Universität Würzburg durchgeführt. Anschließend wurde die Dehnschraube der eingesetzten Apparatur um zwei bis vier Teilumdrehungen pro Tag aktiviert. Das Aktivierungsmaß erfolgte individuell bei jedem Patienten bis zur Überstellung des Kreuzbisses. Zur Analyse der skelettalen und dentalen Effekte erfolgte sowohl vor der Therapie (T1) als auch unmittelbar nach Ende der Therapie (T2) eine Abformung des Oberkiefers mittels Alginat.

Die Erweiterung erfolgte bei sechzehn Patienten mittels eines Trans Palatal Distractor (Surgi-Tec NV, Sint-Denijs-Westrem, Belgien) oder eines Rapid-Palatal-Expander (KLS Martin Group, Tuttlingen, Deutschland). Diese Patienten wurden in der TPD-Gruppe zusammengefasst. Bei zwölf Patienten (acht weiblich, vier männlich) erfolgte die Erweiterung mit einer Hyrax-Apparatur (Hyrax-Gruppe). Die durchschnittliche Behandlungsdauer betrug $5,6 \pm 3,5$ Monate (siehe Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Patientengruppen (SD = Standardabweichung)

	TPD-Gruppe	Hyrax-Gruppe	p-wert
Frauen (Anteil in Prozent)	10 (62,5 %)	8 (66,6 %)	
Männer (Anteil in Prozent)	6 (37,5 %)	4 (33,3 %)	
Insgesamt	16	12	
Durchschnittsalter (SD)	26,5 Jahre (9,4)	28,6 Jahre (8,9)	0,478 n.s.
durchsch. Behandlungsdauer (SD)	5,4 Monate (4,2)	5,8 Monate (2,4)	1,000 n.s.

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Bei der SARME kann schon kurz nach dem Erreichen der angestrebten Oberkieferbreite mit einer MB-Behandlung begonnen werden.

Wie auch in den Studien von GERLACH UND ZAHL [64] und LAUDEMANN ET AL. [125], die ein ähnliches Studiendesign wie die vorliegende Studie aufweisen, wurde nach Ende der Distraktionsphase mit der Nivelierung der Zahnbögen begonnen (siehe Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Zeitlicher Ablauf der Behandlung

Patient (Nachname, Vorname)	Geschlecht	Alter	Gruppe	T2-Modell nach OP (in Monaten)	Entfernung Apparatur nach OP (in Monaten)	Retentions- gerät	Eingliederung Multiband nach OP (in Monaten)
A., A.	weiblich	17,8	TPD	11	5	nein	4
A., C.	weiblich	28,4	TPD	1,5	3	TPA	1,5
B., K.	weiblich	22,4	TPD	1	4	nein	7
B., B.-M.	männlich	21,1	TPD	2,5	4	nein	4
D., N.	weiblich	32,4	TPD	6,5	2,5	nein	2,5
H., M.	weiblich	37,8	TPD	1	1	TPA	3
H., R.	männlich	19,0	TPD	3	4	Quadhelix	6
H., J.	männlich	25,8	TPD	10	4	TPA	3,5
H., C.	weiblich	21,3	TPD	2	2	Quadhelix	4,5
J., J. L.	männlich	19,8	TPD	1,5	3,5	nein	1
K., S.	weiblich	21,5	TPD	8,5	5	nein	3
M., C.	weiblich	35,5	TPD	8,5	4	nein	7
S., S.	weiblich	25,3	TPD	11,5	4	nein	7
S., B.	weiblich	53,8	TPD	6,5	3	nein	2
V., T.	männlich	19,4	TPD	1	4	nein	2,5
W., D.	männlich	22,5	TPD	11,5	3	nein	1
A., D.	männlich	23,5	Hyrax	4,5	4,5	nein	4,5
B., R.	weiblich	18,3	Hyrax	5,5	5,5	TPA	5,5
C. J.	weiblich	19,0	Hyrax	1,5	5	nein	5
H., S.	weiblich	47,3	Hyrax	8	5,5	TPA	5,5
H., U.	weiblich	37,0	Hyrax	10	6	nein	2
H., T.	weiblich	27,8	Hyrax	4	4	nein	4
K., D.	männlich	24,3	Hyrax	5	1	Quadhelix	1
L., M.	männlich	23,0	Hyrax	6,5	6,5	nein	8
M., J.	weiblich	34,8	Hyrax	5,5	5,5	TPA	10,5
R., D.	weiblich	37,2	Hyrax	3	3	Quadhelix	3
S., G.	weiblich	30,3	Hyrax	8	6	nein	8
W., F.	männlich	20,8	Hyrax	7	7	nein	7

2.3 Skelettal verankerte Apparaturen

Es wurden zwei Arten von skelettal verankerten Apparaturen verwendet:

- der Trans Palatal Distractor der Firma Surgi-Tec (Surgi-Tec NV, Sint-Denijs-Westrem, Belgien)

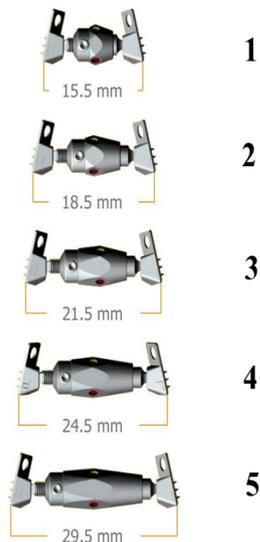


Abbildung 2-1: Die 5 verschiedenen Module des Trans Palatal Distractor der Firma Surgi-Tec (Surgi-Tec NV, Sint-Denijs-Westrem, Belgien); 1=Modul 1 (max. Distraction = 9 mm), 2=Modul 2 (max. Distraction = 15 mm), 3=Modul 2,5 (max. Distraction = 20 mm), 4=Modul 3 (max. Distraction = 27 mm), 5=Modul 4 (max. Distraction = 33 mm); Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [178]

- der Rapid-Palatal-Expander der Firma KLS Martin Group (Gebrüder Martin GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland)

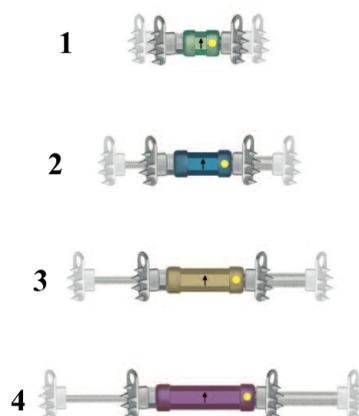


Abbildung 2-2: Die 4 verschiedenen Module des Rapid-Palatal-Expander der Firma KLS Martin Group (Gebrüder Martin GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland); 1=Modul 1 (max. Distraction = 9 mm), 2=Modul 2 (max. Distraction = 18 mm), 3=Modul 3 (max. Distraction = 27 mm), 4=Modul 4 (max. Distraction = 36 mm); Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [103]

Der Trans Palatal Distractor ist in fünf verschiedenen Größen verfügbar (siehe Abbildung 2-1).

Der Rapid-Palatal-Expander ist in vier verschiedenen Größen verfügbar (Siehe Abbildung 2-2).

Der Trans Palatal Distraktor sowie der Rapid-Palatal-Expander (Werte für den Rapid-Palatal-Expander sind in Klammern hinter den Werten für den Trans Palatal Distraktor angegeben) haben das Funktionsprinzip einer Dehnschraube. Beim Einbringen des Distraktors ist das Modul maximal komprimiert und kann je nach Modul eine maximale Dehnung des Gaumens von 9 bis 33 mm (9 bis 36 mm beim RPE) erreichen. Um die Dehnung zu erzielen, muss der Patient den Distraktor in Schritten von 0,33 mm (0,33 mm) aktivieren. Die Aktivierungsschritte sind auf dem Modul durch Farbpunkte (blau, gelb und rot) markiert. Eine volle Umdrehung des Moduls entspricht einer Dehnung von einem Millimeter. Die Funktionsweisen und die Designs des Trans Palatal Distractor und des Rapid-Palatal-Expander sind sehr ähnlich und auch der Betrag der Aktivierungsschritte ist identisch. Daher werden im nachfolgenden Text der Rapid-Palatal-Expander und der Trans Palatal Distractor unter dem Synonym transpalatinaler Distraktor (TPD) geführt. Nach dem Erreichen der gewünschten maxillären Erweiterung wird der TPD mittels einer Blockierschraube arretiert und fungiert somit als Retention. Der Distraktor wird normalerweise im Bereich der ersten Molaren bis ersten Prämolaren am Gaumen verankert. Die Distraktoren werden mittels einer Abutment-Platte in der Kortikalis des harten Gaumens verankert. Hierzu wird die Abutment-Platte mit zwei sieben Millimeter langen monokortikalen selbstschneidenden Minischraube im Knochen befestigt. Durch die Farbpunkte blau, gelb und rot sind die Drehschritte kodiert, die jeweils eine Drehung um ein Drittel darstellen. Drei Teildrehungen entsprechen einer kompletten Umdrehung und damit einem Millimeter Dehnung. Je nach Anforderung wurde das für den Patienten geeignete Modul ausgesucht. Bestimmt wurde dies durch das vor der Operation verfügbare transversale Platzangebot im Gaumen jedes einzelnen Patienten.

2.4 Dental verankerte Apparatur

Die Hyrax-Apparatur (Hyrax-Dehnschraube, Dentaaurum, Ispringen, Germany) ist mit vier Bändern an den ersten Prämolaren und den ersten Molaren verankert. Durch an die Bänder angelötete Drähte sind diese mit der Dehnschraube, die im Gaumendach liegt, verbunden (siehe Abbildung 2-3). Die Hyrax-Apparatur wird in Drehschritten von 90° aktiviert. Eine volle Umdrehung entspricht einer Dehnung von einem Millimeter.

Von der Firma Dentaaurum gibt es 3 Varianten: Hyrax Mini (7 mm Dehnung), Hyrax Medium (10 mm Dehnung), Hyrax Maxi (12 mm).

Die Wirkweise der Hyrax-Apparatur ist ähnlich der des TPD: Der Patient aktiviert die Dehnschraube in Stufen von einer Viertelumdrehung. Eine Viertelumdrehung der Dehnschraube entspricht dabei einer Dehnung von 0,25 mm. Durch Übertragen der lateralen Kräfte der Dehnschraube über die Drähte an die Bänder auf den Prämolaren und Molaren wird die Distraction der beiden chirurgisch getrennten Gaumenhälften erreicht.

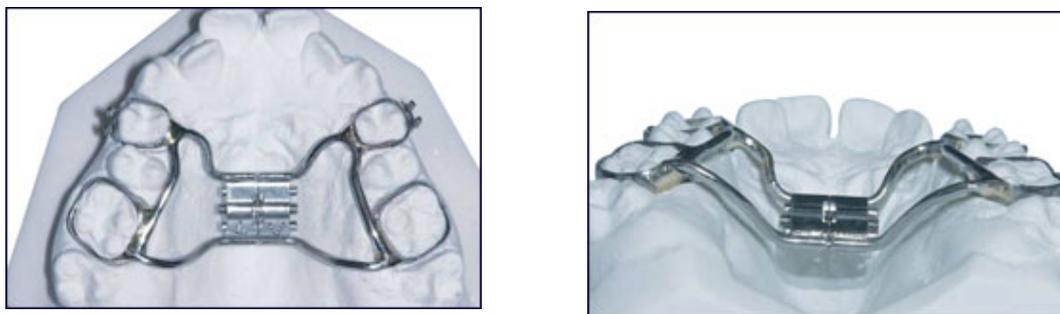


Abbildung 2-3: Hyrax-Apparatur; Ansicht von okklusal (2-3a), Ansicht von dorsal (2-3b) [149]

2.4.1 Operationsmethode

Es wurde drei Tage vor dem operativen Eingriff eine antibiotische Abschirmung begonnen und für die Dauer einer Woche fortgeführt.

Der TPD wurde in nasotrachealer Intubationsnarkose in der Kortikalis des Gaumens Regio 14 bis 16 und Regio 24 bis 26 mit 2 Minischrauben verankert (siehe Abbildung 2-5a).

Anschließend wurde eine subtotale Le-Fort-I-Osteotomie mit der oszillierenden Säge durchgeführt und noch vorhandene Resistenzen beidseits mit einem Steinhäuser-Meißel gelöst. Die Processus pterygoidei wurden partiell mit dem Epker Meißel vom Oberkiefer getrennt. Der Alveolarfortsatz wurde interdental von den Zähnen 11 und 21 mit dem Steinhäuser-Meißel getrennt und die S. p. m. im weiteren Verlauf mit dem Lambott-Meißel gesprengt. Die Spina nasalis anterior wurde oberhalb der Sprenglinie vom Vomer abgetrennt, um eine Verschiebung der Nasenscheidewand im Rahmen der Distraction zu vermeiden (siehe Abbildung 2-4).

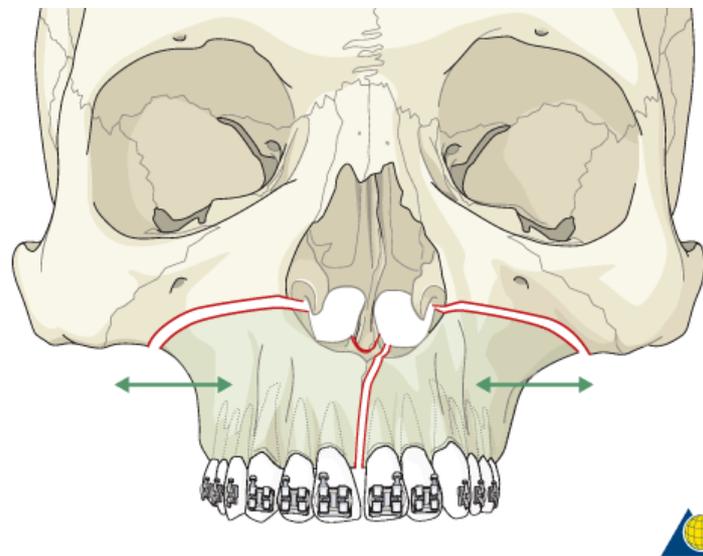


Abbildung 2-4: Schemazeichnung der Osteotomie in der Le-Fort-I-Ebene und der sagittalen Spaltung entlang der S. p. m. (Osteotomielinien rot eingezeichnet, grüne Pfeile: Bewegungsrichtung der zwei Segmente bei der Distraction) [8]

Der TPD wurde einige Millimeter aktiviert, um die erfolgte Osteotomie durch das zwischen den Zähnen 11 und 21 entstehende Diastema zu kontrollieren und nach Überprüfen der transversalen Erweiterbarkeit des Oberkiefers wieder in seine Ausgangsposition zurückgedreht.

Die Operation bei Patienten der Hyrax-Gruppe wurde analog zur Operation der TPD-Gruppe durchgeführt, bis auf den Unterschied, dass die Hyrax-Apparatur schon im Vorfeld der Operation eingesetzt wurde und somit der erste Teil der Operation zum Einsetzen des TPD entfiel (siehe Abbildung 2-5).



Abbildung 2-5: Transversale Erweiterung mittels TPD (2-5a) bzw. Hyrax-Apparatur (2-5b). Ansicht von kaudal; beide Patienten befinden sich in der Retentionsphase.

2.4.2 Aktivierung des TPD bzw. der Hyrax-Apparatur durch den Patienten

Nach einer Konsolidierungsphase von einer Woche wurde die Apparatur durch den Patienten morgens und abends um einen Drehschritt aktiviert. Dies ergab beim TPD eine Dehnungsstrecke von 0,66 mm pro Tag und bei der Hyrax eine Dehnungsstrecke von 0,5 mm pro Tag. Die Aktivierung wurde so lange fortgesetzt, bis die therapeutisch gewünschte transversale Erweiterung erreicht wurde. Die Distraktionsphase war in der Regel nach einer Dauer von zwei bis drei Wochen abgeschlossen. Die Dehnapparaturen wurden blockiert und blieben als Retentionsgeräte in situ.

2.5 Patientenfälle

2.5.1 Ein Fall aus der TPD-Gruppe



Abbildung 2-6: Situation im Oberkiefer in der Ansicht von kaudal vor der Behandlung (2-6a), während der Behandlung mittels TPD (2-6b) und nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung (2-6c)



Abbildung 2-7: Schlussbiss vor (2-7a) und nach der Behandlung mittels TPD (2-7b)



Abbildung 2-8: Lachaufnahme vor (2-8a) und nach der Behandlung mittels TPD (2-8b)

2.5.2 Ein Fall aus der Hyrax-Gruppe



Abbildung 2-9: Situation im Oberkiefer vor der Behandlung (2-9a), während der Behandlung mittels Hyrax-Apparatur (2-9b) und nach Abschluss der Kieferorthopädischen Behandlung (2-9c)



Abbildung 2-10: Schlussbiss vor (2-10a) und nach der Behandlung mittels Hyrax Apparatur (2-10b)

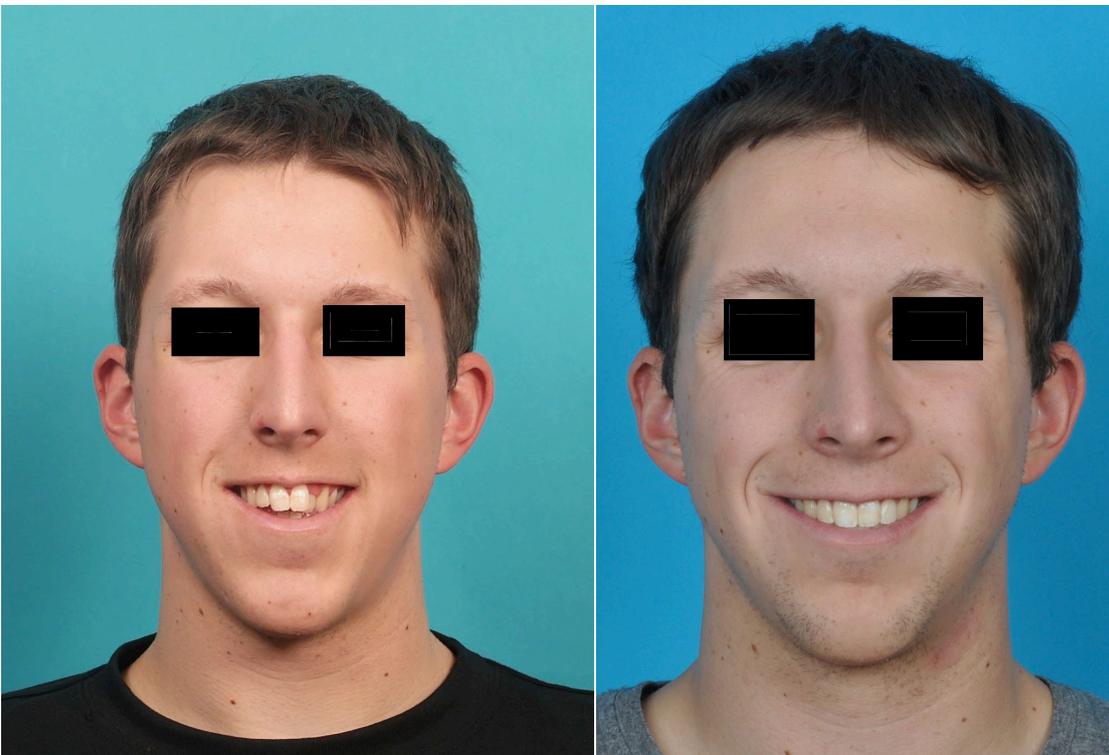


Abbildung 2-11: Lachaufnahme vor (2-11a) und nach der Behandlung mittels Hyrax Apparatur (2-11b)

2.6 Generieren und Vermessen der virtuellen Modelle

2.6.1 Erstellen der Studienmodelle

Zur Erhebung der Daten wurden Studienmodelle der Oberkiefer der Patienten aus KFO-Gips verwendet. Die Abformungen der Ausgangsmodelle wurden vor der Operation zum Zeitpunkt T1 angefertigt (prätherapeutische Modelle). Die Abformungen der Vergleichsmodelle wurden zum Zeitpunkt T2 nach Erreichen der gewünschten transpalatinalen Erweiterung angefertigt (posttherapeutische Modelle). Beide Abformungen wurden mit Alginat ausgeführt. Aus den Studienmodellen (siehe Abbildung 2-12a) wurden mit Hilfe des R700 Orthodontic 3D Scanners (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark; siehe Abbildung 2-13) und der Scansoftware ScanIt-Orthodontics (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark) virtuelle Modelle (siehe Abbildung 2-12b) erstellt. Diese virtuellen Modelle wurden mit der OrthoAnalyzer Software (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark) vermessen.

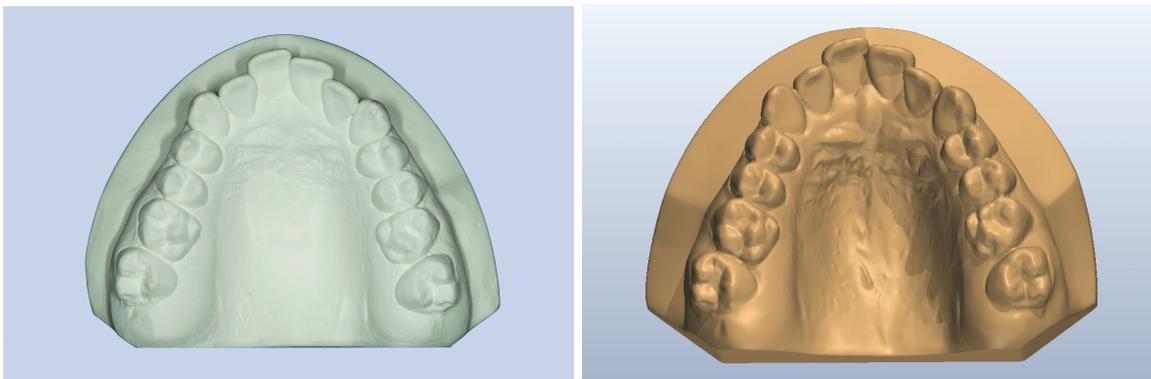


Abbildung 2-12: Situationsmodell aus KFO-Gips (2-12a), durch optisches Abtasten generiertes virtuelles Modell (2-12b)

2.6.2 Optischer Sensor

Zur Generierung der virtuellen Oberkiefermodelle wurden alle Gipsmodelle mittels des R700 Orthodontic 3D Scanner (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark; siehe Abbildung 2-13) und der Scansoftware ScanIt Othodontics dreidimensional erfasst. Die Oberkiefermodelle aus KFO-Gips wurden im R700 Scanner auf der dafür vorgesehenen Platte mit Blu-Tack (Bostik, Thomastown, Australien), einem wiederverwendbaren kittähnlichen druckempfindlichen Klebstoff, so fixiert, dass

die Okklusionsebene möglichst parallel zur Horizontalen und die Schneidezähne zum Inneren des Scanners ausgerichtet waren. Der Scanner besitzt zwei Kameras und hat die Möglichkeit, eine Bewegung in drei Achsen auszuführen. Die Modelle können durch Drehung, Seitwärtsverschiebung und Kippung während des Scanvorgangs so ausgerichtet werden, dass ein Bereich von über 350 Grad erfasst werden kann. Der Scanner hat eine Genauigkeit von 20 µm. Nach Triangulation und Aufbereitung der Datensätze wurden diese in ein gängiges 3D-Datenformat (STL) konvertiert und mit der 3D-Software OrthoAnalyzer vermessen.



Abbildung 2-13: R700 Orthodontic 3D Scanner (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark)

2.6.3 Software

Die Verbindung zwischen dem Scanner R700 und dem Computer wurde mit Hilfe von ScanServer, Version 4.3.1.5. (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark) hergestellt. Als Software zum Berechnen der vom R700 an den Computer übermittelten Daten diente ScanIt Orthodontics, Produktversion 2010-1, Version 5.3.0.1. (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark):

Die virtuellen Modelle wurden mit Hilfe der kieferorthopädischen Analyse- und Planungs-Software OrthoAnalyzer, Produktversion 2010-1, Version 1.2.1.1. (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark) vermessen.

Die statistischen Daten wurden mit Hilfe von IBM SPSS Statistics (International Business Machines Corporation, Armonk, New York, USA), Version 20.0.0 ausgewertet.

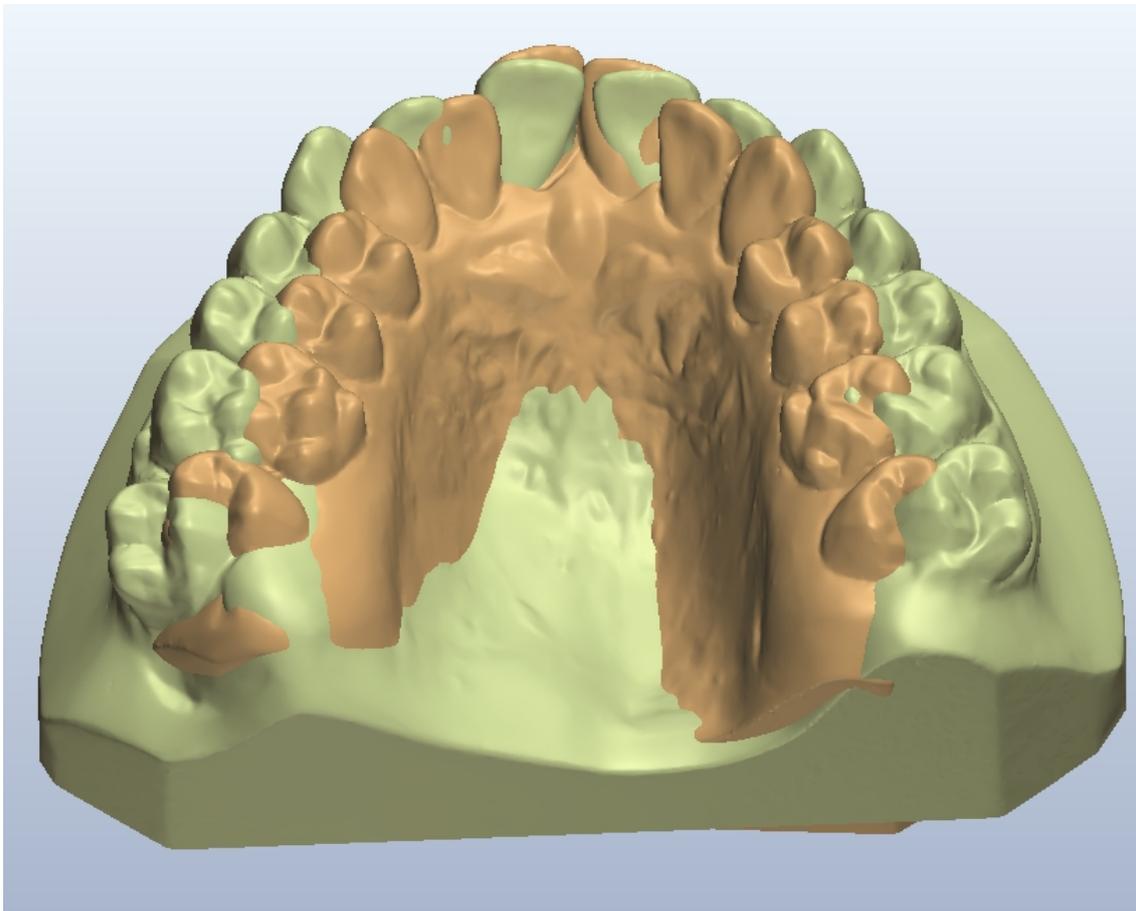


Abbildung 2-14: Durch die Software OrthoAnalyzer zur Demonstration der Aufdehnung des Oberkiefers bei der SARME generiertes Überlagerungsbild von prätherapeutischem Modell (braun) und posttherapeutischem Modell (grün)

2.6.4 Definieren der Messpunkte und der Referenzebene

Erstellen eines individuellen Messpunkteschemas mit Hilfe des Ortho Control Panels

Die Analyseeigenschaften der OrthoAnalyzer-Software können mit Hilfe des mitgelieferten Ortho Control Panels konfiguriert werden. Dies geschieht durch so

genannte Sammlungen (Collections). Mit einer Sammlung können die gewünschten Elemente, die auf das virtuelle Modell projiziert werden sollen, festgelegt werden. Dadurch lässt sich ein individuelles Messpunkteschema erstellen. Mit dem Ortho Control Panel wurden Elemente folgender Art in einer Sammlung zusammengefasst:

- Messpunkte.
- Transversale Strecken.
- Ebenen.
- vertikale Abstände im rechten Winkel zu einer Ebene.

Diese Elemente wurden individuell benannt, so dass sich daraus ihre Beziehung zum virtuellen Modell ableitete. Insgesamt wurden 31 Messpunkte auf den virtuellen Modellen gesetzt (siehe Abbildung 2-15). Daraus generierte der OrthoAnalyzer 25 Strecken mit transversaler Ausrichtung, zwei Strecken mit sagittaler Ausrichtung und 30 Strecken mit vertikaler Ausrichtung. Die Anordnung und das Setzen der Messpunkte auf den Modellen sowie die Lage der errechneten Strecken wird im Folgenden beschrieben. Eine Zusammenfassung der Messpunkte, der daraus resultierenden Strecken bzw. Flächen und der daraus resultierenden Messungen ist in Tabelle 2-3 im Kapitel 2.6.6 aufgeführt.

2.6.4.1 Setzen der Messpunkte auf den virtuellen Modellen im OrthoAnalyzer

Im OrthoAnalyzer wurde zuerst das prätherapeutische virtuelle Modell geladen und in eine okklusale Ansicht ausgerichtet. Es wurde die erstellte Sammlung ausgewählt und daraufhin über das Analysetool des OrthoAnalyzers die Messpunkte gesetzt (siehe Abbildung 2-15). BASSARELLI ET AL. [18] und LAUDEMANN ET AL. [125] verwendeten in ihren Studien ähnliche Messpunkte.

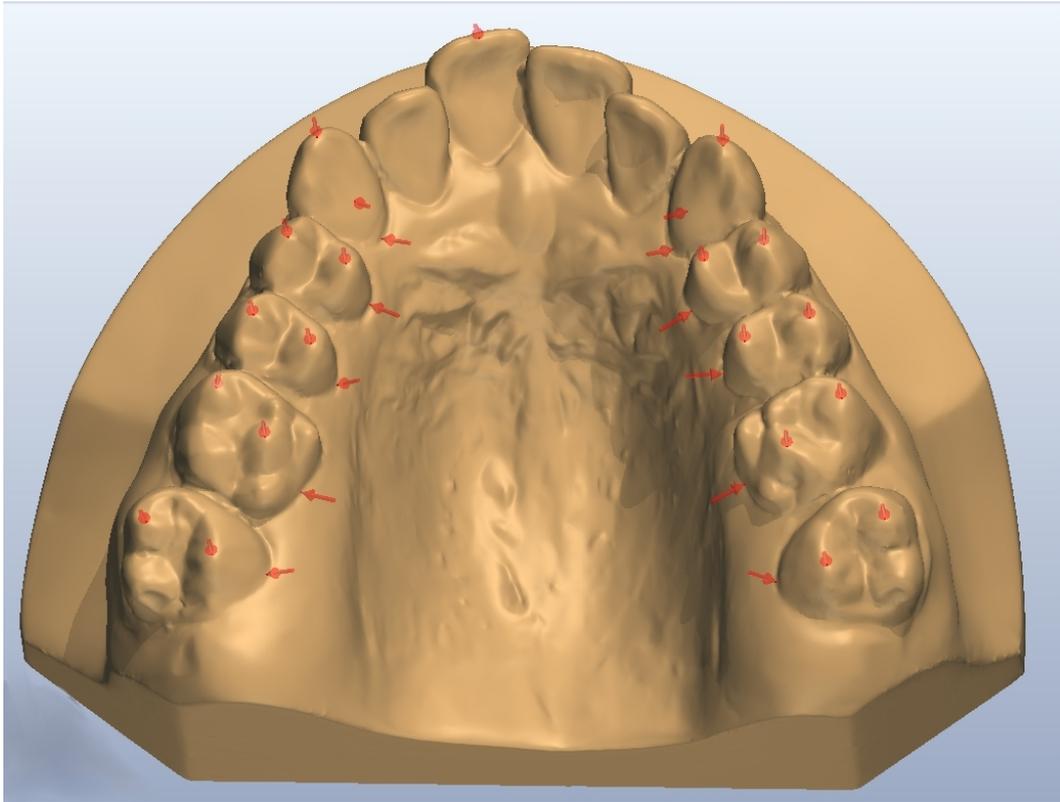


Abbildung 2-15: Die 31 gesetzten Messpunkte auf einem virtuellen Modell

Um die Messpunkte auf den prä- und posttherapeutischen Modellen mit möglichst geringer Abweichung zu setzen, wurden bei jedem Patienten zuerst die Messpunkte auf dem prätherapeutischen Modell (T1) gesetzt, feinjustiert und ausgerichtet. Danach wurde das posttherapeutische Modell (T2) in einem separaten Arbeitsfenster des OrthoAnalyzer parallel dazu geöffnet und die Messpunkte auf diesem gesetzt. Die Sulcuspunkte wurden jeweils an der tiefsten Stelle des Sulcus gesetzt.

Folgende Messpunkte (Abkürzungen) wurden auf den virtuellen Modellen gesetzt:

- Mitte der Schneidekante am Zahn 11 (SK11), um Ebenen mit den Höckern der Seitenzähne zu definieren, mit deren Hilfe die Punkte möglichst exakt auf die jeweilige Höckerspitze gelegt wurden.
- Eckzähne: Eckzahnspitzen (HS13, HS23), Tuberculi (Tu13, Tu23), Sulci (Su13, Su23).
- Erste Prämolaren: bukkale Höckerspitzen (bHS14, bHS24), palatinale Höckerspitzen (pHS14, pHS24), Sulci (Su14, Su14).

- Zweite Prämolaren: bukkale Höckerspitze (bHS15, bHS25), palatinale Höckerspitze (pHS15, pHS25), Sulci (Su15, Su25).
- Erste Molaren: mesiobukkale Höckerspitzen (mbHS16, mbHS26), mesiopalatinale Höckerspitzen (mpHS16, mpHS26), Sulci (Su16, Su26).
- Zweite Molaren: mesiobukkale Höckerspitzen (mbHS17, mbHS27), mesiopalatinale Höckerspitzen (mpHS17, mpHS27), Sulci (Su17, Su27).

Aus diesen Messpunkten errechnete die OrthoAnalyzer-Software die im Ortho Control Panel festgelegten Strecken.

Ebenen als Hilfsmittel zum Festlegen der Höckerspitzen

Um die Höckerspitzen möglichst genau zu lokalisieren, wurde eine Ebene für jedes Höckerspitzenpaar definiert. Diese Ebenen wurden durch den Punkt auf der Schneidekante des Zahnes 11 (SK11) und die Punkte auf den Höckerspitzen zweier Seitenzähne generiert. Zum Beispiel wurde durch die Punkte Schneidekante 11 (SK11), mesiobukkale Höckerspitze des Zahnes 17 (mbHS17) und mesiobukkale Höckerspitze des Zahnes 27 (mbHS27) die Ebene E-11-17-27-mb definiert (siehe Abbildung 2-16).

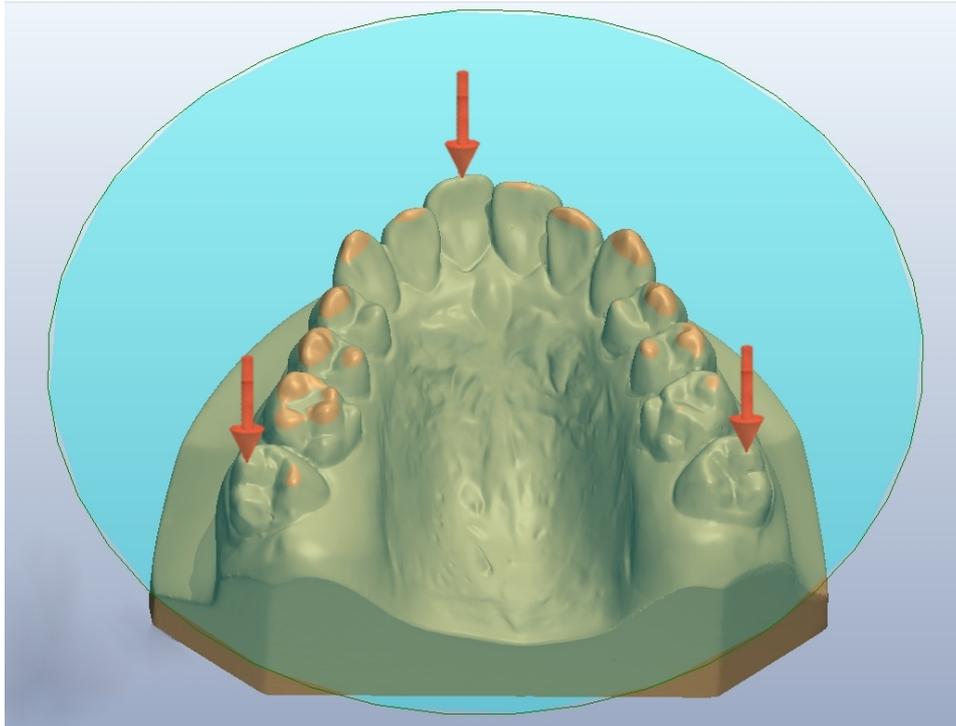


Abbildung 2-16: Ebene E-11-17-27-mb (türkis); Messpunkt SK11, mbHS17, mbHS27 mit rotem Pfeil markiert; Ansicht von okklusal/dorsal

Die definierten Ebenen wurden im OrthoAnalyzer als transparente Scheibe dargestellt. Wenn die Ebene von okklusal betrachtet wurde, erschienen alle Abschnitte des virtuellen Modells, die über der Ebene lagen, heller als Abschnitte, die unter der Ebene lagen. Der Punkt, der die Höckerspitze definierte, wurde so festgelegt, dass sich der gesamte Höcker, mit dessen Hilfe die Ebene aufgespannt wurde, unterhalb der Ebene befand und somit der höchste Punkt des Höckers erreicht wurde (siehe Abbildung 2-16).

Um die Lokalisation der Höckerspitzenpunkte zusätzlich zu präzisieren, wurde darauf geachtet, dass die Strecken zwischen den Höckerspitzenpunkten – die Strecke zwischen der mesiobukkalen und mesiopalatinalen Höckerspitze – auf den prä- und posttherapeutischen Modellen die gleichen Längen aufwiesen und sich die Punkte im Sichtvergleich zwischen den beiden Modellen auf der gleichen Stelle befanden (siehe Abbildung 2-17).

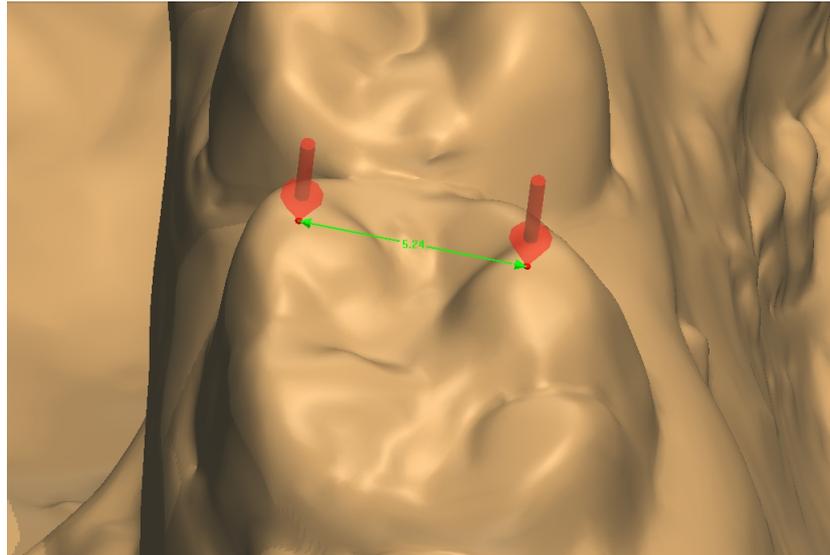


Abbildung 2-17: Höckerabstand des mesiobukkalen und mesiopalatinalen Höckers des Zahnes 16; Messpunkte mbHS16 und mpHS16 mit rotem Pfeil markiert, Strecke mbHS16-mpHS16 (grün)

2.6.4.2 Definieren der Referenzebene (RefE)

Für die vertikalen Messungen an den Seitenzähnen – Extrusion und Kippungswinkel – wurde eine Referenzebene (RefE) definiert. Die RefE (E-11-16-26-mp) wurde durch einen Messpunkt auf der Mitte der Schneidekante von Zahn 11 (SK11) und die Messpunkte auf den mesiopalatinalen Höckerspitzen der Zähne 16 (mpHS16) und 26 (mpHS26) festgelegt (Abbildung 2-18) und in gleicher Weise wie die oben beschriebenen Ebenen zur Lokalisation der Höckerspitzen erstellt.

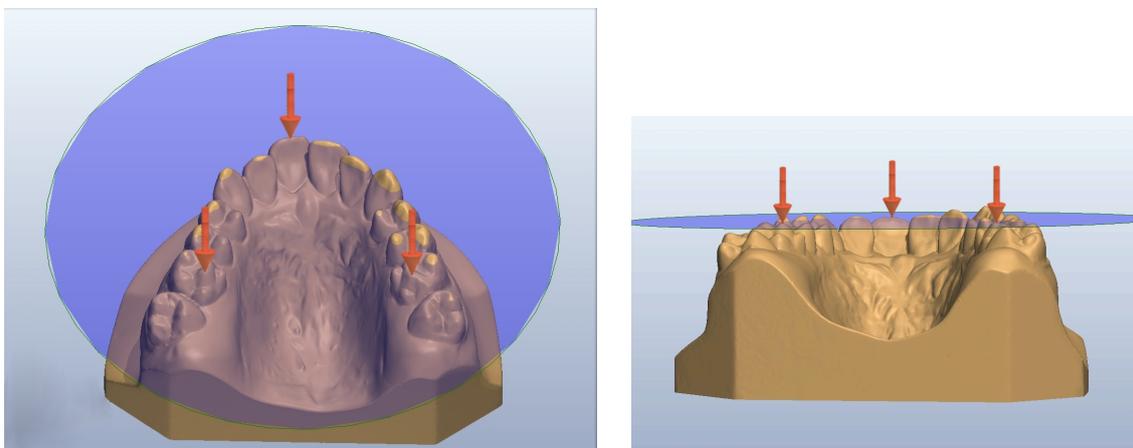


Abbildung 2-18: Referenzebene E-11-16-26-mp (blau); Ansicht von okklusal (2-18a), Ansicht von dorsal (2-18b); Messpunkte SK11, mpHS16, mpHS26 mit rotem Pfeil markiert

2.6.5 Vermessen der im Ortho Control Panel festgelegten Strecken durch den OrthoAnalyzer (3D-Analyse)

Aus den 31 Messpunkten je Modell wurden insgesamt 57 Strecken durch den OrthoAnalyzer generiert. Aus diesen konnten 36 Messungen analysiert werden. Diese setzten sich aus den folgenden Messungen zusammen:

Transversal gemessene Strecken

25 transversale Strecken wurden in Millimetern (mm) je Modell gemessen. Jeweils drei Strecken pro Zahnpaar wurden an den Eckzähnen, ersten und zweiten Prämolaren und ersten und zweiten Molaren des ersten und zweiten Quadranten zwischen den Messpunkten der bukkalen Höckerspitzen, der palatinalen Höckerspitzen und den Sulci durch den OrthoAnalyzer gemessen (Abbildung 2-19).

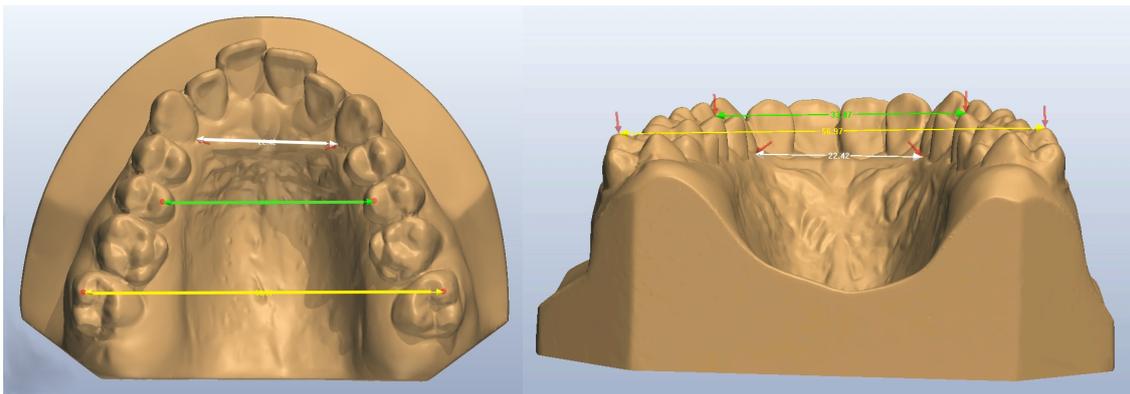


Abbildung 2-19: Auswahl an transversal gemessenen Strecken: Su13-Su23 (weiß), bHS15-bHS25 (grün), mbHS17-mbHS27 (gelb); Ansicht von okkusal (2-19a) und von dorsal (2-19b)

Außerdem wurde je Eckzahn eine Strecke zwischen der Eckzahnspitze und dem Tuberkulum, je Prämolare eine Strecke zwischen dem bukkalen und palatinalen Höcker und je Molar eine Strecke zwischen dem mesiobukkalen und mesiopalatinalen Höcker durch den OrthoAnalyzer generiert. Diese Strecken stellten die Höckerabstände dar (siehe Abbildung 2-17). Die Höckerabstände wurden nicht statistisch ausgewertet, da sie als konstant vorausgesetzt wurden. Sie dienten der genauen Lokalisierung der Höckerspitzen und zur Berechnung des Kippungswinkels wie unten beschrieben (siehe Tabelle 2-3).

Generierte Strecken:

- Strecken zwischen den Höckerspitzen eines Zahnes (Höckerabstand):
Höckerspitze 13 – Tuberculum 13 (HS-Tu13), Höckerspitze 23 – Tuberculum 23 (HS-Tu23), bukkale Höckerspitze 14 – palatinale Höckerspitze 14 (bHS14-pHS14), usw.: bHS24-pHS24, bHS-pHS15, bHS-pHS25, mbHS-mpHS16, mbHS-mpHS26, mbHS-mpHS17, mbHS-mpHS27 (Abbildung 2-17)
- Strecken zwischen den jeweiligen Höckern der Seitenzähne des I. und II. Quadranten:
Höckerspitze 13 – Höckerspitze 23: HS13-HS23, usw.: Tu13-Tu23, bHS14-bHS24, pHS14-pHS24, bHS15-buHS25, pHS15-pHS25, mbHS16-mbHS26, mpHS16-mpHS26, mbHS17-mbHS27, mpHS17-mpHS27 (Abbildung 2-19)
- Strecken zwischen den Sulci der Seitenzähne:
Sulcuspunkt 13 – Sulcuspunkt 23: Su13-Su23, usw.: Su14-Su24, Su15-Su25, Su16-Su26, Su17-Su27
- Strecken zwischen den palatinalen Höckern der ersten Prämolaren und den mesiopalatinalen Höckern der zweiten Molaren eines Quadranten:
pHS14-mpHS17, pHS24-mpHS27

Abstände zur Referenzebene (vertikale Messungen)

30 vertikale Strecken wurden in Millimetern (mm) je Modell gemessen.

Drei Abstände pro Zahn wurden vom OrthoAnalyzer jeweils von den zwei Punkten auf den Höckerspitzen und dem Sulcuspunkt der Zähne im rechten Winkel zur RefE gemessen. Diese wurden durch Strecken definiert, welche Teil einer Geraden waren, die im rechten Winkel die RefE kreuzte und durch einen der Punkte auf den Höckerspitzen der Zähne oder durch den Sulcuspunkt eines Zahnes verlief. Diese Messwerte wurden für die Berechnung des Kippungswinkels (siehe Abbildung 2-20) und zur Berechnung der Extrusion bzw. Intrusion (siehe Abbildung 2-22) der Seitenzähne herangezogen. Diese Berechnungen werden weiter unten erklärt.

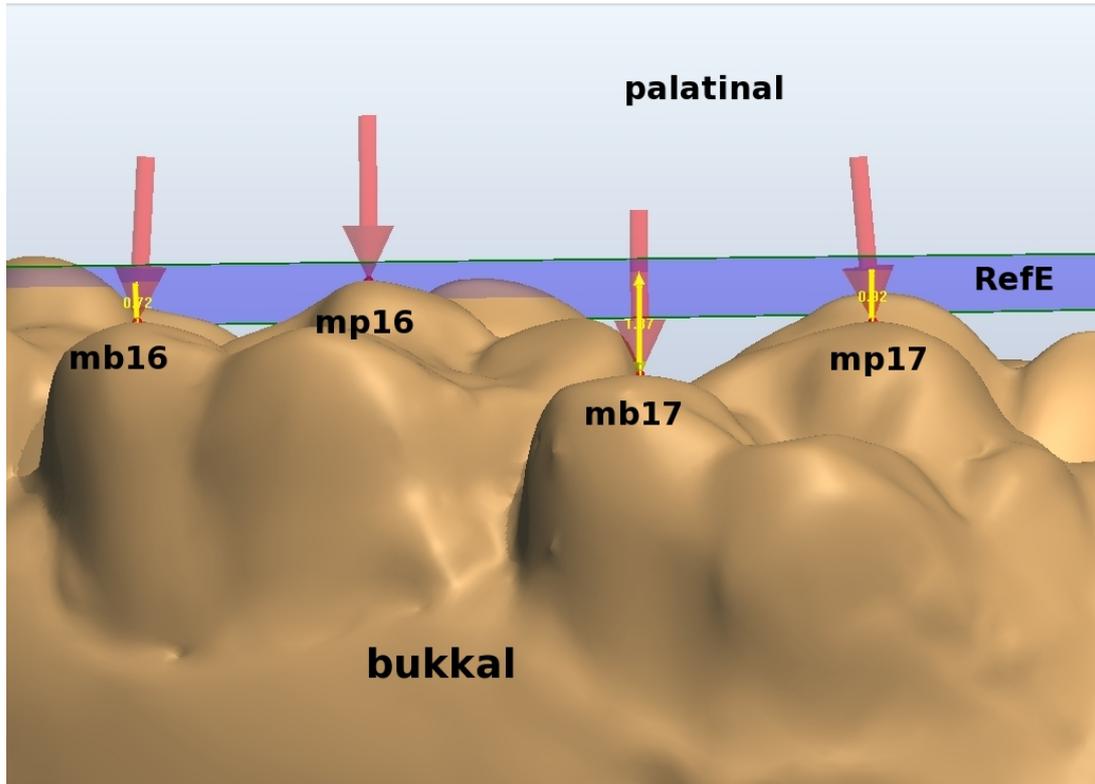


Abbildung 2-20: Vertikale Abstände zur RefE (Ansicht der Zähne 16, und 17 von bukkal); Messpunkte (rot) von links nach rechts: mb16, mp16, mb17, mp17, RefE (blau), senkrecht zur RefE gemessene abstände (gelb): mb16-RefE, mb17-RefE, mp16-RefE

Berechnen der Kippungswinkel der Seitenzähne

10 Winkel α (Alpha) wurden je Modell in Grad ($^{\circ}$) berechnet.

Der Kippungswinkel jedes Zahnes wurde über ein rechtwinkliges Dreieck berechnet, welches durch folgende Strecken definiert wurde:

- die Hypotenuse durch die Strecke zwischen den Höckerspitzen eines Zahnes
- die Ankathete durch die RefE
- die Gegenkathete durch den im rechten Winkel zur RefE gemessenen Abstand der bukkalen Höckerspitze eines Zahnes

(Abbildung 2-21).

Mit folgende Formel wurde der Winkel α berechnet:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{GK}{HYP} \right)$$

Es ergab sich für jeden Zahn ein Winkel α :

$\alpha_{13}, \alpha_{23}, \alpha_{14}, \alpha_{24}, \alpha_{15}, \alpha_{25}, \alpha_{16}, \alpha_{26}, \alpha_{17}, \alpha_{27}$

Bei allen Zähnen außer den ersten Molaren lagen die Punkte der palatinalen Höckerspitzen nicht auf der RefE. In diesen Fällen wurde eine Parallelverschiebung der RefE einzeln für jeden zu messenden Zahn um die Strecke bHS-RefE (Prämolaren) bzw. HS-RefE (Eckzähne) bzw. mbHS-RefE (zweite Molaren) durchgeführt, so dass sich der Punkt der palatinalen Höckerspitze des zu messenden Zahnes auf dieser parallel verschobenen Ebene befand. Entsprechend veränderte sich der Abstand der bukkalen Höckerspitze zur RefE (Strecke pHS-RefE bei den Prämolaren bzw. Tu-RefE bei den Eckzähnen bzw. mpHS-RefE bei den zweiten Molaren).

Für Winkel, die oberhalb der (gegebenenfalls verschobenen) RefE lagen, ergaben sich positive Werte, für Winkel, die unterhalb der (gegebenenfalls verschobenen) RefE lagen, ergaben sich negative Werte.

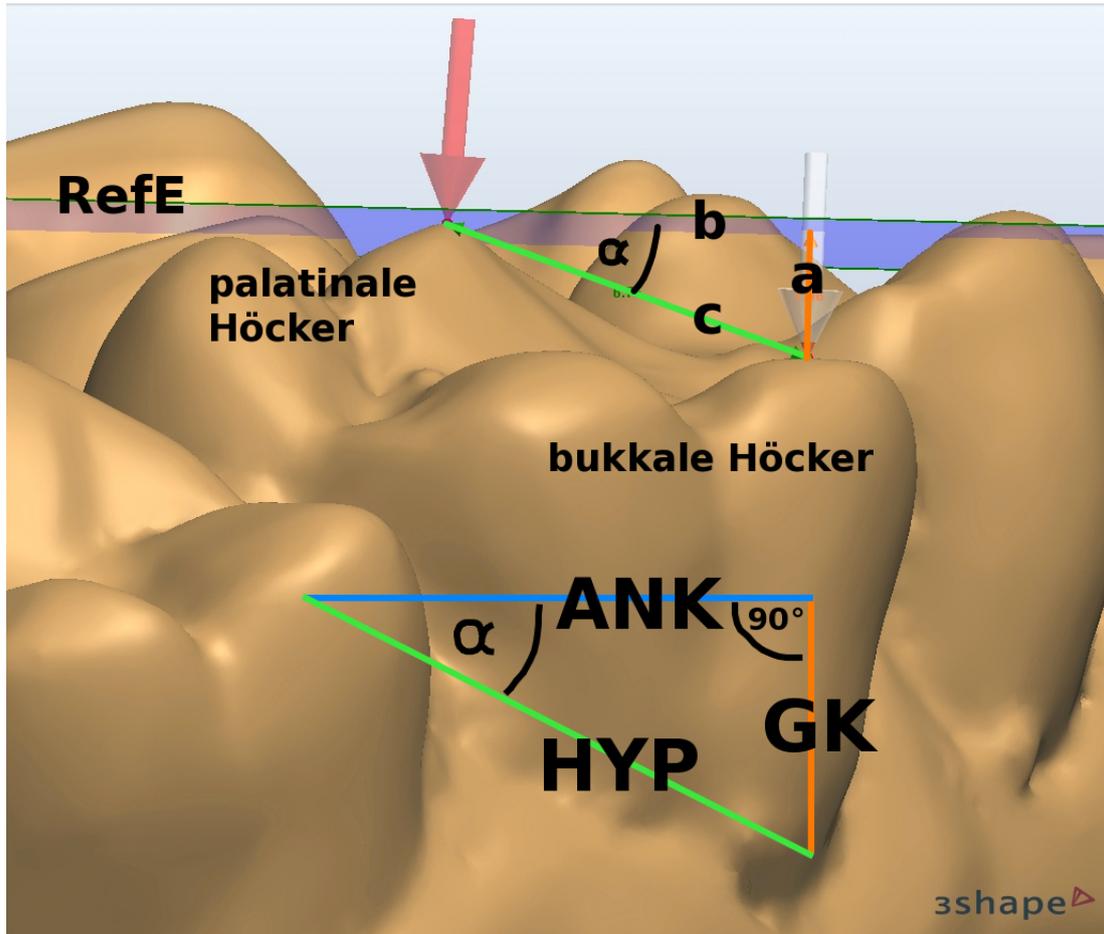


Abbildung 2-21: Kippungswinkel α (am Zahn 26); a bzw. GK=Gegenkathete (orange), c bzw. HYP=Hypotenuse (grün); b bzw. Ankathete (ANK) wird durch die RefE (blau) gebildet

Bei der Berechnung der Differenz der Winkel zwischen prätherapeutischem und posttherapeutischem Modell ergaben sich für die Kippung der Zähne nach bukkal negative Werte und für die Aufrichtung nach palatinal positive Werte.

Berechnen der Extrusion beziehungsweise Intrusion der Seitenzähne

10 vertikale Strecken wurden in Millimetern je Modell gemessen.

Um die Extrusion bzw. Intrusion der Seitenzähne zu berechnen, wurde der Abstand des Sulcuspunktes der Seitenzähne im rechten Winkel zur RefE gemessen (siehe Abbildung 2-22).

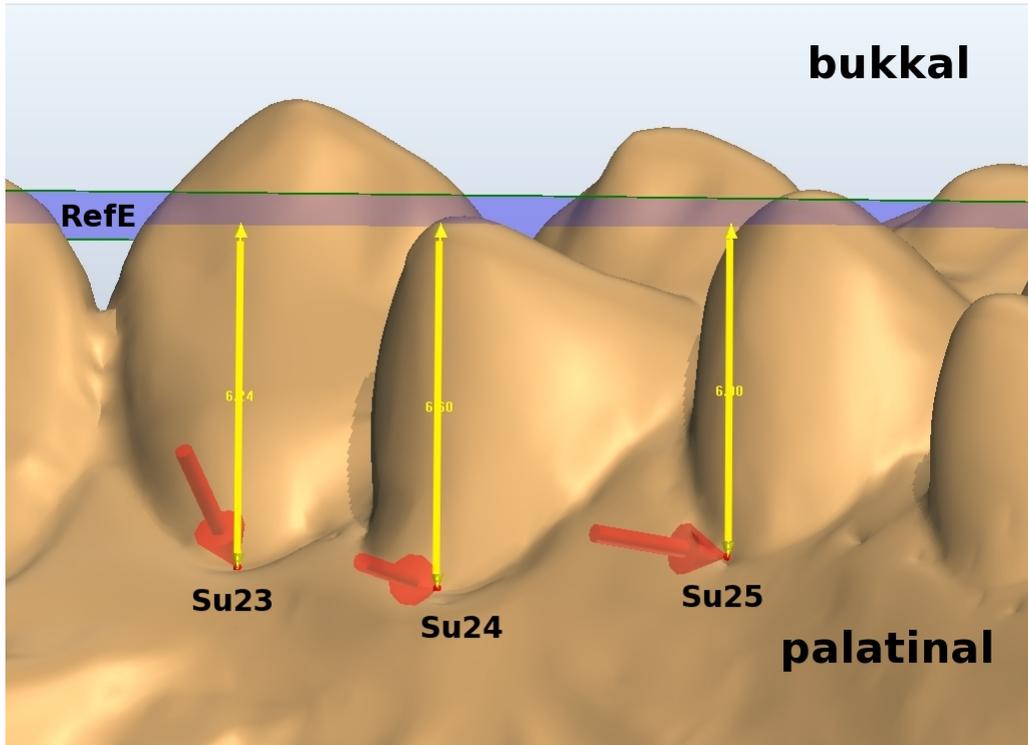


Abbildung 2-22: Messen der Extrusion/Intrusion ϵ mit Hilfe der Vertikalen Abstände zur RefE (Ansicht der Zähne 23, 24, 25 von palatinal); Messpunkte (rote Pfeile) von links nach rechts: Su23, Su24, Su25, RefE (blau), senkrecht zur RefE gemessene Abstände (gelb): Su23-RefE, Su24-RefE, Su25-RefE

Es ergab sich für jeden Zahn ein Extrusions- bzw. Intrusionswert ϵ (Epsilon):

ϵ_{13} , ϵ_{23} , ϵ_{14} , ϵ_{24} , ϵ_{15} , ϵ_{25} , ϵ_{16} , ϵ_{26} , ϵ_{17} , ϵ_{27}

Berechnen einer horizontalen Fläche zur quantitativen Bestimmung der transversalen Erweiterung

Eine trapezförmige Fläche wurde durch folgende vom OrthoAnalyzer generierte und gemessene Strecken aufgespannt:

- Die Begrenzung der Fläche nach bukkal bildete im ersten und zweiten Quadranten die Strecke zwischen den palatinalen Höckerspitzen des ersten Prämolaren und den mesiopalatinalen Höckerspitzen des zweiten Molaren (pHS14-mpHS17, pHS24-mpHS27).
- Die Begrenzung nach mesial stellte die Verbindungsstrecke zwischen den palatinalen Höckerspitzen der ersten Prämolaren dar (pHS14-pHS24).

- Die Begrenzung nach distal stellte die Verbindungsstrecke zwischen den mesiopalatalen Höckerspitzen der zweiten Molaren dar (mpHS17-mpHS27).

Über den Umfang, der durch Addition dieser vier Strecken (pHS14-mpHS17, pHS24-mpHS27, pHS14-pHS24, mpHS17-mpHS27) berechnet wurde, konnte mit folgender Formel der Flächeninhalt in Quadratzentimetern (cm²) berechnet werden:

$$\pi \times \left(\frac{\text{Umfang}}{2\pi} \right)^2$$

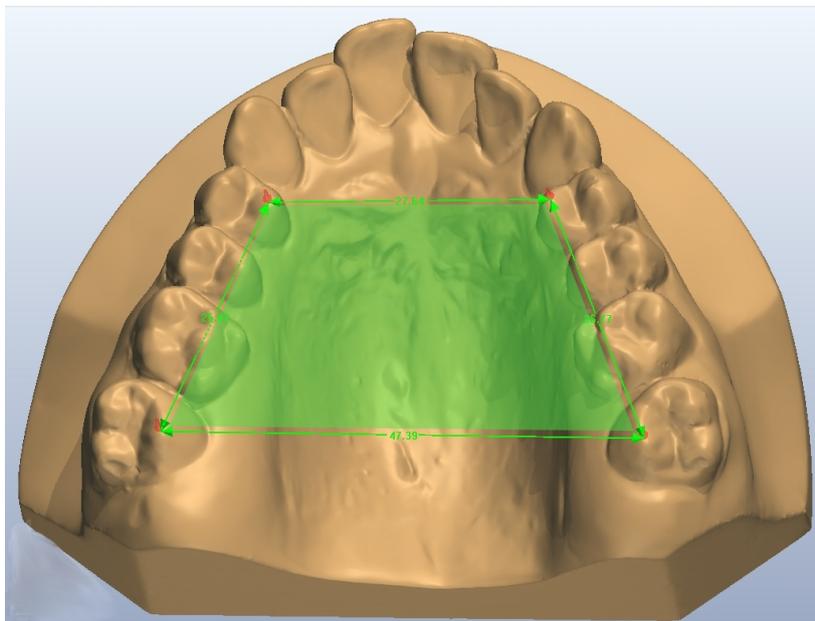


Abbildung 2-23: Horizontale Fläche im Bereich der Höckerspitzen der Prämolaren und Molaren: F-pHS14-pHS24-mpHS27-mpHS17-pHS14; im Bild grün markiert

2.6.6 Übersicht der durchgeführten Messungen

Zur Übersicht werden in Tabelle 2-3 alle im Kapitel 2.6.5 beschriebenen Zusammenhänge zwischen den Messpunkten, den daraus resultierenden Strecken bzw. Flächen und den daraus resultierenden Messungen aufgeführt.

Tabelle 2-3: Messpunkte, resultierende Strecken bzw. Flächen, resultierende Messungen

Messpunkte	Resultierende Strecken/Flächen	Resultierende Messungen
HS13, HS23; bHS14, bHS24; bHS15, bHS25; mbHS16, mbHS26; mbHS17, mbHS27	Abstände zwischen den bukkalen Höckerspitzen	Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen
Tu13, Tu23; pHS14, pHS24; pHS15, pHS25; mpHS16, mpHS26; mpHS17, mpHS27	Abstände zwischen den palatinalen Höckerspitzen	Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen
Su13, Su23; Su14, Su24; Su15, Su25; Su16, Su26; Su17, Su27	Abstände zwischen den Sulci	Erweiterung im Bereich der Sulci
pHS14, pHS24, mbHS17, mbHS27;	Trapez zwischen den Zähnen 14,24,17,27	Flächenzunahme
RefE; Landmarken der Höckerspitzen	Abstände der HS zur RefE	Winkel α /Betrag der Kippung gemessen zur RefE
RefE; Messpunkte der Sulci	Abstände der Sulcuspunkte zur RefE	Extrusion/Intrusion ϵ

2.6.7 Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte mit der Software IBM®, SPSS®, Statistics Version 20.0 für Windows (IBM Deutschland GmbH, Ehningen, Deutschland).

Die Auswertung wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test durchgeführt, einer verteilungsunabhängigen, non-parametrischen Analyse. Die Analyse beinhaltete den therapeutischen Effekt zwischen den Patienten, die mit einem TPD behandelt wurden (TPD-Gruppe) und den Patienten, die mit einer Hyrax-Aparatur behandelt

wurden (Hyrax-Gruppe). Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ definiert.

2.6.8 Ermittlung des Methodenfehlers

Zur Ermittlung des Methodenfehlers wurden im Abstand von zwei Wochen zehn zufällig ausgewählte 3D-Datensätze erneut vermessen und der Messunterschied mit dem Methodenfehler nach DAHLBERG [50] untersucht:

$$\text{Methodenfehler} = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$$

d = Differenz zwischen erster und zweiter Messung

n = Anzahl der doppelt vermessenen Modelle

Dieser sollte möglichst klein ausfallen.

3 Ergebnisse

3.1 Fehleranalyse mit dem Methodenfehler nach Dahlberg

Für die Distanzmessungen betrug der Methodenfehler im Durchschnitt 0,05 mm, für die Winkelmessungen $0,14^\circ$ und für die Flächenmessung $0,02 \text{ cm}^2$. Zwischen den Messungen differierten die Werte aller Variablen um maximal 0,52 mm bzw. $0,7^\circ$, bzw. $0,004 \text{ cm}^2$.

3.2 Messungen der transversalen Erweiterung im Bereich der Seitenzähne

3.2.1 Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen

TPD-Gruppe

In der TPD-Gruppe vergrößerte sich im Bereich der bukkalen Höckerspitzen der Abstand zwischen allen Zähnen signifikant (siehe Tabelle 3-1). Die größte Erweiterung fand im Bereich der ersten Prämolaren mit 4,86 mm (SD 2,81) statt. Ähnliche Werte konnten im Bereich der zweiten Prämolaren und ersten Molaren gemessen werden. An den Eckzähnen und zweiten Molaren wurde eine etwas geringere Erweiterung gemessen.

Tabelle 3-1 Messwerte TPD Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung; Mittelwert (SD) in [mm]

Zahnpaar	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert	Prozent (SD)
3er	TPD (15)	32,40 (2,94)	36,04 (3,19)	3,64 (2,29)	0,006**	11,23 (7,07)
4er	TPD (16)	37,97 (3,57)	42,84 (3,54)	4,86 (2,81)	0,001**	12,80 (7,40)
5er	TPD (14)	43,68 (3,54)	48,29 (3,27)	4,61 (2,15)	0,001**	10,55 (4,92)
6er	TPD (16)	48,62 (3,80)	53,24 (3,77)	4,62 (1,48)	0,002**	9,50 (3,04)
7er	TPD (16)	55,09 (3,76)	58,75 (3,61)	3,66 (1,38)	0,015*	6,64 (2,50)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Hyrax-Gruppe

In der Hyrax-Gruppe nahm zwischen allen Seitenzähnen die Distanz im Bereich der bukkalen Höckerspitzen signifikant zu (siehe Tabelle 3-2). Die größte Erweiterung erfolgte hier zwischen den zweiten Prämolaren mit 8,28 mm (SD 2,25). Die Beträge der Erweiterung an den ersten Prämolaren und ersten und zweiten Molaren waren etwas geringer. Der kleinste Betrag der Erweiterung wurde an den Eckzähnen mit 4,83 mm (SD 1,89) gemessen.

Tabelle 3-2 Messwerte Hyrax Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]

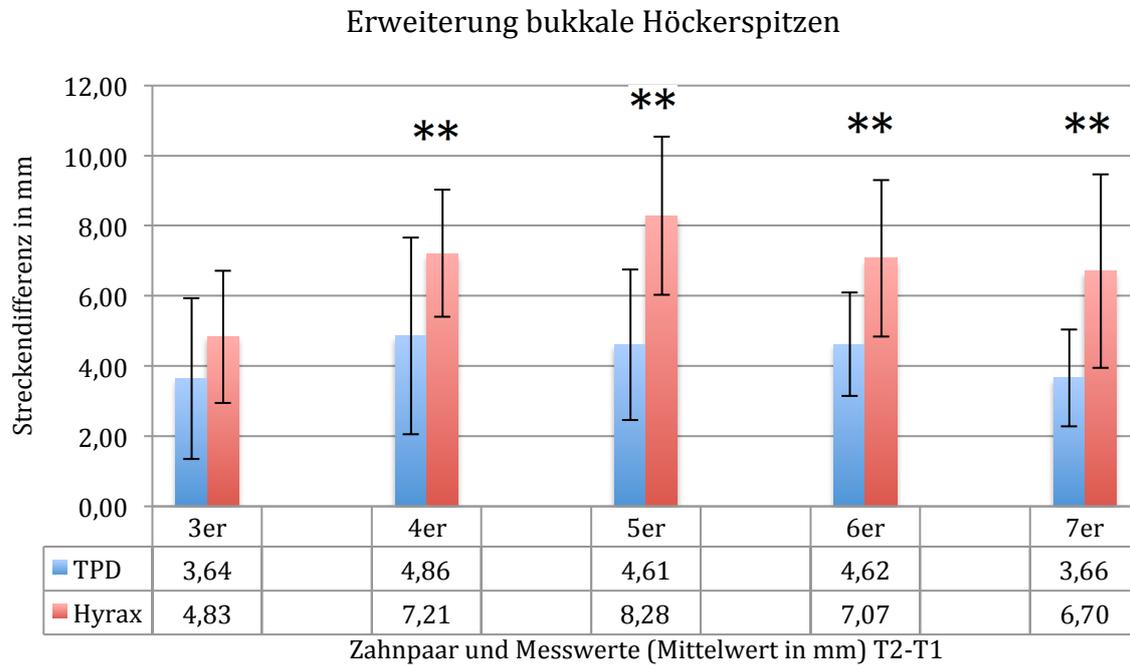
Zahnpaar	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert	Prozent (SD)
3er	Hyrax (12)	28,74 (3,67)	33,57 (3,96)	4,83 (1,89)	0,006**	16,81 (6,58)
4er	Hyrax(12)	35,44 (3,19)	42,65 (3,20)	7,21 (1,81)	0,001**	20,34 (5,10)
5er	Hyrax (6)	40,55 (2,17)	48,83 (3,98)	8,28 (2,25)	0,001**	20,42 (5,55)
6er	Hyrax (12)	44,39 (3,25)	51,47 (3,85)	7,07 (2,23)	0,002**	15,93 (5,02)
7er	Hyrax (12)	52,74 (5,30)	59,45 (5,67)	6,70 (2,76)	0,015*	12,70 (5,23)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe

Im Bereich der bukkalen Höckerspitzen fand mit Ausnahme der Eckzähne an allen Seitenzähnen in der Hyrax-Gruppe eine signifikant größere transversale Erweiterung statt als in der TPD-Gruppe (siehe Diagramm 3-1). Am größten war der Unterschied der Aufdehnung an den zweiten Prämolaren.

Diagramm 3-1: Vergleich der Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; ** = $p < 0,01$



3.2.2 Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen

TPD-Gruppe

Auch im Bereich der palatinalen Höckerspitzen konnte in der TPD-Gruppe an allen Seitenzähnen eine deutliche Distanzzunahme beobachtet werden (siehe Tabelle 3-3). Der Betrag der Zunahme war im Bereich der ersten Molaren mit 4,82 mm (SD 2,84) am größten. Ähnliche Werte wurden an den ersten und zweiten Prämolaren gemessen. Am geringsten fiel die Erweiterung an den zweiten Molaren mit 3,25 mm (SD 1,50) aus.

Tabelle 3-3 Messwerte TPD Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]

Zahnpaar	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert	Prozent (SD)
3er	TPD (15)	25,45 (2,38)	29,48 (3,12)	4,02 (2,06)	0,001**	15,80 (8,09)
4er	TPD (16)	28,30 (3,09)	33,08 (3,07)	4,78 (2,64)	>0,000***	16,89 (9,33)
5er	TPD (14)	33,47 (3,22)	38,02 (3,09)	4,55 (1,99)	>0,000***	13,59 (5,95)
6er	TPD (16)	37,74 (3,20)	42,55 (3,73)	4,82 (2,84)	>0,000***	12,77 (7,53)
7er	TPD (16)	44,40 (3,54)	47,66 (3,60)	3,25 (1,50)	0,026*	7,32 (3,38)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Hyrax-Gruppe

Innerhalb der Hyrax-Gruppe fand ebenfalls an allen Seitenzähnen eine signifikante transversale Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen statt (siehe Tabelle 3-4). Am größten stellte sich diese an den zweiten Prämolaren mit 8,22 mm (SD 2,19) dar. Eine etwas geringere Aufdehnung fand an den ersten Prämolaren und Molaren statt. An den Eckzähnen war der Betrag der Erweiterung mit 4,96 mm (SD 1,91) am geringsten.

Tabelle 3-4 Messwerte Hyrax Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]

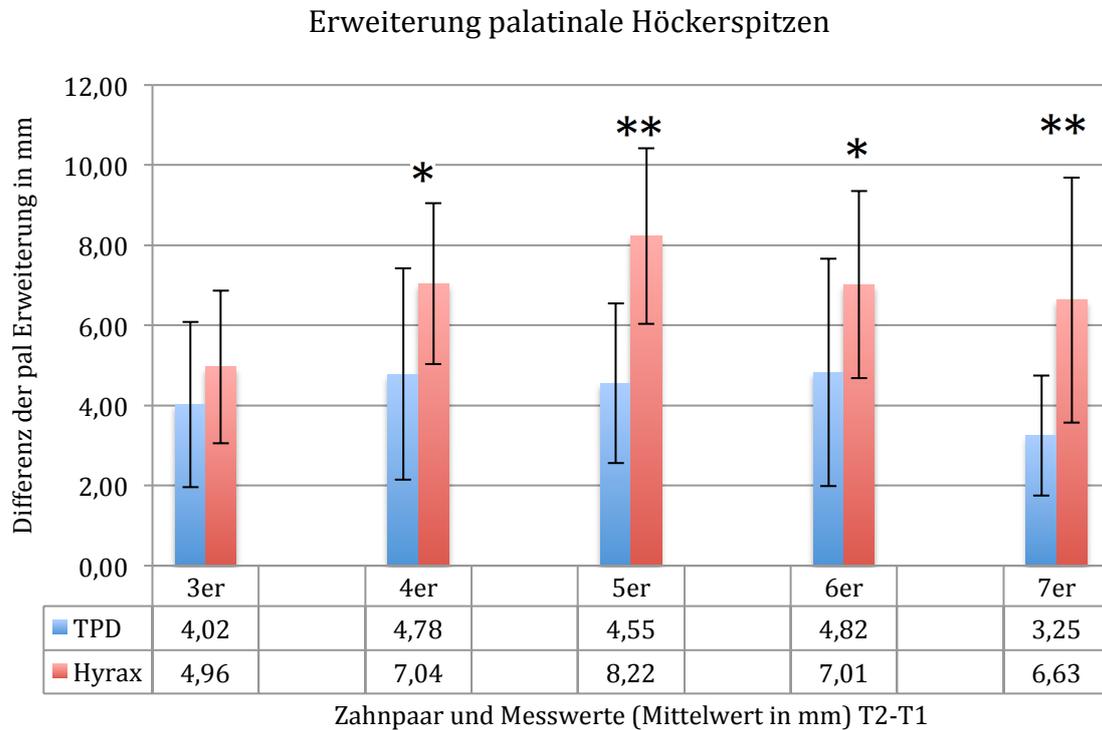
Zahnpaar	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert	Prozent (SD)
3er	Hyrax (12)	23,27 (2,88)	28,23 (2,99)	4,96 (1,91)	>0,000***	21,31 (8,21)
4er	Hyrax(12)	26,16 (2,51)	33,21 (2,80)	7,04 (2,01)	>0,000***	26,91 (7,68)
5er	Hyrax (6)	30,96 (2,65)	39,18 (4,33)	8,22 (2,19)	0,015*	26,55 (7,07)
6er	Hyrax (12)	34,79 (3,66)	41,80 (4,19)	7,01 (2,33)	>0,000***	20,15 (6,70)
7er	Hyrax (12)	42,82 (5,72)	49,44 (6,40)	6,63 (3,06)	0,012*	15,48 (7,15)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe

Der Betrag der transversalen Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen in der TPD-Gruppe erwies sich als signifikant geringer als in der Hyrax-Gruppe (siehe Diagramm 3-2). Der größte Unterschied war hier im Durchschnitt ebenfalls im Bereich der zweiten Prämolaren festzustellen.

Diagramm 3-2: Vergleich der Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$



3.2.3 Erweiterung im Bereich der Sulci

TPD-Gruppe

In der TPD-Gruppe fand an allen Seitenzähnen außer den zweiten Molaren im Bereich der Sulci eine signifikante Streckenzunahme statt (siehe Tabelle 3-5). Die stärkste Aufdehnung war im Bereich der ersten Prämolaren mit 4,56 mm (SD 2,27) zu beobachten. Im Verhältnis zur Ausgangsbreite des Zahnbogens wurde dieser im Bereich der Eckzähne mit 19,72 % (SD 9,84) am meisten erweitert. Prozentual nahm die Erweiterung von den Eckzähnen bis zu den zweiten Molaren hin kontinuierlich ab. Im Bereich der zweiten Molaren fand eine Aufweitung um 7,14 % (SD 3,12) statt.

Tabelle 3-5: Messwerte TPD Erweiterung im Bereich der Sulci; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]

Zahnpaar	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	P-Wert	Prozent (SD)
3er	TPD (15)	22,47 (2,14)	26,91 (2,68)	4,43 (2,21)	>0,000***	19,72 (9,84)
4er	TPD (16)	24,85 (2,79)	29,41 (2,88)	4,56 (2,27)	>0,000***	18,35 (9,13)
5er	TPD (14)	29,86 (3,13)	34,05 (3,08)	4,18 (1,77)	0,001**	13,10 (5,93)
6er	TPD (16)	32,29 (2,91)	35,83 (3,37)	3,53 (1,83)	0,003**	10,93 (5,67)
7er	TPD (16)	38,09 (3,35)	40,81 (3,84)	2,72 (1,19)	0,086 n.s.	7,14 (3,12)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

HyraX-Gruppe

An allen Seitenzähnen der Hyrax-Gruppe war eine signifikante Erweiterung im Bereich der Sulci festzustellen (siehe Tabelle 3-6). Das Maximum der Aufdehnung erfolgte hier zwischen den zweiten Prämolaren mit 7,09 mm (SD 1,78). Prozentual fand die größte Erweiterung im Bereich der Sulci der ersten Prämolaren mit durchschnittlich 26,34 % (SD 7,20) statt. Die prozentual geringste Aufdehnung erfolgte im Bereich der zweiten Molaren mit 16,82 % (SD 7,61).

Tabelle 3-6 Messwerte Hyrax Erweiterung im Bereich der Sulci; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]

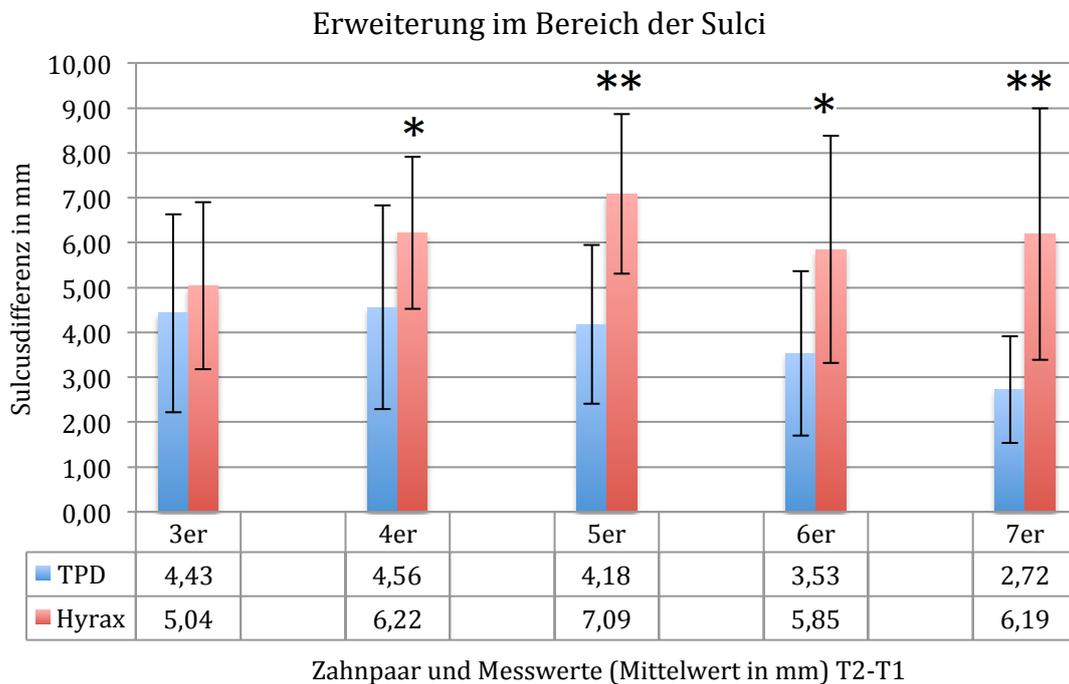
Zahnpaar	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert	Prozent (SD)
3er	Hyrax (12)	20,75 (2,37)	25,78 (2,69)	5,04 (1,86)	>0,000***	24,29 (8,96)
4er	Hyrax (12)	23,60 (2,31)	29,83 (2,49)	6,22 (1,70)	>0,000***	26,34 (7,20)
5er	Hyrax (6)	28,04 (1,99)	35,13 (3,05)	7,09 (1,78)	0,002**	25,28 (6,35)
6er	Hyrax (12)	29,83 (3,48)	35,68 (3,87)	5,85 (2,53)	0,001**	19,61 (8,48)
7er	Hyrax (12)	36,81 (5,81)	43,00 (6,11)	6,19 (2,80)	0,020*	16,82 (7,61)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe

Im Bereich der Sulci war an allen Seitenzähnen außer den Eckzähnen der Betrag der transversalen Erweiterung in der TPD-Gruppe signifikant geringer als in der Hyrax-Gruppe (siehe Diagramm 3-3). Am meisten differierte die Aufdehnung im Bereich der zweiten Molaren.

Diagramm 3-3: Vergleich der Erweiterung im Bereich der Sulci von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$



3.2.4 Flächenzunahme im Bereich der Höckerspitzen zwischen den ersten Prämolaren und zweiten Molaren

TPD-Gruppe

Es fand in der TPD-Gruppe eine signifikante Zunahme des Flächeninhalts auf Höhe der Höckerspitzen im Bereich zwischen den ersten Prämolaren und zweiten Molaren statt (siehe Tabelle 3-7).

Tabelle 3-7: Messwerte TPD Flächenzunahme im Bereich der Höckerspitzen; Flächeninhalt, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Flächeninhalt prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=Zunahme Flächeninhalt, Mittelwert (SD) in [cm²]

Flächeninhalt	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	P-Wert	Prozent (SD)
4er-7er	TPD (16)	12,20 (1,79)	13,75 (1,78)	1,54 (0,66)	0,032*	12,62 (5,41)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Hyrax-Gruppe

Der Flächeninhalt in der Hyrax-Gruppe im Bereich der Höckerspitzen zwischen den ersten Prämolaren und zweiten Molaren nahm ebenfalls signifikant zu (siehe Tabelle 3-8).

Tabelle 3-8: Messwerte Hyrax Flächenzunahme im Bereich der Höckerspitzen; Flächeninhalt, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Flächeninhalt prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=Zunahme Flächeninhalt, Mittelwert (SD) in [cm²]

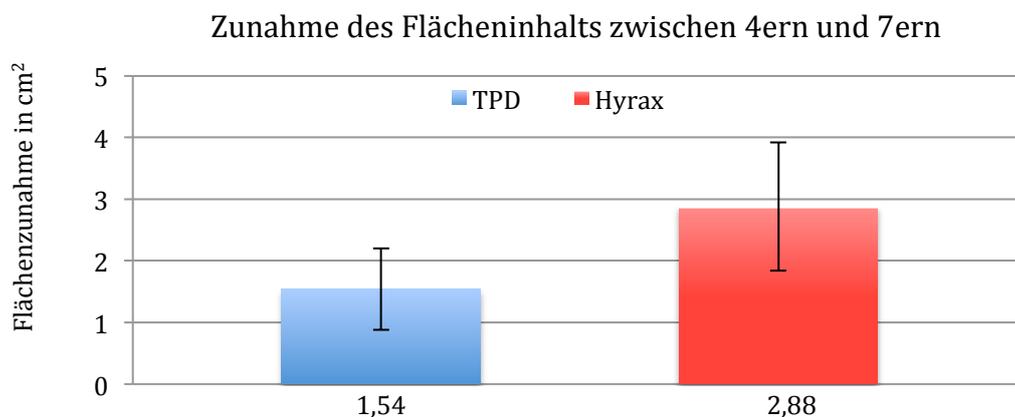
Flächeninhalt	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	P-Wert	Prozent (SD)
4er-7er	Hyrax (12)	10,43 (1,99)	13,31 (2,48)	2,88 (1,04)	0,010*	27,61 (9,97)

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe

Der Flächeninhalt wuchs in der TPD-Gruppe im Vergleich zur Hyrax-Gruppe signifikant weniger (siehe Diagramm 3-4). Im Durchschnitt entsprach dies einer um 14,99 % (SD 4,56) geringeren Flächenzunahme in der TPD-Gruppe gegenüber der Hyrax-Gruppe.

Diagramm 3-4: Zunahme des Flächeninhalts im Bereich der Höckerspitzen zwischen den ersten Molaren und zweiten Prämolaren in der TPD-Gruppe und der Hyrax-Gruppe (Mittelwerte in cm²)



3.2.5 Zusammenfassung Ergebnisse transversale Erweiterung

Sowohl in der TPD-Gruppe als auch in der Hyrax-Gruppe wurden die Abstände zwischen den Seitenzähnen des ersten und zweiten Quadranten vergrößert. Es fand eine Zunahme des Flächeninhalts im Bereich der Höckerspitzen zwischen den ersten Prämolaren und zweiten Molaren statt. Daraus ist ersichtlich, dass eine deutliche Aufdehnung der beiden Kieferhälften stattfand.

Die in transversaler Richtung gemessenen Strecken zwischen den Seitenzähnen des ersten und zweiten Quadranten erfuhren in der TPD-Gruppe eine geringere Zunahme als in der Hyrax Gruppe. Auch die Fläche zwischen den ersten Prämolaren und zweiten Molaren vergrößerte sich in der TPD-Gruppe in geringerem Maße als in der Hyrax-Gruppe.

Die Messwerte aus den transversalen Berechnungen im Bereich der Seitenzähne zeigen, dass sowohl in der TPD-Gruppe als auch in der Hyrax-Gruppe eine signifikante Aufdehnung der Kieferhälften stattfand, sich diese jedoch in der Hyrax-Gruppe größer darstellte als in der TPD-Gruppe.

3.3 Vertikale Messungen

3.3.1 Betrag der Kippung gemessen zur Referenzebene (Kippungswinkel)

Bei der Betrachtung der Kippungswinkel ist zu beachten, dass negative T2-T1-Werte eine Kippung nach bukkal bedeuten, wohingegen positive Werte für eine Aufrichtung nach palatinal stehen.

TPD-Gruppe

Im Vergleich zwischen den prätherapeutischen und posttherapeutischen Messungen der TPD-Gruppe ergab sich keine signifikante Zunahme des Kippungswinkels der einzelnen Seitenzähne (siehe Tabelle 3-9). Der Zahn 24 wurde im Durchschnitt um $0,17^\circ$ (SD 3,52) leicht aufgerichtet. Bei allen anderen Seitenzähnen lag im Durchschnitt eine Tendenz zur Kippung nach bukkal vor.

Es lag ein Seitenunterschied bei der Kippung der einzelnen Zahnpaare vor. So nahm der Kippungswinkel der rechten Seitenzähne in der TPD-Gruppe mehr zu als auf der linken Seite. Der Zahn 13 kippte hingegen weniger stark als der Zahn 23 (Siehe Abbildung 3-1).

Tabelle 3-9: Messwerte Kippungswinkel α TPD-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Winkel prä-OP, T2=Winkel post-OP, T2-T1=Winkeldifferenz, Mittelwert (SD) in [°]; negative Winkeldifferenz bedeutet Kippung der Zähne nach bukkal, positive Winkeldifferenz bedeutet Aufrichtung nach palatinal

Zahn	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert
13	TPD (15)	36,85 (8,29)	36,27 (7,77)	-0,57 (5,20)	0,683 n.s.
23	TPD (15)	35,18 (6,09)	34,07 (6,13)	-1,12 (4,89)	0,567 n.s.
14	TPD (16)	8,92 (9,06)	7,76 (7,53)	-1,17 (6,00)	0,724 n.s.
24	TPD (16)	3,63 (7,26)	3,81 (6,88)	0,17 (3,52)	0,956 n.s.
15	TPD (14)	0,34 (4,81)	-0,99 (6,07)	-1,33 (3,76)	0,734 n.s.
25	TPD (14)	-0,92 (7,12)	-2,00 (7,88)	-1,08 (4,15)	0,635 n.s.
16	TPD (16)	-4,62 (6,50)	-6,09 (6,19)	-1,47 (4,25)	0,491 n.s.
26	TPD (16)	-7,30 (5,61)	-8,03 (5,25)	-0,73 (4,07)	0,590 n.s.
17	TPD (16)	-7,91 (4,82)	-10,10 (6,34)	-2,22 (3,62)	0,381 n.s.
27	TPD (16)	-8,21 (6,70)	-8,29 (5,83)	-0,08 (3,02)	0,926 n.s.

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

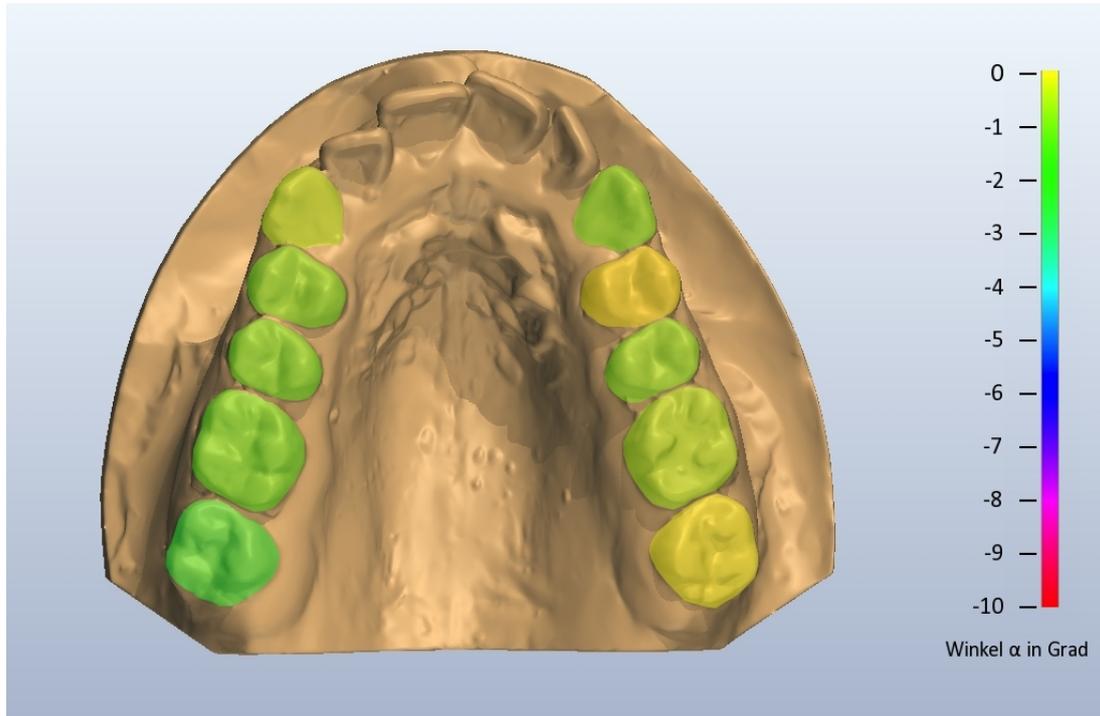


Abbildung 3-1: Farbliche Darstellung der Kippung der Seitenzähne in der TPD-Gruppe; Skala im Bild rechts: Winkel α in Grad

Hyrax-Gruppe

Außer am Zahn 25 ergaben die Messungen innerhalb der Hyrax-Gruppe zwischen prä- und posttherapeutischen Modellen keine signifikante Zunahme des Kippungswinkels (siehe Tabelle 3-10). Der Zahn 25 kippte um $9,18^\circ$ (SD 7,36) nach bukkal. Eine Tendenz zur Kippung nach bukkal war im Durchschnitt bei allen Seitenzähnen zu beobachten.

In der Hyrax-Gruppe gab es Seitendifferenzen an den Eckzähnen, zweiten Prämolaren und zweiten Molaren: Die linken Eckzähne kippten stärker nach bukkal als die rechten Eckzähne, die zweiten rechten Prämolaren weniger stark als die linken und die rechten zweiten Molaren stärker als die linken (siehe Abbildung 3-2).

Tabelle 3-10: Messwerte Kippungswinkel α Hyrax-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Winkel prä-OP, T2=Winkel post-OP, T2-T1=Winkeldifferenz, Mittelwert (SD) in [°]; negative Winkeldifferenz bedeutet Kippung der Zähne nach bukkal, positive Winkeldifferenz bedeutet Aufrichtung nach palatinal

Zahn	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert
13	Hyrax (12)	41,03 (7,47)	39,69 (8,01)	-1,42 (6,63)	0,671 n.s.
23	Hyrax (12)	45,24 (6,00)	41,84 (6,38)	-3,59 (4,92)	0,160 n.s.
14	Hyrax (12)	10,04 (9,35)	6,13 (10,19)	-3,90 (5,05)	0,143 n.s.
24	Hyrax (12)	10,90 (7,20)	6,69 (8,37)	-4,21 (5,23)	0,114 n.s.
15	Hyrax (7)	4,75 (6,76)	-2,47 (12,01)	-7,22 (6,01)	0,259 n.s.
25	Hyrax (6)	7,56 (4,05)	-1,62 (6,31)	-9,18 (7,36)	0,015 *
16	Hyrax (12)	-4,29 (6,33)	-9,02 (6,33)	-4,73 (5,08)	0,101 n.s.
26	Hyrax (12)	-1,48 (6,89)	-5,55 (9,65)	-4,07 (4,33)	0,198 n.s.
17	Hyrax (12)	-6,40 (5,26)	-11,70 (6,19)	-5,30 (5,30)	0,078 n.s.
27	Hyrax (12)	-6,03 (7,27)	-9,24 (6,35)	-3,21 (4,90)	0,291 n.s.

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

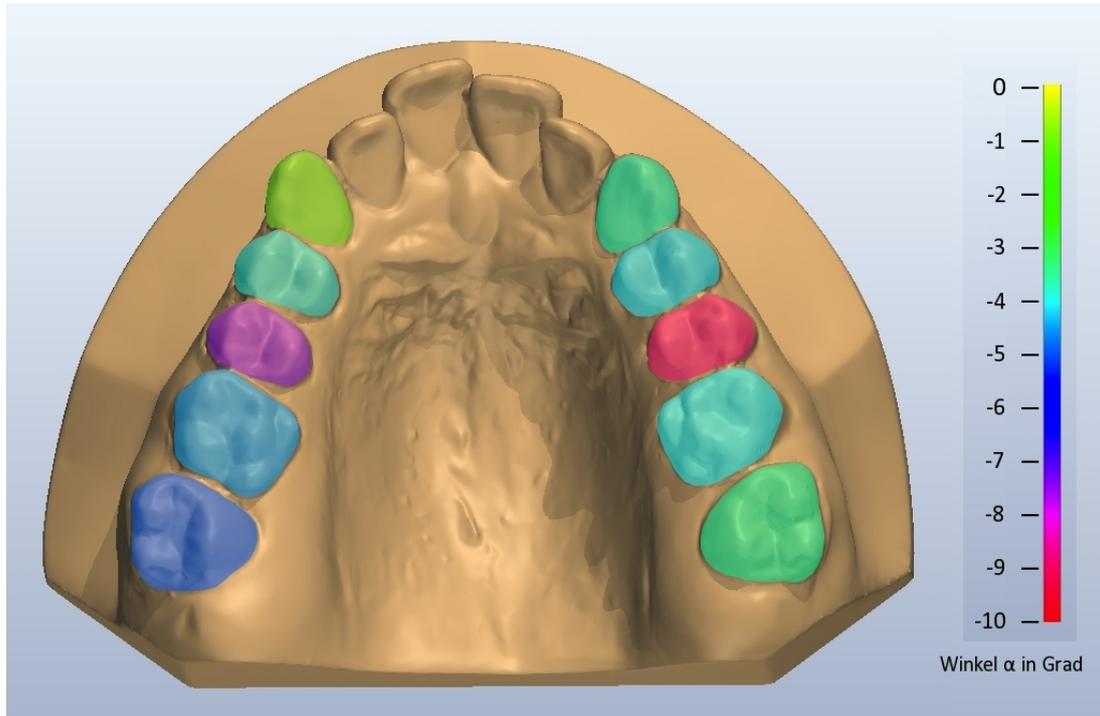


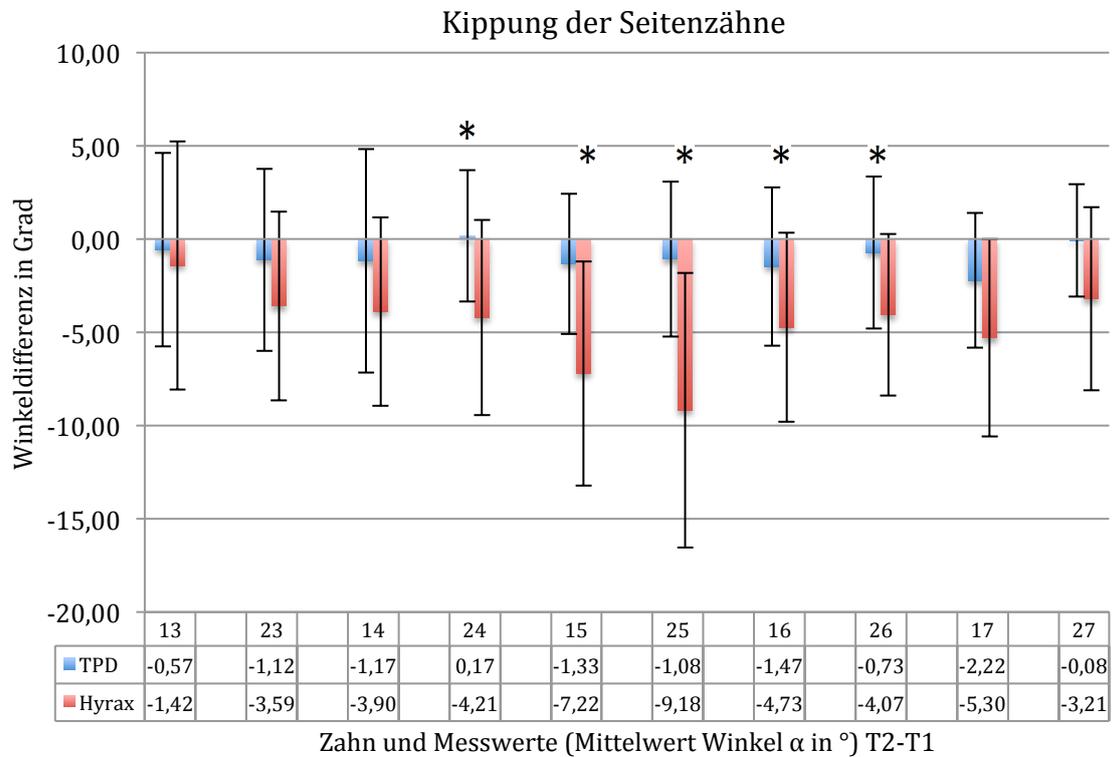
Abbildung 3-2: Farbliche Darstellung der Kippung der Seitenzähne in der Hyrax-Gruppe; Skala im Bild rechts: Winkel α in Grad

Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe

Der zur RefE gemessene Kippungswinkel der Seitenzähne nahm in der TPD-Gruppe an den Zähnen 24, 15, 25, 16 und 26 signifikant weniger zu als in der Hyrax-Gruppe (siehe Diagramm 3-5).

Der Zahn 24 kippte in der Hyrax-Gruppe um $4,38^\circ$ (SD 1,71), der Zahn 16 um $3,26^\circ$ (SD 0,83) und der Zahn 26 um $3,34^\circ$ (SD 0,26) mehr nach bukkal als in der TPD-Gruppe. Am größten war der Unterschied an den zweiten Prämolaren. Der Zahn 15 kippte in der Hyrax-Gruppe um $5,89^\circ$ (SD 2,25) mehr nach bukkal als in der TPD-Gruppe. Am Zahn 25 betrug der Unterschied $8,10^\circ$ (SD 3,21).

Diagramm 3-5: Kippungswinkel α im Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; negative Winkeldifferenz bedeutet Kippung der Zähne nach bukkal, positive Winkeldifferenz bedeutet Aufrichtung nach palatinal; * = $p < 0,05$



3.3.2 Extrusion bzw. Intrusion der Zähne

TPD-Gruppe

Im Vergleich zwischen prä- und posttherapeutischen Messungen fand innerhalb der TPD-Gruppe keine signifikante Extrusion bzw. Intrusion der Seitenzähne statt (siehe Tabelle 3-11). Im Durchschnitt wurden die Molaren leicht intrudiert, die Eckzähne und Prämolaren weder extrudiert noch intrudiert.

Tabelle 3-11: Messwerte Extrusion/Intrusion ε TPD-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=prä-OP, T2=post-OP, T2-T1=Differenz, Mittelwert (SD) in [mm]; negative Werte zeigen eine Intrusion, positive Werte eine Extrusion

Zahn	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert
13	TPD (15)	4,89 (0,85)	4,84 (0,78)	-0,05 (0,58)	0,567 n.s.
23	TPD (15)	4,97 (0,71)	5,03 (0,68)	0,06 (0,89)	1,000 n.s.
14	TPD (16)	5,12 (0,90)	5,03 (0,86)	-0,09 (0,56)	0,809 n.s.
24	TPD (16)	5,05 (1,00)	5,03 (0,96)	-0,02 (0,81)	0,669 n.s.
15	TPD (14)	4,54 (0,94)	4,46 (0,91)	-0,08 (0,90)	0,352 n.s.
25	TPD (14)	5,02 (0,81)	5,02 (0,94)	0,01 (1,01)	0,701 n.s.
16	TPD (16)	4,97 (1,16)	4,66 (1,16)	-0,30 (0,91)	0,780 n.s.
26	TPD (16)	5,10 (1,08)	4,46 (1,26)	-0,64 (0,84)	0,515 n.s.
17	TPD (16)	4,78 (1,39)	4,11 (1,43)	-0,67 (0,69)	0,128 n.s.
27	TPD (16)	5,27 (1,67)	4,40 (1,70)	-0,81 (1,02)	0,160 n.s.

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

HyraX-Gruppe

Innerhalb der Hyrax-Gruppe fand nur am Zahn 26 eine signifikante Intrusion statt (siehe Tabelle 3-12). Der Zahn 26 wurde im Durchschnitt um 1,21 mm (SD 0,97) intrudiert. Alle anderen Seitenzähne wurden im Durchschnitt leicht intrudiert.

Tabelle 3-12: Messwerte Extrusion/Intrusion ϵ Hyrax-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=prä-OP, T2=post-OP, T2-T1=Differenz, Mittelwert (SD) in [mm]; negative Werte zeigen eine Intrusion, positive Werte eine Extrusion

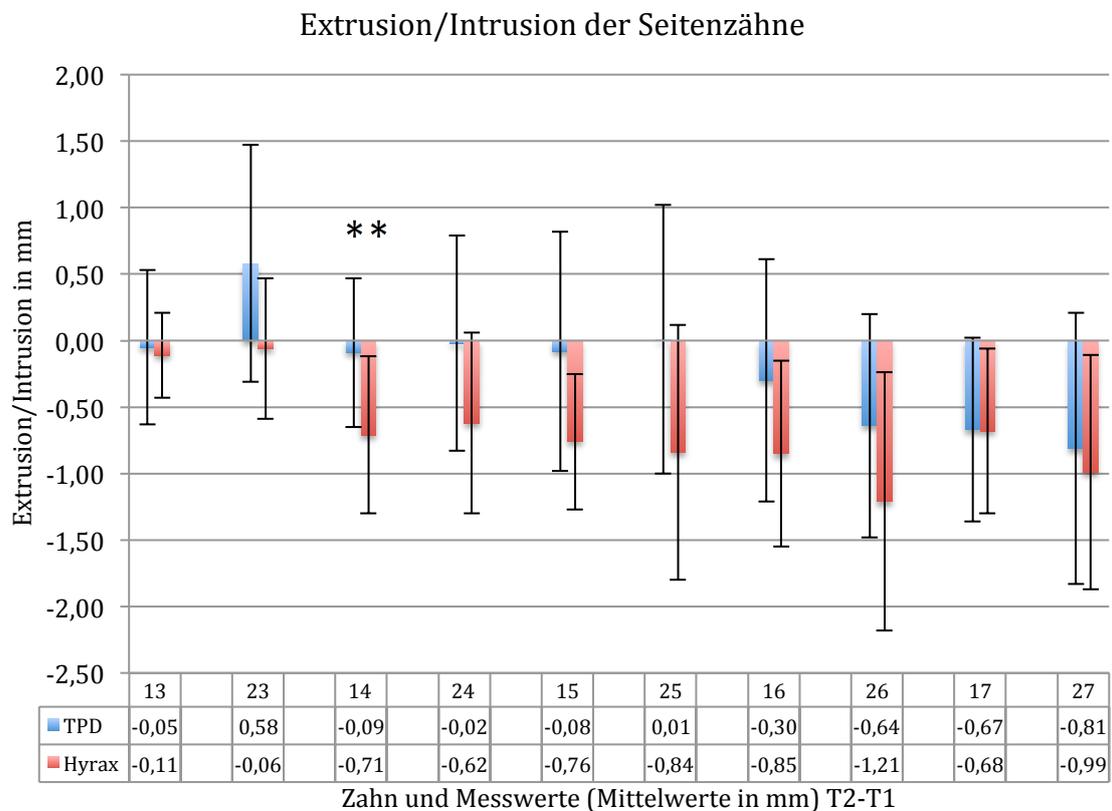
Zahn	Gruppe (Anzahl)	T1 (SD)	T2 (SD)	T2-T1 (SD)	p-Wert
13	Hyrax (12)	5,26 (0,94)	5,15 (1,05)	-0,11 (0,32)	0,799 n.s.
23	Hyrax (12)	5,24 (1,30)	5,18 (1,26)	-0,06 (0,53)	0,887 n.s.
14	Hyrax (12)	5,17 (1,41)	4,46 (1,58)	-0,71 (0,59)	0,291 n.s.
24	Hyrax (12)	4,92 (1,11)	4,30 (1,29)	-0,62 (0,68)	0,219 n.s.
15	Hyrax (7)	4,73 (1,45)	3,96 (1,23)	-0,76 (0,51)	0,209 n.s.
25	Hyrax (6)	4,61 (0,75)	3,78 (1,45)	-0,84 (0,96)	0,180 n.s.
16	Hyrax (12)	5,27 (1,23)	4,42 (1,67)	-0,85 (0,67)	0,128 n.s.
26	Hyrax (12)	5,32 (0,96)	4,11 (1,62)	-1,21 (0,97)	0,024*
17	Hyrax (12)	5,56 (1,58)	4,88 (1,45)	-0,68 (0,62)	0,143 n.s.
27	Hyrax (12)	5,41 (1,63)	4,42 (1,79)	-0,99 (0,88)	0,060 n.s.

Mann-Whitney-U-Test; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant.

Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe

Außer am Zahn 14 konnte im Vergleich zwischen den beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied zwischen den gemessenen Extrusions- beziehungsweise Intrusionswerten festgestellt werden (siehe Diagramm 3-6). Der Zahn 14 wurde im Durchschnitt in der Hyrax Gruppe um 0,62 mm (SD 0,03) mehr intrudiert als in der TPD-Gruppe. Tendenziell konnte in der Hyrax-Gruppe eine stärkere Intrusion der Zähne 24, 15, 25, 16 und 26 als in der TPD-Gruppe beobachtet werden.

Diagramm 3-6: Vergleich der Extrusion/Intrusion ε der Seitenzähne von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; negative Werte zeigen eine Intrusion, positive Werte eine Extrusion; ** = $p < 0,01$



3.3.3 Zusammenfassung Ergebnisse vertikale Messungen

Innerhalb der TPD-Gruppe ergab sich weder bei der Kippung noch bei der Extrusion bzw. Intrusion der Seitenzähne eine signifikante Änderung zwischen den prätherapeutischen und posttherapeutischen Messungen.

Innerhalb der Hyrax-Gruppe konnte eine signifikante Kippung am Zahn 25 und eine signifikante Intrusion am Zahn 26 festgestellt werden. Der Zahn 25 kippte um $9,18^\circ$ (SD 7,36) nach bukkal und der Zahn 26 wurde um 1,21 mm (SD 0,97) intrudiert.

Beim Vergleich der Winkeldifferenzen der beiden Gruppen wurde eine signifikant größere Kippung der Zähne 24, 15, 25, 16 und 26 nach bukkal in der Hyrax-Gruppe gemessen.

Beim Vergleich der Intrusion der beiden Gruppen wurde der Zahn 14 in der Hyrax-Gruppe stärker intrudiert als in der TPD-Gruppe. An den anderen Seitenzähnen

konnte kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Extrusion bzw. Intrusion gemessen werden.

3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den transversalen Messungen ließ sich erkennen, dass sowohl in der TPD-Gruppe als auch in der Hyrax-Gruppe eine signifikante Aufdehnung der Kieferhälften im Bereich der Seitenzähne stattfand. Der Betrag der transversalen Erweiterung war in der Hyrax-Gruppe größer als in der TPD-Gruppe.

Aus den vertikalen Messungen ging hervor, dass in der TPD-Gruppe beim Vergleich der prätherapeutischen Messungen zu den posttherapeutischen Messungen keine signifikante Kippung der Seitenzähne nach bukkal gemessen wurde. In der Hyrax-Gruppe konnte eine signifikante Kippung nach bukkal nur am Zahn 25 mit durchschnittlich $9,18^\circ$ (SD 7,36) gemessen werden.

In der TPD-Gruppe fand im Durchschnitt weder eine signifikante Extrusion noch Intrusion statt. In der Hyrax-Gruppe konnte eine signifikante Intrusion nur am Zahn 26 mit durchschnittlich 1,21 mm (SD 0,97) gemessen werden. Die anderen Seitenzähne wurden im Durchschnitt weder extrudiert noch intrudiert.

Beim Vergleich der Differenz der Winkels α der Seitenzähne zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe konnte an den Zähnen 24, 15, 25, 16 und 26 eine signifikant geringere Kippung nach bukkal in der TPD-Gruppe gemessen werden.

Beim Vergleich der Extrusion beziehungsweise Intrusion der Seitenzähne zwischen der TPD-Gruppe und der Hyrax-Gruppe konnte nur am Zahn 14 eine signifikant stärkere Intrusion in der Hyrax-Gruppe gemessen werden.

4 Diskussion

4.1 Einführung

Die Durchführung der SARME hat sich als sichere Behandlungsmethode bei Patienten mit Schmalkiefer bewährt. Ein Ziel dabei ist es, eine möglichst geringe dentale Bewegung zu erzeugen und eine maximale skelettale Öffnung der Maxillahälften zu erreichen, um die Tendenz zum Rezidiv möglichst gering zu halten.

Die Hyrax-Apparatur ist in ihrer Anwendung erprobt und kann zum jetzigen Zeitpunkt als Standardgerät für die SARME angesehen werden [33, 46, 117]. In den letzten Jahren wurden mehrere Geräte entwickelt, die direkt im knöchernen Gaumen verankert werden. Über diese Geräte gibt es mehrere Fallberichte und Studien hinsichtlich der erreichten Aufdehnung des Gaumens [42, 64, 65, 74, 81, 83, 88, 134, 139, 155, 159, 161, 163, 181].

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob sich die durch eine SARME verursachte Neigung der Seitenzähne im Oberkiefer bei der Anwendung einer Hyrax-Apparatur von der Anwendung eines skelettal verankerten transpalatinalen Distraktors unterscheidet.

4.2 Material und Methode

4.2.1 Patientengut, Studienmodelle, Datenerhebung

Bei der Studie handelte es sich um eine Pilotuntersuchung, um eine Messmethodik zur Nutzung von dreidimensionalen virtuellen Modellen zu erarbeiten. Die Studienteilnehmer waren erwachsene Patienten mit einer transversalen maxillären Unterentwicklung, die keine Syndrome aufwiesen und sich einer SARME unterzogen. Der Betrag der Erweiterung wurde separat in den Vergleich mit einbezogen, da dieser sich individuell am Platzbedarf der Patienten orientierte. Die Studiengruppe umfasste ein homogenes Patientengut mit 28 erwachsenen Patienten. Im Gegensatz zu früheren Studien wurden nur Patienten in die Studie aufgenommen bei denen das skelettale Wachstum abgeschlossen war. Demnach

war der jüngste Patient in der vorliegenden Studie 17,8 Jahre, wohingegen in früheren Studien Patienten ab 12 Jahren bzw. über 13 Jahren einbezogen wurden [64, 125].

Bei einigen Patienten fehlten die zweiten Prämolaren. Dies war bei zwei Patienten der TPD-Gruppe und bei fünf Patienten der Hyrax-Gruppe der Fall. Bei einer Patientin der Hyrax-Gruppe fehlte der Zahn 25. In der TPD-Gruppe befand sich eine Patientin, bei der die Eckzähne fehlten. Dies könnte durch die geringere Fallzahl bei diesen Zähnen die Aussagekraft der Messwerte beeinträchtigt haben. Eine größere Studiengruppe in zukünftigen Studien würde dazu beitragen, die Ergebnisse zu verbessern.

Der Beobachtungszeitraum betrug in dieser Studie im Mittel 5,6 Monate. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen mit einem Beobachtungszeitraum von im Mittel 20,5 Monaten (prätherapeutisches bis posttherapeutisches 3D-Modell) konnte der entsprechende Beobachtungszeitraum deutlich reduziert werden. Dies hat den Vorteil, dass das Risiko von gegebenenfalls spontan auftretenden Zahnwanderungen reduziert wird. Bei einer längeren Behandlungsdauer ist eine Stellungsveränderung der Zähne, die unabhängig von der gewählten Apparatur stattfindet wahrscheinlicher, als bei einer kürzeren Behandlungsdauer.

Ein Vorteil der SARME ist, dass direkt nach Abschluss der Distraktionsphase mit der weiterführenden kieferorthopädischen Behandlung begonnen werden kann. Bei 8 Patienten der TPD-Gruppe wurde noch vor der Entfernung des Distraktors mit der MB-Behandlung begonnen (im Mittel 1,6 Monate), wohingegen dies nur bei 1 Patienten der Hyrax-Gruppe der Fall war (3,5 Monate). Durch den frühzeitigen Beginn der Nivellierung der Zahnbögen mittels MB-Therapie in der TPD-Gruppe können dentale Effekte wie Kippungen oder Extrusionen bzw. Intrusionen den isolierten Effekt des TPDs überlagern. Dieser Effekt wird in der vorliegenden Untersuchung durch die Reduktion des Beobachtungszeitraumes kontrolliert. Im Gegensatz zu älteren Studien mit bedeutend größeren Beobachtungszeiträumen und demnach längeren MB-Behandlungsphasen ist somit von keiner Überlagerung der skelettalen Effekte des TPDs aufgrund der MB-Phase auszugehen [64, 125].

Eine im Studiendesign gleich angelegte Behandlungsdauer von präoperativen und postoperativen Dokumentationen der Oberkiefermodelle mit isoliertem Einsatz

der Distraction bzw. Erweiterung der Maxilla könnte diese modifizierenden Faktoren der MB-Apparatur reduzieren. Diese Vorgehensweise würde jedoch ein künstliches, rein studienbezogenes Verzögern bzw. Aussetzen weiterer kieferorthopädischer Maßnahmen bedeuten.

4.2.2 OP-Methode

Um eine in transversaler Richtung möglichst uneingeschränkte Bewegung der beiden Maxillahälften zu gewährleisten, wurde die zuerst von BELL UND EPKER [23] propagierte Methode mit vollständiger Osteotomie der lateralen Nasenwand und sagittaler Trennung der Maxilla entlang der Sutura palatina mediana in modifizierter Form angewandt. Die Modifizierung erfolgte in Form der von mehreren Autoren [79, 87, 100, 102, 129] empfohlenen zusätzlichen Schwächung der Sutura pterygomaxillaris. Diese Operationsmethode wurde gewählt, um sicher zu gehen, dass alle knöchernen Widerstandsregionen ausreichend geschwächt wurden und somit die Erweiterung nicht beeinträchtigten.

4.2.3 Studienmodelle und Messmethode

Die durchgeführten Messungen sind abhängig von der Qualität der Situationsmodelle. Bei einigen Modellen konnten die Messpunkte vor allem im Bereich der Sulci durch angebrachte kieferorthopädische Bänder oder Gipsfahnen nicht so exakt wie gewünscht bestimmt werden. Daher kommt der Abformung am Patienten und der Modellherstellung im Labor weiterhin eine wichtige Rolle zu, wenn Gipsmodelle als Vorlage für die virtuellen Modelle dienen. Ein digitales Abformverfahren mittels Scanner, der direkt im Mund des Patienten die Situation abtastet, könnte in Zukunft genauere virtuelle Modelle liefern [160]. Aus dem gewonnenen Datensatz können direkt virtuelle Modelle erstellt werden und so Fehlerquellen wie Schrumpfung von Abformmassen und Expansion von Gips vermieden werden.

Eine Herausforderung war es, auf den prä- und posttherapeutischen Modellen eine Bezugsebene zur Messung der Kippung der Seitenzähne zu erstellen, die auf beiden Modellen die gleiche Position hat. Da die Referenzebene zum Teil von der Stellung der ersten Molaren abhängig ist und sich diese bei der Kippung dieser Zähne leicht verschiebt, stellt dies eine weitere Fehlerquelle dar. Aufgrund der

zum Zeitpunkt der durchgeführten Messungen noch sehr neuen Vermessungssoftware, war dies jedoch die beste Möglichkeit, eine derartige Messung durchzuführen. Weitere Programmmodule könnten hier in Zukunft genauere Messmethoden ermöglichen.

4.2.4 Vorteile virtueller Modelle

Auf den virtuellen Modellen am Bildschirm konnten die Messpunkte exakt positioniert werden. Dies konnte durch folgende Maßnahmen erreicht werden: Zum einen durch die Detailgenauigkeit der virtuellen Modelle und durch die Möglichkeit, diese stark zu vergrößern und zum anderen durch paralleles Arbeiten an prätherapeutischen und posttherapeutischen virtuellen Modellen anhand von zwei gleichzeitig geöffneten Programmfenstern der Vermessungssoftware und außerdem durch die Nutzung sich farblich vom Modell unterscheidender virtueller Ebenen.

Die anschließend durch den Computer durchgeführten Messungen sind sehr genau und bergen wenige Fehlerquellen in Bezug auf die Messung selbst. Dadurch lassen sich potenzielle Fehlerquellen, wie Ablesefehler oder Positionierungsfehler, die bei einer manuellen Messung mittels Messschieber o. Ä. direkt an Gipsmodellen auftreten können, vermeiden.

Eine Messung von Stellungsveränderungen von Zähnen kann gut an Situationsmodellen von Patienten durchgeführt werden [104, 116, 125, 155]. Im Vergleich zu Messungen, die an Röntgen-, DVT- oder CT-Aufnahmen durchgeführt werden [117, 124], hat dies den Vorteil, dass für die Patienten keinerlei Strahlenbelastung entsteht.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Transversale Messungen

4.3.1.1 Erweiterung im Bereich der Höckerspitzen

Auf Höhe der Höckerspitzen der Seitenzähne wurde die Erweiterung im dentalen Bereich erfasst. In beiden Gruppen fand eine signifikante Erweiterung im Bereich der Höckerspitzen statt.

TPD-Gruppe

In der TPD-Gruppe wurde an den ersten Prämolaren die größte Erweiterung mit gemessen. Ähnliche Werte konnten im Bereich der zweiten Prämolaren und ersten Molaren gemessen werden. An den Eckzähnen und zweiten Molaren wurde eine etwas geringere Aufdehnung festgestellt.

Die Aufdehnung im Bereich der Höckerspitzen war bei den skelettal verankerten Geräten annähernd symmetrisch, sodass von anterior nach posterior eine nahezu parallele Aufdehnung im Bereich der Höckerspitzen erreicht werden konnte. Die maximale Aufdehnung konnte im Bereich der Prämolaren und ersten Molaren gemessen werden. Etwas geringere Beträge wurden im Bereich der Eckzähne und zweiten Molaren gemessen. Im Bereich der Sulci wurde in der vorliegenden Studie in der TPD-Gruppe eine eher V-förmige Aufweitung der Maxilla registriert. Hier kann es anscheinend zu Abweichungen zwischen der Öffnung im Bereich der Zähne und den Knochensegmenten kommen [199]. Dies könnte durch die frühzeitig eingeleitete kieferorthopädische Behandlung bedingt sein, durch die eine adäquate Zahnstellung und Okklusion der Zähne erreicht werden soll.

LANDES ET AL. [117] führten anhand von CT-Aufnahmen Messungen an 50 Patienten durch, die sich einer SARME-Therapie unterzogen. Sie verglichen ebenfalls Behandlungsergebnisse von dental und skelettal verankerten Geräten. Sie führten abhängig vom Alter eine Separation des Pterygoid von der Maxilla durch. Bei den Patienten wurde erst ab einem Alter von über 20 Jahren eine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durchgeführt. In der Gruppe der Patienten, die mit einer skelettal verankerten Apparatur behandelt wurden, ergab sich in ihrer Studie eine größere Aufdehnung, die von anterior nach posterior abnahm. So wurde an den Höckerspitzen der ersten Prämolaren eine Erweiterung von 7,51 mm gemessen, wohingegen an den Höckerspitzen der zweiten Molaren nur eine Erweiterung von 3,42 mm erreicht wurde.

In der Studie von LANDES ET AL. [117] ergab sich somit eine eher V-förmige Öffnung im Bereich der Zahnbögen, wie dies auch in den Studien von DEEB ET AL. [52] und ALOISE ET AL. [3] der Fall war. In diesen Studien wurde keine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durchgeführt.

Hyrax-Gruppe

Die größte Aufweitung in der Hyrax-Gruppe wurde an den zweiten Prämolaren mit gemessen. Die Erweiterung an den ersten Prämolaren und ersten und zweiten Molaren war etwas geringer. Am geringsten war die Aufdehnung an den Eckzähnen.

Auch in der Hyrax-Gruppe fand in der vorliegenden Studie eine annähernd parallele Öffnung im Bereich der Höckerspitzen statt. Die dental verankerte Apparatur kann die Kraft der Dehnschraube also relativ gleichmäßig über den gesamten Zahnbogen verteilen.

Diese Ergebnisse sind in Einklang mit der Studie von SEEBERGER ET AL. [167], in der nach Separation des Pterygoid und dem Anwenden einer dental verankerten Apparatur im Bereich des Zahnbogens ebenfalls eine annähernd parallele Aufweitung an den Höckerspitzen registriert wurde.

Ebenfalls eine fast parallele Expansion über den Zahnbogen verteilt konnten LANDES ET AL. [117] in ihrer Studie bei Anwendung einer dental verankerten Apparatur messen. Diese war mit 5,87 mm an den Höckerspitzen der ersten Molaren am größten. Sehr ähnliche Beträge maßen sie an den ersten und zweiten Prämolaren. An den zweiten Molaren war auch in ihrer Studie mit 4,52 mm die Aufdehnung am geringsten. Sie führten nur selektiv ab einem Alter von 20 Jahren eine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durch.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei Anwendung einer dental verankerten Apparatur eine parallele Aufweitung unter Umständen auch ohne zusätzliche Schwächung der Sutura pterygomaxillaris erreicht werden kann.

Vergleich TPD-Hyrax

Die Erweiterung zeigte sich im Bereich der Höckerspitzen in beiden Gruppen annähernd parallel, was durch die Wahl der Operationsmethode mit begründet sein könnte.

In der Hyrax-Gruppe war der Betrag der Aufweitung im Bereich der Höckerspitzen im durchschnitt größer als in der TPD-Gruppe. Dies könnte mit der stärkeren Kippung der Seitenzähne in der Hyrax-Gruppe zusammenhängen, aber auch ein

individuell unterschiedlicher Platzbedarf der Patienten könnte für diese unterschiedlichen Ergebnisse ausschlaggebend sein.

4.3.1.2 Erweiterung im Bereich der Sulci

Auf Höhe der Sulci der Seitenzähne wurde die transversale Erweiterung im skelettalen Bereich erfasst. Sowohl in der TPD-Gruppe als auch in der Hyrax-Gruppe konnte eine adäquate Erweiterung der Maxilla erreicht werden, die individuell an die Patienten angepasst war.

TPD-Gruppe

In der TPD-Gruppe fand hier eine signifikante Aufdehnung im Bereich der Eckzähne, der ersten und zweiten Prämolaren und ersten Molaren statt. Diese war im anterioren Kieferbereich größer als im posterioren Kieferbereich. An den zweiten Molaren war die Erweiterung nicht signifikant.

Ähnliche Ergebnisse erhielten LAUDEMANN ET AL. [125] in ihrer Studie. Sie registrierten die größte Erweiterung mit 5,68 mm an den zweiten Prämolaren. Die geringste Aufdehnung fand in ihrer Studie an den Eckzähnen statt. Von den zweiten Prämolaren nach posterior hin verkleinerte sich der Betrag der Erweiterung auf 4,23 mm an den zweiten Molaren.

GERLACH ET AL. [64] maßen in ihrer Studie eine größere mittlere Erweiterung, die von den Eckzähnen bis zu den Molaren hin abnahm. So wurde die interkanine Distanz mit 8,8 mm, die vordere Zahnbogenbreite mit 8,6 mm und die hintere Zahnbogenbreite mit 8,3 mm ermittelt. GERLACH ET AL. [64] führten nicht grundsätzlich, sondern in Abhängigkeit des Alters der Patienten eine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durch.

Die Positionierung der skelettal verankerten Apparatur scheint einen Einfluss auf die Verteilung der Aufdehnung von anterior nach posterior zu haben. So untersuchten RAMIERI ET AL. [159] zwei unterschiedliche Patientengruppen, die beide mit einem TPD behandelt wurden. Die Patienten der Gruppe A benötigten mehr Expansion im anterioren Kieferbereich. Um dies zu erreichen positionierten RAMIERI ET AL. [159] in dieser Gruppe den TPD auf Höhe der zweiten Prämolaren. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Studie resultierte aus dieser Vorgehensweise eine größere Aufdehnung im Bereich der Eckzähne und

ersten Prämolaren als im Bereich der ersten Molaren. In der Gruppe B der Studie wurde der TPD auf Höhe der ersten Molaren positioniert. Dadurch wurde eine parallelere Aufdehnung erzielt.

Prozentual nahm der Betrag der Erweiterung in der vorliegenden Studie von den Eckzähnen bis hin zu den zweiten Molaren ab. Während an den Eckzähnen eine Aufdehnung um 19,72 % (SD 9,84) gemessen wurde, wurde an den ersten Prämolaren eine Aufdehnung von 18,35 % (SD 9,13) und an den ersten Molaren eine Aufdehnung von 10,93 % (SD 5,67) gemessen. PINTO ET AL. [155] erhielten in ihrer Studie ebenfalls Messergebnisse, die eine prozentual größere Aufdehnung im Bereich der Eckzähne als im Bereich der Molaren ergaben. An den Eckzähnen maßen sie eine Expansion von $35,7 \pm 17$ %, an den ersten Prämolaren $31,7 \pm 14$ % und an den ersten Molaren $20,4 \pm 8,7$ %. Als mögliche Gründe für diese V-förmige Form der Aufdehnung werden zwei Faktoren genannt: Erstens wählten sie eine weniger invasive OP-Methode und führten keine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durch. Zweitens erfolgte die Positionierung des TPD in ihrer Studie im Bereich der zweiten Prämolaren.

MATTEINI UND MOMMAERTS [134] führten in ihrer Studie bei allen ihren 20 Patienten, die im Alter von 12 bis 42 Jahren waren, eine Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durch. Der TPD wurde bei ihrer Studie im Bereich der ersten Molaren platziert. Sie konnten eine fast symmetrische Expansion messen, die an den Eckzähnen nur leicht größer war als an den ersten Prämolaren und an den ersten Molaren.

In der vorliegenden Studie ergaben die Messungen im Bereich der Sulci in der TPD-Gruppe eine etwa gleich große Erweiterung an den Eckzähnen und ersten Prämolaren, welche nach posterior hin abnahm. Diese V-förmige Öffnung der Maxilla wurde auch in anderen Studien beobachtet [155, 159]. Sie könnte mit der Positionierung des skelettal verankerten Gerätes in Verbindung stehen: Je weiter das Gerät im Bereich der Molaren positioniert wird, desto paralleler ist die Erweiterung. Wenn die Position des Gerätes weiter anterior gewählt wird, ist die V-förmige Öffnung der Maxillahälften ausgeprägter.

Hyrax-Gruppe

In der Hyrax-Gruppe zeigte sich die Erweiterung im Bereich der zweiten Prämolaren am größten, während sie im Bereich der ersten Prämolaren und Molaren etwas geringer und am kleinsten im Bereich der Eckzähne ausfiel. Diese Ergebnisse lassen auf eine relativ parallele Aufdehnung der Maxillahälften schließen. Die Schwächung der Sutura pterygomaxillaris könnte diese parallele Aufdehnung begünstigen. Es finden sich in der Literatur jedoch auch Berichte, dass dental verankerte Geräte auch ohne Abtrennen des Pterygoid eine größere Aufdehnung im Bereich der Molaren als im Bereich der Eckzähne erzeugen [20, 176].

Diese Ergebnisse stimmen mit denen von SEEBERGER ET AL. [167] weitestgehend überein, die im Bereich der Alveolarfortsätze ebenfalls eine nahezu parallele Aufweitung registrierten, welche im Bereich der Prämolaren am größten war. In deren Studie wurde die Aufdehnung an den Ankerzähnen gemessen.

Auch in der Studie von LAUDEMANN ET AL. [125] fand die größte Erweiterung mit 5,76 mm im Bereich der zweiten Prämolaren statt. Zu dem Ergebnis, dass bei Anwendung einer dental verankerten Apparatur eine nahezu parallele Expansion erreicht werden kann, gelangten auch LODDI ET AL. [132]. Der Betrag der Expansion im Bereich der S. p. m. unterschied sich im anterioren Bereich nur wenig von dem im posterioren Bereich.

Warum die maximale Aufdehnung in der vorliegenden Studie nicht an den Ankerzähnen, sondern an den dazwischen liegenden zweiten Prämolaren gemessen wurde, könnte damit zusammenhängen, dass bei 50% der Patienten entweder der rechte oder der linke zweite Prämolare oder beide zweite Prämolaren fehlten. Dadurch konnte die transversale Strecke zwischen diesen Zähnen bei diesen Patienten nicht bestimmt werden. Beim Vergleich der Messwerte zur transversalen Erweiterung innerhalb der Hyrax-Gruppe konnte jedoch keine gravierende Abweichung bei diesen Patienten festgestellt werden.

Vergleich TPD-Hyrax

Bei Betrachtung der Werte der beiden Gruppen wird deutlich, dass in der TPD-Gruppe eine eher V-förmige Aufdehnung der Maxilla stattgefunden hat. Diese war im anterioren Kieferbereich größer als im posterioren.

Wie auch in der Studie von LANDES ET AL. [117] führte die Anwendung der dental verankerten Hyrax-Apparatur zu einer eher parallelen Aufdehnung der Kieferhälften.

Im Gegensatz dazu kamen LAUDEMANN ET AL. [125] in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass mit einer skelettal verankerten Apparatur eine über den Zahnbogen verteilt symmetrischere und größere Expansion erreicht werden kann als mit einer dental verankerten Apparatur.

Die Ergebnisse von RAMIERI ET AL. [159] deuten jedoch darauf hin, dass durch die Positionierung der skelettal verankerten Apparatur Einfluss auf die Form des Öffnungspaltes genommen werden kann. LAUDEMANN ET AL. [125] schlagen vor, den TPD nicht in jedem Fall zwischen den zweiten Prämolaren zu positionieren, da in ihrer Studie bei einigen Patienten aus der Gruppe, die mit einem skelettal verankerten Gerät behandelt wurden, drei Monate nach der Expansion Asymmetrien auftraten. Die Positionierung des skelettal verankerten Gerätes könnte zur Vermeidung dieses Effektes verschoben werden, je nachdem, ob einzelne Zähne fehlen, oder ob eine stärkere Aufdehnung im anterioren oder posterioren Kieferbereich erreicht werden soll.

KOUDSTAAL ET AL. [110] fanden in mehreren klinischen Fallstudien heraus, dass die Erweiterung der Maxilla asymmetrisch vonstatten geht. Eine Hälfte bewegte sich mehr als die andere. In manchen Fällen blieb eine Hälfte sogar stationär und nur die andere bewegte sich. Sie vermuten, dass das Abtrennen der Processus pterygoidei von der Maxilla Einfluss auf eine ungleiche Bewegung der Maxillahälften hat. Wenn der Widerstand, der der Aufdehnung entgegengebracht wird, rechts und links unterschiedlich ist, wird sich eine Seite stärker bewegen als die andere. SEITZ ET AL. [168] berichten über vertikale Lageveränderungen der einzelnen Segmente und über Mittellinienverschiebungen bei Anwendung von skelettal verankerten Geräten, die zu okklusalen Traumen und dadurch zu gingivalen Rezessionen führen können. LANDES ET AL. [117] bringen dies in

Zusammenhang mit dem Weichgewebe im Bereich der Processus pterygoidei, wie Muskeln und Sehnen, die einen seitenverschiedenen Widerstand zur Aufdehnungskraft des skelettal verankerten Gerätes erzeugen, und so einen unterschiedlichen Betrag der Aufdehnung rechts und links verursachen.

Dies zeigt, dass die Operationsmethode und das erfolgreiche und seitengleiche Schwächen der Widerstandsregionen während der Operation eine wichtige Rolle spielt.

Einen zusätzlichen Lösungsansatz zu diesem Problem könnten neue skelettal verankerte Geräte darstellen, die an mehr als zwei Punkten im Kiefer befestigt sind, und so die Dehnkraft besser übertragen [125].

4.3.1.3 Flächenzunahme

Sowohl in der TPD-Gruppe als auch in der Hyrax-Gruppe fand eine signifikante Flächenzunahme zwischen den ersten Prämolaren und den zweiten Molaren statt. Diese war mit einer Zunahme von 12,62 % (SD 5,41) in der TPD Gruppe kleiner als mit 27,61 % (SD 9,97) in der Hyrax Gruppe. Somit fand in der Hyrax-Gruppe eine um 14,99% (SD 4,56) signifikant größere Flächenzunahme statt als in der TPD-Gruppe. Da die Aufdehnung im Bereich der Sulci in der TPD-Gruppe fiel geringer aus als in der Hyrax-Gruppe. Auch im Bereich der Höckerspitzen wurde in der Hyrax-Gruppe eine größere Aufdehnung als in der TPD-Gruppe gemessen. Zusätzlich war die Kippung der die Fläche aufspannenden Zähne in der Hyrax-Gruppe größer als in der TPD-Gruppe, so dass sich daraus eine größere Flächenzunahme im Bereich der Höckerspitzen ergab.

4.3.2 Vertikale Messungen

4.3.2.1 Zahnkipfung

TPD-Gruppe:

Es konnte keine signifikante Kippung der Seitenzähne innerhalb der TPD-Gruppe nachgewiesen werden. Alle Seitenzähne bis auf Zahn 24 kippten im Durchschnitt jedoch leicht nach bukkal. Diese Kippung zeigte sich am Zahn 17 mit 2,22° (SD 3,62) am stärksten. Zahn 24 wurde im Durchschnitt sogar um 0,17° (SD 3,52) nach palatinal aufgerichtet.

LANDES ET AL. [117] fanden in ihrer Patientengruppe mit skelettal verankerter Apparatur eine stärkere Kippung der zweiten Prämolaren und ersten Molaren. Sie vermuten, dass die stärkere Kippung an diesen Zähnen durch die Position des TPD zustande kommt. Dagegen zeigten in der Studie von LAUDEMANN ET AL. [125] die Eckzähne und die zweiten Molaren eine stärkere Kippung als die übrigen Zähne des Oberkiefers.

PINTO ET AL. [155] stellten in ihrer Studie ebenfalls eine Kippung der Seitenzähne bei Anwendung eines TPD fest. Sie maßen eine stärkere Kippung an den ersten Prämolaren ($-8,3^\circ \pm 9,6$) als an den ersten Molaren ($0,9^\circ \pm 9,9$). PINTO ET AL. [155] äußern die Vermutung, dass diese Änderung der Angulation der Zähne eher durch die Bewegung der Knochensegmente als durch die Kippung der Zähne selbst zustande kommt. In ihrer Studie korrelierte der Betrag der Aufdehnung im Bereich der ersten Molaren mit der Kippung dieser Zähne. An den ersten Prämolaren war dies jedoch nicht der Fall [155].

In der vorliegenden Studie konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Kippung der einzelnen Zähne und dem Betrag der Erweiterung in der TPD-Gruppe festgestellt werden. LANDES ET AL. [117] konnten anhand der durchgeführten CT-Messungen einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Betrag der transversalen Expansion und der Kippung der Knochensegmente feststellen. Inwieweit sich dies auf die Zahnkippung auswirkte war nicht ersichtlich.

Durch die Messungen in der hier vorliegenden Studie konnte nicht zwischen der Kippung der Knochensegmente und der Kippung der Zähne differenziert werden. Die hier gemessene Kippung der Zähne stellt also eine Kombination aus diesen beiden Kippungskomponenten dar. Zu welchen Teilen sich die Kippung der Zähne durch die reine Zahnkippung oder die reine Kippung der Knochensegmente ergibt, könnte Gegenstand weiterer Studien sein.

Beim Vergleich der beiden Quadranten stellte sich heraus, dass ein Seitenunterschied bei der Kippung der einzelnen Zahnpaare vorlag. Bis auf die Eckzähne kippten die Seitenzähne des ersten Quadranten in der TPD-Gruppe stärker nach bukkal als die des zweiten Quadranten. Dies könnte darauf hindeuten, dass der Aufdehnung rechts und links durch das Weichgewebe unterschiedlicher

Widerstand entgegengebracht wird. Daraus würde sich eine unterschiedliche Bewegung und somit Kippung der Knochensegmente und Zähne ergeben.

Hyrax-Gruppe:

Bei Anwendung der dental verankerten Hyrax-Apparatur zeigte sich an allen Oberkieferzähnen eine Kippung nach bukkal. Signifikant zeigte sich die Bukkalkippung nur am linken zweiten Prämolaren mit $9,18^\circ$ (SD 7,36). Tendenziell war aber auch am rechten zweiten Prämolaren mit $7,22^\circ$ (SD 6,01) eine Kippung nach bukkal zu beobachten. Die ersten Prämolaren und ersten Molaren, sowie der rechte zweiten Molar zeigten ebenfalls eine Tendenz zur Bukkalkippung.

Auch SEEBERGER ET AL. [167] konnten eine Kippung der Prämolaren von durchschnittlich $4,8^\circ$ (SD 0,9) messen. Diese war ebenfalls größer als an den Molaren mit durchschnittlich $3,1^\circ$ (SD 0,8).

In der Studie von LANDES ET AL. [117] ergab sich entlang des Zahnbogens eine Kippung der Zähne nach bukkal bei Anwendung einer dental verankerten Apparatur. Sie maßen die stärkste Bukkalkippung an den ersten Prämolaren und ersten Molaren.

Ebenfalls eine stärkere Kippung an den Prämolaren und den ersten Molaren gegenüber den anderen Zähnen der Maxilla maßen LAUDEMANN ET AL. [125].

Die ausgeprägte Kippung an den Prämolaren und ersten Molaren bei Anwendung der dental verankerten Apparatur ist zu einem großen Teil auf die Tatsache zurückzuführen, dass diese Zähne als Ankerzähne für die Apparatur fungieren. Die Kraft der Dehnschraube wird über diese Zähne in den Knochen eingeleitet, so dass die Parodontien der Ankerzähne diese Kraft aufnehmen und übertragen müssen. Diese Belastung verursacht eine Ausweichbewegung der Zähne in Form einer Kippung nach bukkal [125].

Auch in der Hyrax-Gruppe wurde ein Seitenunterschied bei der Kippung der einzelnen Zahnpaare erfasst. Eine stärkere Bukkalkippung der Seitenzähne war jedoch nicht wie in der TPD-Gruppe auf einen Quadranten konzentriert. So kippte der Zahn 23 stärker nach bukkal als 13, 24 stärker als 14, 25 stärker als 15, 16 stärker als 26 und 17 stärker als 27. Eine Erklärung könnte der parodontale Zustand der einzelnen Zähne sein, da parodontal geschädigte Zähne leichter

bewegt werden können als Zähne mit intaktem Parodont. Dies unterstreicht die Bedeutung der prätherapeutischen parodontalen Beurteilung der Ankerzähne [137].

Vergleich TPD - Hyrax

Beim Vergleich der beiden Gruppen wird deutlich, dass alle Seitenzähne in der Hyrax-Gruppe stärker nach bukkal kippten als in der TPD-Gruppe. Signifikante Unterschiede ergaben in der vorliegenden Studie die Messungen der Kippungswinkel an den linken ersten Prämolaren, linken und rechten zweiten Prämolaren und den linken und rechten ersten Molaren. LANDES ET AL. [117] stellten ebenfalls eine stärkere Kippung der Zähne nach bukkal bei Anwendung einer zahngetragenen Apparatur fest. Sie führten ihre Messungen anhand von 3D-CT-Daten durch.

In der Hyrax-Gruppe kippten die zweiten Prämolaren am stärksten nach bukkal. Dies könnte damit zusammenhängen, dass diese Zähne normalerweise die schwächste parodontale Verankerung in der Alveole besitzen, da sie in der Regel nur eine Wurzel aufweisen. Die ersten Prämolaren, die zusammen mit den Eckzähnen die Führung bei Lateralbewegungen des Unterkiefers übernehmen, sind durch ihre zwei Wurzeln wesentlich stärker im Alveolarknochen verankert. Eine Erklärung für die stärkere Kippung der zweiten Prämolaren in der Hyrax-Gruppe könnte auch darauf zurückzuführen sein, dass die Apparatur laut SEEBERGER ET AL. [167] auf die anterioren Kieferbereiche eine größere Kraft appliziert als auf die posterioren. Sie führen dies darauf zurück, dass die muskulären und knöchernen Strukturen im posterioren Bereich trotz der Schwächung der Sutura pterygomaxillaris der Aufdehnung eine größere Kraft entgegensetzen.

Auch in der Hyrax-Gruppe war eine Seitendifferenz bei der Kippung der einzelnen Zähne vorhanden. So war die Bukkalkippung der linken Eckzähne deutlicher ausgeprägt als die der rechten Eckzähne, die der linken zweiten Prämolaren deutlicher als die der rechten zweiten Prämolaren und die der rechten zweiten Molaren deutlicher als die der linken zweiten Molaren. An den ersten Prämolaren und Molaren konnte kein deutlicher Seitenunterschied festgestellt werden.

Es ist allerdings zu beachten, dass in der Hyrax-Gruppe eine sowie vom Betrag her als auch prozentual größere Aufweitung der Maxillahälften stattfand. Diese Differenzen bei der Erweiterung decken sich an den ersten und zweiten Prämolaren und den ersten Molaren mit einer signifikant stärkeren Zunahme des Kippungswinkels in der Hyrax-Gruppe. An den zweiten Molaren wurde ebenfalls ein größerer Kippungswinkel in der Hyrax-Gruppe gemessen, der jedoch nicht signifikant war.

Auch in der Studie von LAUDEMANN ET AL. [125] wurde in der Patientengruppe mit einer dental verankerten Apparatur an den ersten Prämolaren und ersten Molaren eine stärkere Kippung als an den anderen Zähnen gemessen. In der Gruppe mit einer skelettal verankerten Apparatur war die Kippung an den zweiten Molaren größer. LAUDEMANN ET AL. [125] führen als mögliche Begründung für die stärkere Kippung an den zweiten Molaren an, dass in diesem Bereich eine stärkere Aufdehnung der Maxilla stattfand als im Bereich der Eckzähne.

Im Durchschnitt fand an allen Zähnen eine stärkere Bukkalkippung bei Anwendung der dental verankerten Apparatur statt. Signifikant zeigte sich der Unterschied an den Zähnen 24, 15, 25, 16 und 26. Dies ist wohl zum einen durch die direkte Verankerung an den Zähnen zu erklären. Die Kraft wird durch die Parodontien der Zähne auf den Knochen übertragen. Außerdem liegt der Angriffspunkt der durch die dental verankerte Apparatur erzeugten Kraft weiter weg vom Drehpunkt der Aufdehnungsbewegung als bei der skelettal verankerten Apparatur. Der kranialer liegende Ansatzpunkt der skelettal verankerten Apparatur direkt im Knochen ist als wesentlich günstiger für die Bewegungsrichtung der Knochensegmente anzusehen.

4.3.2.2 Intrusion bzw. Extrusion

TPD-Gruppe

Eine Bewegung in vertikaler Richtung fand an den Eckzähnen und Prämolaren im Durchschnitt nur geringfügig statt. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bei der Extrusion bzw. Intrusion der Seitenzähne innerhalb der TPD-Gruppe. Die Ergebnisse zeigen, dass in dieser Hinsicht keine negativen Einflüsse auf die Zahnstellung durch eine skelettal verankerte Apparatur zu erwarten sind

Hyrax-Gruppe

Die Prämolaren und Molaren der Patienten der Hyrax-Gruppe wurden leicht intrudiert. Signifikant zeigte sich dies jedoch nur am Zahn 26. An den Eckzähnen war der Betrag der Intrusion sehr gering. Es bestand kein deutlicher Unterschied zwischen den üblichen Ankerzähnen, also den ersten Prämolaren und ersten Molaren und den benachbarten zweiten Prämolaren und Molaren. Eine Intrusion der Seitenzähne findet bei der Behandlung mit einer dental verankerten Apparatur statt, kann aber als ein eher vernachlässigbarer Effekt bei der SARME angesehen werden.

Vergleich TPD — Hyrax

Beim Vergleich der beiden Gruppen zeigte sich, dass die Zähne in der Hyrax-Gruppe im Durchschnitt mehr intrudiert wurden als in der TPD-Gruppe. Auffällig zeigte sich dieser Unterschied an den ersten und zweiten Prämolaren und den ersten Molaren. Ein signifikanter Unterschied konnte jedoch nur am Zahn 14 gemessen werden. Dies deutet darauf hin, dass die Ankerzähne bei der Hyrax-Apparatur stärker belastet und somit stärker intrudiert werden als durch einen TPD. Bei Anwendung eines TPD traten in dieser Hinsicht keine problematischen Werte auf. Wegen der geringen Beträge der Stellungsveränderung durch Intrusion bzw. Extrusion bei der SARME kann davon ausgegangen werden, dass diese ohne klinische Relevanz bleiben.

4.3.3 Zahnbewegung und Betrag der Erweiterung

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass bei Durchführung einer SARME bei Anwendung von skelettal verankerten Geräten eine geringere Kippung der Seitenzähne auftritt als bei Anwendung einer dental verankerten Apparatur. Der Betrag der transversalen Erweiterung war jedoch in der Patientengruppe, die mit einer dental verankerten Apparatur therapiert wurde, größer als in der Patientengruppe, die mit einer skelettal verankerten Apparatur therapiert wurde. Ein Vergleich der Zahnbewegungen in Abhängigkeit des erweiterten Betrags wäre ein interessanter Aspekt für zukünftige Studien. Dadurch könnte auch eruiert werden, ob der Betrag der Erweiterung einen erkennbaren Einfluss auf die Zahnbewegungen hat.

4.4 Vorteile und Nachteile skelettal verankerter Geräte

An allen Zähnen zeigte sich bei Anwendung der dental verankerten Hyrax-Apparatur eine stärkere Kippung der Seitenzähne nach bukkal als bei Anwendung der skelettal verankerten Geräte. Auch die Ergebnisse von LANDES ET. AL. [117] deuten darauf hin, dass die Erweiterung der Maxilla bei Anwendung einer skelettal verankerten Apparatur in größerem Ausmaß im Bereich der Knochensegmente realisiert wird als bei Anwendung einer dental verankerten Apparatur.

Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass bei Anwendung einer dental verankerten Apparatur der durch die Dehnschraube produzierte Betrag der Erweiterung durch eine Bukkalkippung der Zähne verringert wird. Die größere Kippung der Ankerzähne beim Einsatz der dental verankerten Apparatur kann durch die anschließende kieferorthopädische Behandlung ausgeglichen werden. Dadurch geht jedoch ein Teil des Betrags der Erweiterung wieder verloren. In diesem Punkt zeigt sich ein Vorteil der skelettal verankerten Apparaturen, da bei diesen die nachfolgende kieferorthopädische Behandlung schon während der Konsolidierungsphase begonnen und dadurch die Therapiezeit verkürzt werden kann. Zusätzlich besteht durch die Anwendung der skelettal verankerten Geräte die Möglichkeit, auch Patienten mit parodontalen Schäden oder reduzierter Zahnzahl therapieren zu können [159].

Ein Nachteil der skelettal verankerten Geräte ist, dass sie unter Umständen in einer zweiten Operation wieder entfernt werden müssen [126]. Eine Entfernung nur unter lokaler Anästhesie ist jedoch laut RAMIERI ET AL. SOWIE MATTEINI UND MOMMAERTS auch möglich [134, 159].

Ein anderer Grund für die größere Kippung der Zähne bei Anwendung der Hyrax-Apparatur könnte dem weiter kaudal liegenden Angriffspunkt der dental verankerten Apparatur geschuldet sein, wodurch die Knochensegmente mit den Zähnen im Ganzen stärker nach bukkal kippen. Im Gegensatz dazu würde die Erweiterung mittels eines skelettal verankerten Gerätes, das kranialer im Gaumendach sitzt, eine Bewegung der Knochensegmente auslösen, die eine annähernd parallele Aufdehnung ermöglicht. In dieser Studie wurde jedoch keine Messung der Kippung der Knochensegmente durchgeführt, da keine entsprechenden CT-Aufnahmen oder Röntgenbilder zur Verfügung standen.

Sowohl dental als auch skelettal verankerte Geräte verursachen eine Kippung der Zähne nach bukkal, wobei dieser Effekt bei den skelettal verankerten Geräten geringer ist. Weitere Studien mit einer verfeinerten Messmethode und einer größeren Studiengruppe könnten detaillierteren Aufschluss über den Sachverhalt geben. Durch Erweiterung des Messpunkteschemas und zusätzliche Module der Vermessungssoftware könnte dies in weiterführenden Studien realisiert werden.

4.5 Schlussfolgerung

Die Therapie der hypoplastischen Maxilla durch eine SARME ist sowohl mittels Hyrax-Apparatur als auch mittels TPD möglich. Durch das Wissen über die unterschiedliche Reaktion beider Apparaturen kann das aus Kieferorthopäden und Kieferchirurgen bestehende Behandler-team bereits in der prätherapeutischen Phase die Bewegungsmuster der Kiefersegmente planen:

- Bei Anwendung einer Hyrax-Apparatur ist mit einer annähernd parallelen Erweiterung des Zahnbogens mit dem Zuwachs in der Prämolarenregion zu rechnen.
- Ist eher eine V-förmige Erweiterung des Zahnbogens indiziert mit größtem Zuwachs im anterioren Bereich ist der TPD zu wählen.

Durch die Option der variablen Positionierung der Dehnschraube weiter anterior oder posterior der Prämolarenregion bei Einsatz des TPDs und dem daraus veränderten Modus der Erweiterung resultiert eine Erweiterung des kieferorthopädischen und kieferchirurgischen Spektrums.

5 Zusammenfassung/Summary

5.1 Zusammenfassung

Ziele: Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die dentalen Auswirkungen einer chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung unter Anwendung einer skelettal verankerten Apparatur (TPD) im Vergleich zur Anwendung einer dental verankerten Apparatur (GNE) mit Hilfe eines dreidimensionalen Modellscanners zu analysieren.

Patienten und Methode: 28 erwachsene Patienten (Durchschnittsalter: $27,4 \pm 9,1$ Jahre) wurden mit einer chirurgisch unterstützten transversalen Erweiterung des Oberkiefers therapiert. Die Erweiterung erfolgte bei 16 Patienten mit einem skelettal verankerten transpalatinalen Distraktor (TPD-Gruppe) und bei 12 Patienten mit einer dental abgestützten GNE-Apparatur (Hyrax-Gruppe). Innerhalb beider Patientengruppen wurde eine subtotale Le-Fort-I-Osteotomie mit Schwächung der Sutura pterygomaxillaris durchgeführt. Bei allen Patienten wurden sowohl vor Einsetzen der Apparaturen als auch nach erfolgter Erweiterung des Oberkiefers Situationsmodelle erstellt. Nach Generierung virtueller Modelle mittels des optischen Sensors R 700 (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark), wurde eine dreidimensionale Analyse mit Hilfe der OrthoAnalyzer Software (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark) zur Berechnung der Zahnstellungsänderungen durchgeführt.

Ergebnisse: Bei der SARME findet unabhängig von der verwendeten Apparatur eine signifikante Erweiterung des Oberkiefers statt. Beim Einsatz einer skelettal verankerten Apparatur tritt eine geringere Bukkalkippung der Seitenzähne auf als beim Einsatz einer dental verankerten Apparatur. Intrusionen bzw. Extrusionen finden nur in klinisch irrelevantem Maß statt.

Schlussfolgerung: Die Therapie der hypoplastischen Maxilla durch eine SARME bei adulten Patienten ist sowohl mittels Hyrax-Apparatur als auch mittels TPD möglich. Das Behandler-team aus Kieferorthopäden und

Kieferchirurgen kann durch das Wissen über die unterschiedliche Reaktion beider Apparaturen bereits in der prätherapeutischen Phase die Bewegungsmuster der Kiefersegmente planen:

- Bei Anwendung einer Hyrax-Apparatur ist mit einer annähernd parallelen Erweiterung des Zahnbogens mit Zuwachs in der Prämolarenregion zu rechnen.
- Bei Anwendung eines TPD ist eher mit einer V-förmigen Erweiterung des Zahnbogens mit größtem Zuwachs im anterioren Bereich zu rechnen.

Durch die Option der variablen Positionierung der Dehnschraube weiter anterior oder posterior der Prämolarenregion bei Einsatz des TPDs und dem daraus veränderten Modus der Erweiterung resultiert eine Erweiterung des kieferorthopädischen und kieferchirurgischen Spektrums.

5.2 Summary

Objective: The aim of this study was to analyse the occurrence of dental tipping in surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) when using a bone borne device (TPD-group) compared to a tooth borne device (Hyrax-group).

Design: Retrospective clinical study

Setting: Department of Orthodontics, University Hospital of Würzburg

Patients: 28 adult patients (mean age $27,4 \pm 9,1$ years), 16 were treated with a bone borne device and 12 were treated with a tooth borne device.

Main Outcome Measure: Patients underwent SARME with separation of the pterygoid process. Dental casts were taken before and after treatment. Virtual 3-D models were created by a R700 3-D-Scanner (3Shape A/S, Copenhagen, Denmark) and were analysed with the OrthoAnalyzer software (3Shape A/S, Copenhagen, Denmark).

Results: Regardless of the device used to perform SARME a significant widening of the upper jaw takes place. When using a bone-borne device, dental tipping at the posterior teeth occurs less than when using a tooth-borne device. Intrusions respectively extrusions only take place in clinically irrelevant amounts.

Conclusion: SARME can be performed by using a tooth-borne device like the Hyrax-device as well as using a bone borne device like the TPD. By knowing the different modes of the devices, the team of Orthodontists and Surgeons treating the patient is able to plan the moving patterns of the bone segments in advance to the treatment:

- When using a tooth-borne device the expansion is a more parallel one, with more widening in the premolar region.
- When using a bone-borne device the expansion is a more v-shaped one, with more widening in the anterior region.

When using the TPD, clinicians have the option to position the expansion screw more anterior or posterior of the premolar region, which alters the pattern of the expansion. This option leads to a diversification of the orthodontic and surgical spectrum of the treatment.

6 Publikationen

Die Ergebnisse dieser Studie über die Kippung der Seitenzähne wurden im Rahmen der 83. Wissenschaftlichen Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie e. V. auf dem Deutschen Zahnärztetag vom 12. – 13. November 2010 in Frankfurt am Main als Poster präsentiert:

Gross M, Baunach G, Böhm H, Stellzig-Eisenhauer A:

„Dentale Auswirkungen der transpalatinalen Erweiterung der Maxilla durch skelettal versus dental verankerte Apparaturen“

Das Poster gewann den 3. Preis.



ZIEL

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die dentalen Auswirkungen einer skelettal verankerten transpalatinalen Distraction im Vergleich zu einer dental verankerten Gaumenerweiterungsapparatur mit Hilfe eines dreidimensionalen Modellschanners zu analysieren.



Abb.1: Patientin mit einem TPD, Behandlungsbeginn und Behandlungsabschluss

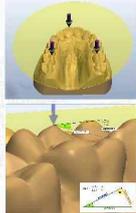


Abb.2: GNE-Patientin, Behandlungsbeginn und Behandlungsabschluss

METHODIK

27 erwachsene Patienten zwischen 17 und 53 Jahren wurden mit einer chirurgisch unterstützten transversalen Erweiterung des Oberkiefers behandelt. Die Erweiterung erfolgte bei 15 Patienten mit einem skelettal verankerten transpalatinalen Distraktor und bei 12 Patienten mit einer dental abgestützten GNE-Apparatur. Innerhalb beider Patientengruppen wurde eine Schwächung der Crista zygomatico-alveolaris in der Le-Fort-I-Ebene durchgeführt. Bei allen Patienten wurde sowohl vor dem Einsetzen der Apparaturen als auch nach erfolgter Erweiterung des Oberkiefers Kiefermodelle erstellt. Nach Generierung virtueller Modelle mittels des optischen Sensors R 700 (3 shape, Copenhagen), wurde eine dreidimensionale Analyse zur Berechnung der Zahnstellungsänderungen durchgeführt. Dabei wurde eine virtuelle Ebene zwischen den palatinalen Höckerspitzen von 16 und 26 und der Inzisalkante von 11 kreiert. Von den bukkalen Höckerspitzen wurde ein Lot auf die Ebene gebildet, um danach ein rechtwinkliges Dreieck durch die palatinalen und bukkalen Höckerspitzen der Seitenzähne aufzuspannen. Daraus wurde durch die Formel $\sin \alpha = \text{Gegenkathete} / \text{Ankathete}$ der Winkel α berechnet. Es wurden longitudinale Veränderungen sowie Gruppenvergleiche statistisch berechnet.

Tabelle: Messwerte der Vergleichsgruppen (tpd=15, gne=12); T1=Winkel vorher; T2=Winkel nachher; T2-T1=Winkeldifferenz; Mittelwert ± Standardabweichung; T-Test
Test: n.s.= nicht signifikant, *p<0,05, ** p<0,01



Zahn		T1	T2	T2-T1	P-Wert	n. s.
14	tpd	7,07±5,43	7,63±7,77	-0,37±5,30	0,124	n. s.
	gne	10,04±9,25	6,13±10,19	3,98±5,03		*
24	tpd	3,94±7,40	3,98±7,09	0,44±3,56	0,035	*
	gne	10,90±7,20	8,89±8,37	4,21±5,23		*
15	tpd	3,95±4,65	-0,36±5,30	1,79±4,21	0,029	*
	gne	4,75±5,76	-2,47±12,01	7,22±5,01		**
25	tpd	-0,45±7,19	-1,66±8,09	1,34±4,25	0,009	**
	gne	7,55±4,05	-1,92±5,31	9,15±7,35		*
16	tpd	-4,28±5,08	-0,91±5,30	1,55±4,39	0,032	*
	gne	-4,23±5,33	-0,79±4,92	5,50±4,63		n. s.
26	tpd	-6,87±5,16	-7,52±5,42	1,05±4,03	0,073	n. s.
	gne	-1,48±5,89	-5,55±9,65	4,07±4,33		n. s.
17	tpd	-7,82±4,97	-10,23±6,54	2,41±3,65	0,166	n. s.
	gne	-6,02±5,28	-11,70±6,19	5,30±5,30		n. s.
27	tpd	-7,88±6,78	-7,08±5,33	-0,18±3,57	0,048	*
	gne	-6,02±7,27	-9,24±5,35	3,21±4,90		n. s.

ERGEBNISSE

Bukkalkippungen der Prämolaren und Molaren waren bei der transversalen Erweiterung des Oberkiefers mittels eines TPD im Vergleich zu denen mittels einer GNE signifikant geringer. Aufgrund der relativ kleinen Versuchsgruppen konnte nicht bei allen Zähnen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, obgleich die Tendenz zur stärkeren Bukkkalippung bei GNE bei allen Zähnen vorliegt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Durch die Ergebnisse dieser Studie kann signifikant nachgewiesen werden, dass eine geringere dentale Bukkkalippung der Seitenzähne beim Einsatz eines TPD im Vergleich zur GNE bei einem homogenen erwachsenen Patientenkollektiv mit chirurgisch unterstützter transversaler Erweiterung des Oberkiefers vorliegt. Außerdem ermöglicht die osäre Verankerung eine frühzeitige Weiterbehandlung mit einer feststehenden Apparatur, da der Distraktor als Retentionsgerät belassen werden kann.

Teile der Arbeit wurden beim Journal of Orofacial Orthopedics (JOOF) / Fortschritte der Kieferorthopädie zur Publikation angenommen.

Kunz Felix, Linz Christian, Baunach Gregor, Böhm Hartmut, Meyer-Marcotty Philipp, PhD, DDS

Expansionsmodus der chirurgisch unterstützten Gaumennahterweiterung: Transversaler Distraktor versus Hyrax-Apparatur – Expansion mode of the surgically assisted rapid maxillary expansion: transpalatal distractor vs. hyrax-appliance

Poliklinik für Kieferorthopädie, Universitätsklinikum Würzburg

Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum Würzburg

Poliklinik für Kieferorthopädie, Universitätsmedizin Göttingen

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Schädel, Ansicht von frontal; 1=Processus frontalis der Maxilla, 2=Processus zygomaticus der Maxilla, 3=Processus alveolaris der Maxilla, 4=Os zygomaticum, 5=Os nasale, 6=Os sphenoidale, 7=Concha nasalis inferior, 8=Vomer, 9=Os ethmoidale, 10=Os lacrimale, 11=Os frontale, 12=Mandibula; a=Sutura intermaxillaris, b=Sutura zygomaticomaxillaris, c=Sutura zygomaticofrontalis, d=Sutura frontomaxillaris, e=Sutura frontonasalis, f=Sutura nasomaxillaris; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [128]	4
Abbildung 1-2: Maxilla, Ansicht von kaudal; 1=Processus palatinus der Maxilla, 2a=Lamina horizontalis des Os palatinum , 2b=Lamina perpendicularis des Os palatinum, 3=Processus pterygoideus des Os sphenoidale, 4=Vomer; a=S. p. m., b=Sutura palatina transversa; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [128]	5
Abbildung 1-3: Interdigitation der Sutura palatina mediana in den verschiedenen Altersstadien: links: frühkindlich; Mitte: Pubertät; rechts: Erwachsenenalter [135]	11
Abbildung 1-4: Widerstandszonen bei der GNE; 1=Nasomaxillärer Pfeiler, 2=Zygomaticomaxillärer Pfeiler, 3=Pterygomaxillärer Pfeiler; a=Sutura intermaxillaris, b: Sutura pterygomaxillaris, c=Sutura zygomaticomaxillaris, d=Sutura nasomaxillaris, e=Sutura frontonasalis, f=Sutura frontomaxillaris, g=Sutura zygomaticofrontalis, h=Sutura zygomaticotemporalis; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [128]	12
Abbildung 1-5: Ansicht der Maxilla von links, Sinus maxillaris eröffnet; 1=Os palatinum, 2=Os Sphenoidale processus pterygoideus lamina lateralis, 3=Os palatinum processus pyramidalis, a=Sutura pterygomaxillaris; Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [68]	20
Abbildung 1-6: Schemazeichnung einer Hyrax-Apparatur in situ, Osteotomielinien rot eingezeichnet (Ansicht von kaudal); runder Bildausschnitt: Schematische Darstellung des durch die Distraction entstehenden Diastema mediale (Ansicht von frontal) [8]	22
Abbildung 1-7: Schemazeichnung eines transpalatinalen Distraktors in Situ, Osteotomielinien der SARME rot eingezeichnet (Ansicht von kaudal) [8]	25
Abbildung 2-1: Die 5 verschiedenen Module des Trans Palatal Distractor der Firma Surgi-Tec (Surgi-Tec NV, Sint-Denijs-Westrem, Belgien); 1=Modul 1 (max. Distraction = 9 mm), 2=Modul 2 (max. Distraction = 15 mm, 3=Modul 2,5 (max. Distraction = 20 mm, 4=Modul 3 (max. Distraction = 27 mm), 5=Modul 4 (max. Distraction = 33 mm);Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [178]	34
Abbildung 2-2: Die 4 verschiedenen Module des Rapid-Palatal-Expander der Firma KLS Martin Group (Gebrüder Martin GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland); 1=Modul 1 (max. Distraction = 9 mm), 2=Modul 2 (max. Distraction = 18 mm), 3=Modul 3 (max. Distraction = 27 mm), 4=Modul 4 (max. Distraction = 36 mm); Abbildung bearbeitet unter Verwendung von [103]	34

Abbildung 2-3: Hyrax-Apparatur; Ansicht von okklusal (2-3a), Ansicht von dorsal (2-3b) [149]...	36
Abbildung 2-4: Schemazeichnung der Osteotomie in der Le-Fort-I-Ebene und der sagittalen Spaltung entlang der S. p. m. (Osteotomielinien rot eingezeichnet, grüne Pfeile: Bewegungsrichtung der zwei Segmente bei der Distraction) [8].....	37
Abbildung 2-5: Transversale Erweiterung mittels TPD (2-5a) bzw. Hyrax-Apparatur (2-5b). Ansicht von kaudal; beide Patienten befinden sich in der Retentionsphase.	38
Abbildung 2-6: Situation im Oberkiefer in der Ansicht von kaudal vor der Behandlung (2-6a), während der Behandlung mittels TPD (2-6b) und nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung (2-6c).....	39
Abbildung 2-7: Schlussbiss vor (2-7a) und nach der Behandlung mittels TPD (2-7b)	39
Abbildung 2-8: Lachaufnahme vor (2-8a) und nach der Behandlung mittels TPD (2-8b)	39
Abbildung 2-9: Situation im Oberkiefer vor der Behandlung (2-9a), während der Behandlung mittels Hyrax-Apparatur (2-9b) und nach Abschluss der Kieferorthopädischen Behandlung (2-9c)	40
Abbildung 2-10: Schlussbiss vor (2-10a) und nach der Behandlung mittels Hyrax Apparatur (2-10b)	40
Abbildung 2-11: Lachaufnahme vor (2-11a) und nach der Behandlung mittels Hyrax Apparatur (2-11b)	40
Abbildung 2-12: Situationsmodell aus KFO-Gips (2-13a), durch optisches Abtasten generiertes virtuelles Modell (2-12b).....	41
Abbildung 2-13: R700 Orthodontic 3D Scanner (3Shape A/S, Kopenhagen, Dänemark).....	42
Abbildung 2-14: Durch die Software OrthoAnalyzer zur Demonstration der Aufdehnung des Oberkiefers bei der SARME generiertes Überlagerungsbild von prätherapeutischem Modell (braun) und posttherapeutischem Modell (grün)	43
Abbildung 2-15: Die 31 gesetzten Messpunkte auf einem virtuellen Modell	45
Abbildung 2-16: Ebene E-11-17-27-mb (türkis); Messpunkt SK11, mbHS17, mbHS27 mit rotem Pfeil markiert; Ansicht von okklusal/dorsal	47
Abbildung 2-17: Höckerabstand des mesiobukkalen und mesiopalatinalen Höckers des Zahnes 16; Messpunkte mbHS16 und mpHS16 mit rotem Pfeil markiert, Strecke mbHS16-mpHS16 (grün)	48
Abbildung 2-18: Referenzebene E-11-16-26-mp (blau); Ansicht von okklusal (2-18a), Ansicht von dorsal (2-18b); Messpunkte SK11, mpHS16, mpHS26 mit rotem Pfeil markiert.....	48
Abbildung 2-19: Auswahl an transversal gemessenen Strecken: Su13-Su23 (weiß), bHS15-bHS25 (grün), mbHS17-mbHS27 (gelb); Ansicht von okklusal (2-19a) und von dorsal (2-19b).....	49
Abbildung 2-20: Vertikale Abstände zur RefE (Ansicht der Zähne 16, und 17 von bukkal); Messpunkte (rot) von links nach rechts: mb16, mp16, mb17, mp17, RefE (blau), senkrecht zur RefE gemessene abstände (gelb): mb16-RefE, mb17-RefE, mp16-RefE	51

Abbildung 2-21: Kippungswinkel α (am Zahn 26); a bzw. GK=Gegenkathete (orange), c bzw. HYP=Hypotenuse (grün); b bzw. Ankathete (ANK) wird durch die RefE (blau) gebildet	53
Abbildung 2-22: Messen der Extrusion/Intrusion ϵ mit Hilfe der Vertikalen Abstände zur RefE (Ansicht der Zähne 23, 24, 25 von palatinal); Messpunkte (rote Pfeile) von links nach rechts: Su23, Su24, Su25, RefE (blau), senkrecht zur RefE gemessene Abstände (gelb): Su23-RefE, Su24-RefE, Su25-RefE.....	54
Abbildung 2-23: Horizontale Fläche im Bereich der Höckerspitzen der Prämolaren und Molaren: F-pHS14-pHS24-mbHS27-mbHS17-pHS14; im Bild grün markiert.....	55
Abbildung 3-1: Farbliche Darstellung der Kippung der Seitenzähne in der TPD-Gruppe; Skala im Bild rechts: Winkel α in Grad	71
Abbildung 3-2: Farbliche Darstellung der Kippung der Seitenzähne in der Hyrax-Gruppe; Skala im Bild rechts: Winkel α in Grad	73

8 Diagramm- und Tabellenverzeichnis

Diagramm 3-1: Vergleich der Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; ** = $p < 0,01$	61
Diagramm 3-2: Vergleich der Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$	64
Diagramm 3-3: Vergleich der Erweiterung im Bereich der Sulci von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$	67
Diagramm 3-4: Zunahme des Flächeninhalts im Bereich der Höckerspitzen zwischen den ersten Molaren und zweiten Prämolaren in der TPD-Gruppe und der Hyrax-Gruppe (Mittelwerte in cm^2)	68
Diagramm 3-5: Kippungswinkel α im Vergleich zwischen TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; negative Winkeldifferenz bedeutet Kippung der Zähne nach bukkal, positive Winkeldifferenz bedeutet Aufrichtung nach palatinal; * = $p < 0,05$	74
Diagramm 3-6: Vergleich der Extrusion/Intrusion ϵ der Seitenzähne von TPD-Gruppe und Hyrax-Gruppe; negative Werte zeigen eine Intrusion, positive Werte eine Extrusion; ** = $p < 0,01$	77
Tabelle 2-1: Patientengruppen (SD = Standardabweichung)	32
Tabelle 2-2: Zeitlicher Ablauf der Behandlung	33
Tabelle 2-3: Messpunkte, resultierende Strecken bzw. Flächen, resultierende Messungen	56
Tabelle 3-1 Messwerte TPD Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung; Mittelwert (SD) in [mm]	59
Tabelle 3-2 Messwerte Hyrax Erweiterung im Bereich der bukkalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]	60
Tabelle 3-3 Messwerte TPD Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]	62
Tabelle 3-4 Messwerte Hyrax Erweiterung im Bereich der palatinalen Höckerspitzen; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]	63
Tabelle 3-5: Messwerte TPD Erweiterung im Bereich der Sulci; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]	65

Tabelle 3-6 Messwerte Hyrax Erweiterung im Bereich der Sulci; Zahnpaar, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Distanz prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=transversale Erweiterung, Mittelwert (SD) in [mm]	66
Tabelle 3-7: Messwerte TPD Flächenzunahme im Bereich der Höckerspitzen; Flächeninhalt, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Flächeninhalt prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=Zunahme Flächeninhalt, Mittelwert (SD) in [cm ²].....	67
Tabelle 3-8: Messwerte Hyrax Flächenzunahme im Bereich der Höckerspitzen; Flächeninhalt, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Flächeninhalt prä-OP, T2=Distanz post-OP, T2-T1=Zunahme Flächeninhalt, Mittelwert (SD) in [cm ²].....	68
Tabelle 3-9: Messwerte Kippungswinkel α TPD-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Winkel prä-OP, T2=Winkel post-OP, T2-T1=Winkeldifferenz, Mittelwert (SD) in [°]; negative Winkeldifferenz bedeutet Kippung der Zähne nach bukkal, positive Winkeldifferenz bedeutet Aufrichtung nach palatinal	70
Tabelle 3-10: Messwerte Kippungswinkel α Hyrax-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=Winkel prä-OP, T2=Winkel post-OP, T2-T1=Winkeldifferenz, Mittelwert (SD) in [°]; negative Winkeldifferenz bedeutet Kippung der Zähne nach bukkal, positive Winkeldifferenz bedeutet Aufrichtung nach palatinal	72
Tabelle 3-11: Messwerte Extrusion/Intrusion ϵ TPD-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=prä-OP, T2=post-OP, T2-T1=Differenz, Mittelwert (SD) in [mm]; negative Werte zeigen eine Intrusion, positive Werte eine Extrusion	75
Tabelle 3-12: Messwerte Extrusion/Intrusion ϵ Hyrax-Gruppe; Zahn, Gruppe (Anzahl der Messwerte); T1=prä-OP, T2=post-OP, T2-T1=Differenz, Mittelwert (SD) in [mm]; negative Werte zeigen eine Intrusion, positive Werte eine Extrusion	76

9 Literaturverzeichnis

1. **Akay MC**
CT Scanning - Techniques and Applications
2011; ISBN: 978-953-307-943-1.
2. **Allen D, Rebellato J, Sheats R, Ceron AM**
Skeletal and dental contributions to posterior crossbites
Angle Orthod, 2003; 73: 515-524.
3. **Aloise AC, Pereira MD, Hino CT, Filho AG, Ferreira LM**
Stability of the transverse dimension of the maxilla after surgically assisted rapid expansion
J Craniofac Surg, 2007; 18: 860-865.
4. **Alpern MC, Yurosko JJ**
Rapid palatal expansion in adults with and without surgery
Angle Orthod, 1987; 57: 245-263.
5. **Angell EH**
Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth.
Dental Cosmos, 1860; 1: 540-544, 599-600.
6. **Angell EH**
The permanent teeth.
San Francisco Medical Press, 1860; 1: 83-93, 145-150.
7. **Anttila A, Finne K, Keski-Nisula K, Somppi M, Panula K, Peltomäki T**
Feasibility and long-term stability of surgically assisted rapid maxillary expansion with lateral osteotomy.
European journal of orthodontics, 2004; 26: 391-395.
8. **Aofoundation**
www.aofoundation.org
2012.
9. **Aras A, Akay MC, Cukurova I, Günbay T, İşiksal E, Aras I**
Dimensional changes of the nasal cavity after transpalatal distraction using bone-borne distractor: an acoustic rhinometry and computed tomography evaluation
J Oral Maxillofac Surg, 2010; 68: 1487-1497.
10. **Arat ZM, Gökalp H, Atasever T, Türkkahraman H**
99mTechnetium-labeled methylene diphosphonate uptake in maxillary bone during and after rapid maxillary expansion.
The Angle orthodontist, 2003; 73: 545-549.

11. **Aronson J**
Experimental and clinical experience with distraction osteogenesis
Cleft Palate Craniofac J, 1994; 31: 473-481.
12. **Austermann KH**
Frakturen des Gesichtsschädels
2002; *Band 2: Spezielle Chirurgie*.
13. **Aznar T, Galán AF, Marín I, Domínguez A**
Dental arch diameters and relationships to oral habits
Angle Orthod, 2006; 76: 441-445.
14. **Babacan H, Sokucu O, Doruk C, Ay S**
Rapid maxillary expansion and surgically assisted rapid maxillary expansion effects on nasal volume
Angle Orthod, 2006; 76: 66-71.
15. **Bailey LJ, White RP, Proffit WR, Turvey TA**
Segmental LeFort I osteotomy for management of transverse maxillary deficiency
J Oral Maxillofac Surg, 1997; 55: 728-731.
16. **Banning LM, Gerard N, Steinberg BJ, Bogdanoff E**
Treatment of transverse maxillary deficiency with emphasis on surgically assisted rapid maxillary expansion.
Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995), 1996; 17: 170, 174-170, 178.
17. **Barber AF, Sims MR**
Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study
Am J Orthod, 1981; 79: 630-652.
18. **Bassarelli T, Dalstra M, Melsen B**
Changes in clinical crown height as a result of transverse expansion of the maxilla in adults
Eur J Orthod, 2005; 27: 121-128.
19. **Baydas B, Yavuz I, Uslu H, Dagsuyu IM, Ceylan I**
Nonsurgical rapid maxillary expansion effects on craniofacial structures in young adult females. A bone scintigraphy study
Angle Orthod, 2006; 76: 759-767.
20. **Bays RA, Greco JM**
Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability
J Oral Maxillofac Surg, 1992; 50: 110-113.

21. **Bell RA**
A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age
Am J Orthod, 1982; 81: 32-37.
22. **Bell WH**
Modern practice in orthognathic and reconstructive surgery
1992; 3.
23. **Bell WH, Epker BN**
Surgical-orthodontic expansion of the maxilla
Am J Orthod, 1976; 70: 517-528.
24. **Bell WH, Gonzalez M, Samchukov ML, Guerrero CA**
Intraoral widening and lengthening of the mandible in baboons by distraction osteogenesis
J Oral Maxillofac Surg, 1999; 57: 548-562.
25. **Bell WH, Jacobs JD**
Surgical-orthodontic correction of horizontal maxillary deficiency
J Oral Surg, 1979; 37: 897-902.
26. **Berger JL, Pangrazio-Kulbersh V, Borgula T, Kaczynski R**
Stability of orthopedic and surgically assisted rapid palatal expansion over time
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1998; 114: 638-645.
27. **Bertelè G, Mercanti M, Stella F**
Structural dentofacial variations in maxilla expansion
Minerva Stomatol, 1999; 48: 101-113.
28. **Betts NJ, Vanarsdall RL, Barber HD, Higgins-Barber K, Fonseca RJ**
Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg, 1995; 10: 75-96.
29. **Betts NJ, Ziccardi V**
Oral and maxillofacial surgery
2000; 1: 211-231.
30. **Biederman W**
A hygienic appliance for rapid expansion.
JPO: the journal of practical orthodontics, 1968; 2: 67.
31. **Bishara SE, Staley RN**
Maxillary expansion: clinical implications
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1987; 91: 3-14.

32. **Braun S, Bottrel JA, Legan HL**
Condylar displacement related to mandibular symphyseal distraction
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2002; 121: 162-165.
33. **Bretos JL, Pereira MD, Gomes HC, Toyama Hino C, Ferreira LM**
Sagittal and vertical maxillary effects after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) using Haas and Hyrax expanders
J Craniofac Surg, 2007; 18: 1322-1326.
34. **Brown GVI**
The surgery of oral and facial diseases and malformations: their diagnosis and treatment including plastic surgical reconstruction
1938.
35. **Byloff FK, Mossaz CF**
Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion
Eur J Orthod, 2004; 26: 403-409.
36. **Cameron CG, Franchi L, Baccetti T, McNamara JA**
Long-term effects of rapid maxillary expansion:
a posteroanterior cephalometric evaluation
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2002; 121: 129-135.
37. **Capellozza FL, Cardoso NJ, da Silva FO, Ursi W**
Non-surgically assisted rapid maxillary expansion in adults.
The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery, 1996; 11: 57.
38. **Carmen M, Marcella P, Giuseppe C, Roberto A**
Periodontal evaluation in patients undergoing maxillary expansion
J Craniofac Surg, 2000; 11: 491-494.
39. **Ceylan I, Oktay H, Demirci M**
The effect of rapid maxillary expansion on conductive hearing loss
Angle Orthod, 1996; 66: 301-307.
40. **Chaconas SJ, Caputo AA**
Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances
Am J Orthod, 1982; 82: 492-501.
41. **Chang JY, McNamara JA, Herberger TA**
A longitudinal study of skeletal side effects induced by rapid maxillary expansion
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1997; 112: 330-337.

42. **Charezinski M, Balon-Perin A, Deroux E, De Maertelaer V, Glineur R**
Transverse maxillary stability assisted by a transpalatal device:
a retrospective pilot study of 9 cases
Int J Oral Maxillofac Surg, 2009; 38: 937-941.
43. **Chin M**
Distraction osteogenesis for dental implants
Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am, 1999; 7: 41-63.
44. **Chung CH, Woo A, Zagarinsky J, Vanarsdall RL, Fonseca RJ**
Maxillary sagittal and vertical displacement induced by
surgically assisted rapid palatal expansion
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001; 120: 144-148.
45. **Chung C, Goldman AM**
Dental tipping and rotation immediately after
surgically assisted rapid palatal expansion.
European journal of orthodontics, 2003; 25: 353-358.
46. **Conley RS, Legan HL**
Correction of severe vertical maxillary excess with
anterior open bite and transverse maxillary deficiency
Angle Orthod, 2002; 72: 265-274.
47. **Costantino PD, Shybut G, Friedman CD, Pelzer HJ, Masini M, Shindo ML, Sisson GA**
Segmental mandibular regeneration by distraction osteogenesis.
An experimental study
Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 1990; 116: 535-545.
48. **Cruz AAV, dos Santos AC**
Blindness after Le Fort I osteotomy: a possible complication associated with
pterygomaxillary separation
J Craniomaxillofac Surg, 2006; 34: 210-216.
49. **Cureton SL, Cuenin M**
Surgically assisted rapid palatal expansion: orthodontic preparation for
clinical success
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1999; 116: 46-59.
50. **Dahlberg G**
Statistical methods for medical and biological students
1940.
51. **Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD**
Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band
appliances
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2005; 127: 483-492.

- 52. Deeb W, Hansen L, Hotan T, Hietschold V, Harzer W, Tausche E**
Changes in nasal volume after surgically assisted bone-borne rapid maxillary expansion
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2010; 137: 782-789.
- 53. Derichsweiler H**
Die Umstellung der Mundatmung zur Nasenatmung durch die Gaumennahterweiterung
Fortschritte der Kieferorthopädie, 1954; 15: 234-243.
- 54. Diedrich P**
Praxis der Zahnheilkunde. Kieferorthopädie 1: Orofaziale Entwicklung und Diagnostik
2005.
- 55. Eckert-Möbius A**
The importance of the tongue for nasal and oral respiration
Fortschr Kieferorthop, 1953; 14: 229-239.
- 56. Eirew HL**
Rapid maxillary expansion
Dent Update, 1976; 3: 251-261.
- 57. Ekström C, Henrikson CO, Jensen R**
Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion
Am J Orthod, 1977; 71: 449-455.
- 58. El-Hakim IE, Azim AM, El-Hassan MF, Maree SM**
Preliminary investigation into the effects of electrical stimulation on mandibular distraction osteogenesis in goats
Int J Oral Maxillofac Surg, 2004; 33: 42-47.
- 59. Epker BN, Wolford LM**
Transverse maxillary deficiency dentofacial deformities: integrated orthodontic and surgical correction.
St Louis: Mosby, 1980.
- 60. Erverdi N, Okar I, Küçükkeles N, Arbak S**
A comparison of two different rapid palatal expansion techniques from the point of root resorption
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1994; 106: 47-51.
- 61. Frevert-Boelcke A**
Die Gaumennaht-Sprengung
Dtsch Zahnärztl, 1954; 511-517.

62. **Gantous A, Phillips JH, Catton P, Holmberg D**
Distraction osteogenesis in the irradiated canine mandible
Plast Reconstr Surg, 1994; 93: 164-168.
63. **Garib DG, Henriques JF, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY**
Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006; 129: 749-758.
64. **Gerlach KL, Zahl C**
Transversal palatal expansion using a palatal distractor
J Orofac Orthop, 2003; 64: 443-449.
65. **Gerlach KL, Zahl C**
Surgically assisted rapid palatal expansion using a new distraction device: report of a case with an epimucosal fixation
J Oral Maxillofac Surg, 2005; 63: 711-713.
66. **Gilon Y, Heymans O, Limme M, Brandt L, Raskin S**
Indications et implications de la disjonction chirurgicale du maxillaire supérieur dans les traitements orthodonticochirurgicaux
Revue de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale, 2000; 101: 252-258.
67. **Glassman AS, Nahigian SJ, Medway JM, Aronowitz HI**
Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases
Am J Orthod, 1984; 86: 207-213.
68. **Gray H**
Anatomy of the Human Body
1918; www.bartleby.com/107.
69. **Gray LP**
Results of 310 cases of rapid maxillary expansion selected for medical reasons
J Laryngol Otol, 1975; 89: 601-614.
70. **Greenbaum KR, Zachrisson BU**
The effect of palatal expansion therapy on the periodontal supporting tissues
Am J Orthod, 1982; 81: 12-21.
71. **Guerrero CA, Bell WH, Contasti GI, Rodriguez AM**
Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis
Br J Oral Maxillofac Surg, 1997; 35: 383-392.
72. **Gunbay T, Akay MC, Aras A, Gomel M**
Effects of transmandibular symphyseal distraction on teeth, bone, and temporomandibular joint
J Oral Maxillofac Surg, 2009; 67: 2254-2265.

73. **Göz G**
Kieferorthopädie II
2000; 271-279.
74. **Günbay T, Akay MC, Günbay S, Aras A, Koyuncu BO, Sezer B**
Transpalatal distraction using bone-borne distractor: clinical observations and dental and skeletal changes
J Oral Maxillofac Surg, 2008; 66: 2503-2514.
75. **Haas AJ**
Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics
American journal of orthodontics, 1970; 57: 219-255.
76. **Haas AJ**
Rapid expansion of the maxillary arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture
Am J Orthod, 1961; 31: 73-89.
77. **Haas AJ**
The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture
Angle Orthod, 1965; 35: 200-217.
78. **Haas AJ**
Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion
Angle Orthod, 1980; 50: 189-217.
79. **Han UA, Kim Y, Park JU**
Three-dimensional finite element analysis of stress distribution and displacement of the maxilla following surgically assisted rapid maxillary expansion.
Journal of cranio-maxillo-facial surgery: official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery, 2009; 37: 145-154.
80. **Handelman CS, Wang L, BeGole EA, Haas AJ**
Nonsurgical rapid maxillary expansion in adults: report on 47 cases using the Haas expander
Angle Orthod, 2000; 70: 129-144.
81. **Hansen L, Tausche E, Hietschold V, Hotan T, Lagravère M, Harzer W**
Skeletally-anchored rapid maxillary expansion using the Dresden Distractor
J Orofac Orthop, 2007; 68: 148-158.
82. **Hartgerink DV, Vig PS, Abbott DW**
The effect of rapid maxillary expansion on nasal airway resistance
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1987; 92: 381-389.

- 83. Harzer W, Schneider M, Gedrange T**
Rapid maxillary expansion with palatal anchorage of the hyrax expansion screw - pilot study with case presentation
J Orofac Orthop, 2004; 65: 419-424.
- 84. Hershey HG, Stewart BL, Warren DW**
Changes in nasal airway resistance associated with rapid maxillary expansion
Am J Orthod, 1976; 69: 274-284.
- 85. Hicks EP**
Slow maxillary expansion: A clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force
American journal of orthodontics, 1978; 73: 121-141.
- 86. Hiranuma Y, Yamamoto Y, Iizuka T**
Strain distribution during separation of the pterygomaxillary suture by osteotomes. Comparison between Obwegeser's osteotome and swan's neck osteotome
J Craniomaxillofac Surg, 1988; 16: 13-17.
- 87. Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I**
Surgically assisted rapid maxillary expansion: midfacial and cranial stress distribution
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007; 132: 776-782.
- 88. Iida S, Haraguchi S, Aikawa T, Yashiro K, Okura M, Kogo M**
Conventional bone-anchored palatal distractor using an orthodontic palatal expander for the transverse maxillary distraction osteogenesis: technical note
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2008; 105: 8-11.
- 89. Ilizarov GA**
The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues:
Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation
Clin Orthop Relat Res, 1989; 249-281.
- 90. Ilizarov GA**
The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues:
Part II. The influence of the rate and frequency of distraction
Clin Orthop Relat Res, 1989; 263-285.
- 91. Ilizarov GA**
Basic principles of transosseous compression and distraction osteosynthesis
Ortop Travmatol Protez, 1971; 32: 7-15.
- 92. Imola MJ, Ducic Y, Adelson RT**
The secondary correction of post-traumatic craniofacial deformities
Otolaryngol Head Neck Surg, 2008; 139: 654-660.

93. **Imola MJ, Hamlar DD, Thatcher G, Chowdhury K**
The versatility of distraction osteogenesis in craniofacial surgery
Arch Facial Plast Surg, 2002; 4: 8-19.
94. **Inoue N, Oyama K, Ishiguro K, Azuma M, Ozaki T**
Radiographic observation of rapid expansion of human maxilla
Bull Tokyo Med Dent Univ, 1970; 17: 249-261.
95. **Ioannidou J, Kolokitha O**
Rapid maxillary expansion: presentation of 3 clinical cases
Orthod Fr, 2000; 71: 95-103.
96. **Isaacson R, TD M**
Some effects of rapid maxillary expansion in cleft lip and palate patients
Angle Orthod, 1964; 34: 143-154.
97. **Isaacson RJ, Ingram AH**
Forces produced by rapid maxillary expansion I: Forces present during treatment
Angle Orthod, 1964; 34: 256.
98. **Isaacson RJ, Wood JL, Ingram AH**
Forces produced by rapid maxillary expansion II
Angle Orthod, 1964; 34: 261.
99. **Iseri H, Malkoç S**
Long-term skeletal effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis.
An implant study
Eur J Orthod, 2005; 27: 512-517.
100. **Iseri H, Tekkaya AE, Oztan O, Bilgic S**
Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton,
studied by the finite element method.
European journal of orthodontics, 1998; 20: 347-356.
101. **Jacobs JD, Bell WH, Williams CE, Kennedy JW**
Control of the transverse dimension with surgery and orthodontics
Am J Orthod, 1980; 77: 284-306.
102. **Jafari A, Shetty KS, Kumar M**
Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures
following application of transverse orthopedic forces -
a three-dimensional FEM study
Angle Orthod, 2003; 73: 12-20.

- 103. KLSMartinGroup**
http://www.klsmartin.com/fileadmin/Inhalte/Downloads_Prospekte/Distraktion/90-173-02-10_07_13_Distraktionsuebersicht.pdf
 2014; 29.
- 104. Kiliç N, Kiki A, Oktay H**
 A comparison of dentoalveolar inclination treated by two palatal expanders
Eur J Orthod, 2008; 30: 67-72.
- 105. Klink-Heckmann U, Bredy E**
 Kieferorthopädie
 1990.
- 106. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H**
 Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study
J Orofac Orthop, 2004; 65: 467-474.
- 107. Korbmacher H, Schilling A, Püschel K, Amling M, Kahl-Nieke B**
 Age-dependent Three-dimensional Microcomputed Tomography Analysis of the Human Midpalatal Suture
Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 2007; 68: 364-376.
- 108. Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KG, Wolvius EB, Prahl-Andersen B, Schulten AJ**
 Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature
Int J Oral Maxillofac Surg, 2005; 34: 709-714.
- 109. Koudstaal MJ, Smeets JBJ, Kleinrensink G, Schulten AJM, van der Wal KGH**
 Relapse and stability of surgically assisted rapid maxillary expansion: an anatomic biomechanical study
J Oral Maxillofac Surg, 2009; 67: 10-14.
- 110. Koudstaal MJ, Wolvius EB, Schulten AJ, Hop WC, van der Wal KG**
 Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial
Int J Oral Maxillofac Surg, 2009; 38: 308-315.
- 111. Koudstaal MJ, van der Wal KG, Wolvius EB**
 Experience with the transpalatal distractor in congenital deformities
Mund Kiefer Gesichtschir, 2006; 10: 331-334.
- 112. Kraut RA**
 Surgically assisted rapid maxillary expansion by opening the midpalatal suture
J Oral Maxillofac Surg, 1984; 42: 651-655.

- 113. Krebs A**
Midpalatal suture expansion studies by the implant method over a seven-year period.
1964; 40: 131.
- 114. Kunkel M, Ekert O, Wagner W**
Changes in the nasal airway by transverse distraction of the maxilla
Mund Kiefer Gesichtschir, 1999; 3: 12-16.
- 115. Kutin G, Hawes RR**
Posterior cross-bites in the deciduous and mixed dentitions
Am J Orthod, 1969; 56: 491-504.
- 116. Landes CA, Laudemann K, Petruchin O, Revilla C, Seitz O, Kopp S, Ludwig B, Sader RA**
Advantages and limits of 3-segment (paramedian) versus 2-segment (median) surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME)
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2012; 113: 29-40.
- 117. Landes CA, Laudemann K, Schübel F, Petruchin O, Mack M, Kopp S, Sader RA**
Comparison of tooth- and bone-borne devices in surgically assisted rapid maxillary expansion by three-dimensional computed tomography monitoring: transverse dental and skeletal maxillary expansion, segmental inclination, dental tipping, and vestibular bone resorption
J Craniofac Surg, 2009; 20: 1132-1141.
- 118. Langford SR, Sims MR**
Root surface resorption, repair, and periodontal attachment following rapid maxillary expansion in man
Am J Orthod, 1982; 81: 108-115.
- 119. Lanigan DT, Hey JH, West RA**
Major vascular complications of orthognathic surgery: hemorrhage associated with Le Fort I osteotomies
J Oral Maxillofac Surg, 1990; 48: 561-573.
- 120. Lanigan DT, Hey JH, West RA**
Major vascular complications of orthognathic surgery: false aneurysms and arteriovenous fistulas following orthognathic surgery
J Oral Maxillofac Surg, 1991; 49: 571-577.
- 121. Lanigan DT, Mintz SM**
Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: review of the literature and report of a case
J Oral Maxillofac Surg, 2002; 60: 104-110.

- 122. Lanigan DT, Romanchuk K, Olson CK**
Ophthalmic complications associated with orthognathic surgery
J Oral Maxillofac Surg, 1993; 51: 480-494.
- 123. Lanigan DT, Tubman DE**
Carotid-cavernous sinus fistula following Le Fort I osteotomy
J Oral Maxillofac Surg, 1987; 45: 969-975.
- 124. Laudemann K, Petruchin O, Mack MG, Kopp S, Sader R, Landes CA**
Evaluation of surgically assisted rapid maxillary expansion with or without pterygomaxillary disjunction based upon preoperative and post-expansion 3D computed tomography data
Oral Maxillofac Surg, 2009; 13: 159-169.
- 125. Laudemann K, Petruchin O, Nafzger M, Ballon A, Kopp S, Sader RA, Landes CA**
Long-term 3D cast model study: bone-borne vs. tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion due to secondary variables
Oral Maxillofac Surg, 2010; 14: 105-114.
- 126. Laudemann K, Santo G, Revilla C, Harth M, Kopp S, Sader RA, Landes CA**
Assessment of Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion Regarding Pterygomaxillary Disjunction Using Thin Volume-Rendering Technique: In Variance Analysis and in Reliability, Accuracy, and Validity
J Oral Maxillofac Surg, 2011.
- 127. Lehman JA, Haas AJ**
Surgical-orthodontic correction of transverse maxillary deficiency
Dent Clin North Am, 1990; 34: 385-395.
- 128. Universitätsklinikum Leipzig**
<http://kieferorthopaedie.uniklinikum-leipzig.de/gaumen/theo.htm>
2014.
- 129. Lima SM, de Moraes M, Asprino L**
Photoelastic analysis of stress distribution of surgically assisted rapid maxillary expansion with and without separation of the pterygomaxillary suture
J Oral Maxillofac Surg, 2011; 69: 1771-1775.
- 130. Lines PA**
Adult rapid maxillary expansion with corticotomy
Am J Orthod, 1975; 67: 44-56.
- 131. Little RM, Riedel RA**
Postretention evaluation of stability and relapse--mandibular arches with generalized spacing
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1989; 95: 37-41.

132. **Loddi PP, Pereira MD, Wolosker AB, Hino CT, Kreniski TM, Ferreira LM**
Transverse effects after surgically assisted rapid maxillary expansion in the midpalatal suture using computed tomography
J Craniofac Surg, 2008; 19: 433-438.
133. **Löfstrand-Tideström B, Thilander B, Ahlqvist-Rastad J, Jakobsson O, Hulcrantz E**
Breathing obstruction in relation to craniofacial and dental arch morphology in 4-year-old children
Eur J Orthod, 1999; 21: 323-332.
134. **Matteini C, Mommaerts MY**
Posterior transpalatal distraction with pterygoid disjunction: a short-term model study
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2001; 120: 498-502.
135. **Melsen B**
Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study
Am J Orthod, 1975; 68: 42-54.
136. **Mew J**
Long-term effect of rapid maxillary expansion
Eur J Orthod, 1993; 15: 543.
137. **Meyer-Marcotty P, Stellzig-Eisenhauer A**
Kieferorthopädische Behandlung erwachsener Patienten unter besonderer Berücksichtigung parodontaler Aspekte
Die Quintessenz, 2012; 63: 1215-1220.
138. **Mitsuda ST, Pereira MD, Passos AP, Hino CT, Ferreira LM**
Effects of surgically assisted rapid maxillary expansion on nasal dimensions using acoustic rhinometry
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2010; 109: 191-196.
139. **Mommaerts MY**
Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion
Br J Oral Maxillofac Surg, 1999; 37: 268-272.
140. **Mommaerts MY, Ali N, Correia P**
The concept of bimaxillary transverse osteodistraction: a paradigm shift?
Mund Kiefer Gesichtschir, 2004; 8: 211-216.
141. **Mommaerts MY, vande Vannet B**
Dental tours de force 5. Bimaxillary transverse distraction osteogenesis
Ned Tijdschr Tandheelkd, 2004; 111: 40-43.

- 142. Moss JP**
Rapid expansion of the maxillary arch. II. Indications for rapid expansion
JPO J Pract Orthod, 1968; 2: 215-223.
- 143. Moss JP**
Rapid expansion
Int J Orthod, 1976; 14: 15-19.
- 144. Mossaz CF, Byloff FK, Richter M**
Unilateral and bilateral corticotomies for correction of maxillary transverse discrepancies
Eur J Orthod, 1992; 14: 110-116.
- 145. Neubert J, Somsiri S, Howaldt HP, Bitter K**
Surgical expansion of midpalatal suture by means of modified Le Fort I osteotomy
Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir, 1989; 13: 57-64.
- 146. Neyt NM, Mommaerts MY, Abeloos JV, De Clercq CA, Neyt LF**
Problems, obstacles and complications with transpalatal distraction in non-congenital deformities
J Craniomaxillofac Surg, 2002; 30: 139-143.
- 147. Nishimura T, Suzuki K**
Anatomy of oral respiration: morphology of the oral cavity and pharynx
Acta Otolaryngol Suppl, 2003; : 25-28.
- 148. Northway WM, Meade JB**
Surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparison of technique, response, and stability
Angle Orthod, 1997; 67: 309-320.
- 149. o-atlas**
www.o-atlas.de/deu/kapitel6-180.php
2014.
- 150. Paulsen F, Sobotta J, Waschke J**
Atlas der Anatomie des Menschen
2010.
- 151. Persson M**
Closure of facial sutures: a preliminary report
1976; 249-253.
- 152. Persson M, Thilander B**
Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age
Am J Orthod, 1977; 72: 42-52.

- 153. Petrén S, Bondemark L, Söderfeldt B**
A systematic review concerning early orthodontic treatment of unilateral posterior crossbite
Angle Orthod, 2003; 73: 588-596.
- 154. Phillips C, Medland WH, Fields HW, Proffit WR, White RP**
Stability of surgical maxillary expansion
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg, 1992; 7: 139-146.
- 155. Pinto PX, Mommaerts MY, Wreakes G, Jacobs WV**
Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor
J Oral Maxillofac Surg, 2001; 59: 994-1000.
- 156. Pogrel MA, Kaban LB, Vargervik K, Baumrind S**
Surgically assisted rapid maxillary expansion in adults.
The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery, 1992; 7: 37-41.
- 157. Polley JW, Figueroa AA**
Rigid external distraction: its application in cleft maxillary deformities
Plast Reconstr Surg, 1998; 102: 1360-1372.
- 158. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C**
Orthognathic surgery: a hierarchy of stability
Int J Adult Orthodon Orthognath Surg, 1996; 11: 191-204.
- 159. Ramieri GA, Spada MC, Austa M, Bianchi SD, Berrone S**
Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinical and radiological results
Int J Oral Maxillofac Surg, 2005; 34: 357-363.
- 160. Reich S**
Konventionelle versus digitale Abformung
ZMK, 2012; 10.
- 161. Roelofs J, Breuning KH, van't Spijker A, Borstlap WA, Bergé SJ, Kuijpers-Jagtman AM**
[Unilateral surgically assisted rapid maxillary expansion using a transpalatal distractor]
Ned Tijdschr Tandheelkd, 2010; 117: 87-91.
- 162. Sander C**
Kieferorthopädie
2011; 2: 196-209.
- 163. Sari E, Uçar C, Ceylanoglu C**
Transpalatal distraction in a patient with a narrow maxilla
Angle Orthod, 2007; 77: 1126-1131.

- 164. Schimming R, Feller KU, Herzmann K, Eckelt U**
Surgical and orthodontic rapid palatal expansion in adults using Glassman's technique: retrospective study
Br J Oral Maxillofac Surg, 2000; 38: 66-69.
- 165. Schuster G, Borel-Scherf I, Schopf PM**
Frequency of and complications in the use of RPE appliances--results of a survey in the Federal State of Hesse, Germany
J Orofac Orthop, 2005; 66: 148-161.
- 166. Seeberger R, Kater W, Davids R, Thiele OC**
Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates
J Craniomaxillofac Surg, 2010; 38: 175-178.
- 167. Seeberger R, Kater W, Schulte-Geers M, Davids R, Freier K, Thiele O**
Changes after surgically-assisted maxillary expansion (SARME) to the dentoalveolar, palatal and nasal structures by using tooth-borne distraction devices
Br J Oral Maxillofac Surg, 2011; 49: 381-385.
- 168. Seitz O, Landes CA, Philipp DJ, Sader R, Klein CM**
Reliable surgically assisted rapid palatal expansion by maxillary widening device
J Craniofac Surg, 2008; 19: 846-849.
- 169. Shetty P, Hegde AM, Rai K**
Study of stress distribution and displacement of the maxillary complex following application of forces using jackscrew and nitanium palatal expander 2 - a finite element study
J Clin Pediatr Dent, 2009; 34: 87-93.
- 170. Shetty V, Caridad JM, Caputo AA, Chaconas SJ**
Biomechanical rationale for surgical-orthodontic expansion of the adult maxilla
J Oral Maxillofac Surg, 1994; 52: 742-749; discussion 750-751.
- 171. Shetye PR, Davidson EH, Sorkin M, Grayson BH, McCarthy JG**
Evaluation of three surgical techniques for advancement of the midface in growing children with syndromic craniosynostosis
Plast Reconstr Surg, 2010; 126: 982-994.
- 172. Silva Filho OG, Boas MC, Capelozza Filho L**
Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1991; 100: 171-179.

- 173. Silva Filho OG, Montes LA, Torelly LF**
Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometric analysis
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1995; 107: 268-275.
- 174. Silverstein K, Quinn PD**
Surgically-assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency
J Oral Maxillofac Surg, 1997; 55: 725-727.
- 175. Starnback H, Cleall J**
The effects of splitting the mid-palatal suture on the surrounding structures
Am J Orthod, 1964; 50: 923-924.
- 176. Strömberg C, Holm J**
Surgically assisted, rapid maxillary expansion in adults.
A retrospective long-term follow-up study
J Craniomaxillofac Surg, 1995; 23: 222-227.
- 177. Stöckli PW**
Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen
1994.
- 178. SurgiTec**
<http://www.surgi-tec.com/upload/file/2013%20SURGI-TEC/11%20TPD%20All-in-One.pdf>
2014.
- 179. Suri L, Taneja P**
Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2008; 133: 290-302.
- 180. Swennen GRJ, Treutlein C, Brachvogel P, Berten J, Schwestka-Polly R, Hausamen J**
Segmental unilateral transpalatal distraction in cleft patients
J Craniofac Surg, 2003; 14: 786-790.
- 181. Tausche E, Hansen L, Hietschold V, Lagravère MO, Harzer W**
Three-dimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne rapid maxillary expansion: a pilot study
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007; 131: 92-99.
- 182. Thilander B, Lennartsson B**
A study of children with unilateral posterior crossbite, treated and untreated, in the deciduous dentition--occlusal and skeletal characteristics of significance in predicting the long-term outcome
J Orofac Orthop, 2002; 63: 371-383.

- 183. Timms DJ**
Rapid maxillary expansion
1981.
- 184. Timms DJ**
Some medical aspects of rapid maxillary expansion
Br J Orthod, 1974; 1: 127-132.
- 185. Timms DJ**
A study of basal movement with rapid maxillary expansion
Am J Orthod, 1980; 77: 500-507.
- 186. Timms DJ**
The reduction of nasal airway resistance by rapid maxillary expansion and its effect on respiratory disease
J Laryngol Otol, 1984; 98: 357-362.
- 187. Timms DJ, Moss JP**
An histological investigation into the effects of rapid maxillary expansion on the teeth and their supporting tissues
Trans Eur Orthod Soc, 1971; 263-271.
- 188. Timms DJ, Vero D**
The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis
Br J Oral Surg, 1981; 19: 180-196.
- 189. Treutlein C, Swennen G, Beirter J, others**
Transpalatinale Distraction--eine alternative Methode der transversalen Expansion des Oberkiefers
Dtsch Zahnarztlz, 2002; 57: 19.
- 190. Turvey TA**
Maxillary expansion: a surgical technique based on surgical-orthodontic treatment objectives and anatomical considerations
J Maxillofac Surg, 1985; 13: 51-58.
- 191. Ueki K, Nakagawa K, Marukawa K, Yamamoto E**
Le Fort I osteotomy using an ultrasonic bone curette to fracture the pterygoid plates
J Craniomaxillofac Surg, 2004; 32: 381-386.
- 192. Vanarsdall RL**
Transverse dimension and long-term stability
Semin Orthod, 1999; 5: 171-180.

- 193. Vardimon A, Graber T, Pitaru S**
Ursachen und Reparaturvorgänge der externen Wurzelresorption nach Gaumennahterweiterung mit magnetischen und konventionellen Dehnapparaten
Fortschritte der Kieferorthopädie, 1991; 52: 193-203.
- 194. Velázquez P, Benito E, Bravo LA**
Rapid maxillary expansion. A study of the long-term effects
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1996; 109: 361-367.
- 195. Warren DW, Hairfield WM, Seaton DL, Hinton VA**
The relationship between nasal airway cross-sectional area and nasal resistance
Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1987; 92: 390-395.
- 196. Wehrbein H, Yildizhan F**
The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation
Eur J Orthod, 2001; 23: 105-114.
- 197. Weise W**
Beitrag zur Gaumennahterweiterung
Zahnärztl. Welt/Reform, 1964; 65: 750-758.
- 198. Wertz R, Dreskin M**
Midpalatal suture opening: a normative study
American journal of orthodontics, 1977; 71: 367-381.
- 199. Wertz RA**
Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening
Am J Orthod, 1970; 58: 41-66.
- 200. Wollens AG, Goffart Y, Lismonde P, Limme M**
Therapeutic maxillary expansion
Rev Belge Med Dent (1984), 1991; 46: 51-58.
- 201. Woods M, Wiesenfeld D, Probert T**
Surgically-assisted maxillary expansion
Aust Dent J, 1997; 42: 38-42.
- 202. Wriedt S, Kunkel M, Zentner A, Wahlmann UW**
Surgically assisted rapid palatal expansion. An acoustic rhinometric, morphometric and sonographic investigation
J Orofac Orthop, 2001; 62: 107-115.
- 203. Zahl C, Gerlach KL**
Palatal distractor. An innovative approach for palatal expansion
Mund Kiefer Gesichtschir, 2002; 6: 446-449.

204. Zimring JF, Isaacson RJ

Forces produced by rapid maxillary expansion III. Forces present during retention.

The Angle orthodontist, 1965; 35: 178-186.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Frau Univ.-Prof. Dr. med. dent. Angelika Stellzig-Eisenhauer, Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, herzlich für die Vergabe des Dissertationsthemas und die freundliche Unterstützung bedanken.

Besonderer Dank geht an Herrn Univ.-Prof. Dr. med. dent. Philipp Meyer-Marcotty für die kollegiale Betreuung der Arbeit in stets angenehmer Atmosphäre und die Übernahme des Referates.

Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Norbert Kleinsasser danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferates.

Frau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke danke ich für die Bereitschaft, als Berichterstatterin zu agieren.

Vielen Dank an die Niedergelassenen Kieferorthopädinnen und Kieferorthopäden, die Anmeldung und die Helferinnen der Poliklinik für Kieferorthopädie und der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie für die freundliche Unterstützung beim Suchen der Modelle und Patientenakten.

Danke an meinen Papa, Fine, Doro und meine Cousine Angelika für's Probelesen.

Großer Dank gilt meinen Eltern, meiner Oma, meinen Geschwistern und Freunden, die mich jederzeit unterstützt und motiviert haben, und so zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Vielen Dank auch allen anderen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.