



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
des Klinikums rechts der Isar  
(Direktor: Prof. Dr. Dr. Klaus-Dietrich Wolff)

**„Klinische und radiologische Auswertung der Expansion  
im Ober- und Unterkiefer mit unterschiedlichen Apparaturen -  
eine longitudinale Vergleichsstudie“**

Katharina Jüngling

München  
2016



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
des Klinikums rechts der Isar  
(Direktor: Prof. Dr. Dr. Klaus-Dietrich Wolff)

**„Klinische und radiologische Auswertung der Expansion  
im Ober- und Unterkiefer mit unterschiedlichen Apparaturen -  
eine longitudinale Vergleichsstudie“**

Katharina Jüngling

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Zahnheilkunde genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Ernst J. Rummeny

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. Dr. Andreas Kolk  
2. Prof. Dr. Dr. Klaus Dietrich Wolff

Die Dissertation wurde am 11.01.2016 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 07.12.2016 angenommen.

Meiner Familie

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Wachstum und Anatomie des Ober- und Unterkiefers.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Expansion mittels Distractionsosteogenese.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Arten der Expansion im Oberkiefer (GNE und SARPE).....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Arten der Expansion im Unterkiefer.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5 Komplikationen .....</b>	<b>13</b>
1.5.1 Komplikationen im Oberkiefer .....	13
1.5.2 Komplikationen im Unterkiefer .....	14
<b>1.6 Therapiealternativen .....</b>	<b>15</b>
<b>2 Problem, Fragestellung und Ziel der Arbeit.....</b>	<b>17</b>
<b>3 Patienten und Methoden.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Patienten .....</b>	<b>18</b>
3.1.1 Studiendesign .....	18
3.1.2 Verwendete Apparaturen im Oberkiefer.....	19
3.1.3 Verwendete Apparaturen im Unterkiefer .....	20
3.1.4 Aufteilung der Behandlungsgruppen im Ober- und Unterkiefer.....	22
3.1.5 Distractionsprotokoll.....	23
3.1.6 Operationstechnik .....	24
3.1.7 Datenerfassung.....	28
3.1.8 Gipsmodelle .....	28
3.1.9 Röntgenbilder.....	28

---

<b>3.2 Methoden</b> .....	<b>30</b>
3.2.1 Datenerfassung .....	30
3.2.2 Modellanalyse .....	30
3.2.3 Röntgenanalyse .....	31
3.2.4 Analyse der Komplikationen.....	32
3.2.5 Statistische Analyse .....	33
<b>4 Ergebnisse</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1 Oberkiefer</b> .....	<b>34</b>
4.1.1 Allgemeine Parameter.....	34
4.1.2 Modellanalyse .....	35
4.1.3 Röntgenanalyse .....	46
4.1.4 Komplikationen.....	47
<b>4.2 Unterkiefer</b> .....	<b>52</b>
4.2.1 Allgemeine Parameter.....	52
4.2.2 Modellanalyse .....	53
4.2.3 Röntgenanalyse .....	61
4.2.4 Komplikationen.....	62
<b>5 Diskussion</b> .....	<b>68</b>
<b>6 Fazit und Ausblick</b> .....	<b>98</b>
<b>7 Zusammenfassung</b> .....	<b>100</b>
<b>8 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>102</b>
<b>9 Danksagung</b> .....	<b>114</b>
<b>10 Curriculum vitae</b> .....	<b>115</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>%</b>	Prozent
<b>°</b>	Grad
<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>AG</b>	Aktiengesellschaft
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>C</b>	Caninus
<b>ca.</b>	circa
<b>CAD</b>	Computer-aided design
<b>CAM</b>	Computer-aided manufacturing
<b>cm</b>	Zentimeter
<b>CT</b>	Computertomographie
<b>DVT</b>	Digitale Volumetomographie
<b>g</b>	Gramm
<b>GNE</b>	Gaumennahterweiterung
<b>i.v.</b>	intravenös
<b>KGA</b>	knochengetragene Apparatur
<b>Knochen</b>	knochengetragene Apparatur
<b>kV</b>	Kilovolt
<b>LKH</b>	Landeskrankenhaus
<b>mAs</b>	Milliamperesekunde
<b>Fa</b>	Firma
<b>m</b>	männlich
<b>M1</b>	1. Molar
<b>M2</b>	2. Molar
<b>MAS</b>	Miniankerschrauben
<b>Mg</b>	Milligramm
<b>MKG</b>	Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie
<b>ml</b>	Milliliter
<b>mm</b>	Millimeter
<b>MMDO</b>	Median midline distraction osteogenesis
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>OK</b>	Oberkiefer

<b>OP</b>	Operation
<b>OPT</b>	Orthopantomogramm
<b>P1</b>	1. Prämolare
<b>P2</b>	2. Prämolare
<b>SARPE</b>	Surgically assisted rapid palate expansion
<b>SD</b>	Standardabweichung
<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>UK</b>	Unterkiefer
<b>vgl.</b>	vergleiche
<b>w</b>	weiblich
<b>Zahn</b>	zahngetragene Apparatur
<b>z.B.</b>	zum Beispiel
<b>ZGA</b>	zahngetragene Apparatur
<b>ZS</b>	Zahnschädigung

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	Abbildungen der verschiedenen Apparaturen zur Oberkieferexpansion .....	10
Abb. 1-2:	Abbildungen der verschiedenen Apparaturen zur Unterkieferexpansion.....	12
Abb. 1-3:	Schema zum Vorgehen bei transversalen Diskrepanzen.....	16
Abb. 3-1:	Zahngetragene Apparatur mit Hyrax-Schraube.....	19
Abb. 3-2:	Rapid Palate Expander.....	19
Abb. 3-3:	MAS Apparatur .....	20
Abb. 3-4:	Zeitliche Darstellung der Vorbehandlung innerhalb der two-step Gruppe.....	21
Abb. 3-5:	Apparatur mit der two-step Technik.....	21
Abb. 3-6:	Apparatur mit der one-step Technik .....	21
Abb. 3-7:	Zeitliche Darstellung der Vorbehandlung innerhalb der one-step Gruppe.....	22
Abb. 3-8:	Darstellung der Patienten nach Operationsmethodik, Anzahl und Geschlecht.....	23
Abb. 3-9:	Zeitliche Darstellung des Behandlungsablaufs von T1-T5 .....	23
Abb. 3-10:	Drei vertikale Schleimhautinzisionen.....	25
Abb. 3-11:	Le Fort I Osteotomie.....	25
Abb. 3-12:	Darstellung des Behandlungsablaufs der MAS-Apparatur .....	27
Abb. 3-13:	Unterkieferosteotomie .....	27
Abb. 3-14:	Zeitliche Abfolge der Modellherstellung und Röntgenbildaufnahme im Behandlungsverlauf.....	29
Abb. 3-15:	Messpunkte im Ober-/Unterkiefer.....	31
Abb. 3-16:	Röntgenanalyse.....	32
Abb. 4-1:	Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der zahngetragenen Apparatur.....	36
Abb. 4-2:	Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der knochengetragenen Apparatur.....	37
Abb. 4-3:	Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der MAS-Apparatur.....	39



---

Abb. 4-4:	Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der verschiedenen Apparaturen (zahngetragen, knochengetragen und MAS-Apparatur) an den einzelnen Untersuchungszeitpunkten T1, T4 und T5 und den Messpunkten .....	42
Abb. 4-5:	Darstellung der dentalen Expansions- und Rückgangswerte aller Apparaturen auf allen Ebenen .....	43
Abb. 4-6:	Darstellung der ossären Expansions- und Rückgangswerte aller Apparaturen auf allen Ebenen.....	44
Abb. 4-7:	Zusammenfassende Darstellung aller Arten von Komplikationen innerhalb der einzelnen Apparatur (OK).....	50
Abb. 4-8:	Beispielbilder der relevanten Komplikationen (OK) .....	51
Abb. 4-9:	Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der one-step Technik.....	54
Abb. 4-10:	Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der two-step Technik .....	56
Abb. 4-11:	Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der one-step und two-step Methodik an den einzelnen Untersuchungszeitpunkten T1, T4 und T5 und den Messpunkten .....	59
Abb. 4-12:	Darstellung der dentalen Expansions- und Rückgangswerte beider Techniken auf allen Ebenen .....	60
Abb. 4-13:	Darstellung der ossären Expansions- und Rückgangswerte beider Techniken auf allen Ebenen .....	60
Abb. 4-14:	Zusammenfassende Darstellung aller Arten von Komplikationen innerhalb der einzelnen Technik (UK) .....	66
Abb. 4-15:	Beispielbilder der relevanten Komplikationen (UK) .....	67

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1:	Kriterienkatalog zur Charakterisierung der Patienten.....	30
Tab. 4-1:	Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (zahngetragene Apparatur) .....	35
Tab. 4-2:	Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (zahngetragene Apparatur).....	35
Tab. 4-3:	Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (knochengetragene Apparatur).....	36
Tab. 4-4:	Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (knochengetragene Apparatur) .....	37
Tab. 4-5:	Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (MAS- Apparatur).....	38
Tab. 4-6:	Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (MAS-Apparatur).....	38
Tab. 4-7:	Vergleich der drei Apparaturen bezüglich der dentalen Expansion T4-T1 .....	39
Tab. 4-8:	Vergleich der drei Apparaturen bezüglich der ossären Expansion T4-T1 .....	40
Tab. 4-9:	Vergleich der drei Apparaturen bezüglich des dentalen Rückgangs T4-T5 .....	40
Tab. 4-10:	Vergleich der drei Apparaturen bezüglich des ossären Rückgangs T4-T5 .....	41
Tab. 4-11:	Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf dentaler Ebene zum Zeitpunkt T4 .....	44
Tab. 4-12:	Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf ossärer Ebene zum Zeitpunkt T4 .....	45
Tab. 4-13:	Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf dentaler Ebene zum Zeitpunkt T5 .....	45
Tab. 4-14:	Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf ossärer Ebene zum Zeitpunkt T5 .....	46

Tab. 4-15:	Darstellung der Häufigkeit von Infektionen für die jeweilige Apparatur.....	47
Tab. 4-16:	Darstellung der Häufigkeit von Zahnschädigungen für die jeweilige Apparatur.....	47
Tab. 4-17:	Darstellung der Häufigkeit von Geräteproblemen für die jeweilige Apparatur.....	48
Tab. 4-18:	Darstellung der Häufigkeit von keine/asymmetrische Expansion für die jeweilige Apparatur.....	49
Tab. 4-19:	Darstellung der Häufigkeit von Wurzelresorptionen für die jeweilige Apparatur.....	49
Tab. 4-20:	Darstellung der Häufigkeit der patientenbezogenen Komplikationen für die jeweilige Apparatur.....	50
Tab. 4-21:	Darstellung der Expansionswerte im Wechsel- und bleibenden Gebiss.....	52
Tab. 4-22:	Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (one-step Technik).....	53
Tab. 4-23:	Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (one-step Technik).....	54
Tab. 4-24:	Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (two-step Technik).....	55
Tab. 4-25:	Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (two-step Technik).....	55
Tab. 4-26:	Vergleich der beiden Techniken bezüglich der dentalen Expansion T4-T1.....	56
Tab. 4-27:	Vergleich der beiden Techniken bezüglich der ossären Expansion T4-T1.....	57
Tab. 4-28:	Vergleich der beiden Techniken bezüglich des dentalen Rückgangs T4-T5.....	57
Tab. 4-29:	Vergleich der beiden Techniken bezüglich des ossären Rückgangs T4-T5.....	57
Tab. 4-30:	Darstellung der Ergebnisse der apikalen Wurzeldivergenz zwischen den Wurzeln der Zähne 31 und 41.....	61
Tab. 4-31:	Darstellung der Ergebnisse der crestalen Wurzeldivergenz zwischen den Wurzeln der Zähne 31 und 41.....	62

Tab. 4-32:	Darstellung der Häufigkeit von Infektionen für die jeweilige Technik.....	62
Tab. 4-33:	Darstellung der Häufigkeit von Zahnschädigungen für die jeweilige Technik.....	62
Tab. 4-34:	Darstellung der Häufigkeit einer fehlenden Verknöcherung für die jeweilige Technik.....	63
Tab. 4-35:	Darstellung der Häufigkeit einer fehlenden Expansion für die jeweilige Technik.....	64
Tab. 4-36:	Darstellung der Häufigkeit einer unvollständigen Osteotomie für die jeweilige Technik.....	64
Tab. 4-37:	Darstellung der Häufigkeit von Wurzelresorptionen für die jeweilige Technik.....	65
Tab. 4-38:	Darstellung der Häufigkeit der patientenbezogenen Komplikationen für die jeweilige Technik.....	65

# 1 Einleitung

Die Entwicklung der Expansion des Oberkiefers begann bereits im 19. Jahrhundert mit den ersten Versuchen einer konservativen Gaumennahterweiterung (GNE). Dabei wurde mit zahngestützten Geräten eine transversale Erweiterung des Gaumens durchgeführt, indem eine im Gerät eingearbeitete Schraube kontinuierlich gedreht wurde und somit die beiden Hälften des Oberkiefers auseinander drängte [Angell 1860, Lefoulon 1839, 1841]. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts wurde diese Behandlungsmethode durch Haas wiederentdeckt [Haas 1961]. Er postulierte 1970, dass dieses Verfahren am erfolgreichsten während des Wachstumsspurtes einzusetzen ist [Haas 1970].

Die GNE wird vor allem bei Kindern und Jugendlichen zur Erweiterung des Oberkiefers verwendet, da die mittig gelegene Sutura palatina noch nicht verknöchert ist (siehe Kapitel 1.1). Bis heute existiert allerdings kein einheitlicher Konsens bis zu welchem Alter diese Art der „Oberkieferdehnung“ möglich ist. Mit abgeschlossenem Wachstum kommt es zu einer Verknöcherung dieser Sutur und somit kann der Oberkiefer mit einer GNE nicht mehr erweitert werden.

Beim Vorliegen einer Verknöcherung der Sutura palatina mediana wird die sogenannte chirurgisch assistierte Gaumennahterweiterung („Surgically Assisted Rapid Palate Expansion“ - SARPE) angewendet. 1938 beschrieb Brown als Erster diese operative Technik für eine Oberkieferexpansion mit alleiniger Osteotomie der Sutura palatina bei ausgewachsenen Patienten [Brown 1938]. In der Literatur finden sich jedoch Angaben, dass eine alleinige Osteotomie in der Mittellinie (Sutura palatina) nicht ausreichend ist, da die Suturen des Mittelgesichts den Ort des größten Widerstandes darstellen und nicht, wie immer angenommen, die Sutura palatina [Bell 1976, Lines 1975]. Hieraus entwickelte sich in den 80er Jahren die SARPE, bei der zusätzlich zur medianen Osteotomie eine komplette Osteotomie in Höhe der Le Fort I Ebene [Alpern 1987, Glassman 1984, Lehman 1989] durchgeführt wird. Bis zum heutigen Zeitpunkt findet man in der Literatur keinen einheitlichen Konsens hinsichtlich der zu wählenden Operations-Technik (Ausmaß der Osteotomie) und der zu verwendenden Apparatur.

Bezüglich der Operations-Technik sind in der Literatur verschiedene Varianten der Osteotomie des Oberkiefers bei der Verwendung einer SARPE beschrieben: Dies reicht von einer kompletten Le Fort I Osteotomie mit medianer Osteotomie im Oberkiefer bis hin zu einer minimalen Variante mit einer inkompletten Le Fort I

Osteotomie mit oder ohne medianer Osteotomie des Oberkiefers [Koudstaal 2005]. Bei den Apparaturen wird zwischen zahngetragenen und knochengetragenen Apparaturen unterschieden. Grundsätzlich wurden anfangs ausschließlich zahngetragene Apparaturen verwendet. Die zahngetragenen Apparaturen können gegossene werden (Hyrax-Apparaturen) oder aus Kunststoffkappenschienen bestehen [Biederman 1968, Haas 1961, Mommaerts 1999]. Als Nachteil dieser Apparaturen werden in der Literatur die Zahnbewegung und -kippung beschrieben [Bell 1976]. Des Weiteren kann es zu Schädigungen im Bereich des Parodontiums kommen und Kippbewegungen der Segmente und der Zähne bei der Expansion bewirken [Gerlach 2003, Mommaerts 1999, Verstraaten 2010].

Die knochengetragenen Apparaturen haben in den letzten Jahren mit dem Aufschwung der Osseodistraction große Beachtung gefunden [Ilizarov 1988b]. Dabei werden sogenannte externe Distraktoren, wie der „Rotterdam-Palatinal-Distraktor“ oder der „Magdeburg Distraktor“ von sogenannten Miniankerschrauben verankerten Apparaturen (MAS-Apparatur) unterschieden [Gerlach 2003, Seitz 2007, Winsauer 2013]. Bei den externen Distraktoren werden industriell gefertigte Apparaturen eingesetzt, die entweder mit Osteosyntheseschrauben am Gaumen befestigt werden (z.B. Magdeburg Distraktor) oder sich über eine Verankerungsplatte am Gaumen verspreizen (z.B. Rotterdam Distraktor). Bei der MAS-Apparatur werden vier bis sechs Miniankerschrauben (MAS) in den Gaumen inseriert. Nach einer knöchernen Einheilungszeit wird darauf individuell eine Expansionsschraube befestigt, die dann die Expansion ermöglicht [Winsauer 2013].

Die Verbreiterung des Unterkiefers im Sinne einer transversalen Unterkieferexpansion mittels Distraktionsosteogenese („Mandibular Midline Distraction Osteogenesis“ - MMDO) wurde erstmals von Guerrero 1997 beschrieben [Guerrero 1997]. Bei der medianen Expansion des Unterkiefers unterscheidet man - wie im Oberkiefer - zwischen knochengetragenen und zahngetragenen Apparaturen [Kewitt 1999, Mommaerts 2001]. Bei beiden Apparaturen wird die gleiche Operationstechnik verwendet, da die mediane Suture des Unterkiefers bereits intrauterin verknöchert und daher unabhängig vom Alter des Patienten eine Osteotomie in der Mittellinie des Unterkiefer durchgeführt werden muss [Guerrero 1997]. Die zahngetragenen Apparaturen haben den Vorteil, dass diese Geräte einen deutlich kleineren Zugang benötigen und die Herstellung der Apparaturen zumeist in einem zahntechnischen Labor kostengünstiger ist [Alkan 2007]. Mit der Entwicklung

von knochengetragenen Distraktoren nach der Ilizarovmethode wurde diese Art der Apparatur auch für die MMDO eingesetzt [Ilizarov 1988b, Mommaerts 2005]. Es hat sich herausgestellt, dass man hierbei einen deutlich größeren Zugang benötigt und diese Geräte auch deutlich teurer sind, als vergleichbare zahngetragene Apparaturen [de Gijt 2012, von Bremen 2008].

In den letzten Jahren haben sich die Behandlungen hinsichtlich Zugang, Operationstechnik, Apparatur und Distraktionsprotokoll bei der Expansion des Ober- und des Unterkiefers weiterentwickelt und verbessert. Vor allem das Bemühen um neue minimalinvasive Zugänge und die Verwendung neuartiger Osteotomiegeräte (oszillierende oder piezoelektrische Geräte) haben die postoperative Morbidität der Patienten bei den chirurgischen Erweiterungen des Ober- und des Unterkiefers deutlich gesenkt [Landes 2008b, Landes 2008c]. Hinsichtlich der Apparaturen erfreuen sich die neueren MAS-Apparaturen im Oberkiefer in den letzten Jahren größerer Beliebtheit [Winsauer 2013]. Bei der Verwendung von knochengetragenen Apparaturen wurden in der Literatur für den Ober- und Unterkiefer vermehrt Komplikationen beschrieben [Verstraaten 2010]. Im Gegensatz dazu werden im Unterkiefer vermehrt zahngetragene Apparaturen verwendet, da diese kostengünstiger sind und eine geringere Morbidität aufweisen [von Bremen 2008].

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden Patienten, bei denen an zwei Mund-Kiefer-Gesichtschirurgischen Kliniken eine transversale Erweiterung des Ober- und/oder des Unterkiefers mittels SARPE und/oder MMDO durchgeführt wurde, untersucht und die Daten ausgewertet. An beiden Kliniken kamen knochengetragene und zahngetragene Apparaturen zur Erweiterung des Ober- und des Unterkiefers zur Anwendung. Zusätzlich wurden Patienten einer niedergelassenen kieferorthopädischen Praxis, die mit einer MAS-getragenen Apparatur im Sinne einer nicht-chirurgischen GNE behandelt wurden, in diese Nachuntersuchung inkludiert.

Das Ziel dieser Arbeit war es, das Ausmaß der Expansion, die Langzeitstabilität der Expansion und die Komplikationsrate zu untersuchen und anhand der verschiedenen Methoden und Apparaturen auszuwerten.

## 1.1 Wachstum und Anatomie des Ober- und Unterkiefers

Die knöcherne Anatomie der Maxilla besteht aus dem Corpus maxillae, dem Processus frontalis, zygomaticus, alveolaris und dem Processus palatinus mit dem dazugehörigen Os incisivum. Dorsal schließt sich der Maxilla das paarige Os palatinum an, welches gemeinsam mit der Maxilla und dem Os incisivum den harten Gaumen bildet. Dahinter befindet sich der weiche Gaumen. Getrennt wird der knöcherne Teil des harten Gaumens durch die Sutura palatina mediana und transversa [Aumüller 2010a, Aumüller 2010b]. Die Mandibula bildet eine knöcherne Einheit, bestehend aus dem Corpus und Ramus mandibulae [Aumüller 2010a].

Die Entwicklung des Viszerokraniums beginnt bereits recht früh und ist gegen Ende des dritten intrauterinen Monats abgeschlossen [Aumüller 2010a]. Aus der Anlage des beidseitig angelegten 1. Kiemenbogens entwickeln sich über die Vorstufen von Ober- und Unterkieferfortsatz das Mittelgesicht und die Mandibula [Joos 2007]. Zunächst wachsen die Oberkieferwülste aufeinander zu, verbinden sich mit dem medialen Nasenwulst und bilden somit den Zwischenkiefer beziehungsweise (bzw.) den primären Gaumen. Anschließend verschmelzen die Oberkieferwülste mit einem Teil des Stirnnasenwulstes und bilden hierbei den sekundären Gaumen. Somit liegt die Mundhöhle nun getrennt von den doppelt angelegten Nasenhöhlen vor [Aumüller 2010b]. Der gesamte nasomaxilläre Komplex verknöchert zu Beginn der achten Woche über den Mechanismus der desmalen Ossifikation, nur das Nasenseptum verknöchert enchondral. Der Hauptanteil der transversalen Verbreiterung der Maxilla findet pränatal statt. Das Längenwachstum schließt sich diesem postnatal an [Kahl-Nike 2010c]. Der beidseitige Unterkieferfortsatz enthält als Leitschiene eine Knorpelspange, den sogenannten Meckel-Knorpel. An diesen beidseitig angelegten Knorpelspangen lagert sich Knochengewebe hülsenartig im Sinne einer desmalen Ossifikation an und schließt sukzessive die innen liegenden Gefäße und Nerven mit ein. Medial sind die beiden Teile der Mandibula über eine Synchondrose miteinander verbunden, an der auch die pränatale transversale Verbreiterung der Mandibula erfolgt und welche im Laufe des ersten bis zweiten Lebensjahres vollständig verknöchert [Joos 2007, Kahl-Nike 2010c]. Zudem entsteht Sekundärknorpel aus Mesenchymzellen an dem Processus condylaris, Processus coronoideus und an der Protuberantia mentalis. An beiden letzteren werden die Knorpelanteile in den desmalen Knochen eingebaut. Der Knorpel des Processus condylaris verknöchert



zum größten Teil, der obere Anteil bleibt jedoch knorpelig bestehen und stellt eine lebenslange Wachstumszone der Mandibula dar [Kahl-Nike 2010c].

Postnatal wächst der Ober- und Unterkiefer in dorsokranieler Richtung, wobei beide Kiefer eine ventrokaudale Verlagerung erfahren. Die Breitenzunahme ist in den ersten beiden Lebensjahren am intensivsten, danach ist anterior kaum Zuwachs zu erwarten, posterior nähert sich der Zuwachs einem Plateau an [Kahl-Nike 2010b, Stöckli 1994]. Das Wachstum des Oberkiefers bzw. des Mittelgesichtes ist vor allem suturaler Art, so dass sich der Oberkiefer durch das suturale Wachstum der mittleren Schädelgrube nach ventral verlagert. Mit Durchbruch der Milchzähne erfährt der Oberkiefer ein vertikales Wachstum am Alveolarfortsatz und am Gaumen durch Apposition, wobei sich gleichzeitig durch Resorption am Nasenboden die Nasenräume ausbilden [Kahl-Nike 2010b]. Durch Knochenapposition am Tuber maxillae verlängert sich der Alveolarfortsatz nach dorsal. Eine Verbreiterung des Gesichtes erfolgt durch Anbauprozesse im Bereich des Os zygomaticum und der Sutura palatina mediana, welche sich zum Wachstumsende hin durch Verknöcherung verschließt. Die Wachstumsaktivität der Sutura palatina nimmt nach posterior deutlich zu, so dass man eine v-förmige Verbreiterung der maxillären Basis im Bereich der Transversalen erkennen kann. Die Sutura incisiva ist bereits zum Zeitpunkt der Geburt verknöchert [Stöckli 1994]. Die Sutura palatina verändert sich im Laufe eines Lebens. So liegt sie im Kindesalter in einer y-förmigen bindegewebsartigen Form vor, windet sich, verzahnt sich und verknöchert schließlich immer mehr [Melsen 1975]. Allerdings ist der Zeitpunkt und der Fortschritt der Obliteration interindividuell stark unterschiedlich [Persson 1977]. Nach Knaup konnte bei einer Untersuchung an der Sutura palatina anhand von Gaumenpräparaten von Individuen zwischen 26 und 63 Jahren nur bei 3,11% der untersuchten Präparate eine vollständige Verknöcherung festgestellt werden. Demnach liegen etwaige Misserfolge bei transversaler Expansion des Oberkiefers nicht an der bestehenden Verknöcherung der Sutura palatina, sondern an der erhöhten Resistenz im Bereich der Suturen des Mittelgesichts [Knaup 2004].

Postnatal wird der Kieferwinkel des Unterkiefers kleiner, die Kiefergelenke vergrößern sich und formen sich aus. Ebenso wird der Unterkiefer durch Wachstum in der mittleren Schädelgrube nach ventral verlagert, allerdings geringer als der Oberkiefer, wodurch sich eine distale Lagebeziehung ergibt [Kahl-Nike 2010b]. Der Ramus verlagert sich durch Remodelling nach posterior. Das Remodelling beinhaltet

eine geringe Resorption am Vorderrand und eine stärkere Deposition am Hinterrand, sowie am Processus coronoideus und der Incisura mandibulae. Somit wird die sagittale Dimension des aufsteigenden Astes größer und die apikale Basis verlängert sich [Dibbets 2011, Stöckli 1994]. Kondyläres Wachstum bleibt zeitlebens erhalten, vertikales Alveolarfortsatzwachstum entsteht mit dem Zahndurchbruch. Breitenzuwachs ist im Unterkiefer durch den fehlenden suturalen Aufbau nur an den äußeren Knochenflächen möglich. Die interkondyläre Distanz nimmt bis zum siebten Lebensjahr gemeinsam mit der Dorsalbewegung des aufsteigenden Astes zu, allerdings ist dies durch die Breite der mittleren Schädelgrube begrenzt, an dessen Unterseite sich die Fossa mandibularis befindet [Stöckli 1994].

## **1.2 Expansion mittels Distractionsosteogenese**

Sowohl die Ober-, als auch die Unterkieferexpansion zur transversalen Verbreiterung der Kiefer bedienen sich der Distractionsosteogenese. Mit dieser Methode wird neuer Knochen geschaffen. Die Distractionsosteogenese, auch Kallusdistraction genannt, ist eine Methode die von Ilizarov zur Verlängerung von langen Röhrenknochen an den Extremitäten angewandt wurde. Diese Methode wurde zur Behandlung von knöchernen Defekten, die durch Frakturen entstanden sind, angewandt [Ilizarov 1988a, b, 1989a, b]. Hierbei bedient man sich des Wissens, dass Knochen eine Struktur ist, die sich zeitlebens regenerieren kann. So bildet sich zunächst ein Hämatom im Osteotomiespalt, das daraufhin in einen weichen Kallus umgewandelt wird. Durch das kontinuierliche Distrahieren des Kallus wird dieser unter Zugbelastung gesetzt, so dass sich der Kallus stetig neu bildet. Dieser konsolidiert schließlich zu Knochengewebe [Hankemeier 2004].

## **1.3 Arten der Expansion im Oberkiefer (GNE und SARPE)**

Die transversale Expansion des Oberkiefers kann auf unterschiedliche Art vollzogen werden. So steht der konservativen Variante einer GNE eine chirurgische Alternative im Sinne einer SARPE gegenüber. Hierbei ist der Verknöcherungszustand der Sutura palatina mediana von großer Bedeutung. Bei vollständiger Obliteration der Sutura ist eine GNE nicht mehr möglich und es muss ein chirurgisches Vorgehen im Sinne einer SARPE gewählt werden. Der Zeitpunkt der Verknöcherung ist allerdings individuell und geschlechtsspezifisch stark unterschiedlich und daher in der Literatur

kontrovers diskutiert [Melsen 1975]. So reichen die Altersgrenzen bis zu welchen ein konservatives Vorgehen mittels GNE möglich ist von 14 Jahren [Bishara 1987, Melsen 1975, Mommaerts 1999, Ozturk 2003] über 16 Jahren [Lindorf 2006] bis zu 30 Jahren [Handelman 2011]. Bei Frauen soll die Verknöcherung ein bis zwei Jahre früher eintreten als bei Männern [Korn 1990].

**Indikationen:** Als Indikation für eine GNE gilt eine beidseitig verkleinerte apikale Basis, die häufig von uni- oder bilateralen Kreuzbissen begleitet wird [Haas 1970, Wertz 1970]. Die Hauptindikation zur transversalen Verbreiterung des Oberkiefers ist die Herstellung einer beständigen und intakten Okklusion [Gottlieb 1991, Vanarsdall 1994]. Die transversale Unterentwicklung muss allerdings beidseitig vorliegen, da bei der Expansion einer einseitigen Unterentwicklung die Gefahr besteht, dass der Oberkiefer zu einer Seite abweicht [Wertz 1970]. Auch bei chronischen Entzündungen im Nasenraum, wie Sinusitiden oder Adenoiden, ist eine transversale Verbreiterung indiziert, da sich hierbei der Nasenraum vergrößert [Bicakci 2005]. Ebenso kann die GNE bei sagittalen Diskrepanzen wie einer maxillären Retrognathie angewendet werden, da sie die Vorentwicklung des Oberkiefers fördert [Biederman 1973].

Für die SARPE-Operation gelten prinzipiell die gleichen Indikationen wie für die GNE, wobei eine SARPE das Mittel der Wahl bei skelettal ausgewachsenen Patienten ist. So kann eine SARPE auch angewandt werden, wenn die GNE nicht den gewünschten Erfolg erzielt [Silverstein 1997]. Die weiteren Indikationen für eine SARPE sind [Koudstaal 2005, Mommaerts 2004, Silverstein 1997]:

- ein maxilläres Defizit von mehr als 5 mm
- eine mikrognathe Maxilla in Kombination mit einer großen Mandibula
- ausgeprägte bukkale Korridore
- eine verkleinerte Zahnbogenbreite (vor allem im anterioren Bereich)

Als kieferorthopädische Behandlungsalternative bietet sich die sogenannte Prämolarenextraktion im Ober- und im Unterkiefer an, um den Platzbedarf zu korrigieren. Mit der Methode einer GNE oder SARPE kann jedoch eine Extraktionstherapie meist vermieden werden [Mommaerts 2004]. Bei einigen Patienten ist eine Verbesserung der Atmung (von Mundatmung zur Nasenatmung) während der Nachtruhe beschrieben [Betts 2004].

**Vorgehen bei einer GNE:** Diese kann im Sinne einer langsamen kieferorthopädischen Expansion oder im Sinne einer forcierten GNE (Rapid Palate

Expansion) vollzogen werden [Mommaerts 1999]. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, besteht hierbei kein einheitlicher Konsens bis in welches Alter diese Behandlung durchführbar ist. So wird die Behandlung in der Regel im Milchgebiss oder im frühen Wechselgebiss durchgeführt [Baccetti 2001]. Andere Autoren präferieren eine Behandlung im späten Wechselgebiss oder im bleibenden Gebiss im jugendlichen Alter [Korbmacher 2005, Timms 1999]. Mit zunehmendem Alter wird es immer schwieriger den Oberkiefer ohne Operation zu erweitern, da die Expansion durch die Verknöcherung der benachbarten Strukturen begrenzt ist [Bishara 1987, Wertz 1977]. Neben dem bekannten Vorgehen ist gerade im jungen Erwachsenenalter auch eine ambulant durchzuführende Gaumenschwächung im Sinne einer paramedianen, palatinalen Inzision in Lokalanästhesie und anschließender Knochenschwächung in diesem Bereich möglich [Sander 2011].

**Vorgehen bei einer SARPE:** Die chirurgischen Techniken für die SARPE werden in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben. Die Techniken reichen von minimalinvasiven Techniken mit Durchtrennung eines Abschnittes des Oberkiefers bis hin zu einer kompletten Osteotomie in der Höhe der Le Fort I Ebene. Die Techniken unterscheiden sich hinsichtlich Morbidität, Komplikationsrate und Rezidivrate [Koudstaal 2005]. Die meisten Autoren durchtrennen den zygomaticomaxillären Gesichtspfeiler, indem sie den Oberkiefer von der Apertura piriformis bis zum pterygomaxillären Gesichtspfeiler osteotomieren [Mommaerts 1999]. Die Osteotomie der Sutura palatina wird nicht von allen Operateuren vollzogen, da sie nicht als Ort des größten Widerstandes gilt [Isaacson 1964a, Isaacson 1964b, Kennedy 1976]. In der Mittellinie kann die Osteotomie mit einem Schnitt genau im Bereich des Septums oder mit zwei paramedianen Osteotomielinien durchgeführt werden [Bierenbroodspot 2002]. Bei der Osteotomie in der Mittellinie muss dann das Nasenseptum abgetrennt werden, um eine Mitbewegung desselbigen zu einer Seite zu vermeiden [Koudstaal 2005]. In der Literatur wird der Processus pterygoideus als der wichtigste Teil angesehen, der bei der SARPE geschwächt werden muss. Jedoch ist diese Region auch mit dem Risiko einer Blutung aus dem Plexus pterygoideus behaftet [Koudstaal 2005, Matteini 2001]. Ebenso besteht die Möglichkeit, die Operation endoskopisch assistiert durchzuführen [Wiltfang 2002].

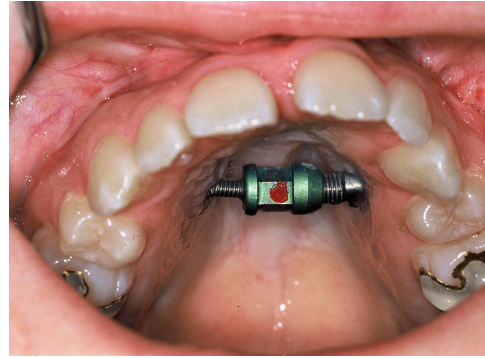
**Geräte für eine GNE:** Bei der GNE stehen verschiedene Apparaturen zur Auswahl (Abb. 1-1). Die am häufigsten angewendete zahngeträgenen Apparatur ist eine

Hyraxapparatur nach Biedermann, die an den ersten Prämolaren und Molaren befestigt wird [Biederman 1968, Schuster 2005]. Zudem wird diese Apparatur auch modifiziert mit nur zwei Haltearmen angewendet [Cozza 2001, Davidovitch 2005]. Eine weitere zahngetragene Apparatur ist die GNE-Apparatur nach Haas im Sinne einer Kunststoffkappenschiene [Haas 1961, Haas 1965, 1970]. Eine zahngetragene Kunststoffkappenschiene wird vor allem im Milchgebiss und Wechselgebiss verwendet [McNamara 2001, Schuster 2005]. Diese Apparatur hat den Vorteil, dass die Expansion dank der planen okklusalen Gestaltung nicht durch die Interkuspitation gestört werden kann. Des Weiteren kommen Hybrid-Hyrax Apparaturen zum Einsatz, die sowohl skelettal, als auch dental verankert sind [Wilmes 2010, Winsauer 2013].

**Geräte für eine SARPE:** Es stehen eine Vielzahl unterschiedlicher zahn- und knochengetragener Apparaturen für die SARPE zur Verfügung [Gerlach 2003, Koudstaal 2006, Koudstaal 2009b, Mommaerts 1999]. Als zahngetragene Apparaturen werden gegossene Varianten (Hyrax-Apparaturen) oder Kunststoffkappenschiene verwendet [Biederman 1968, Haas 1961, Mommaerts 1999]. Der Nachteil dieser Apparaturen dürfte die zusätzliche Zahnbewegung bei der Expansion sein. Des Weiteren kann es zu Schädigungen im Bereich des Parodontiums kommen und Kippbewegungen der Segmente und der Zähne bei der Expansion bewirken [Gerlach 2003, Mommaerts 1999, Verstraaten 2010]. Bei den knochengetragenen Apparaturen werden die Kräfte direkt auf den Knochen übertragen [Mommaerts 1999]. Dabei werden externe Distraktoren, wie der „Rotterdam-Palatinal-Distraktor“, der „Rapid Palate Expander“ oder der „Magdeburg Distraktor“ von sogenannten Miniankerschrauben verankerten Apparaturen (MAS-Apparatur) unterschieden, welche mittels Orthoimplantaten im Gaumen verankert sind [Gerlach 2003, Gunbay 2008, Seitz 2007, Winsauer 2013]. Ein Nachteil ist die häufig beschriebene Lockerung der Apparaturen [Matteini 2001, Neyt 2002, Ramieri 2005, Verlinden 2011, Verstraaten 2010]. Die MAS-Apparaturen sind eine Sonderform, da diese bei der GNE, als auch bei der SARPE Verwendung finden. Die MAS-Apparaturen sind rein knochengetragene Apparaturen, da die Verankerung über vier bis sechs Miniankerschrauben am Gaumen erfolgt. Die Expansion ermöglicht eine an diesen Schrauben befestigte Expansionsschraube [Winsauer 2013]. Einige Beispielbilder zu den beschriebenen Apparaturen sind in Abb. 1-1 (LKH Feldkirch - Österreich) abgebildet.



a. MAS-Apparatur



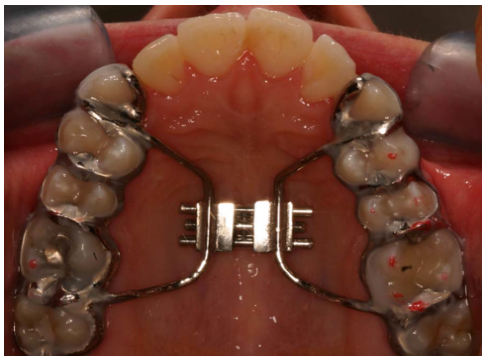
b. Rapid Palate Expander



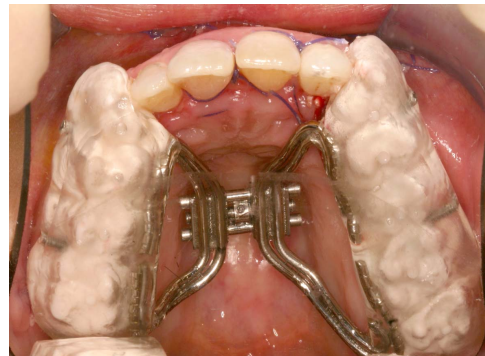
c. Magdeburg-Distraktor



d. Rotterdam-Distraktor



e. Hyrax-Apparatur



f. Kunststoffkappenschiene



g. Hybrid-Hyrax-Apparatur

Abb. 1-1: Abbildungen der verschiedenen Apparaturen zur Oberkieferexpansion

## 1.4 Arten der Expansion im Unterkiefer

Im Unterkiefer ist die vollständige Verknöcherung der medianen Sutur spätestens während des ersten und zweiten Lebensjahres abgeschlossen [Joos 2007, Kahl-Nike 2010c]. Im Gegensatz zum Oberkiefer kann daher die Sutur auch im Kindesalter nicht mehr expandiert werden und muss immer chirurgisch durchtrennt werden. Daher galt für viele Jahrzehnte die Erweiterung des Unterkiefers als nicht durchführbar. Erst durch die Publikation Guerreros [Guerrero 1997] konnte die Erweiterung des Unterkiefers mittels Distractionsosteogenese durchgeführt werden.

### Indikationen:

Als Indikationen für eine Unterkieferexpansion mittels MMDO gelten [Ploder 2009]:

- eine kleine apikale Basis
- eine verringerte Zahnbogenbreite
- ein deutlich dentaler Engstand im anterioren Bereich des Unterkiefers

Die MMDO ist somit eine Behandlungsoption bei einem v-förmigen Unterkiefer, bei dentalem Engstand im Unterkiefer und gleichzeitig gut ausgeformtem Oberkiefer und bei ein- oder beidseitigen Kreuzbissen mit einer bimaxillär vorliegenden transversalen Diskrepanz bei mikrognathem Ober- und Unterkiefer [Conley 2003, Contasti 2001, Duran 2006]. Bei Engständen im Ober- und Unterkiefer, die ohne eine Kreuzbiss-Situation einhergehen, ist eine bimaxilläre Erweiterung eine sinnvolle Alternative [Mommaerts 2004]. Der alte Leitsatz der Kieferorthopädie, „eine transversale Verbreiterung des Unterkiefers ist nicht möglich“, ist obsolet, da eine Verbreiterung des Unterkiefers durch die heutigen chirurgischen Verfahren möglich ist [Guerrero 1997].

**Vorgehen:** Die chirurgischen Verfahren zur Unterkieferexpansion unterscheiden sich nicht so deutlich wie die bestehenden Techniken für den Oberkiefer. Die meisten Operateure wählen als operativen Zugang eine horizontale Schnitttechnik im Unterkiefervestibulum. Anschließend erfolgt eine vertikale Osteotomie im Bereich der Symphyse zwischen den mittleren Inzisiven [Guerrero 1997, Weil 1997]. Neben der Möglichkeit einer horizontalen Inzision besteht die Option, die Inzision vertikal in das Lippenbändchen zu setzen [Ploder 2009]. Zudem wurde von zwei seitengleichen Osteotomien zwischen den mittleren und seitlichen Inzisiven, als auch zwischen den seitlichen Inzisiven und den Eckzähnen und einer zusätzlichen Osteotomie im Bereich der Symphyse berichtet [Guerrero 1997, Mommaerts 2001]. So kann der Bereich gewählt werden, an dem am meisten Knochensubstanz zwischen den

Zahnwurzeln vorliegt. Präoperativ sollen die Zähne im Osteotomiebereich durch den Kieferorthopäden divergiert werden [Guerrero 1997, Mommaerts 2001].

**Geräte für eine MMDO:** Grundsätzlich gibt es im Unterkiefer, wie bereits in der Einleitung erwähnt, zwei Arten von Apparaturen: Die zahngetragene Apparatur (Abb. 1-2 a., LKH Feldkirch - Österreich) und die knochengetragene Apparatur (Abb. 1-2 b., Alkan 2007).

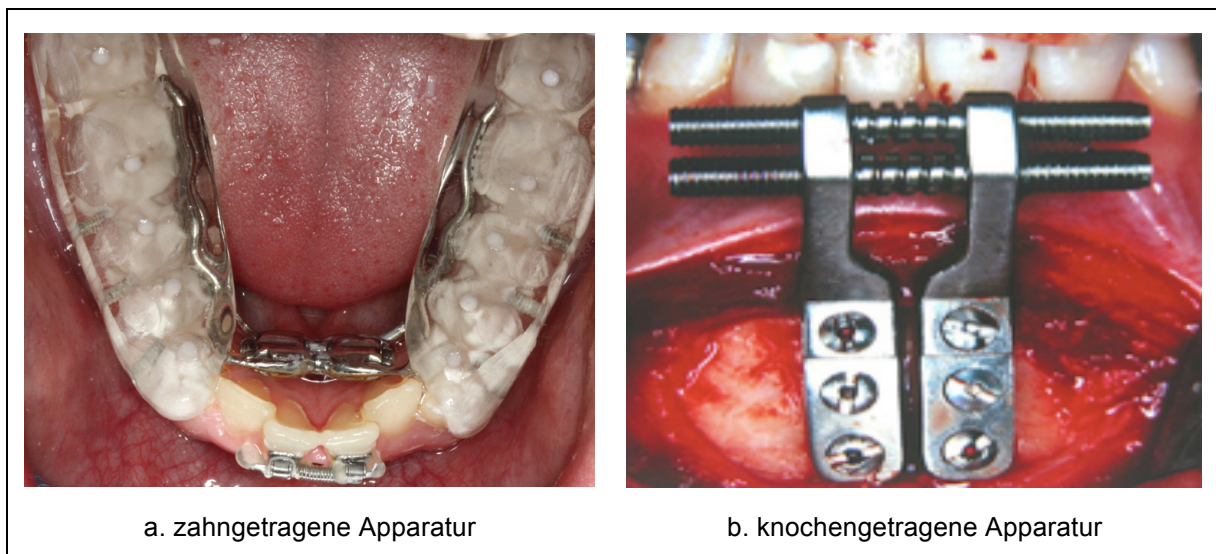


Abb. 1-2: Abbildungen der verschiedenen Apparaturen zur Unterkieferexpansion (b. [Alkan 2007])

Hauptsächlich kommen zahngetragene Apparaturen in unterschiedlichen Ausführungen zum Einsatz [Guerrero 1997, Kewitt 1999, Weil 1997, Winsauer 2011]. Aber auch knochenverankerte Geräte finden Verwendung [Guerrero 1997, Mommaerts 2001]. Die Vorteile von zahngetragenen Apparaturen liegen in dem deutlich kleineren chirurgischen Zugang und der kostengünstigeren Herstellung der Apparaturen [Alkan 2007]. Allerdings besteht bei diesen Apparaturen im Gegensatz zu den knochengetragenen Apparaturen die Gefahr einer dentalen Kippung [Alkan 2007, Bell 1997, Del Santo 2000, Guerrero 1997]. Die Nachteile der knochengetragenen Apparatur liegen in der Notwendigkeit eines deutlich größeren Zugangs und eines zweiten operativen Eingriffs zur Entfernung des Gerätes. Dadurch ist die postoperative Morbidität höher und die Geräte sind auch deutlich teurer als vergleichbare zahngetragene Geräte [de Gijt 2012, von Bremen 2008]. Als positive Effekte der Expansion mittels MMDO sind vor allem eine verbesserte Ästhetik durch verkleinerte Bukkal Korridore und eine schnelle Beseitigung des vorhandenen Engstandes zu nennen [Winsauer 2011]. Somit kann eine notwendige Extraktionstherapie vermieden werden [Guerrero 1990].



## **1.5 Komplikationen**

### **1.5.1 Komplikationen im Oberkiefer**

Die Oberkieferexpansion mittels einer SARPE ist ein komplikationsarmes chirurgisches Verfahren zur transversalen Verbreiterung des Oberkiefers. Allerdings bestehen, wie bei jedem chirurgischen Eingriff allgemeine und spezielle Risiken [Bays 1992, Mommaerts 2008a]. Zu den allgemeinen Komplikationen zählen Nachblutungen, Schwellungen, Schmerzen und Infektionen. Die speziellen Komplikationen beinhalten Schleimhautirritationen, Mukosaulzerationen und Drucknekrosen verursacht durch den Distraktor, der der palatinalen Schleimhaut anliegt [Alpern 1987, Lehman 1989]. Des Weiteren sind Komplikationen wie asymmetrische Expansionen, starke Schmerzen und eine deutliche Rezidivneigung auf eine ungenügende Schwächung im Bereich der Suture oder an den umliegenden Knochenstrukturen zurückzuführen [Mehra 1999, Verlinden 2011]. Darüber hinaus kann es zu einer Hypästhesie des Nervus infraorbitalis kommen [Neyt 2002]. Durch die Notwendigkeit einer medianen Osteotomie im Bereich der mittleren Inzisiven kann es zu iatrogenen Verletzungen des Desmodonts kommen. Folgen dieser iatrogenen Verletzungen können Attachmentverluste mit einhergehenden gingivalen Rezessionen und erhöhter Mobilität sein. Zudem können sich die entsprechenden Zähne verfärben, ihre Vitalität verlieren oder externe Wurzelresorptionen erleiden [Koudstaal 2009b, Mordenfeld 1999, Ramieri 2005]. Ferner existiert ein beschriebener Fall einer temporären, einseitigen Parese des Nervus oculomotorius, ausgelöst durch eine Fraktur des Keilbeins und anschließender Verlagerung eines Frakturfragments in den Bereich des Sinus cavernosus [Lanigan 2002]. Eine weitere Ausnahme bildet ein beschriebener Fall einer Erblindung durch ein orbitales Kompartmentsyndrom, welches durch eine retrobulbäre Einblutung verursacht wurde [Li 1995]. Bei den zahngetragenen Apparaturen kann es zudem zu einer bukkalen Fensterung des Knochens, zu gingivalen Rezessionen oder bukkalen Wurzelresorptionen sowie Kippungen und Extrusionen der Ankerzähne kommen, da bei diesem Vorgehen die Kräfte auf die Zähne übertragen werden [Gerlach 2003, Mommaerts 1999, Verstraaten 2010]. Bei den knochengetragenen Apparaturen zählen die Lockerung und Dislokation des Gerätes zu den spezifischen Komplikationen [Neyt 2002, Ramieri 2005, Verlinden 2011, Verstraaten 2010]. Im Gegensatz dazu birgt auch die GNE Risiken. Dazu zählen Schmerzen, Schwellungen und Ulzerationen der palatinalen Schleimhaut [Capelozza Filho 1996].

Des Weiteren sind während des Expansionsvorgangs stark auftretende Schmerzen bei den Patienten beschrieben. Diese treten durch die erhöhte Resistenz an den, mit fortgeschrittenem Alter bereits verschlossenen Suturen des kranio-facialen Komplexes auf. Zudem führt der erhöhte Druck auf den Gaumen zu starken Schmerzen, Schwellungen und Ulzerationen [Handelman 2000]. Die gewonnene Expansion bei Verwendung einer GNE ist mit zunehmendem Alter meist nur sehr gering. Durch den erhöhten Widerstand im Bereich der knöchernen Suturen kommt es zum Kippen der Zähne nach bukkal, zu Rezessionen und Wurzelresorptionen. Durch die Bukkalkippung der hinteren Zähne kann es zu einer clockwise-Rotation des Unterkiefers kommen, was zu einem offenen Biss führen kann [Bays 1992, Bell 1976, Betts 1995, Kennedy 1976, Lines 1975, Mossaz 1992, Pogrel 1992, Wertz 1977]. In einigen Fällen ist es zu einem Verlust der Schraubenfunktion gekommen, so dass sich die Schraube nicht aufdrehen ließ und somit keine Expansion möglich war [Alpern 1987]. Die beschriebenen Komplikationen bestehen vor allem für zahngetragene Apparaturen [Wilmes 2010].

Bei der Verwendung von MAS zur Befestigung einer knochengetragenen Apparatur sind auch Komplikationen, wie die Schädigung des Nervus palatinus oder starke Blutungen aus der Arteria palatina durch die Insertion oder Infektionen im Insertionsbereich möglich. Ebenso sind Schraubenbrüche oder asymmetrische Expansionen vorstellbar.

### **1.5.2 Komplikationen im Unterkiefer**

Die transversale Unterkieferexpansion mittels MMDO ist eine risikoarme Behandlung [Kewitt 1999, Ploder 2009, Uckan 2005, von Bremen 2008, Weil 1997]. In der Regel treten nur leichte und vorübergehende Komplikationen auf [Mommaerts 2005]. So kann es zu Infektionen, wie einer Abszessbildung, Schwellungen, Nachblutungen, Schmerzen, Hämatomen, iatrogenen Lippenverletzungen, verstärkten Narbenzügen und Irritationen der Mukosa kommen [Mommaerts 2008b, Uckan 2005, von Bremen 2008]. Ebenso wurde über parodontale und dentale Schädigungen im Osteotomiebereich berichtet, wie gingivale Rezessionen, Taschenbildung, erhöhte Mobilität, Subluxationen, bis hin zu Wurzelfrakturen, die eine endodontische Behandlung oder eine Extraktion nach sich zogen [Kewitt 1999, Mommaerts 2005, Mommaerts 2008b, Uckan 2005, von Bremen 2008]. Die Taschenbildung und die erhöhte Mobilität waren nach den Studien von Mommaerts nur transienter Natur

[Mommaerts 2005]. Zusätzlich wurden vorübergehende Schmerzen im Bereich des Kiefergelenks beschrieben [Ploder 2009]. In Extremfällen mussten Patienten erneut operiert werden, da die Osteotomie entweder unvollständig war oder die Latenzzeit mit einer Woche zu lange gewählt wurde und sich in dieser Zeit die Osteotomielinie wieder verschlossen hatte [von Bremen 2008]. Außerdem wurde über Probleme mit der Expansionsschraube berichtet [Weil 1997], welche instabil war, sich eigenständig wieder zurückstellte und daher mit einem Pin gesichert werden musste [von Bremen 2008]. Des Weiteren wurde über stärkere Expansionen auf dentaler Ebene im Sinne einer bukkalen Zahnkipfung, als auf skelettaler Ebene und über die damit einhergehenden Rezidive berichtet [Little 1990, Ploder 2009]. Weitere Komplikationen sind Mundbodenhämatome, Lockerung der Apparatur oder die Entstehung einer Pseudarthrose im Osteotomiebereich [Winsauer 2011]. Des Weiteren sind als operationsbedingte Komplikationen eine Hypästhesie des Nervus mentalis, Wurzelresorptionen an den Ankerzähnen, asymmetrisch erfolgte Expansionen, devitale Inzisiven oder dauerhaft bestehende Kiefergelenksprobleme vorstellbar.

## **1.6 Therapiealternativen**

Zu den oben beschriebenen Verfahren der Lösung transversaler Engstände mittels einer transversalen Platzbeschaffung gibt es weitere Behandlungsalternativen.

Ein transversaler Engstand im Unterkiefer oder Oberkiefer kann bei geringen Diskrepanzen durch eine approximale Schmelzreduktion ausgeglichen werden. Bei größerem Platzbedarf besteht in beiden Kiefern die Möglichkeit, sich in der sagittalen Relation durch Distalisierung der Seitenzähne und Protrusion der Frontzähne oder durch eine geplante Extraktion zum Beispiel (z.B.) von Prämolaren den benötigten Platz zu verschaffen [Kahl-Nike 2010a].

Als chirurgische spezielle Alternative zur SARPE bietet sich eine Segmentosteotomie auf der Le Fort I Ebene an. Hierbei kann der Oberkiefer zeitgleich in seiner transversalen und sagittalen Position verändert werden. Allerdings besteht hierbei die Gefahr einer Nekrose bei einer großen transversalen Diskrepanz. Zudem sind die Ergebnisse instabiler und neigen vermehrt zu Rezidiven [Lanigan 2002, Phillips 1992]. In Abb. 1-3 ist dargestellt, wie die Operateure dieses Kollektivs bei Patienten mit transversalen Diskrepanzen im Ober- und Unterkiefer vorgehen.

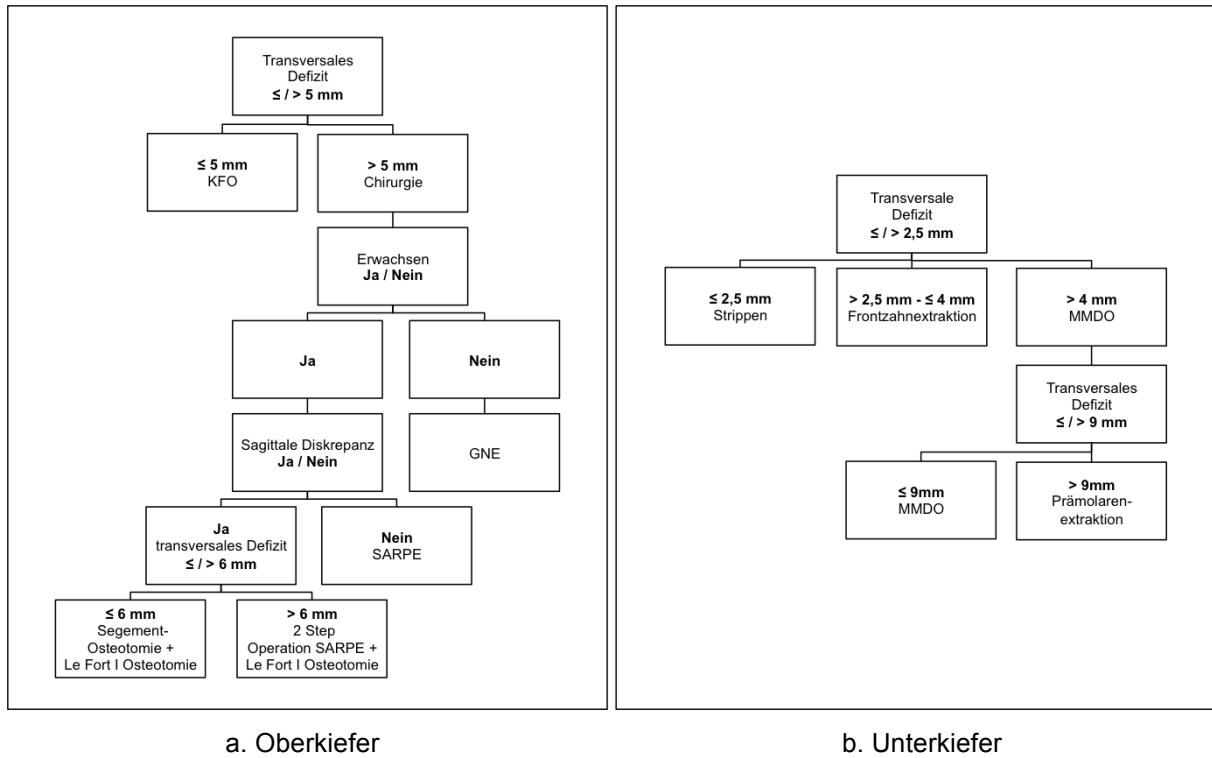


Abb. 1-3: Schema zum Vorgehen bei transversalen Diskrepanzen

## 2 Problem, Fragestellung und Ziel der Arbeit

In den letzten Jahren haben sich die Möglichkeiten zur Erweiterung des Oberkiefers durch neue Entwicklungen vermehrt. Hierbei reichen die Möglichkeiten von konservativen Methoden (dentoalveoläre Expansion, zahngetragene GNE) bis hin zu aufwendigeren Verfahren (MAS Expansion, externe Distraktoren). Die Auswahl des Geräts, der Zeitpunkt der Behandlung, als auch die Art der chirurgischen Unterstützung sind sehr variabel. In der Literatur gibt es keine Studie bezüglich der transversalen Erweiterung des Oberkiefers, in der die verschiedenen Apparaturtypen hinsichtlich des Ausmaßes der Expansion, der Lokalisation der maximalen Expansion, der Langzeitstabilität der Expansion und der Auswertung der Komplikationen verglichen wurden.

Die chirurgische Erweiterung des Unterkiefers mittels MMDO ist eine relativ unbekanntere Behandlungsmethode und wird nur an wenigen Zentren durchgeführt. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Erweiterungsgeräten: eine zahngetragene und eine knochengetragene Apparatur. Zum aktuellen Zeitpunkt liegen der Literatur keine Studien zur transversalen Verbreiterung des Unterkiefers mit größeren Fallzahlen vor, die das Ausmaß der Expansion, die Lokalisation der maximalen Expansion, die Langzeitstabilität der Expansion und die Auswertung der Komplikationen untersuchen. In der vorliegenden Arbeit wird dies anhand einer zahngetragenen Apparatur dargelegt.

Somit ist es Ziel dieser Auswertung, eine Analyse der dreidimensionalen Bewegung des Ober- und Unterkiefers durchzuführen und eine Aussage, sowohl über die Expansionsrate und deren Stabilität in Abhängigkeit der Methode, als auch über die Häufigkeit von Komplikationen zu treffen.

Weiterhin sollen mögliche Unterschiede bezüglich der Effizienz verschiedener Apparaturtypen untersucht werden.

Im Rahmen dieser longitudinalen Vergleichsstudie wurden Gipsmodelle und Orthopantomogramme (OPT) von Patienten mit Oberkiefer- und/oder Unterkieferexpansion vermessen und anschließend ausgewertet, die im Zeitraum von 2004 bis 2012 an zwei Mund-Kiefer-Gesichtschirurgischen (MKG) Kliniken und einer kieferorthopädischen Praxis chirurgisch oder mittels konservativen Maßnahmen behandelt wurden.

Die Erkenntnisse dieser Studie sollen einen Algorithmus zur Indikationsstellung und Behandlung von transversalen Dysgnathien aufzeigen.

## 3 Patienten und Methoden

### 3.1 Patienten

#### 3.1.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive, longitudinale Studie mit einer Patientenzahl von 131 Patienten. Diese Arbeit wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit zwei Zentren für MKG-Chirurgie und einer kieferorthopädischen Praxis durchgeführt. So wurden Patientendaten der Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München, Deutschland und der Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie des akademischen Landeskrankenhauses (LKH) Feldkirch, Österreich und der kieferorthopädischen Praxis Dr. Winsauer, Bregenz, Österreich erhoben. Im Rahmen dieser Studie wurden Akten, Gipsmodelle und Röntgenbilder von Patienten mit Ober- und/oder Unterkieferexpansion ausgewertet. Als Beobachtungszeitraum, in welchem die Operationen durchgeführt wurden, wurde der Zeitraum zwischen den Jahren 2004 und 2012 festgelegt.

**Einschlusskriterien:** Es wurden alle Patienten eingeschlossen, die in dem genannten Zeitraum eine Ober- und/oder Unterkieferexpansion in einer der zwei Kliniken oder in der Praxis erhalten haben. Einschränkungen bezüglich des Geschlechts bestanden nicht. Bei den chirurgischen Gruppen bestanden keine Alterseinschränkungen. Jedoch bestand in der Oberkiefer-Vergleichsgruppe ohne chirurgische Unterstützung die Einschränkung, dass die Patienten bei Schraubeninsertion das 17. Lebensjahr vollendet haben mussten. Zudem wurden alle Patienten ausgeschlossen, die präoperativ mit einer gesteuerten Prämolarenextraktion behandelt wurden. Des Weiteren wurden nur Patienten mit vollständiger prä- und postoperativer Dokumentation ausgewertet. So mussten Modelle präoperativ, nach der Retentionsphase und mindestens ein Jahr postoperativ vorliegen. Röntgenbilder in Form von Orthopantomogrammen mussten präoperativ und mindestens ein Jahr postoperativ vorliegen.

**Ausschlusskriterien:** Patienten mit Spaltbildungen oder syndromalen Erkrankungen wurden aus dem Kollektiv ausgeschlossen. Zudem wurden alle Patienten mit Ober- und/oder Unterkieferexpansion, die außerhalb des Beobachtungszeitraums behandelt wurden, aus dem Kollektiv entfernt.

Die ärztliche Schweigepflicht und der Datenschutz wurden zu keinem Zeitpunkt verletzt. In dieser Arbeit und eventuellen Publikationen werden die Patientendaten nur in anonymisierter Form verwendet.

### 3.1.2 Verwendete Apparaturen im Oberkiefer

Die Patienten mit zahngetragener Apparatur erhielten eine gegossene Apparatur in Kombination mit einer Kunststoffkappe (Abb. 3-1, LKH Feldkirch - Österreich). Als Distraktionsschraube wurde die Hyrax-Click® Schraube der Firma (Fa) Dentaforum verwendet. Die Apparatur wurde vor der Operation mit Ketac Cem (Fa. 3M ESPE, Neuss, Deutschland) eingesetzt und mit zwei Federbolzen interdental gesichert.

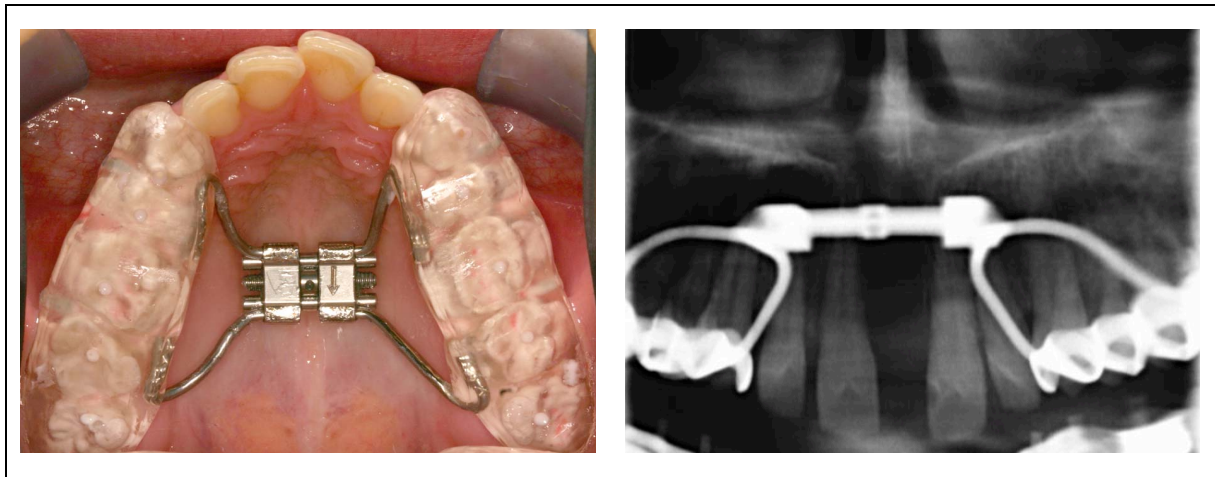


Abb. 3-1: Zahngetragene Apparatur mit Hyrax-Schraube

In der Gruppe der knochengetragenen Apparatur wurde der Rapid Palate Expander (Fa. KLS Martin Group, Tuttlingen, Deutschland) verwendet (Abb. 3-2, MKG TUM - Deutschland). Die Distraktorgröße 1 bis 4 wurde entsprechend der Gaumenanatomie ausgewählt. Der Distraktor wurde mit zwei Schrauben intraoperativ eingebracht.

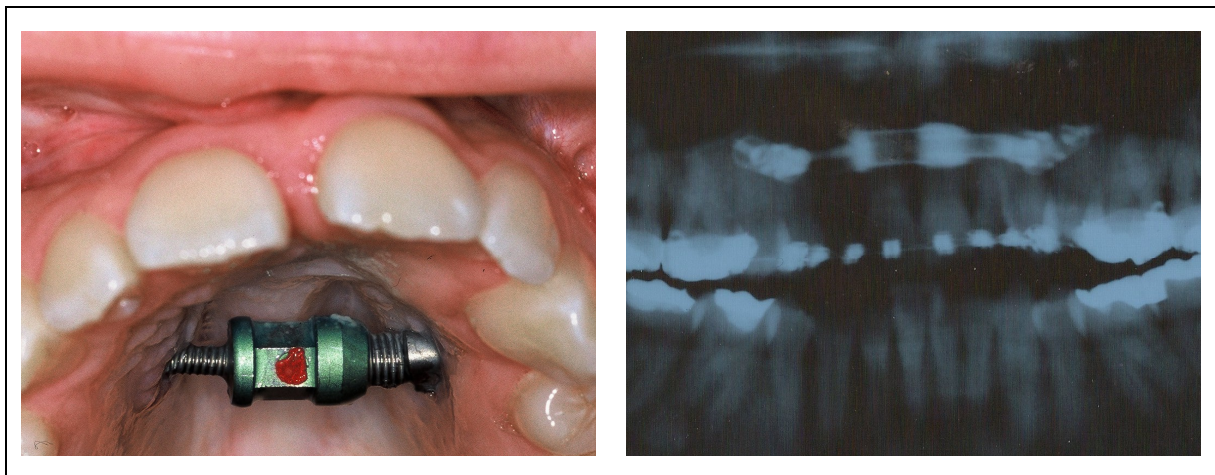


Abb. 3-2: Rapid Palate Expander

Die Patienten mit der MAS-Apparatur erhielten zunächst vier bis sechs MAS (Dual Top Miniankerschrauben, Durchmesser 2,0-2,5 Millimeter (mm), Länge 12-16 mm, Tiger Dental, Bregenz, Österreich), die in den Gaumen implantiert wurden. Diese wurden nach 6-monatiger Einheilzeit über eine Dehnapparatur, bestehend aus vier bis sechs Klebehülsen (Tiger Dental, Bregenz, Österreich) und einer angelöteten Expanderschraube (Superscrew. Fa. SUPERScrewSUPERSpring Co., Highwood, Illinois, USA), miteinander verbunden (Abb. 3-3, LKH Feldkirch - Österreich).



Abb. 3-3: MAS Apparatur

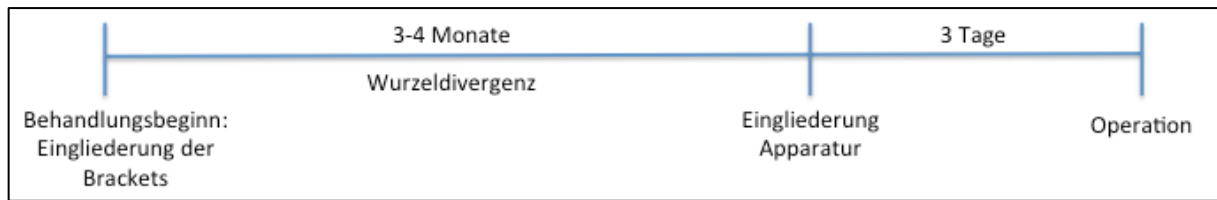
### 3.1.3 Verwendete Apparaturen im Unterkiefer

In den Patientengruppen mit Unterkieferexpansion wurde eine individuell gefertigte Apparatur im Sinne einer okklusal planen Kunststoff-Kappenschiene aus Orthocryl (Fa. Dentaureum, Ispringen, Deutschland) verwendet. Damit können bis zu fünf Zähne gefasst werden [Winsauer 2011]. Diese wurde präoperativ mit Ketac Cem (Fa. 3M ESPE, Neuss, Deutschland) eingegliedert und zusätzlich interdental mit zwei Federbolzenschrauben auf jeder Seite gesichert. Diese Schrauben wurden mit Hilfe von Orthocryl (Fa. Dentaureum, Ispringen, Deutschland) mit der Apparatur verbunden. Als Dehnschraube wurde die Hyrax<sup>®</sup> Schraube (Fa. Dentaureum, Ispringen, Deutschland) verwendet. Diese wurde am tiefsten lingualen Punkt im anterioren Bereich des Unterkiefers positioniert und ebenfalls mit Orthocryl befestigt .

Die „one-step Technik“ und die „two-step Technik“ unterschieden sich durch die Gestaltung und den Zeitpunkt der Insertion der Distraktionsapparatur. Bei der two-step Technik wurden drei bis vier Monate präoperativ auf den Zähnen 31 und 41 Brackets mittels Light Bond (Reliance Orthodontic Products, Itasca, IL) befestigt und die Zähne anschließend soweit divergiert, bis der mesiale Abstand zwischen den

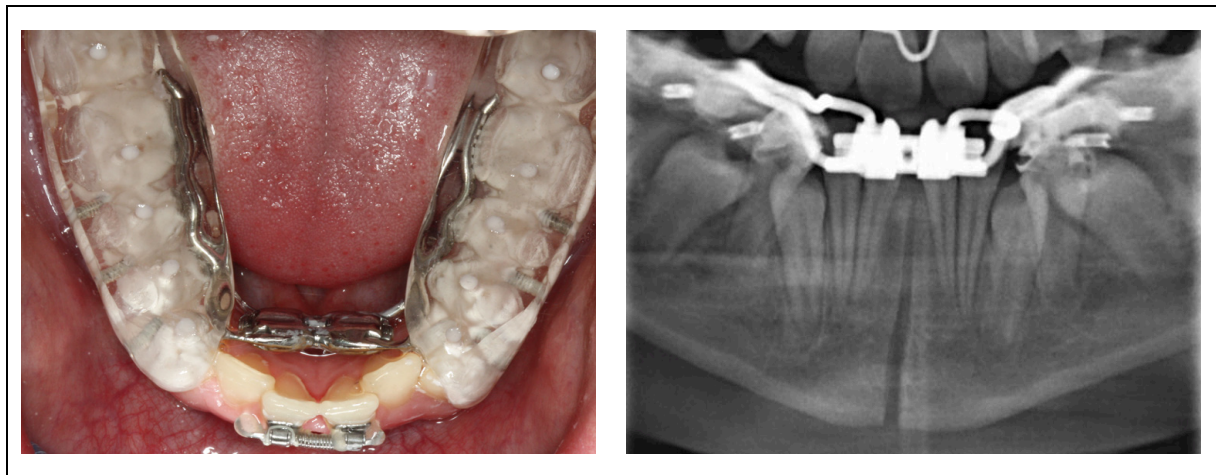


beiden Wurzeln ausreichend für eine Osteotomie war. Der zeitliche Ablauf der Vorbehandlung lässt sich anhand der folgenden Abbildung erkennen (Abb. 3-4).



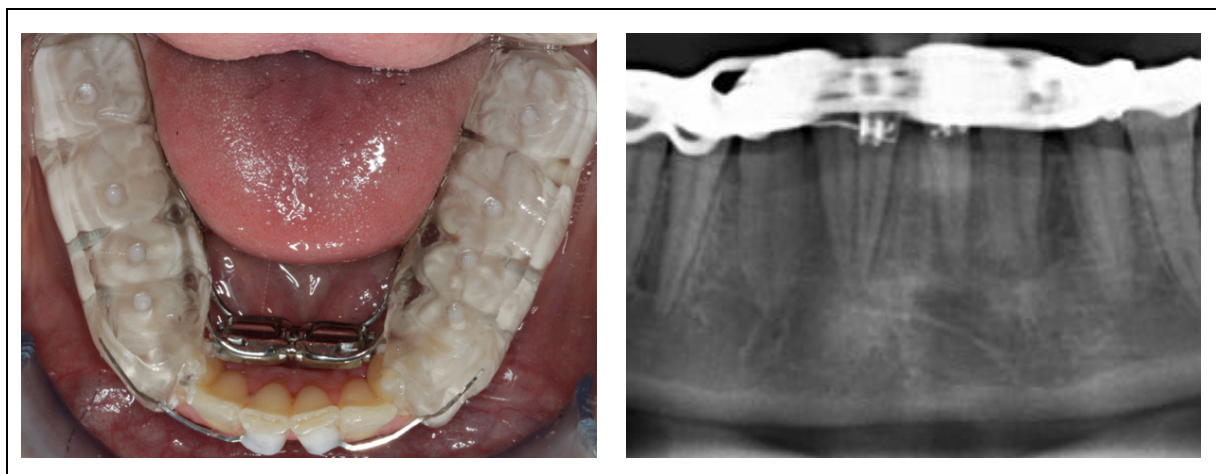
**Abb. 3-4:** Zeitliche Darstellung der Vorbehandlung innerhalb der two-step Gruppe

Die eigentliche Apparatur wurde einige Tag vor der Operation eingegliedert (Abb. 3-5, LKH Feldkirch - Österreich).



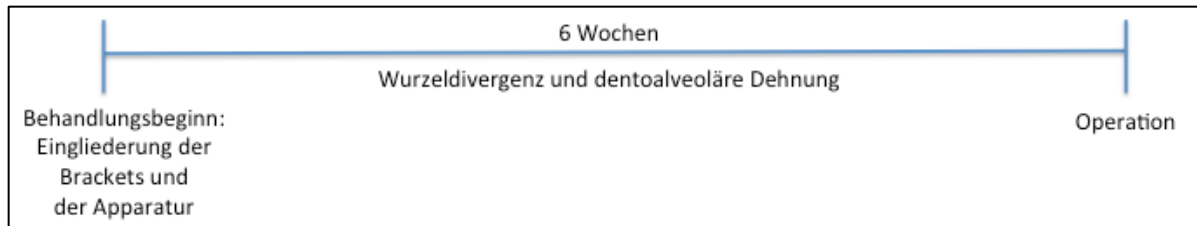
**Abb. 3-5:** Apparatur mit der two-step Technik

Bei der one-step Technik wurden Apparatur und Brackets gemeinsam ca. sechs Wochen vor der Operation eingesetzt. Zudem sind Apparatur und Brackets über einen Draht miteinander verbunden (Abb. 3-6, LKH Feldkirch - Österreich).



**Abb. 3-6:** Apparatur mit der one-step Technik

Bereits zu diesem Zeitpunkt wurde mit der Distraction begonnen (Abb. 3-7).



**Abb. 3-7:** Zeitliche Darstellung der Vorbehandlung innerhalb der one-step Gruppe

Die Brackets erzielen wiederum eine Divergenz der Wurzeln, die eingegliederte Apparatur dehnt den Unterkiefer im dentoalveolären Bereich zusätzlich auf und setzt ihn unter Spannung. Die damit erhaltene rein dentoalveoläre Expansion soll dem Chirurgen später die Osteotomie erleichtern, da er über ein größeres Platzangebot als bei der two-step Technik und eine Vorspannung im Operationsbereich verfügt. Diese Expansion muss nach der Operation wieder zurückgegeben werden, da es sich um eine rein dentoalveoläre und damit nicht ossäre Expansion handelt.

### 3.1.4 Aufteilung der Behandlungsgruppen im Ober- und Unterkiefer

Es wurden 65 Patienten im Oberkiefer (OK) und 66 Patienten im Unterkiefer (UK) behandelt (Abb. 3-8). Beide Gruppen beinhalten männliche (m) und weibliche (w) Patienten. Im OK wurde bei 29 Patienten eine SARPE mit einer zahngetragenen Apparatur (ZGA) und bei 18 Patienten mit einer knochengetragenen Apparatur (KGA) durchgeführt. 18 weitere Patienten wurden mit einer Miniankerschrauben-Apparatur (MAS) ohne SARPE im Sinne einer konventionellen GNE expandiert. Diese Gruppe musste das Einschlusskriterium „Alter > 17 Jahre“ bei Schraubeninsertion erfüllen. Im Unterkiefer wurden 15 Patienten mit einer one-step Technik und 51 Patienten mit einer two-step Technik behandelt. Beide Patientengruppen im Unterkiefer erhielten eine Operation im Sinne einer MMDO.

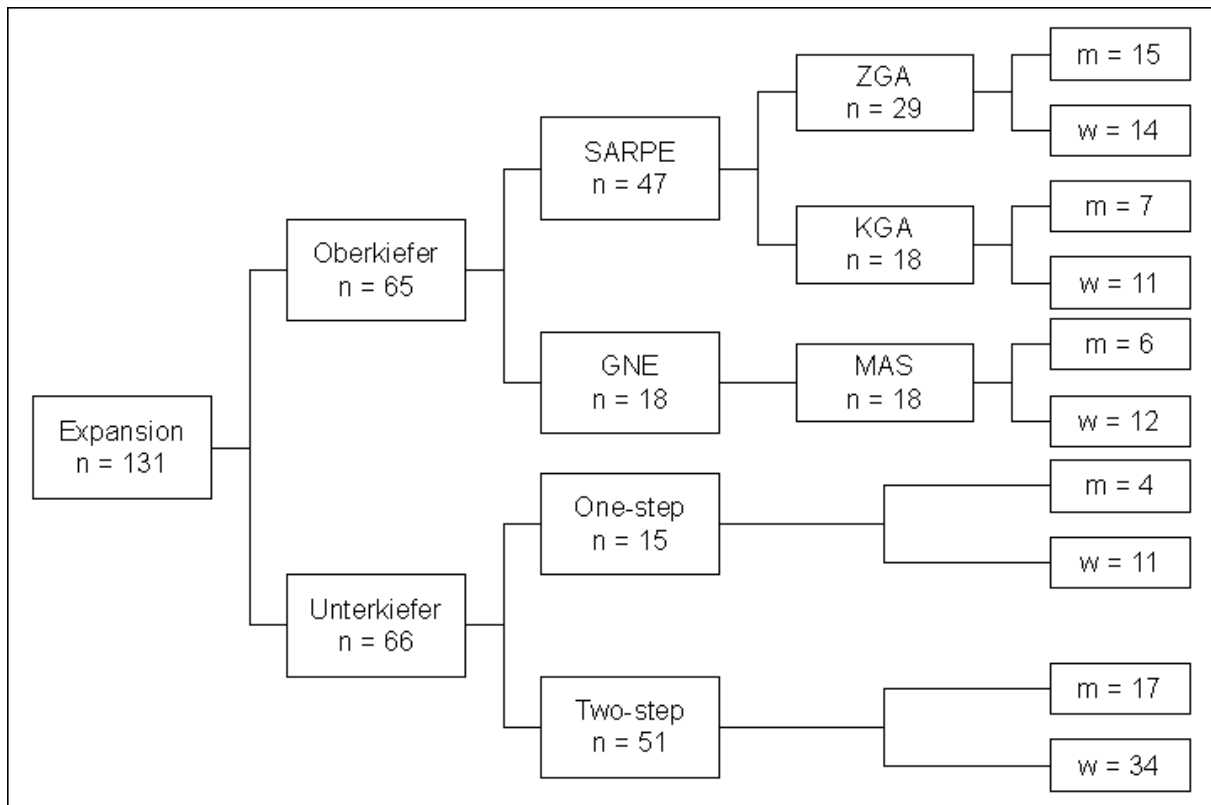


Abb. 3-8: Darstellung der Patienten nach Operationsmethodik, Anzahl und Geschlecht

Alle Patienten mit Oberkieferexpansion befanden sich zum Operationszeitpunkt in der zweiten Dentition. Im Unterkiefer lag bei 34 Patienten ein Wechselgebiss und bei 32 Patienten ein permanentes Gebiss vor.

### 3.1.5 Distraktionsprotokoll

Der theoretisch-zeitliche Ablauf der Behandlung wird in der folgenden Abbildung dargestellt (Abb. 3-9).

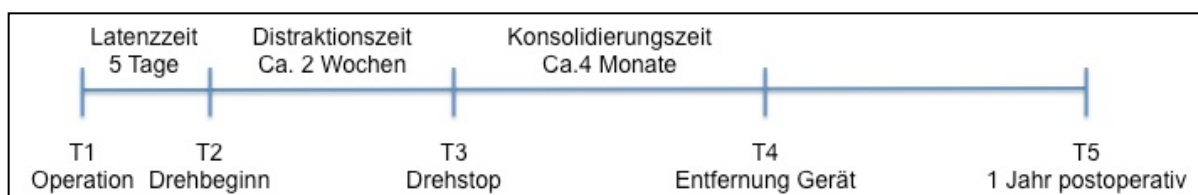


Abb. 3-9: Zeitliche Darstellung des Behandlungsablaufs von T1-T5

Die tatsächlichen Werte für die Latenz-, Distraktions- und Konsolidierungszeiten des vorliegenden Patientenkollektivs findet man im Ergebnisteil.

Die Patienten mit chirurgischer Oberkieferexpansion als auch mit chirurgischer Unterkieferexpansion erhielten zum Zeitpunkt T1 den operativen Eingriff. Anschließend vergingen circa (ca.) fünf Tage bis man mit dem Aufdrehen der Apparatur begann. Dieser Zeitraum wurde als Latenzzeit bezeichnet. Der Tag, an

dem die aktive Distraction startete, wurde als Zeitpunkt T2 definiert. Diese wurde für ca. zwei bis drei Wochen täglich durchgeführt, bis man die gewünschte Expansion erreicht hatte. Hierbei drehte der Patient selbstständig die Schraube zweimal pro Tag um eine Viertel Umdrehung auf, was einer gesamten Distanz von 0,60 mm entspricht. In der Oberkiefergruppe mit knochengetragener Apparatur drehte der Patient die Schraube zweimal pro Tag um eine Drittel Umdrehung auf, was einer Distanz von 0,66 mm entspricht. Der Tag an dem das letzte Mal gedreht worden ist, wurde als Zeitpunkt T3 bezeichnet. Der Zeitraum zwischen den Tagen T2 und T3 wurde als aktiver Distaktionszeitraum bezeichnet. Diesem Zeitraum schloß sich eine ca. viermonatige Konsolidierungs- und Retentionszeit an, in welcher die Apparatur als Retentionsgerät im Mund verblieb. Der Tag, an dem die Apparatur aus dem Mund entfernt wurde, wird als Zeitpunkt T4 bezeichnet und stellt somit das Ende der Retentionsphase dar. Zudem wurde noch ein Zeitpunkt T5 definiert, welcher mindestens ein Jahr postoperativ liegen musste.

Der therapeutische Ablauf für die Patienten mit einer nicht-chirurgischen Oberkieferexpansion mittels einer MAS-Apparatur gestaltete sich ähnlich. Allerdings betrug der Zeitraum zwischen dem Setzen der MAS (T1) und dem Einsetzen (T2) der eigentlichen Dehnapparatur ca. sechs Monate. Zum Zeitpunkt T2 wurde sofort mit der aktiven Distraction begonnen. Die Patienten verfolgten dabei ein multizyklisches Distaktionsprotokoll. Diese Form des Protokolls besagt, dass die Patienten die Apparatur zunächst aufdrehen und anschließend wieder zudrehen sollen. So kann vermieden werden, dass die Dehnapparatur beschädigt wird, da bei dieser Form der Behandlung größere Widerstände auftreten, als bei der Behandlung mit chirurgischer Schwächung. Das Wechselspiel zwischen Auf- und Zudrehen wurde bis zur Bildung eines Diastemas verfolgt. Nach Bildung eines Diastemas erfolgte die konventionelle Dehnung bis zur gewünschten Expansion.

### **3.1.6 Operationstechnik**

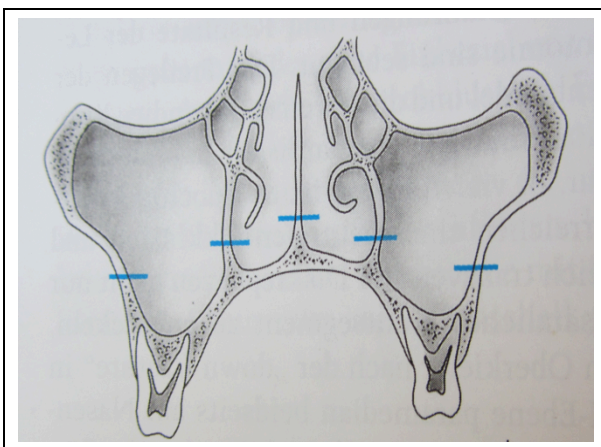
Die Patientengruppen, bei denen eine Oberkieferexpansion mit einer zahn- oder knochengetragenen Apparatur durchgeführt wurde, erhielten vor der eigentlichen Expansion eine SARPE-Operation im Sinne einer modifizierten Le Fort I Osteotomie [Mommaerts 1999]. Diese wurde bei allen Patienten in nasaler Intubationsnarkose mit Propofol (Diprivan<sup>®</sup>, Fa. AstraZeneca, London, Vereintes Königreich, Södertälje, Schweden) und Remifentanyl (Ultiva<sup>®</sup>, Fa. Glaxo Smith Kline, London, Vereintes

Königreich) durchgeführt. Zunächst erfolgte die korrekte Lagerung des Patienten, das Legen einer Hypopharynxtamponade, das sterile Abdecken und Waschen des Patienten. Anschließend injizierte der Operateur ein Lokalanästhetikum mit Vasokonstringenz-Zusatz in das Oberkiefervestibulum (Ultracain D-S Forte 1:100.000, 6 Milliliter (ml), Fa. Sanofi Aventis, Frankfurt, Deutschland), um übermäßige Blutungen zu vermeiden. Danach wurden drei vertikale Schleimhautinzisionen durchgeführt (Abb. 3-10, LKH Feldkirch - Österreich), ein Mukoperiostlappen tunnelierend präpariert und der Oberkiefer dargestellt.



**Abb. 3-10: Drei vertikale Schleimhautinzisionen**

Nun wurden die lateralen Kieferhöhlenwände bis zur Apertura piriformis mit einer Säge (Microspeed Uni, Fa. Aesculap Aktiengesellschaft (AG), B-Braun Company, Tuttlingen, Deutschland) osteotomiert, der Nasenschlauch präpariert, der Processus pterygoideus beidseits mit dem Tubermeißel (Fa. KLS Martin Group, Tuttlingen, Deutschland), sowie der knöcherne Nasenboden durchtrennt. Somit wurde der Oberkiefer, wie in der folgenden Abbildung [Hoffmeister 2007] dargestellt, auf der Le Fort I Ebene vom Mittelgesicht getrennt (Abb. 3-11). Lediglich eine „Down Fracture“ zur vollständigen Mobilisation des Oberkiefers erfolgte nicht.



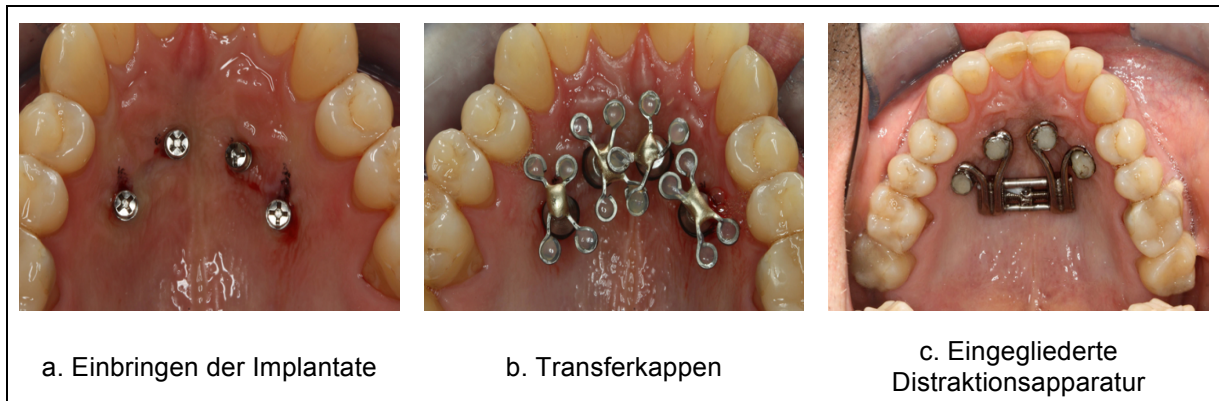
**Abb. 3-11: Le Fort I Osteotomie [Hoffmeister 2007]**

Danach wurden in der Gruppe mit knochengetragener Apparatur die Schrauben des Distraktors auf Höhe der ersten Molaren durch eine palatinale Inzision der

Schleimhaut in den Processus palatinus inseriert. Dieser Vorgang entfiel für die Gruppe mit zahngetragener Apparatur, da in dieser Gruppe die Apparatur bereits präoperativ von dem zuweisenden Kieferorthopäden eingesetzt wurde. Anschließend erfolgte unter Schonung der Radices der oberen Inzisiven die mediane Spaltung des Oberkiefers in zwei Segmente. Nun wurde der Oberkiefer auf freie Beweglichkeit untersucht, indem die eingebrachte Apparatur intraoperativ aufgedreht wurde. Nach vollständiger Blutstillung erfolgte der Wundverschluss mit einer fortlaufenden Naht (Vicryl 4.0, Fa. Ethicon, Johnson & Johnson Medical, New Brunswick, NJ, USA). Abschließend wurde die Hypopharynx tamponade entfernt.

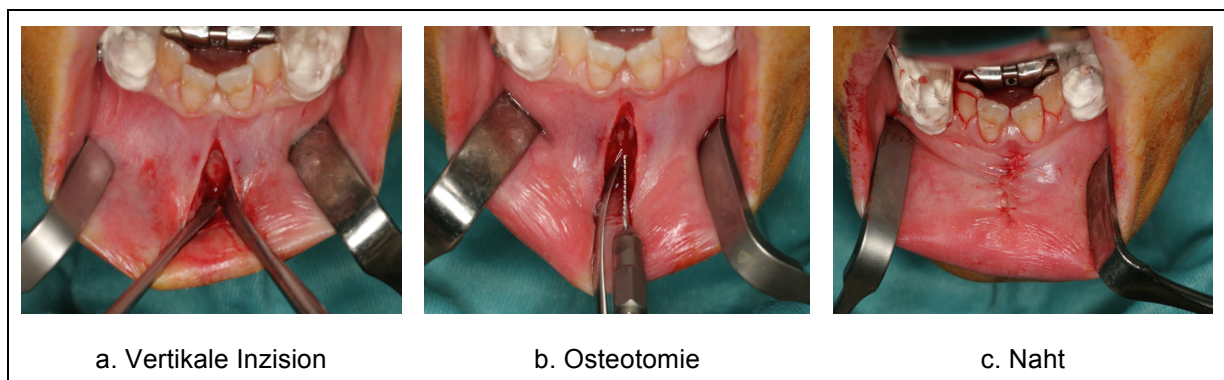
Postoperativ erhielten alle Patienten eine antibiotische Therapie mit 3x Unacid 3 Gramm (g) intravenös (i.v.) für drei Tage (1g Sulbactam, 2g Ampicillin, Fa. Pfizer, New York City, NY, USA) und Ibudolor akut 400 Milligramm (mg) (Ibuprofen 400 mg, Fa. Stada, Bad Vilbel, Hessen, Deutschland) als Analgetikum zur Bedarfsmedikation per os.

In der Patientengruppe der MAS-Apparatur, die eine Expansion im Sinne einer GNE erhielten, verlief die Insertion der Apparatur wie folgt [Winsauer 2013]: Zunächst injizierte der Operateur ein Lokalanästhetikum mit Vasokonstringenzzusatz (Ultracain D-S Forte 1:100.000, 6ml, Fa. Sanofi Aventis, Frankfurt, Deutschland) beidseits in den harten Gaumen, um eine Leitungsanästhesie des Nervus palatinus majus und des Nervus incisivus zu erhalten. Anschließend wurden vier bis sechs vertikal ausgerichtete MAS, Regio 14/24 und Regio 15/25, paramedian in den harten Gaumen inseriert (Abb. 3-12 a., LKH Feldkirch - Österreich). Die inserierten Schrauben wurden anschließend mit Hilfe von Transferkappen (Abb. 3-12 b., LKH Feldkirch - Österreich) mit Alginat abgeformt, um die orale Situation auf ein Gipsmodell zu übertragen. Im Labor wurde mit Hilfe dieser Information eine individuelle Distraktionsapparatur erstellt. Die Patienten erhielten keine Antibiose, außer wenn sich Entzündungszeichen zeigten.



**Abb. 3-12: Darstellung des Behandlungsablaufs der MAS-Apparatur**

Nach sechsmonatiger Einheitszeit wurde die Distractionsapparat auf die MAS aufgesetzt und mit selbsthärtenden 2-Phasen-Komposit (Phase II TM, Fa. Reliance Orthodontic Products) verklebt (Abb. 3-12 c., LKH Feldkirch - Österreich). Unmittelbar nach Einbringen der Distractionsapparat begann man mit der Expansion. Hierbei befolgten die Patienten ein multizyklisches Distractionsprotokoll. Die Operation des schmalen Unterkiefers erfolgte im Sinne einer MMDO [Ploder 2009]. Die allgemeinen Operationsvorbereitungen und die Narkose erfolgten analog zu den Patientengruppen mit SARPE Operation. Nach dem Injizieren eines Lokalanästhetikums mit Vasokonstringenzzusatz in das Unterkiefervestibulum erfolgte eine ca. 1 Zentimeter (cm) lange vertikale Inzision in der Medianen (Abb. 3-13 a., LKH Feldkirch - Österreich). Anschließend wurde das Mukoperiost abpräpariert und der Unterkieferkorpus dargestellt.



**Abb. 3-13: Unterkieferosteotomie**

Präoperativ wurden bei allen Patienten in dieser Gruppe die Radices der unteren mittleren Inzisiven kieferorthopädisch divergiert, um eine Schädigung des mesialen Desmodonts durch die folgende Osteotomie zu vermeiden. Danach erfolgte mittels einer 0,25 mm großen oszillierenden Säge (Fa. Bien-Air, Allschwill, Schweiz) die mediane Osteotomie (Abb. 3-13 b., LKH Feldkirch - Österreich) des Unterkiefers

zwischen den Radices der Unterkieferinzisiven. Im crestalen und apikalen Bereich wurde die Osteotomie mit einem 1 cm langen und 0,2 mm dicken Lambott-Meißel (Fa. KLS Martin, Tuttlingen, Deutschland) komplettiert. Die Vollständigkeit der erfolgten Osteotomie wurde überprüft, indem man den zuvor eingebrachten Distraktor aufdrehte. Nach vollständiger Blutstillung wurde die Inzision mit einer Naht (Vicryl 3.0, Fa. Ethicon, Johnson & Johnson Medical, New Brunswick, NJ, USA) versehen (Abb. 3-13 c., LKH Feldkirch - Österreich). Die postoperative Medikation gestaltete sich analog zu den Patientengruppen mit SARPE-Operation.

### **3.1.7 Datenerfassung**

Die Datenerfassung erfolgte retrospektiv. Hierbei wurden alle Patientenakten gesichtet, die in schriftlicher Form vorlagen. Zudem erfolgte eine Datenabfrage über digitalisierte Informationsquellen (SAP und Patidok-Programm, digitalisierte Arztbriefe und digitalisierte Operationsberichte). Die Daten wurden an allen Zentren analog erhoben. Zudem wurden fehlende Daten durch eine Abfrage bei den überweisenden Kieferorthopäden ergänzt. Angesichts der retrospektiven Datenerhebung konnten Daten, die in vorangehenden Untersuchungen nicht erfasst wurden, nachträglich nicht erhoben werden.

### **3.1.8 Gipsmodelle**

Die Modellherstellung erfolgte bei allen Patienten durch eine Abformung mit handelsüblichem Alginat. Die Abformung wurde anschließend mit Superhartgips ausgegossen und daraus ein Situationsmodell erstellt. Die Situationsabformungen erfolgten zu den Zeitpunkten T1, T4 und T5 (Abb. 3-14). Um eventuelle Dokumentationslücken zu schließen, wurden nicht nur die erstellten Modelle der drei Behandlungszentren, sondern auch die vorhandenen Modelle der kieferorthopädischen Überweiser zur Untersuchung verwendet.

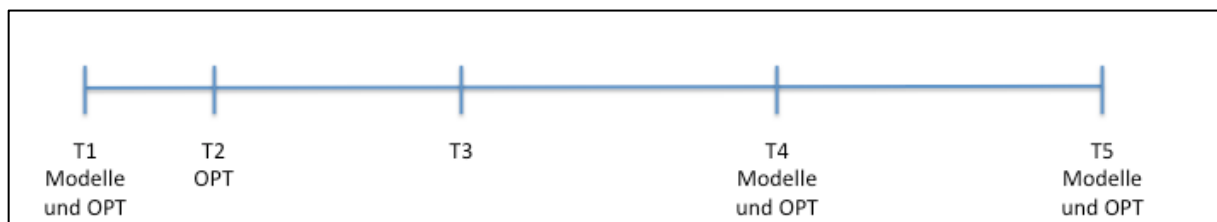
### **3.1.9 Röntgenbilder**

Die Röntgenbilder wurden zu den Zeitpunkten T1, T2, T4 und T5 aufgenommen. Hierbei handelte es sich um Orthopantomogramme. In den Behandlungszentren Bregenz - Österreich und Feldkirch - Österreich wurden digitale Röntgenapparate (Orthopos XG 3D, Fa. Sirona, Benzheim, Deutschland) verwendet, die mit der



Software Sidexis XG (Fa. Sirona, Benzheim, Deutschland) betrieben werden. Im Behandlungszentrum München wurde ein analoges System Gendex Oralix Multiscann Ceph (Fa. KaVo Dental, Biberach, Deutschland) verwendet. Geröntgt wurde bei 70-80 Kilovolt (kV) und 8-12 Milliamperesekunden (mAs).

Röntgenbilder, die nicht zu den entsprechenden Zeitpunkten aufgenommen wurden, konnten nicht verwendet werden. Röntgenbilder von den kieferorthopädischen Überweisern wurden nicht verwendet. In der folgenden Abbildung lassen sich die Zeitpunkte erkennen, zu denen die Modelle hergestellt und die Röntgenbilder angefertigt wurden (Abb. 3-14).



**Abb. 3-14:** Zeitliche Abfolge der Modellherstellung und Röntgenbildaufnahme im Behandlungsverlauf

## 3.2 Methoden

### 3.2.1 Datenerfassung

Die Datenerfassung erfolgte computergestützt mit Hilfe einer Excel-Tabelle (Version 14.0.0 2011, Fa. Microsoft, Redmond, WA, USA). Hierbei wurde jeder Patient als eigener Fall eingegeben und durch folgende Merkmale charakterisiert (Tab. 3-1):

1.	Allgemeine Daten (Geburtsdatum, Geschlecht, Name)
2.	Operationsart (SARPE, GNE, MMDO)
3.	Bimaxilläre Behandlung (ja/nein)
4.	Dentition (Wechselgebiss, bleibendes Gebiss)
5.	Errechner Engstand in mm zu Beginn der Behandlung (Oberkiefer, Unterkiefer)
6.	Klassen (Kieferrelation, Angel Klasse)
7.	Operationsdaten (Datum, Alter bei Operation, Narkoseform, Antibiotikumgabe, Operationsort)
8.	Distraktionsparameter (Latenzzeit, Distraktionsschritte, Distraktionsdauer, Konsolidierungsdauer)
9.	Expansion in mm am Ende der Distraktion, gemessen am Diastema (nur UK)
10.	Behandlungsmodifikationen UK (one/two-step Technik, Vordehnung/Wurzeldivergenz)
11.	Geräte OK (zahngetragene, knochengetragene, MAS-Apparatur)
12.	Komplikationen (Infektion, Zahnschädigung, Wurzelresorption, Narbenzug, Nervschädigung, Geräteproblem, keine/asymmetrische Distraktion, inkomplette Osteotomie, keine Verknöcherung, Kiefergelenksprobleme)

Tab. 3-1: Kriterienkatalog zur Charakterisierung der Patienten

### 3.2.2 Modellanalyse

Die transversale Vermessung erfolgte an den Caninen (C), den 1. (P1) und 2. Prämolaren (P2) und an den 1. (M1) und 2. Molaren (M2) (Abb. 3-15). Die Vermessung erfolgte auf dentalem und ossärem Niveau im Unter- und Oberkiefer analog zu den jeweiligen Zeitpunkten T1, T4 und T5 [Ploder 2009]. Als Referenzpunkt auf dentalem Niveau diente jeweils die tiefste Stelle der Fissur. Hierbei wurde die Distanz zwischen den beiden Referenzpunkten an den entsprechenden Zähnen in mm gemessen. Als Referenzpunkt auf ossärem Niveau wurde ein Punkt 5 mm unterhalb der tiefsten palatinalen/lingualen Stelle des Gingivalrandes gewählt. Auch hierbei wurde die Distanz in mm zwischen den entsprechenden Zähnen vermessen. Zudem wurde anhand der Modelle die Angel-Klasse des Patienten bestimmt. Die Vermessung erfolgte mit einer elektronischen Schieblehre (Fa. Paget Services, Woodrow, London, England). Die Werte wurden

von einem Untersucher ermittelt, um den interindividuellen Fehler gering zu halten. Anschließend wurden die Messwerte in eine Excel-Tabelle übertragen. Zudem wurde aus der Differenz der transversalen Breite zu den Zeitpunkten T1 und T4 die Gesamtexpansion in mm und zu den Zeitpunkten T4 und T5 der Rückgang der transversalen Breite in mm errechnet.

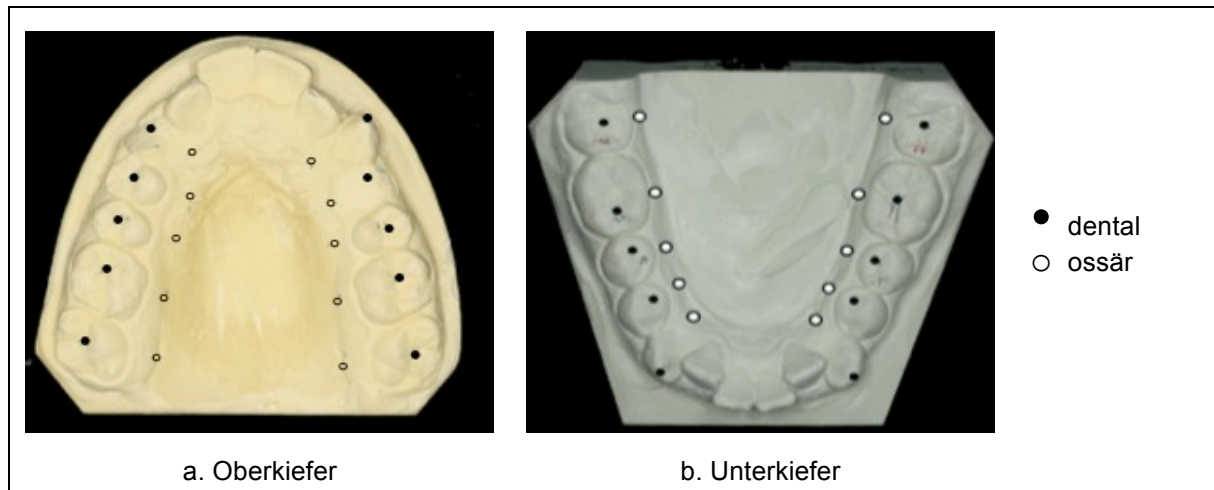


Abb. 3-15: Messpunkte im Ober-/Unterkiefer

### 3.2.3 Röntgenanalyse

Die OPTs wurden mit Hilfe des Programms ImageJ vermessen. Die erfolgten Vermessungen sind als Beispiele in den folgenden Röntgenbildern zu sehen (Abb. 3-16, LKH Feldkirch - Österreich). Zum Zeitpunkt T1 wurde die, durch orthodontische Vordehnung erzielte Wurzeldivergenz im Unterkiefer in mm vermessen. Hierbei dienten die Wurzelspitzen und der crestale Bereich der Zähne 31/41 als Referenzpunkt. Zudem wurde überprüft, ob bereits präoperativ eine verminderte Verknöcherung im Sinne einer Radiotransluzenz in dem Operationsbereich vorlag. Dies diente dazu, eine postoperativ bestehende verminderte Ossifikation der Operation an sich oder einer anderen Ursache zuordnen zu können. Ebenso wurden die OPTs auf bereits bestehende Wurzelresorptionen untersucht. Des Weiteren wurde der Abstand zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem Alveolarfortsatz an den Zähnen 21 und 11 sowie 31 und 41 in mm gemessen (Abb. 3-16 a. T1). Zum Zeitpunkt T4 wurde der Distractionsspalt in mm vermessen [Ploder 2009]. Als Referenzpunkt wurde hierbei die vertikale Mitte des Unter- bzw. Oberkiefers im Bereich des Distractionsspalts gewählt (Abb. 3-16 b. T4). Zum Zeitpunkt T5 wurde die Verknöcherung beurteilt, der Abstand zwischen der Schmelz-Zement-Grenze und dem Alveolarfortsatz an den Zähnen 21 und 11 sowie

31 und 41 erneut gemessen und die OPTs auf entstandene Wurzelresorptionen untersucht (Abb. 3-16 c. T5).

Alle ermittelten Werte wurden anschließend in eine Excel-Tabelle übertragen. Die Daten der Zeitpunkte T1 und T5 konnten somit miteinander verglichen werden, wodurch Rückschlüsse gezogen werden konnten, ob die Operation für das Problem verantwortlich war oder dieses Problem bereits präoperativ bestand.

Die Röntgenbilder wurden von einem Untersucher ermittelt, um den interindividuellen Fehler möglichst gering zu halten.

Die analogen Röntgenbilder wurden eingescannt (HP Photosmart C7280 All-in-one, Fa. HP, Palo Alto, CA, USA) und konnten so digital vermessen werden. Hierbei wurde die Schneidekante des Zahnes 11 auf dem Gipsmodell in mm vermessen, um eine Skalierung möglich zu machen.

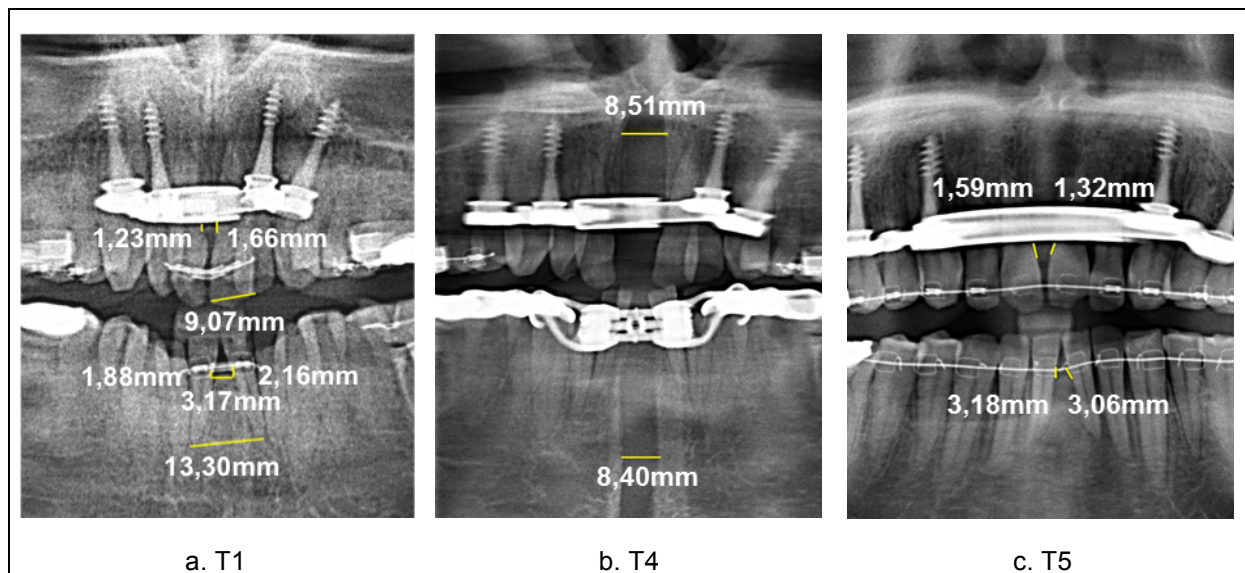


Abb. 3-16: Röntgenanalyse

### 3.2.4 Analyse der Komplikationen

Als Komplikation wurden folgende Parameter gewertet:

Infektion, Zahnschädigung, Wurzelresorption, Narbenzug, Nervschädigung, Geräteprobleme, keine/asymmetrische Distraction, inkomplette Osteotomie, keine Verknöcherung, Kiefergelenksprobleme.

Unter der Komplikation „Zahnschädigung“ (ZS) wurden alle Verletzungen des Zahnhalteapparates (Taschenbildung, Rezessionen, Papillenschwund, Zahnlockerung) und des Gefäß-Nerven-Bündels (verminderte Sensibilität) zusammengefasst. Unter einer Nervstörung ist hierbei eine Hypästhesie oder

Anästhesie des Nervus infraorbitalis bzw. des Nervus mentalis zu verstehen. Das Kriterium Geräteprobleme fasst die Komplikationen der Apparatur wie Lockerung und Materialbruch zusammen.

Der Attachmentverlust zu den Zeitpunkten T1 und T5 wurde mesial des Zahnes 11/21 und 31/41 gemessen, wobei der Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zum Alveolarfortsatz gemessen und anschließend eine Differenz gebildet wurde. Diese stellt die Höhe des operativ bedingten Attachmentverlustes dar.

### **3.2.5 Statistische Analyse**

Die gruppenspezifischen Patientencharakteristika wurden zunächst deskriptiv zur vergleichenden Beschreibung analysiert. Als beschreibende Lage- und Streuungsmaße wurden der arithmetische Mittelwert (MW) sowie die Standardabweichung (SD = standard deviation) innerhalb der Stichprobe herangezogen.

Explorative Gruppenvergleiche zwischen zwei Patientenkollektiven in kontinuierlichen Merkmalen erfolgten durch den t-Test für zwei unverbundene Stichproben. Explorative Gruppenvergleiche innerhalb eines Patientenkollektivs in kontinuierlichen Merkmalen erfolgten durch den t-Test für verbundene Stichproben. Bei fehlender Homoskedastizität in den beiden Grundgesamtheiten wurde der Welch-Test verwendet. Zum Vergleich von mehr als zwei Gruppen wurde eine Varianzanalyse herangezogen. Häufigkeitsvergleiche wurden durch Chi<sup>2</sup>-Test bzw. bei entsprechender Voraussetzung mittels Fisher-exakt-Test durchgeführt.

Um den Einfluss von Gruppenzugehörigkeit auf das Auftreten von Komplikationen zu untersuchen, wurde ebenfalls der Fisher-exakt-Test angewandt. Anhand des p-Werts kann erkannt werden, ob ein signifikanter Unterschied bezüglich einer bestimmten Komplikation zwischen den zwei bzw. drei Distraktoren vorlag. Für den Vergleich der Teststatistiken wurde ein Signifikanzniveau von  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  und  $p \leq 0,001$  herangezogen. Die statistische Auswertung erfolgte in R (R Development Core Team 2008, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Oberkiefer

#### 4.1.1 Allgemeine Parameter

Das mittlere **Alter** der Patienten mit SARPE lag bei  $27,2 \pm 8,2$  Jahren; von 14 bis 45 Jahre reichend. Das mittlere Alter der Patienten mit MAS-Apparatur lag bei  $23,7 \pm 6,4$  Jahren; von 17 bis 39 Jahre reichend. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,113$ ). In der SARPE Gruppe waren 25 Patienten weiblich und 22 männlich, in der MAS Gruppe waren 12 Patienten weiblich und 6 männlich. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,483$ ). Bei 16 Patienten lag eine eugnathe **Kieferrelation**, bei 21 Patienten eine retrale Kieferrelation und bei 28 Patienten eine prognathe Kieferrelation vor. Bezüglich der **dentalen Klasse** hatten 9 Patienten eine Angel-Klasse I, 23 Patienten eine Angel-Klasse II/1, 13 Patienten eine Angel-Klasse II/2 und 20 Patienten eine Angel-Klasse III. Der an den Gipsmodellen errechnete **Engstand** lag zu Beginn der Behandlung in der SARPE-Gruppe bei  $7,0 \pm 2,7$  mm und in der MAS-Gruppe bei  $5,6 \pm 2,8$  mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant, lag aber im Trend ( $p = 0,070$ ). Die **Latenzzeit** (Zeit zwischen OP-Datum und Distraktionsbeginn) lag in der SARPE-Gruppe bei  $5,5 \pm 3,2$  Tagen. Innerhalb der MAS-Gruppe gab es keine Latenzzeit, da unmittelbar nach Einbringen der Distraktionsapparatur mit dem Expandieren begonnen wurde. Die mittlere **Distraktionszeit** lag in der SARPE-Gruppe bei  $21,0 \pm 13,2$  Tagen und in der MAS-Gruppe bei  $85,1 \pm 75,1$  Tagen. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war statistisch signifikant ( $p = 0,002^{**}$ ). Die **Konsolidierungszeit** betrug in der SARPE-Gruppe  $33,7 \pm 101,3$  Tage und in der MAS-Gruppe  $195,8 \pm 103,4$  Tage. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war statistisch signifikant ( $p = 0,032^{*}$ ). Einer zusätzlichen Behandlung im Unterkiefer (bimaxilläre Behandlung) unterzogen sich insgesamt 16 von 65 Patienten, davon jeweils 8 Patienten in der SARPE-Gruppe und 8 Patienten innerhalb der MAS-Gruppe.

#### 4.1.2 Modellanalyse

Zunächst wurde jede Behandlungsgruppe (zahngetragene = Zahn, knochengetragene = Knochen und MAS-Apparatur = MAS) dahingehend verglichen, ob ein Unterschied zwischen der dentalen bzw. ossären Expansion und dem dentalen bzw. ossären Rückgang der transversalen Breite vorlag.

Für die gesamte Auswertung der Modellvermessung kamen folgende Signifikanzniveaus zur Anwendung:

\*  $p \leq 0,05$  = Der Unterschied ist signifikant

\*\*  $p \leq 0,01$  = Der Unterschied ist hoch signifikant

\*\*\*  $p \leq 0,001$  = Der Unterschied ist höchst signifikant

Die Expansion auf dentaler und ossärer Ebene für die zahngetragene Apparatur ist in Tab. 4-1 dargestellt.

Region	Dental MW $\pm$ SD (mm)	Ossär MW $\pm$ SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	6,32 $\pm$ 2,09	5,73 $\pm$ 1,79	0,59	0,034*
C	5,40 $\pm$ 3,25	5,42 $\pm$ 1,88	-0,02	0,956
P1	7,14 $\pm$ 2,81	6,01 $\pm$ 2,39	1,13	0,005**
P2	6,45 $\pm$ 3,13	5,62 $\pm$ 2,44	0,83	0,023*
M1	6,38 $\pm$ 2,40	5,85 $\pm$ 2,05	0,53	0,181
M2	6,51 $\pm$ 3,13	5,72 $\pm$ 1,46	0,79	0,127

Tab. 4-1: Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (zahngetragene Apparatur)

Die durchschnittliche Expansion (C bis M2) für die zahngetragene Apparatur war auf dentaler Ebene 6,32  $\pm$  2,09 mm und auf ossärer Ebene 5,73  $\pm$  1,79 mm. Der Unterschied war statistisch signifikant.

Die Differenz der transversalen Breite zwischen dem Untersuchungszeitpunkt T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene für die zahngetragene Apparatur ist in Tab. 4-2 dargestellt.

Region	Dental MW $\pm$ SD (mm)	Ossär MW $\pm$ SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	1,54 $\pm$ 1,16	1,31 $\pm$ 0,88	0,23	0,097
C	1,71 $\pm$ 1,96	1,27 $\pm$ 1,30	0,44	0,061
P1	1,30 $\pm$ 1,32	1,14 $\pm$ 0,87	0,16	0,353
P2	1,54 $\pm$ 0,89	1,26 $\pm$ 0,72	0,28	0,103
M1	1,59 $\pm$ 1,18	1,37 $\pm$ 1,04	0,22	0,575
M2	1,54 $\pm$ 1,41	1,38 $\pm$ 1,26	0,16	0,319

Tab. 4-2: Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (zahngetragene Apparatur)

Die durchschnittliche Differenz der Expansion (C bis M2) zwischen T5 und T4 für die zahngetragene Apparatur war auf dentaler Ebene  $1,54 \pm 1,16$  mm und auf ossärer Ebene  $1,31 \pm 0,88$  mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Die Ergebnisse aus den beiden Tabellen (Tab. 4-1 und Tab. 4-2) sind in Abb. 4-1 anhand eines Balkendiagramms mit Standardabweichung dargestellt.

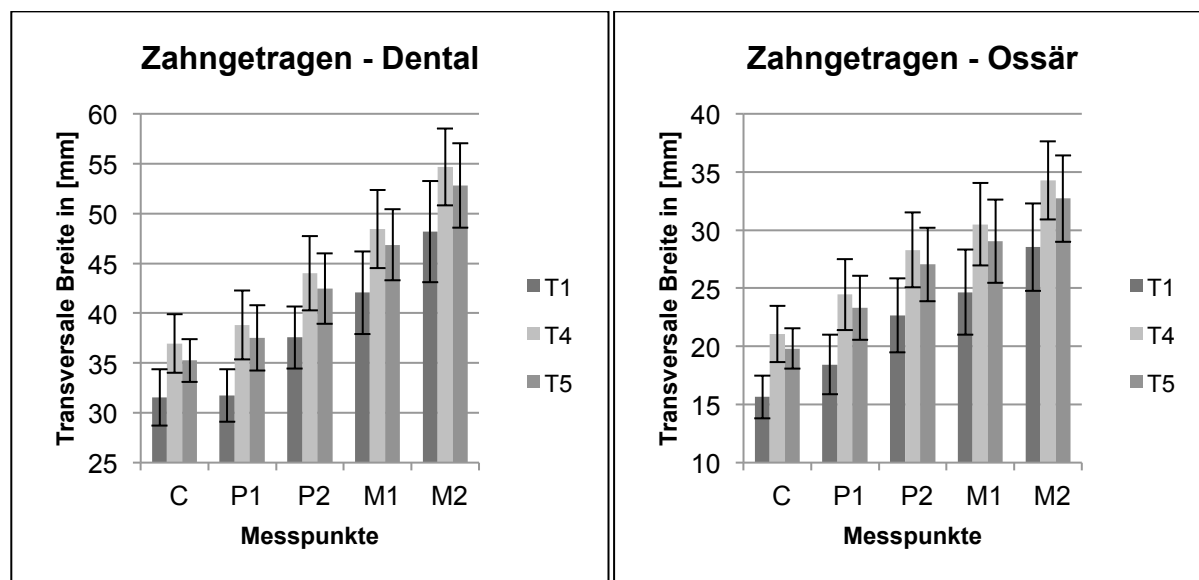


Abb. 4-1: Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der zahngetragenen Apparatur

Ein Rückgang der transversalen Expansionswerte zum Zeitpunkt T5 lässt sich an allen Zähnen (Eckzahn- bis Molarenregion) sowohl auf dentaler, als auch auf ossärer Ebene feststellen. Die größte Expansion erreichte die zahngetragene Apparatur auf dentaler und ossärer Ebene auf Höhe des 1. Prämolaren (P1).

Die dentale und ossäre Expansion der knochengetragenen Apparatur ist in Tab. 4-3 dargestellt.

Region	Dental MW $\pm$ SD (mm)	Ossär MW $\pm$ SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	$4,88 \pm 2,15$	$4,43 \pm 2,05$	0,45	0,183
C	$4,18 \pm 2,62$	$4,41 \pm 1,99$	-0,23	0,768
P1	$5,46 \pm 1,93$	$4,68 \pm 2,33$	0,78	0,099
P2	$5,33 \pm 2,58$	$4,33 \pm 2,53$	1,00	0,127
M1	$4,88 \pm 2,91$	$4,58 \pm 2,55$	0,30	0,504
M2	$4,46 \pm 3,20$	$3,61 \pm 2,56$	0,85	0,181

Tab. 4-3: Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (knochengetragene Apparatur)

Die durchschnittliche Expansion (C bis M2) für die knochengetragene Apparatur war auf dentaler Ebene  $4,88 \pm 2,15$  mm und auf ossärer Ebene  $4,43 \pm 2,05$  mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.



Die Differenz der transversalen Distanz zwischen dem Untersuchungszeitpunkt T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene für die knochengetragene Apparatur ist in Tab. 4-4 dargestellt.

Region	Dental MW $\pm$ SD (mm)	Ossär MW $\pm$ SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	0,56 $\pm$ 1,67	0,58 $\pm$ 1,53	-0,02	0,877
C	0,99 $\pm$ 1,46	0,68 $\pm$ 1,88	0,31	0,411
P1	0,54 $\pm$ 2,11	0,53 $\pm$ 1,43	0,01	0,972
P2	0,36 $\pm$ 2,54	0,47 $\pm$ 2,24	-0,11	0,636
M1	-0,40 $\pm$ 2,71	0,35 $\pm$ 1,65	-0,75	0,161
M2	0,88 $\pm$ 1,46	0,64 $\pm$ 1,50	0,24	0,274

Tab. 4-4: Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (knochengetragene Apparatur)

Die durchschnittliche Differenz der Expansion (C bis M2) zwischen T5 und T4 für die knochengetragene Apparatur war auf dentaler Ebene 0,56  $\pm$  1,67 mm und auf ossärer Ebene 0,58  $\pm$  1,53 mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Die bereits beschriebenen Ergebnisse lassen sich ebenfalls anhand eines Balkendiagramms mit Standardabweichung (Abb. 4-2) darstellen, wobei hier die Werte der transversalen Breite angegeben sind.

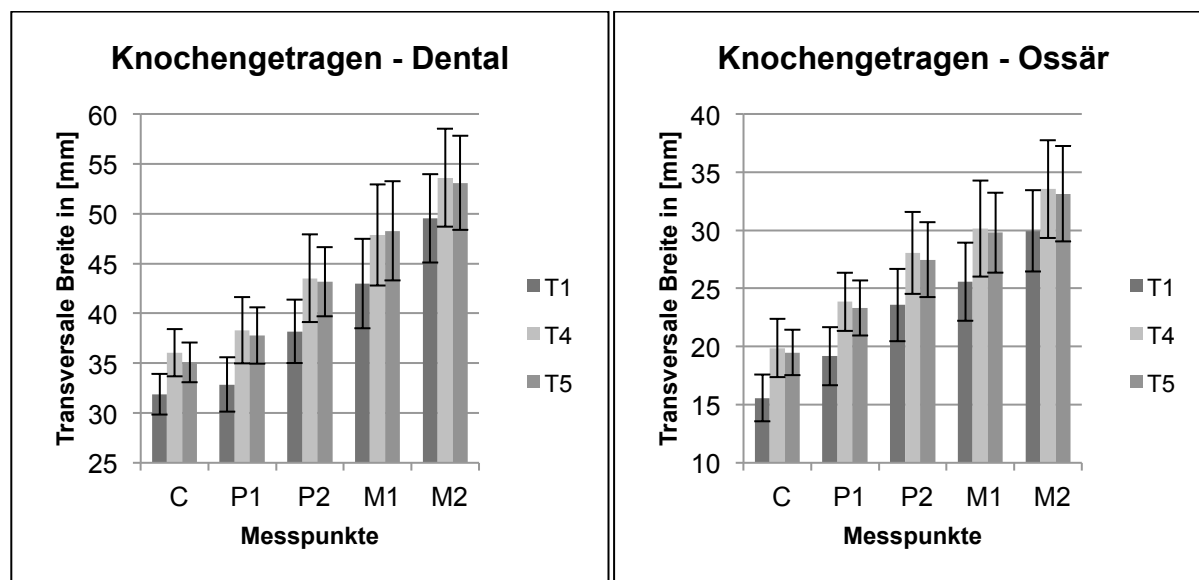


Abb. 4-2: Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der knochengetragenen Apparatur

Bis auf der dentalen Höhe von M1 lag in allen Bereichen ein dentaler und ossärer Rückgang der Expansionswerte zum Zeitpunkt T5 vor. Die größte Expansion erzielte der Distraktor auf der Höhe von P1.

Die dentale und ossäre Expansion der MAS Apparatur ist in Tab. 4-5 dargestellt.

Region	Dental MW ± SD (mm)	Ossär MW ± SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	3,04 ± 1,42	3,17 ± 1,61	-0,13	0,356
C	2,53 ± 1,75	3,44 ± 1,90	-0,91	0,003**
P1	4,04 ± 2,27	3,55 ± 2,00	0,49	0,118
P2	3,65 ± 1,56	3,36 ± 1,63	0,29	0,248
M1	2,80 ± 1,25	2,69 ± 1,69	0,11	0,672
M2	1,73 ± 1,50	2,64 ± 1,24	-0,91	0,015*

**Tab. 4-5: Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (MAS-Apparatur)**

Die durchschnittliche Expansion (C bis M2) für die MAS-Apparatur war auf dentaler Ebene  $3,04 \pm 1,42$  mm und auf ossärer Ebene  $3,17 \pm 1,61$  mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Die Differenz der transversalen Breite zwischen dem Untersuchungszeitpunkt T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene für die MAS-Apparatur ist in Tab. 4-6 dargestellt.

Region	Dental MW ± SD (mm)	Ossär MW ± SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	0,18 ± 1,53	0,15 ± 1,55	0,03	0,834
C	0,34 ± 1,50	0,71 ± 1,74	-0,37	0,251
P1	-0,01 ± 2,26	-0,37 ± 2,41	0,36	0,084
P2	-0,05 ± 2,12	0,15 ± 1,83	-0,20	0,123
M1	0,38 ± 1,92	-0,06 ± 2,28	0,44	0,067
M2	-0,12 ± 1,52	0,16 ± 1,31	-0,28	0,274

**Tab. 4-6: Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (MAS-Apparatur)**

Die durchschnittliche Differenz der Expansion (C bis M2) zwischen T5 und T4 für die MAS-Apparatur war auf dentaler Ebene  $0,18 \pm 1,53$  mm und auf ossärer Ebene  $0,15 \pm 1,55$  mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Die beschriebenen Ergebnisse lassen sich ebenfalls anhand eines Balkendiagramms Abb. 4-3 darstellen, das die Standardabweichung und die Veränderung der transversalen Breite zu den Untersuchungszeitpunkten T1, T4 und T5 beinhaltet.

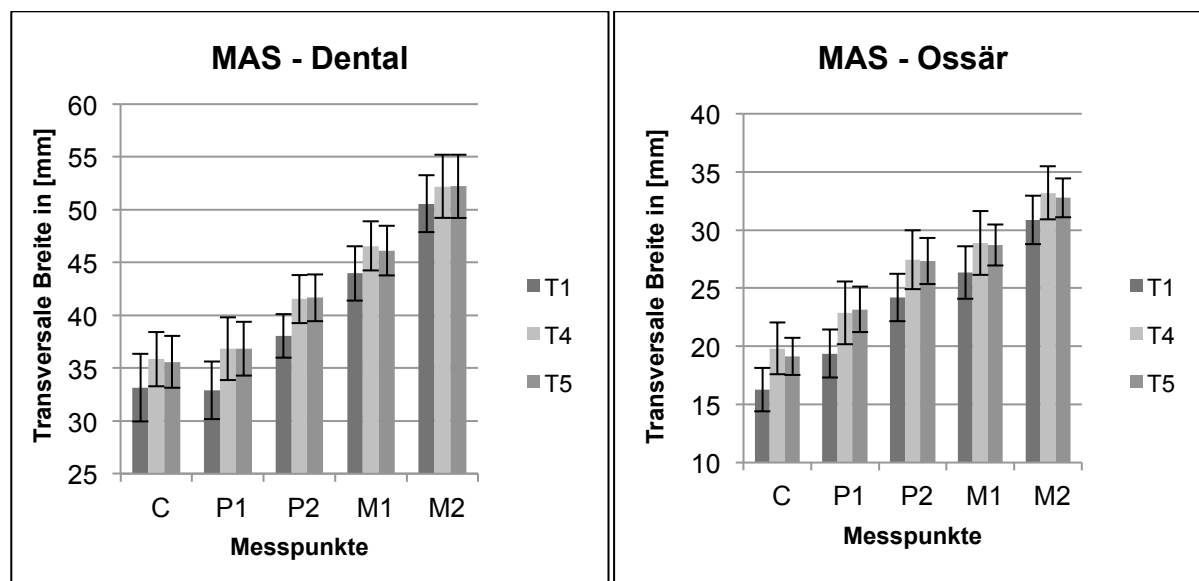


Abb. 4-3: Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der MAS-Apparatur

Die größte Expansion erzielte die MAS-Apparatur auf dentaler und ossärer Ebene auf Höhe von P1. Der Rückgang der transversalen Breite war auf allen Ebenen sehr gering bzw. fehlte vollständig.

In Tab. 4-7 sind die Expansionswerte auf dentaler Ebene für die drei Behandlungsgruppen (zahngetragene, knochengetragene und MAS-Apparatur) dargestellt.

Region	Zahn MW ± SD (mm)	Kochen MW ± SD (mm)	MAS MW ± SD (mm)	p-Wert
C bis M2	6,32 ± 2,09	4,88 ± 2,15	3,04 ± 1,42	0,000***
C	5,40 ± 3,25	4,18 ± 2,62	2,53 ± 1,75	0,005**
P1	7,14 ± 2,81	5,46 ± 1,93	4,04 ± 2,27	0,000***
P2	6,45 ± 3,13	5,33 ± 2,58	3,65 ± 1,56	0,008**
M1	6,38 ± 2,40	4,88 ± 2,91	2,80 ± 1,25	0,000***
M2	6,51 ± 3,13	4,46 ± 3,20	1,73 ± 1,50	0,000***

Tab. 4-7: Vergleich der drei Apparaturen bezüglich der dentalen Expansion T4-T1

Wie aus der Tabelle ersichtlich, erzielte die zahngetragene Apparatur die größte dentale Expansion und die MAS-Apparatur die geringste Expansion. Der Unterschied zwischen den Gruppen war statistisch signifikant.

In Tab. 4-8 sind die Expansionswerte auf ossärer Ebene für die drei Behandlungsgruppen (zahngetragene, knochengetragene und MAS-Apparatur) dargestellt.

Region	Zahn MW ± SD (mm)	Kochen MW ± SD (mm)	MAS MW ± SD (mm)	p-Wert
C bis M2	5,73 ± 1,79	4,43 ± 2,05	3,17 ± 1,61	0,000****
C	5,42 ± 1,88	4,41 ± 1,99	3,44 ± 1,90	0,005**
P1	6,01 ± 2,39	4,68 ± 2,33	3,55 ± 2,00	0,004**
P2	5,62 ± 2,44	4,33 ± 2,53	3,36 ± 1,63	0,012*
M1	5,85 ± 2,05	4,58 ± 2,55	2,69 ± 1,69	0,000***
M2	5,72 ± 1,46	3,61 ± 2,56	2,64 ± 1,24	0,000***

**Tab. 4-8: Vergleich der drei Apparaturen bezüglich der ossären Expansion T4-T1**

Im Bereich der ossären Expansion erzielte die zahngetragene Apparatur die größten und die MAS-Apparatur die geringsten Expansionswerte. Der Unterschied zwischen den Gruppen war statistisch signifikant.

In Tab. 4-9 sind die Veränderungen der Expansionswerte (in mm und %) zwischen den Untersuchungszeitpunkten T4 und T5 auf dentaler Ebene für die drei Behandlungsgruppen (zahngetragene, knochengetragene und MAS-Apparatur) dargestellt.

Region	Zahn MW ± SD (mm)	Zahn %	Knochen MW ± SD (mm)	Knochen %	MAS MW ± SD (mm)	MAS %	p-Wert
C bis M2	1,54 ± 1,16	24,37%	0,56 ± 1,67	11,48%	0,18 ± 1,53	5,92%	0,006**
C	1,71 ± 1,96	31,66%	0,99 ± 1,46	23,68%	0,34 ± 1,50	13,44%	0,044*
P1	1,30 ± 1,32	18,21%	0,54 ± 2,11	9,89%	-0,01 ± 2,26	0,00%	0,084
P2	1,54 ± 0,89	23,88%	0,36 ± 2,54	6,75%	-0,05 ± 2,12	0,00%	0,036*
M1	1,59 ± 1,18	24,92%	-0,40 ± 2,71	0,00%	0,38 ± 1,92	13,57%	0,004**
M2	1,54 ± 1,41	23,66%	0,88 ± 1,46	19,73%	-0,12 ± 1,52	0,00%	0,007**

**Tab. 4-9: Vergleich der drei Apparaturen bezüglich des dentalen Rückgangs T4-T5**

In Prozent (%) ausgedrückt verringerte sich die transversale Breite auf dentaler Ebene bei der zahngetragenen Apparatur um 24%, bei der knochengetragenen Apparatur um 12% und bei der MAS-Apparatur um 6%. Der Unterschied war statistisch signifikant.

In Tab. 4-10 sind die Veränderungen der Expansionswerte (in mm und %) zwischen den Untersuchungszeitpunkten T4 und T5 auf ossärer Ebene für die drei Behandlungsgruppen (zahngetragene, knochengetragene und MAS-Apparatur) dargestellt.

Region	Zahn MW ± SD (mm)	Zahn %	Knochen MW ± SD (mm)	Knochen %	MAS MW ± SD (mm)	MAS %	p-Wert
C bis M2	1,31 ± 0,88	22,86%	0,58 ± 1,53	13,09%	0,15 ± 1,55	4,73%	0,013*
C	1,27 ± 1,30	23,43%	0,68 ± 1,88	15,42%	0,71 ± 1,74	20,64%	0,398
P1	1,14 ± 0,87	18,97%	0,53 ± 1,43	11,33%	-0,37 ± 2,41	0,00%	0,014*
P2	1,26 ± 0,72	22,42%	0,47 ± 2,24	10,86%	0,15 ± 1,83	4,46%	0,113
M1	1,37 ± 1,04	23,42%	0,35 ± 1,65	7,64%	-0,06 ± 2,28	0,00%	0,009**
M2	1,38 ± 1,26	24,13%	0,64 ± 1,50	17,73%	0,16 ± 1,31	6,53%	0,029*

**Tab. 4-10: Vergleich der drei Apparaturen bezüglich des ossären Rückgangs T4-T5**

In Prozent ausgedrückt verringerte sich die transversale Breite auf ossärer Ebene bei der zahngetragenen Apparatur um 23%, bei der knochengetragenen Apparatur um 13% und bei der MAS-Apparatur um 5%. Der Unterschied war statistisch signifikant. Die Veränderungen der transversalen Breite auf dentalem und ossärem Niveau vom Zeitpunkt T1 bis T5 sind in Abb. 4-4 dargestellt.

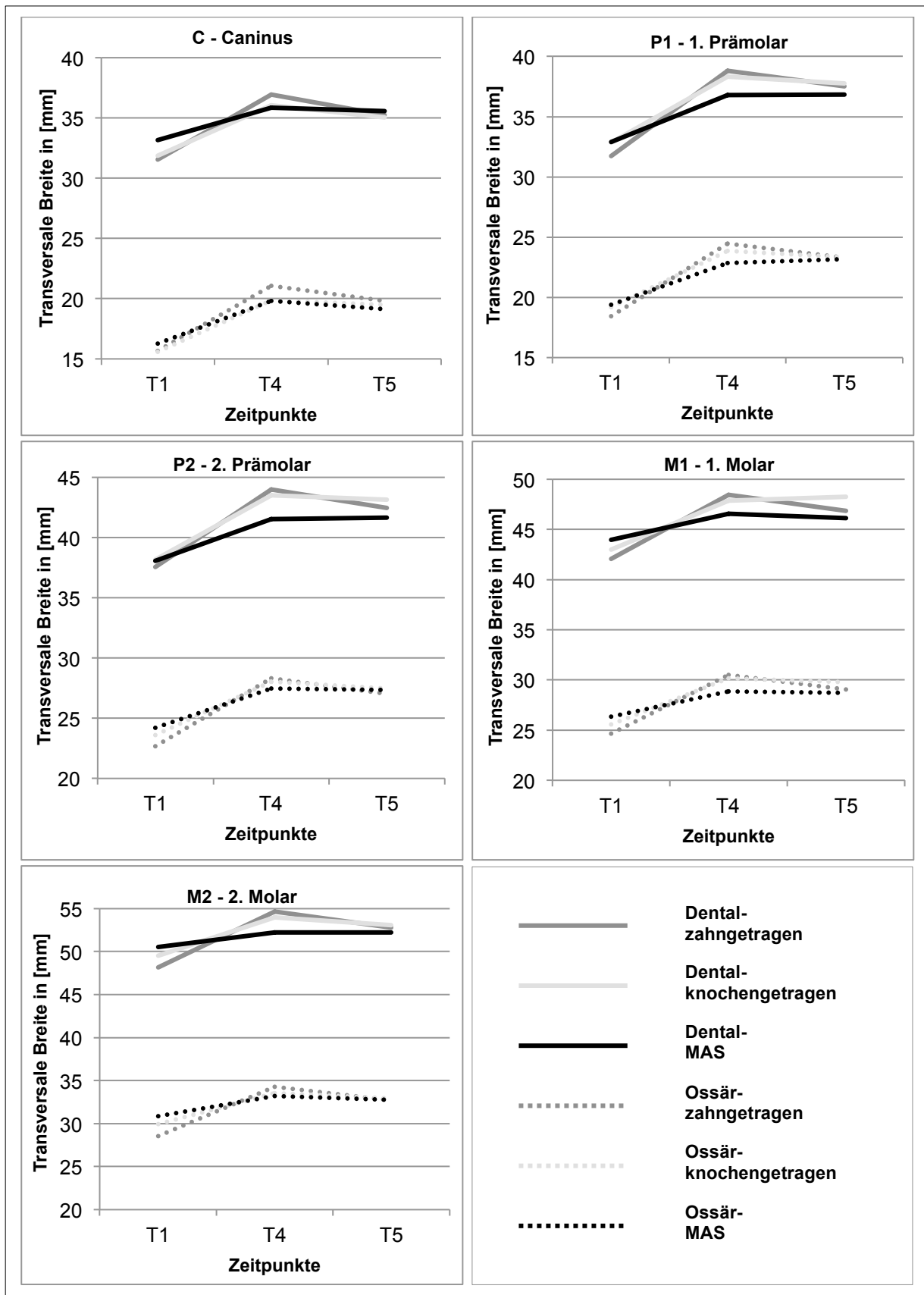


Abb. 4-4: Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der verschiedenen Apparaturen (zahngetragen, knochengetragen und MAS-Apparatur) an den einzelnen Untersuchungszeitpunkten T1, T4 und T5 und den Messpunkten

In der Abb. 4-4 lassen sich die gemessenen transversalen Breiten der einzelnen Apparaturen direkt miteinander vergleichen. Die erzielten Werte zum Zeitpunkt T4 stellen die maximal erzielte Expansion dar; die Werte zum Zeitpunkt T5 zeigen die Expansionswerte ein Jahr postoperativ.

In Abb. 4-5 sind die maximal erzielten Expansionswerte auf dentaler Ebene zum Zeitpunkt T4 und die Reduktion der transversalen Breite zum Zeitpunkt T5 dargestellt. Das Augenmerk dieser Diagramme liegt nicht auf der transversalen Breite, sondern auf den errechneten Expansionswerten zu den verschiedenen Zeitpunkten (T4-T1) / (T5-T4).

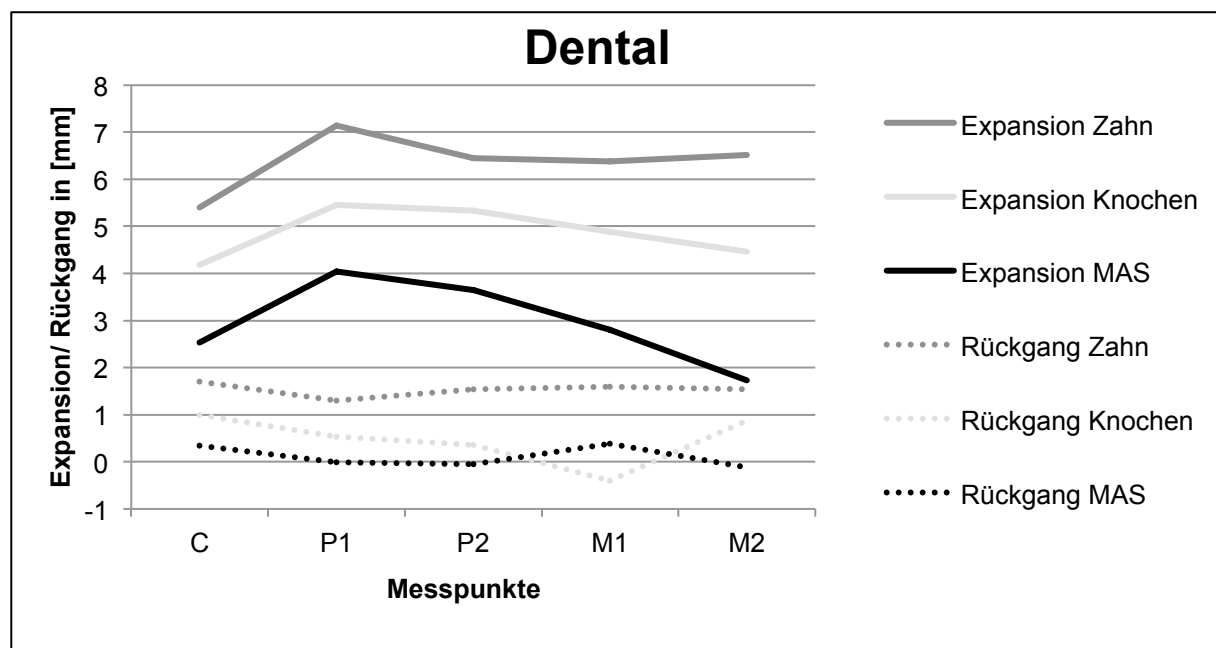


Abb. 4-5: Darstellung der dentalen Expansions- und Rückgangswerte aller Apparaturen auf allen Ebenen

In Abb. 4-6 sind die maximal erzielten Expansionswerte auf ossärer Ebene zum Zeitpunkt T4 und die Reduktion der transversalen Breite zum Zeitpunkt T5 dargestellt.

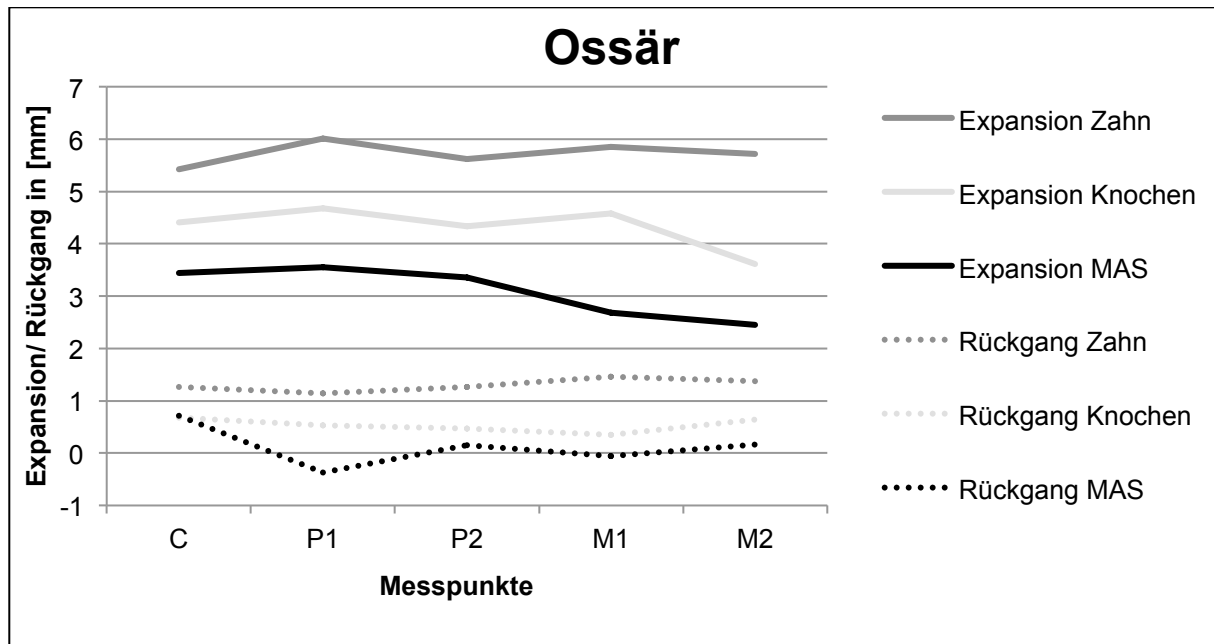


Abb. 4-6: Darstellung der ossären Expansions- und Rückgangswerte aller Apparaturen auf allen Ebenen

In Tab. 4-11 ist eine tabellarische Auflistung der Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) für die Darstellung der Gruppenunterschiede für die dentale Expansion dargestellt.

Region	Zahn - Knochen p-Wert	Zahn - MAS p-Wert	Knochen - MAS p-Wert
C bis M2	0,050*	0,000***	0,136
C	0,384	0,002**	0,038*
P1	0,033*	0,000***	0,054
P2	0,273	0,001***	0,046*
M1	0,069	0,000***	0,016*
M2	0,047*	0,000***	0,005**

Tab. 4-11: Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf dentaler Ebene zum Zeitpunkt T4

Die zahngetragene Apparatur erzielte eine signifikant größere dentale Expansion als die knochengetragene Apparatur und die MAS-Apparatur. Die knochengetragene Apparatur erreichte keine signifikant größere dentale Expansion als die MAS-Apparatur.

In Tab. 4-12 ist eine tabellarische Auflistung der Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) für die Darstellung der Gruppenunterschiede für die ossäre Expansion dargestellt.



Region	Zahn - Knochen p-Wert	Zahn - MAS p-Wert	Knochen - MAS p-Wert
C bis M2	0,062	0,000***	0,136
C	0,101	0,002**	0,162
P1	0,075	0,001***	0,132
P2	0,145	0,003**	0,223
M1	0,076	0,000***	0,017*
M2	0,005**	0,000***	0,185

**Tab. 4-12: Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf ossärer Ebene zum Zeitpunkt T4**

Die zahngetragene Apparatur erzielte nur auf der Ebene des 2. Molaren eine signifikant größere ossäre Expansion als die knochengetragene Apparatur. Die ossäre Expansion der zahngetragenen Apparatur war auf allen Ebenen signifikant größer als die der MAS-Apparatur. Die knochengetragene Apparatur erzielte nur auf der Ebene des 1. Molaren eine signifikant größere ossäre Expansion als die MAS-Apparatur.

In Tab. 4-13 ist eine tabellarische Auflistung der Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) für die Darstellung der Gruppenunterschiede für die Veränderung der transversalen Breite auf dentaler Ebene zum Zeitpunkt T5 dargestellt.

Region	Zahn - Knochen p-Wert	Zahn - MAS p-Wert	Knochen - MAS p-Wert
C bis M2	0,071	0,009**	1,000
C	0,199	0,021*	0,217
P1	0,192	0,048*	0,463
P2	0,115	0,022**	0,659
M1	0,012*	0,031*	0,358
M2	0,154	0,002**	0,078

**Tab. 4-13: Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf dentaler Ebene zum Zeitpunkt T5**

Die zahngetragene Apparatur zeigte nur auf Höhe des 1. Molaren eine signifikant größere Reduktion der transversalen Breite als die knochengetragene Apparatur. Im direkten Vergleich mit der MAS-Apparatur hatte die zahngetragene Apparatur auf allen Ebenen einen signifikant größeren dentalen Rückgang. Der knochengetragene Distraktor hatte auf keinem Niveau einen signifikant größeren Rückgang als die MAS-Apparatur.

In Tab. 4-14 ist eine tabellarische Auflistung der Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) für die Darstellung der Gruppenunterschiede für die Veränderung der transversalen Breite auf ossärer Ebene zum Zeitpunkt T5 dargestellt.

Region	Zahn - Knochen p-Wert	Zahn - MAS p-Wert	Knochen - MAS p-Wert
C bis M2	0,187	0,015*	0,979
C	0,283	0,240	0,961
P1	0,121	0,028*	0,203
P2	0,239	0,057	0,698
M1	0,036*	0,029*	0,567
M2	0,091	0,009*	0,372

Tab. 4-14: Ergebnisse des t-Tests (p-Werte) zur Darstellung der Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Apparaturen auf ossärer Ebene zum Zeitpunkt T5

Die zahngetragene Apparatur zeigte nur auf dem Niveau M1 einen statistisch signifikant größeren ossären Rückgang der transversalen Breite im Gegensatz zu der knochengetragenen Apparatur. Gegenüber der MAS-Apparatur hatte die zahngetragene Apparatur einen signifikant größeren ossären Rückgang. Die knochengetragene Apparatur hatte auf keiner Ebene einen signifikant größeren ossären Rückgang als die MAS-Apparatur.

#### 4.1.3 Röntgenanalyse

Die im Röntgen vermessene **Breite des Distractionsspaltes** ergab für die zahngetragene Apparatur eine Distanz von  $7,33 \pm 3,23$  mm, für die knochengetragene Apparatur von  $7,04 \pm 2,15$  mm und für die MAS-Apparatur von  $7,02 \pm 1,59$  mm. Der Unterschied der Breite des Distractionsspaltes zwischen den verschiedenen Apparaturen war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,865$ ).

Bei der Vermessung des operativ bedingten **Attachmentverlustes** mesial des Zahnes 11 wurde bei der zahngetragenen Apparatur ein Verlust von  $0,14 \pm 0,71$  mm, für die knochengetragene Apparatur von  $0,13 \pm 0,42$  mm und für die MAS-Apparatur von  $0,08 \pm 0,30$  mm gemessen. Bei der Vermessung des Attachmentverlustes mesial des Zahnes 21 wurde bei der zahngetragenen Apparatur ein Verlust von  $0,08 \pm 0,75$  mm, für die knochengetragene Apparatur von  $0,25 \pm 0,61$  mm und für die MAS-Apparatur von  $0,03 \pm 0,22$  mm gemessen. Der Unterschied bei beiden Messungen (Zahn 11 und 21) waren zwischen den Gruppen statistisch nicht signifikant ( $p = 0,411$  (11) und  $p = 0,512$  (21)).

#### 4.1.4 Komplikationen

Die Aufteilung und Häufigkeit von **Infektionen** sind in Tab. 4-15 dargestellt.

Infektion	Zahn		Knochen		MAS		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Ja	0	0,0%	1	5,6%	3	16,7%	4	6,0%
Nein	29	100,0%	17	94,4%	15	83,3%	61	94,0%
Gesamt	29	100,0%	18	100,0%	18	100,0%	65	100,0%

Tab. 4-15: Darstellung der Häufigkeit von Infektionen für die jeweilige Apparatur

In der Gruppe mit MAS-Apparatur lagen drei Fälle einer postoperativen Infektion im Operationsbereich vor. Hierbei entzündete sich jeweils eine der MAS-Schrauben. Bei zwei Patienten lockerte sich zudem die Schraube als Folge der Infektion; bei einem Patienten musste die Schraube schließlich ausgewechselt werden. In der Gruppe mit knochengetragener Apparatur lag ebenfalls ein Fall einer Infektion einer Befestigungsschraube vor. Die Infektion konnte allerdings mit zusätzlichen lokalen antibiotischen Maßnahmen beseitigt werden. Der Unterschied hinsichtlich der Infektion war statistisch nicht signifikant, lag aber im Trend ( $p = 0,056$ ).

Die Aufteilung und Häufigkeit von **Zahnschädigungen** sind in Tab. 4-16 dargestellt.

Zahnschädigung	Zahn		Knochen		MAS		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Ja	3	10,3%	2	11,1%	0	0,0%	5	8,0%
Nein	26	89,7%	16	88,9%	18	100,0%	60	92,0%
Gesamt	29	100,0%	18	100,0%	18	100,0%	65	100,0%

Tab. 4-16: Darstellung der Häufigkeit von Zahnschädigungen für die jeweilige Apparatur

Eine Zahnschädigung trat nur in der SARPE-Gruppe (zahngetragene und knochengetragene Apparatur) auf. Bei drei Patienten mit zahngetragener Apparatur traten Schädigungen an den Frontzähnen auf. Bei einem Patienten wurden die Frontzähne 11 und 21 desensibel (Kältetest negativ). Bei einem weiteren Patienten bildeten sich postoperativ Rezessionen und Taschen an den Zähnen 11 und 21. Zudem baute sich die Interdentalpapille ab und die Zähne hatten Lockerungsgrad I. In postoperativ durchgeführten Untersuchungen zeigte sich eine nasopalatinale Zyste, welche bereits vor der Operation bestand. Nach vollständiger Zystektomie und Beseitigung des ossären Defekts, konnte die Expansion entsprechend durchgeführt werden. Die Rezession und die fehlende Interdentalpapille konnte jedoch nicht korrigiert werden. Bei einem dritten Patienten entwickelten sich postoperativ eine Rezession und eine erhöhte Taschensondierungstiefe am Zahn 11. Diese

Komplikation lässt sich auf eine intraoperative Verletzung des mesialen Desmodonts zurückführen. In der Gruppe mit knochengetragener Apparatur lagen zwei Fälle einer Zahnschädigung vor. Bei einem Patienten wurden die Zähne 11 und 21 postoperativ desensibel. Bei einem weiteren Patienten bildeten sich eine Rezession und eine Zahnfleischtasche. Zudem zog sich in diesem Fall die Interdentalspapille nach apikal zurück. Der Unterschied hinsichtlich der Zahnschädigung war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,504$ ).

Eine **unvollständige Verknöcherung** im Osteotomiespalt zum Zeitpunkt T5 wurde bei keinem Patienten festgestellt.

Die Aufteilung und Häufigkeit von **technischen Problemen** mit den Apparaturen sind in Tab. 4-17 dargestellt.

Geräteproblem	Zahn		Knochen		MAS		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Ja	0	0,0%	7	38,9%	4	22,2%	11	17,0%
Nein	29	100,0%	11	61,1%	14	77,8%	54	83,0%
Gesamt	29	100,0%	18	100,0%	18	100,0%	65	100,0%

Tab. 4-17: Darstellung der Häufigkeit von Geräteproblemen für die jeweilige Apparatur

Technische Probleme mit den Apparaturen traten nur bei der knochengetragenen und der MAS-Apparatur auf. Bei der knochengetragenen Apparatur traten bei sieben Patienten technische Probleme auf. Bei sechs Patienten lockerte sich die Apparatur und es mussten vier Patienten erneut operiert werden, um die Apparatur wieder zu befestigen. Bei einem Patienten erzielte die eingesetzte Apparatur eine asymmetrische Expansion des Oberkiefers. Bei der MAS-Apparatur wurden bei vier Patienten technische Probleme festgestellt. Bei zwei Patienten brach kurz nach Drehbeginn die Dehnschraube, bei zwei weiteren Patienten lockerte sich eine der inserierten MAS-Schraube nach Distraktionsbeginn. Der Unterschied zwischen den Gruppen war statistisch signifikant ( $p = 0,001^{***}$ ).

Die Aufteilung und Häufigkeit von **keiner** bzw. einer **asymmetrischen Expansion des Oberkiefers** sind in Tab. 4-18 dargestellt.

Expansionsart	Zahn		Knochen		MAS		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
keine	0	0,0%	0	0,0%	1	5,6%	1	2,0%
asymmetrisch	1	3,5%	1	5,6%	0	0,0%	2	3,0%
symmetrisch	28	96,6%	17	94,4%	17	94,4%	62	95,0%
Gesamt	29	100,0%	18	100,0%	18	100,0%	65	100,0%

Tab. 4-18: Darstellung der Häufigkeit von keine/asymmetrische Expansion für die jeweilige Apparatur

In der Gruppe mit knochengetragener und zahngetragener Apparatur wurde je ein Patient asymmetrisch distrahiert. Ein Patient mit einer MAS-Apparatur konnte nicht expandiert werden. Dieser Patient hatte vorangehend eine Infektion und eine Schraubenlockerung. Der Unterschied zwischen den Apparaturen war statistisch signifikant ( $p = 0,000^{***}$ ).

Eine funktionell oder ästhetisch störende **Narbenbildung**, eine Schädigung des **Nervus infraorbitalis** oder eine **inkomplette Osteotomie** konnte bei keinem Patienten in der Nachuntersuchung festgestellt werden.

Die Aufteilung und Häufigkeit von **Wurzelresorptionen** sind in Tab. 4-19 dargestellt.

Wurzelresorption	Zahn		Knochen		MAS		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Ja	2	6,9%	0	0,0%	0	0,0%	2	5,0%
Nein	27	93,1%	18	100,0%	18	100,0%	63	95,0%
Gesamt	29	100,0%	18	100,0%	18	100,0%	65	100,0%

Tab. 4-19: Darstellung der Häufigkeit von Wurzelresorptionen für die jeweilige Apparatur

Bei zwei Patienten mit einer zahngetragenen Apparatur wurde eine apikale Resorption an den Oberkieferfrontzähnen festgestellt. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,498$ ).

In Tab. 4-20 ist die Häufigkeit aller Komplikationen patientenbezogen dargestellt. Hierbei wurde die Anzahl der Patienten addiert, bei denen eine oder mehrere Komplikationen vorlagen.

Gesamt	Zahn		Knochen		MAS		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Ja	6	20,7%	9	50,0%	5	27,8%	20	30,8%
Nein	23	7,3%	9	50,0%	13	72,2%	45	69,2%
Gesamt	29	100,0%	18	100,0%	18	100,0%	65	100,0%

Tab. 4-20: Darstellung der Häufigkeit der patientenbezogenen Komplikationen für die jeweilige Apparatur

Innerhalb der Gruppe mit knochengetragener Apparatur lagen mit 9 von 18 Patienten die meisten Fälle von Komplikationen vor. Dies entspricht einer Prozentzahl von 50%. In der Gruppe mit MAS-Apparatur lag bei ca. einem Viertel (28%), also bei 5 von 18 Patienten eine Komplikation vor. Die Gruppe der zahngetragenen Apparatur hatte die geringste Anzahl von Komplikationen. Hierbei waren 6 von 29 Patienten betroffen, was ca. einem Fünftel (21%) der Gruppe entspricht. Der Unterschied zwischen den Apparaturen war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,139$ ).

Bezüglich der Arten der Komplikationen ergaben sich in der Gruppe mit knochengetragener Apparatur insgesamt elf verschiedene Komplikationen. In der MAS-Gruppe lagen insgesamt acht verschiedene Komplikationen vor. In der Gruppe mit zahngetragener Apparatur ergaben sich sechs verschiedene Komplikationen (Abb. 4-7).

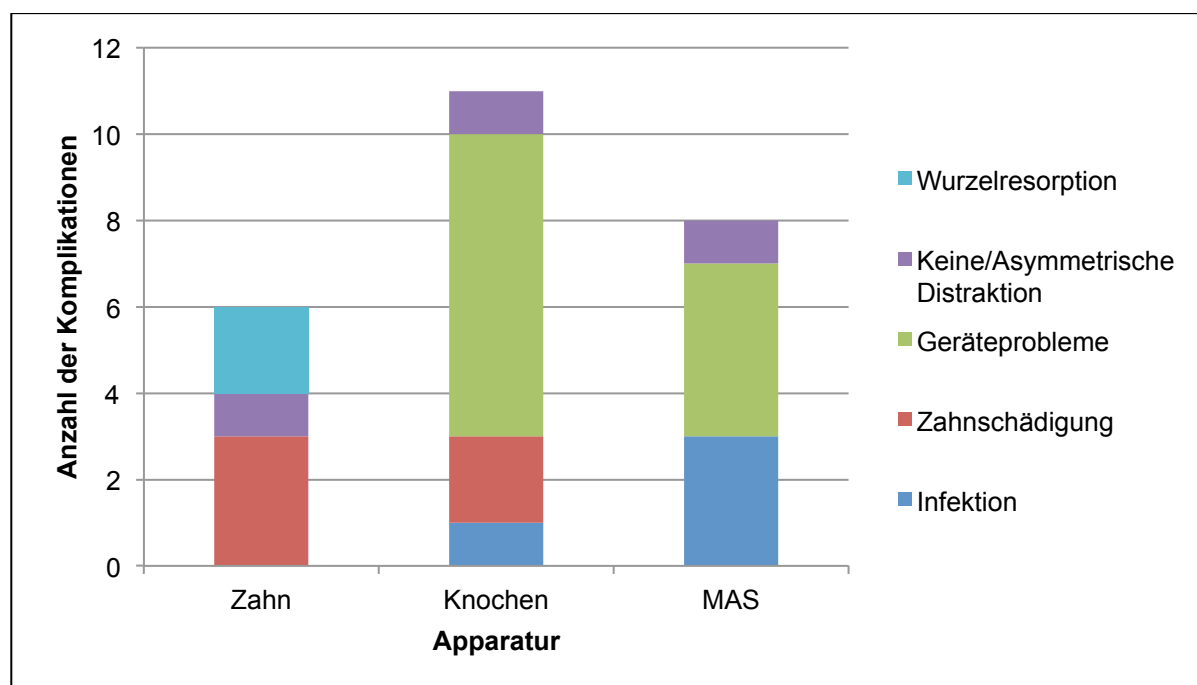
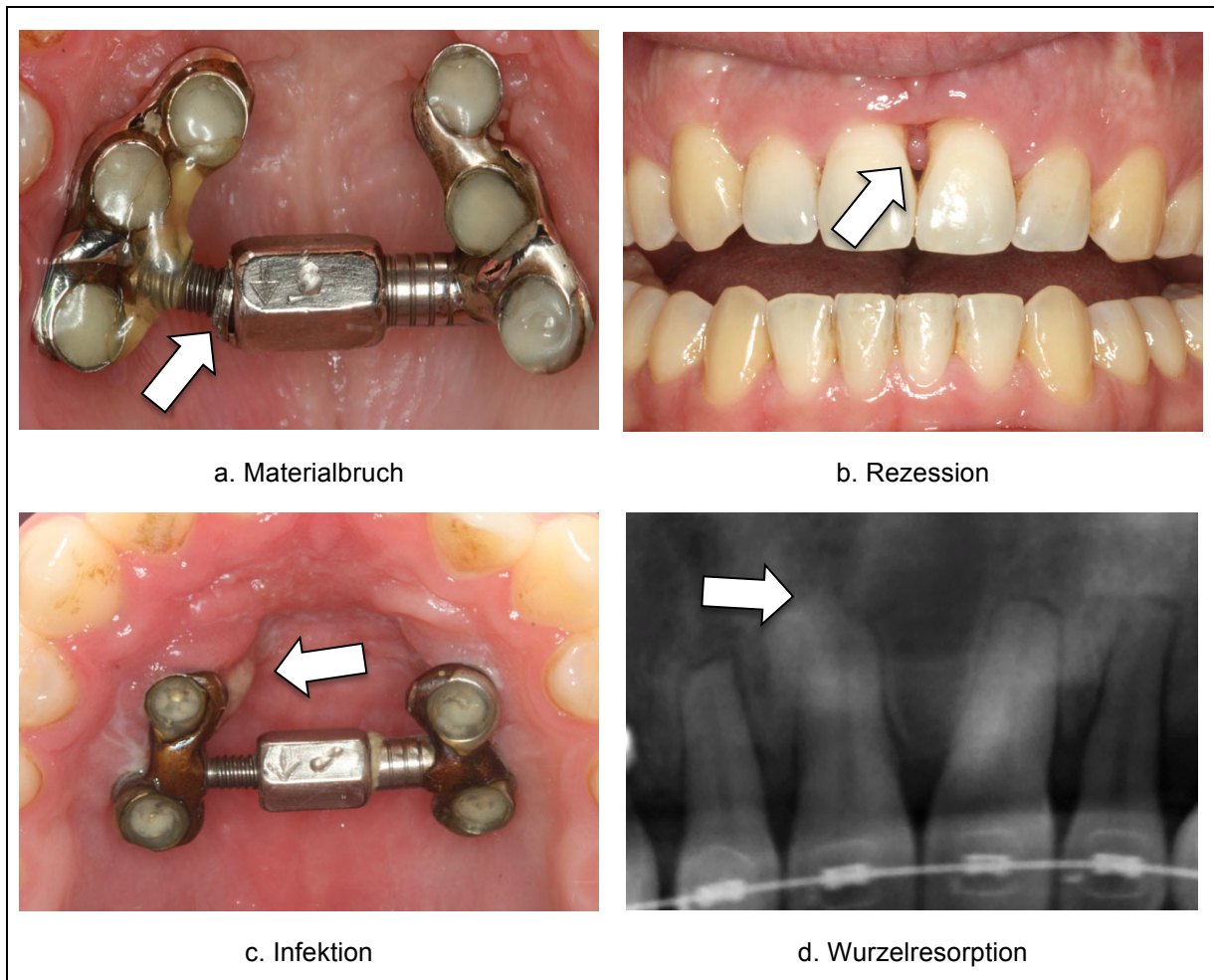


Abb. 4-7: Zusammenfassende Darstellung aller Arten von Komplikationen innerhalb der einzelnen Apparatur (OK)

Im Folgenden sind die relevanten Komplikationen anhand einiger Beispielbilder dargestellt (Abb. 4-8, LKH Feldkirch - Österreich).



**Abb. 4-8: Beispielbilder der relevanten Komplikationen (OK)**

## 4.2 Unterkiefer

### 4.2.1 Allgemeine Parameter

Insgesamt wurden 45 weibliche Patienten und 21 männliche Patienten in die Nachuntersuchung eingeschlossen. 15 Patienten wurden mit der one-step Technik (11 weiblich und 4 männlich) und 51 Patienten (34 weiblich und 17 männlich) mit der two-step Technik behandelt. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,863$ ). Das mittlere **Alter** der Patienten lag in der Gruppe der one-step Technik bei  $18,3 \pm 7,4$  Jahren und in der Gruppe der two-step Technik bei  $14,2 \pm 7,7$  Jahren. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,072$ ).

Vor Behandlungsbeginn hatte das Gesamtkollektiv einen an den Gipsmodellen errechneten **Engstand** von  $5,3 \pm 2,0$  mm. Der errechnete Engstand bei Patienten mit der one-step Technik betrug  $6,1 \pm 2,7$  mm, bei Patienten mit der two-step Technik  $5,1 \pm 1,7$  mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,197$ ). Bei 31 Patienten lag eine eugnathe **Kieferrelation**, bei 23 Patienten eine retrale Kieferrelation und bei 12 Patienten eine prognathe Kieferrelation vor. Bezüglich der **dentalen Klasse** lag bei 12 Patienten eine Angel Klasse I, bei 28 Patienten eine Angel Klasse II/1, bei 23 Patienten eine Angel Klasse II/2 und bei 3 Patienten eine Angel Klasse III vor. In beiden Kollektiven wurden Patienten sowohl im **Wechselgebiss** ( $n = 34$ ), als auch im **bleibenden Gebiss** ( $n = 32$ ) operiert. Bei den Patienten mit Wechselgebiss wurden 4 Patienten mit der one-step Technik und 30 Patienten mit der two-step Technik behandelt. Bei den Patienten mit bleibendem Gebiss wurden 11 Patienten mit der one-step Technik und 21 Patienten mit der two-step Technik behandelt. Die mittleren **Expansionswerte** im Bereich des Diastemas lagen im Wechselgebiss bei  $7,4 \pm 2,6$  mm und im bleibenden Gebiss bei  $6,2 \pm 2,4$  mm. Dieser Unterschied war tendenziell signifikant ( $p = 0,059$ ).

In Tab. 4-21 sind die Verteilung der Patienten und die Expansionswerte dargestellt.

Gebiss	Anzahl n	Alter MW $\pm$ SD	One-step n	Two-step n	Expansion MW $\pm$ SD (mm)
Wechselgebiss	34	$9,6 \pm 1,0$	4	30	$7,4 \pm 2,6$
Bleibendes Gebiss	32	$20,9 \pm 7,6$	11	21	$6,2 \pm 2,4$

Tab. 4-21: Darstellung der Expansionswerte im Wechsel- und bleibenden Gebiss



Die **Latenzzeit** betrug bei den Patienten mit der one-step Technik  $5,2 \pm 0,72$  Tage und bei Patienten mit der two-step Technik  $5,2 \pm 0,68$  Tage, wobei kein signifikanter Unterschied vorlag ( $p = 0,985$ ). Die **Distraaktionszeit** betrug bei den Patienten mit der one-step Technik  $17,9 \pm 16,8$  Tage bei den Patienten mit der two-step Technik  $23,5 \pm 13,6$  Tage. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war nicht signifikant ( $p = 0,185$ ). Die **Konsolidierungszeit** lag bei den Patienten mit der one-step Technik bei  $70,7 \pm 46,3$  Tagen und bei den Patienten mit der two-step Technik bei  $64,8 \pm 33,1$  Tagen. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war nicht signifikant ( $p = 0,579$ ). Von insgesamt 66 Patienten mit Unterkieferexpansion wurden 65 Patienten zusätzlich im Oberkiefer mit einer Expansion behandelt, wobei bei Patienten im Wechselgebiss eine GNE und bei Patienten mit bleibendem Gebiss eine SARPE durchgeführt wurde.

#### 4.2.2 Modellanalyse

Analog der Auswertung des OK sind für die Vermessung des UK folgende Signifikanzniveaus zur Anwendung gekommen:

- \*  $p \leq 0,05$  = Der Unterschied ist signifikant
- \*\*  $p \leq 0,01$  = Der Unterschied ist hoch signifikant
- \*\*\*  $p \leq 0,001$  = Der Unterschied ist höchst signifikant

Die Vermessungswerte für die dentale und ossäre Expansion mit der one-step Technik zum Zeitpunkt T4 sind in Tab. 4-22 dargestellt.

Region	Dental MW $\pm$ SD (mm)	Ossär MW $\pm$ SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	$5,99 \pm 2,29$	$5,02 \pm 1,45$	0,97	0,019*
C	$5,03 \pm 3,19$	$5,17 \pm 1,78$	-0,14	0,839
P1	$5,69 \pm 2,40$	$5,03 \pm 1,53$	0,66	0,200
P2	$6,20 \pm 2,36$	$4,82 \pm 1,18$	1,38	0,025*
M1	$6,37 \pm 2,40$	$5,09 \pm 1,71$	1,28	0,030*
M2	$4,89 \pm 1,92$	$4,04 \pm 1,49$	0,85	0,022*

Tab. 4-22: Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (one-step Technik)

Die durchschnittliche Expansion (C bis M2) für die one-step Technik war auf dentaler Ebene  $5,99 \pm 2,29$  mm und auf ossärer Ebene  $5,02 \pm 1,45$  mm. Der Unterschied war statistisch signifikant.

Die Differenz der Expansion auf dentaler und ossärer Ebene zwischen dem Untersuchungszeitraum T5 und T4 ist für die one-step Technik in Tab. 4-23 dargestellt.

Region	Dental MW $\pm$ SD (mm)	Ossär MW $\pm$ SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	1,71 $\pm$ 1,05	1,19 $\pm$ 0,56	0,52	0,199
C	2,64 $\pm$ 2,53	1,85 $\pm$ 1,35	0,79	0,177
P1	1,62 $\pm$ 1,13	1,13 $\pm$ 0,57	0,49	0,303
P2	1,58 $\pm$ 0,99	0,95 $\pm$ 0,73	0,63	0,204
M1	1,35 $\pm$ 1,09	0,89 $\pm$ 0,99	0,46	0,346
M2	1,29 $\pm$ 0,70	0,98 $\pm$ 0,74	0,31	0,373

Tab. 4-23: Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (one-step Technik)

Die durchschnittliche Differenz der Expansion (C bis M2) zwischen T5 und T4 für die one-step Technik war auf dentaler Ebene 1,71  $\pm$  1,05 mm und auf ossärer Ebene 1,19  $\pm$  0,56 mm. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Die Ergebnisse der beiden Tabellen (Tab. 4-22 und Tab. 4-23) sind in Abb. 4-9 anhand eines Balkendiagramms mit Standardabweichung dargestellt.

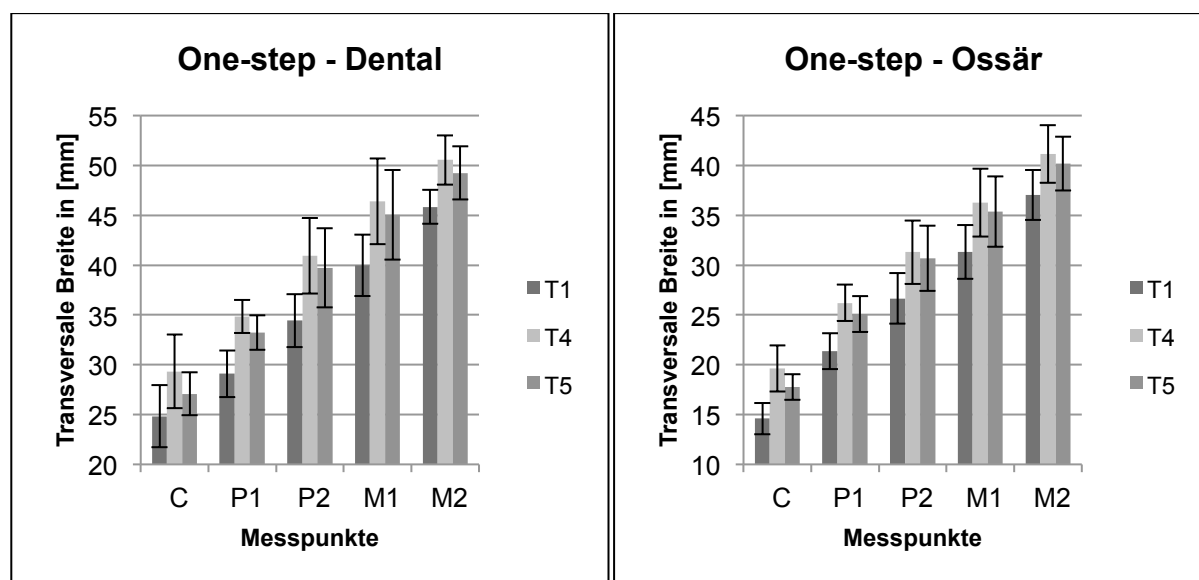


Abb. 4-9: Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der one-step Technik

Die dentalen und ossären Veränderungen der transversalen Breite der one-step Technik zu den Untersuchungszeitpunkten T1, T4 und T5 sind hierbei dargestellt. Ein Rückgang der transversalen Breite zum Zeitpunkt T5 ist auf allen Ebenen zu verzeichnen.

Die Vermessungswerte für die dentale und ossäre Expansion mit der two-step Technik zum Zeitpunkt T4 sind in Tab. 4-24 dargestellt.

Region	Dental MW ± SD (mm)	Ossär MW ± SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	5,45 ± 1,99	4,03 ± 1,87	1,42	0,000***
C	4,93 ± 2,47	4,53 ± 1,88	0,40	0,297
P1	5,87 ± 2,51	4,82 ± 2,24	1,05*	0,002**
P2	5,87 ± 2,43	4,11 ± 2,17	1,76***	0,000***
M1	5,05 ± 2,54	3,44 ± 2,26	1,61**	0,000***
M2	4,10 ± 2,16	2,91 ± 3,24	1,19	0,016*

Tab. 4-24: Vergleich von dentaler und ossärer Expansion T4-T1 (two-step Technik)

Die durchschnittliche Expansion (C bis M2) für die two-step Technik war auf dentaler Ebene  $5,45 \pm 1,99$  mm und auf ossärer Ebene  $4,03 \pm 1,87$  mm. Der Unterschied war statistisch signifikant.

Die Differenz der Expansion auf dentaler und ossärer Ebene zwischen dem Untersuchungszeitraum T5 und T4 ist für die two-step Technik in Tab. 4-25 dargestellt.

Region	Dental MW ± SD (mm)	Ossär MW ± SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	0,71 ± 1,86	0,08 ± 1,36	0,63	0,000***
C	2,58 ± 2,87	1,36 ± 1,70	1,22*	0,004**
P1	0,74 ± 2,39	0,14 ± 1,65	0,60	0,025*
P2	0,49 ± 2,24	-0,14 ± 1,39	0,63	0,024*
M1	-0,15 ± 2,25	-0,28 ± 1,61	0,13	0,517
M2	0,66 ± 1,51	0,11 ± 1,49	0,55	0,024*

Tab. 4-25: Transversale Differenz zwischen T4 und T5 auf dentaler und ossärer Ebene (two-step Technik)

Die durchschnittliche Differenz der Expansion (C bis M2) zwischen T5 und T4 für die two-step Technik war auf dentaler Ebene  $0,71 \pm 1,86$  mm und auf ossärer Ebene  $0,08 \pm 1,36$  mm. Der Unterschied war statistisch signifikant.

Die Ergebnisse der beiden Tabellen (Tab. 4-24 und Tab. 4-25) sind in Abb. 4-10 anhand eines Balkendiagramms mit Standardabweichung dargestellt.

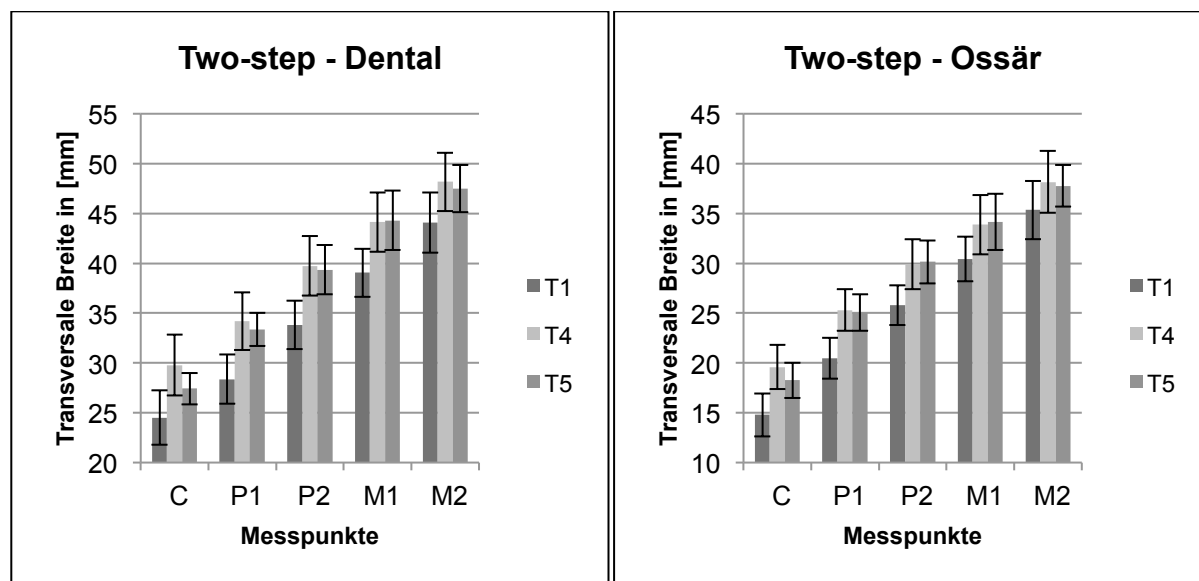


Abb. 4-10: Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der two-step Technik

Die dentalen und ossären Veränderungen der transversalen Breite der two-step Technik zu den Untersuchungszeitpunkten T1, T4 und T5 sind hierbei dargestellt. Ein Rückgang der transversalen Breite zum Zeitpunkt T5 ist auf allen Ebenen, bis auf den 2. Prämolaren (ossär) und 1. Molaren (dental und ossär) zu verzeichnen.

In Tab. 4-26 sind die Expansionswerte für den Untersuchungszeitpunkt T4 auf dentaler Ebene für die one- und two-step Technik dargestellt.

Region	One-step MW ± SD (mm)	Two-step MW ± SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	5,99 ± 2,29	5,45 ± 1,99	0,54	0,451
C	5,03 ± 3,19	4,93 ± 2,47	0,10	0,911
P1	5,69 ± 2,40	5,87 ± 2,51	-0,18	0,827
P2	6,20 ± 2,36	5,87 ± 2,43	0,33	0,675
M1	6,37 ± 2,40	5,05 ± 2,54	1,32	0,097
M2	4,89 ± 1,92	4,10 ± 2,16	0,79	0,337

Tab. 4-26: Vergleich der beiden Techniken bezüglich der dentalen Expansion T4-T1

Die one-step Technik erbrachte - außer auf Ebene des 1. Prämolaren (P1) - eine größere dentale Expansion als die two-step Technik. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant.

In Tab. 4-27 sind die Expansionswerte für den Untersuchungszeitpunkt T4 auf ossärer Ebene für die one- und two-step Technik dargestellt.

Region	One-step MW ± SD (mm)	Two-step MW ± SD (mm)	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	5,02 ± 1,45	4,03 ± 1,87	0,99	0,052
C	5,17 ± 1,78	4,53 ± 1,88	0,64	0,304
P1	5,03 ± 1,53	4,82 ± 2,24	0,21	0,767
P2	4,82 ± 1,18	4,11 ± 2,17	0,71	0,285
M1	5,09 ± 1,71	3,44 ± 2,26	1,65*	0,017*
M2	4,04 ± 1,49	2,91 ± 3,24	1,13	0,304

**Tab. 4-27: Vergleich der beiden Techniken bezüglich der ossären Expansion T4-T1**

Die one-step Technik erzielte hierbei höhere Expansionswerte. Der Unterschied war auf Ebene des 1. Molaren (M1) statistisch signifikant.

In Tab. 4-28 ist die Veränderung der Expansionswerte (in mm und %) zwischen den Untersuchungszeitpunkten T4 und T5 auf dentaler Ebene für die one- und two-step Technik dargestellt.

Region	One-step MW ± SD (mm)	One-step %	Two-step MW ± SD (mm)	Two-step %	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	1,71 ± 1,05	28,55%	0,71 ± 1,86	13,03%	1,00	0,016*
C	2,64 ± 2,53	52,49%	2,58 ± 2,87	52,33%	0,06	0,949
P1	1,62 ± 1,13	28,47%	0,74 ± 2,39	12,61%	0,88	0,220
P2	1,58 ± 0,99	25,48%	0,49 ± 2,24	8,35%	1,09	0,107
M1	1,35 ± 1,09	21,19%	-0,15 ± 2,25	0,00%	1,50*	0,023*
M2	1,29 ± 0,70	26,38%	0,66 ± 1,51	16,10%	0,63	0,222

**Tab. 4-28: Vergleich der beiden Techniken bezüglich des dentalen Rückgangs T4-T5**

Die one-step Technik hatte einen deutlich größeren dentalen Rückgang als die two-step Technik. Der Rückgang in Prozent lag in der one-step Gruppe bei 29% und in der two-step Gruppe bei 13%. Der Unterschied war statistisch signifikant.

In Tab. 4-29 ist die Veränderung der Expansionswerte (in mm und %) zwischen den Untersuchungszeitpunkten T4 und T5 auf ossärer Ebene für die one- und two-step Technik dargestellt.

Region	One-step MW ± SD (mm)	One-step %	Two-step MW ± SD (mm)	Two-step %	Differenz (mm)	p-Wert
C bis M2	1,19 ± 0,56	23,71%	0,08 ± 1,36	1,99%	1,11	0,000***
C	1,85 ± 1,35	35,78%	1,36 ± 1,70	30,02%	0,49	0,362
P1	1,13 ± 0,57	22,47%	0,14 ± 1,65	2,91%	0,99*	0,046*
P2	0,95 ± 0,73	19,71%	-0,15 ± 1,39	0,00%	1,10*	0,011*
M1	0,89 ± 0,99	17,49%	-0,28 ± 1,61	0,00%	1,17*	0,015*
M2	0,98 ± 0,74	24,26%	0,11 ± 1,49	3,78%	0,87*	0,038*

**Tab. 4-29: Vergleich der beiden Techniken bezüglich des ossären Rückgangs T4-T5**

Die one-step Technik zeigte im Bereich des ossären Niveaus einen größeren Rückgang der transversalen Breite als die two-step Technik. Der Rückgang in Prozent lag in der one-step Gruppe bei 24% und in der two-step Gruppe bei 2%. Der Unterschied war statistisch signifikant.

Die Veränderung der transversalen Breite auf dentalem und ossärem Niveau vom Zeitpunkt T1 bis T5 ist in Abb. 4-11 dargestellt.

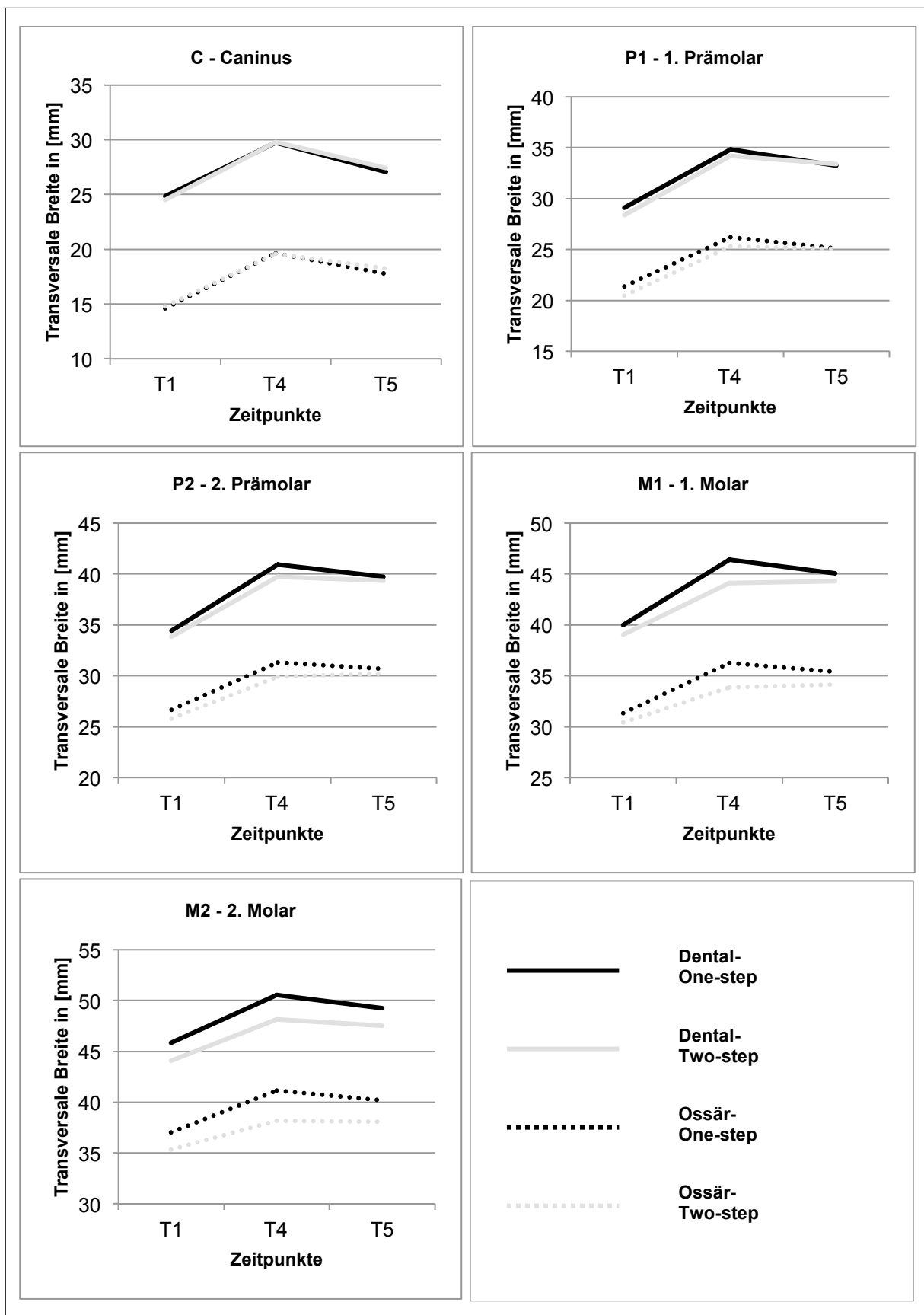


Abb. 4-11: Zeitliche Darstellung der dentalen/ossären transversalen Breite der one-step und two-step Methodik an den einzelnen Untersuchungszeitpunkten T1, T4 und T5 und den Messpunkten

Es lässt sich ein sehr ähnlicher Verlauf von Expansion und Rückgang der transversalen Breite bei beiden Techniken erkennen. Allerdings lagen sowohl die Expansions-, als auch die Rückgangswerte der one-step Technik deutlich über den entsprechenden Werten der two-step Technik.

Die Ergebnisse lassen sich auch in den beiden folgenden Abbildungen (Abb. 4-12 / Abb. 4-13) darstellen.

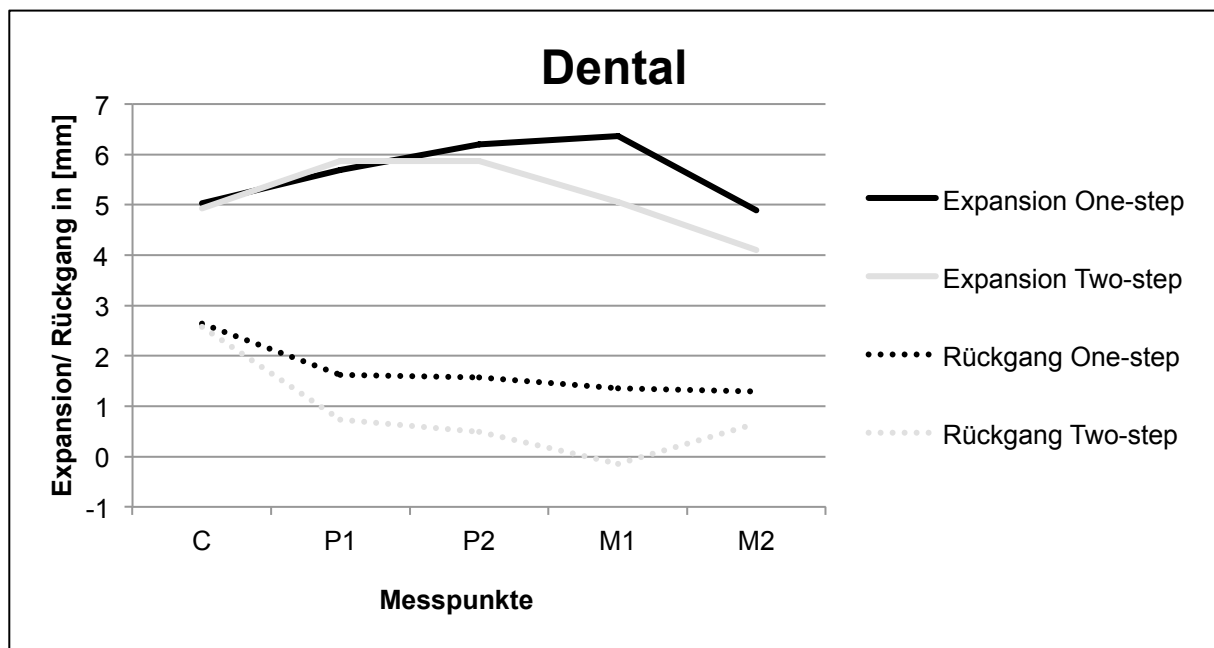


Abb. 4-12: Darstellung der dentalen Expansions- und Rückgangswerte beider Techniken auf allen Ebenen

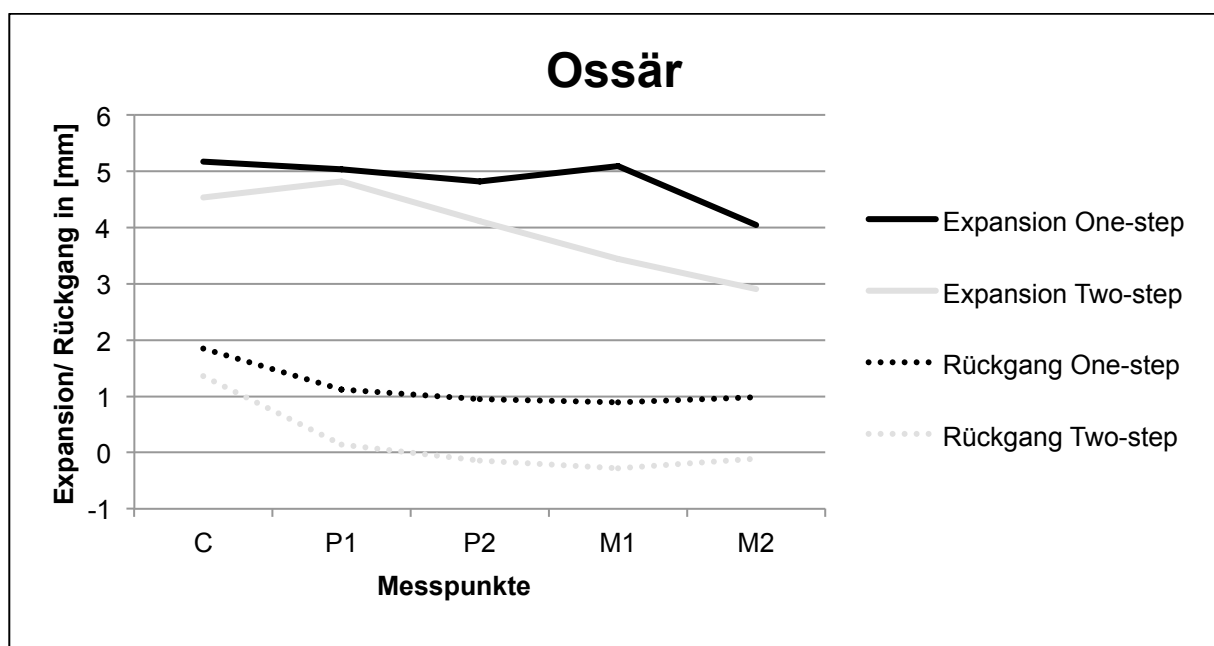


Abb. 4-13: Darstellung der ossären Expansions- und Rückgangswerte beider Techniken auf allen Ebenen



Hierbei sind die errechneten Expansions- und Rückgangswerte an den jeweiligen Messpunkten dargestellt. Bei beiden Techniken wurde die geringste Expansion im posterioren Bereich erzielt. Der größte Rückgang lag bei beiden Techniken vor allem im Eckzahnbereich; weiter distal verhielt sich der Rückgang relativ konstant.

### 4.2.3 Röntgenanalyse

Die Vermessung des **Distraktionsspalt**es im Röntgen ergab eine Expansion von  $5,72 \pm 2,70$  mm bei Patienten mit der one-step Technik und von  $5,19 \pm 2,04$  mm bei Patienten mit der two-step Technik. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,688$ ).

Der **Attachmentverlust** bei Patienten mit der one-step Technik betrug mesial des Zahnes 41  $0,76 \pm 1,76$  mm und mesial des Zahnes 31  $0,55 \pm 1,43$  mm. Bei Patienten mit der two-step Technik betrug der Attachmentverlust mesial des Zahnes 41  $0,18 \pm 0,77$  mm und mesial des Zahnes 31  $0,22 \pm 0,73$  mm. Der Unterschied zwischen den Gruppen war weder am Zahn 41 ( $p = 0,288$ ) noch am Zahn 31 ( $p = 0,401$ ) signifikant. Die Ergebnisse der Vermessung der präoperativen **apikalen Wurzeldivergenz** sind in Tab. 4-30 dargestellt.

Alle MW $\pm$ SD (mm)		p-Wert	Alle MW $\pm$ SD (mm)		p-Wert
One-step	Two-step		Mit ZS	Ohne ZS	
$7,34 \pm 2,04$	$9,04 \pm 3,71$	0,032*	$6,55 \pm 1,69$	$8,83 \pm 3,52$	0,159

Tab. 4-30: Darstellung der Ergebnisse der apikalen Wurzeldivergenz zwischen den Wurzeln der Zähne 31 und 41

Es ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen, wobei die two-step Gruppe eine größere Wurzeldivergenz erzielte als die one-step Gruppe. Im Vergleich der Wurzeldivergenz aller Patienten, aufgeteilt nach dem Fehlen oder Vorhandensein einer operativ bedingten Zahnschädigung und nicht nach den einzelnen Gruppen, ergab sich folgendes Ergebnis: Die Patienten mit Zahnschädigung hatten eine apikale präoperative Wurzeldivergenz von  $6,55 \pm 1,69$  mm, im Gegensatz zu  $8,83 \pm 3,52$  mm bei den Patienten ohne Zahnschädigung. Der Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen war nicht signifikant ( $p = 0,159$ ).

Die Ergebnisse der Vermessung der präoperativen **crestalen Wurzeldivergenz** sind in Tab. 4-31 dargestellt.

Alle MW ± SD (mm)		p-Wert	Alle MW ± SD (mm)		p-Wert
One-step	Two-step		Mit ZS	Ohne ZS	
3,42 ± 1,61	3,05 ± 1,27	0,446	2,35 ± 1,04	3,19 ± 1,38	0,150

Tab. 4-31: Darstellung der Ergebnisse der crestalen Wurzeldivergenz zwischen den Wurzeln der Zähne 31 und 41

Die crestale Wurzeldivergenz war innerhalb der one-step Gruppe größer als in der two-step Gruppe. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist statistisch nicht signifikant ( $p = 0,446$ ). Auch in diesem Bereich war die Wurzeldivergenz bei den Patienten mit Zahnschädigung ( $2,35 \pm 1,04$  mm) deutlich kleiner als bei denen ohne Zahnschädigung ( $3,19 \pm 1,38$  mm). Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,150$ ).

#### 4.2.4 Komplikationen

Die Aufteilung und Häufigkeit von **Infektionen** sind in Tab. 4-32 dargestellt.

Infektion	One-step		Two-step		Total	
	n	%	n	%	n	%
Ja	1	6,7%	1	2,0%	2	3,0%
Nein	14	93,3%	50	98,0%	64	97,0%
Gesamt	15	100,0%	51	100,00%	66	100,00%

Tab. 4-32: Darstellung der Häufigkeit von Infektionen für die jeweilige Technik

In beiden Gruppen gab es jeweils einen Patienten, der trotz antibiotischer Abschirmung eine Infektion im Operationsbereich bekam. Hierbei war der Unterschied nicht signifikant ( $p = 0,406$ ).

Die Aufteilung und Häufigkeit von **Zahnschädigungen** sind in Tab. 4-33 dargestellt.

Zahnschädigung	One-step		Two-step		Total	
	n	%	n	%	n	%
Ja	1	6,7%	4	7,8%	5	7,6%
Nein	14	93,3%	47	92,2%	61	92,4%
Gesamt	15	100,0%	51	100,0%	66	100,0%

Tab. 4-33: Darstellung der Häufigkeit von Zahnschädigungen für die jeweilige Technik

In der two-step Gruppe lagen vier Fälle von Zahnschädigungen vor. Bei einem Patienten lag eine fehlende Sensibilität an den Zähnen 31, 32, 41 und 42 vor. Bei einem zweiten Patienten hatten sich postoperativ Zahnfleischtaschen und Rezessionen an den Zähnen 31 und 41 gebildet, welche zudem gelockert waren.

Allerdings ging die Lockerung und die Taschenbildung während der Behandlung sukzessive zurück. Lediglich eine geringfügige Rezession labial blieb an beiden Zähnen bestehen. Ein weiterer Patient bildete eine diskrete Rezession an dem Zahn 31. Der vierte Patient bekam postoperativ eine schwere Komplikation an dem Zahn 31 im Sinne einer Infektion. Er bildete im Verlauf eine Tasche und eine Rezession, zudem lockerte sich der Zahn und wurde desensibel, wobei letztendlich der Zahn extrahiert werden musste. In der one-step Gruppe gab es einen Patienten, der nach vorangehender lokaler Infektion, Zahnfleischtaschen an dem Zahn 31 von 7 mm und an dem Zahn 41 von 5 mm mesial bildete. Zudem entwickelte der Patient eine deutlich sichtbare labiale Rezession an den entsprechenden Zähnen. Dabei handelte es sich um eine schwerwiegende Komplikation, die in diesem Fall mit einem ausgeprägten Attachmentverlust einherging, verursacht durch eine intraoperative Verletzung des Desmodonts. Der Unterschied hinsichtlich der Zahnschädigung war zwischen den Gruppen nicht signifikant ( $p = 0,999$ ).

Die Aufteilung und Häufigkeit einer **fehlenden Verknöcherung** sind in Tab. 4-34 dargestellt.

Keine Verknöcherung	One-step		Two-step		Total	
	n	%	n	%	n	%
Ja	1	6,7%	0	0,0%	1	1,5%
Nein	14	93,3%	51	100,0%	65	98,5%
Gesamt	15	100,0%	51	100,0%	66	100,0%

Tab. 4-34: Darstellung der Häufigkeit einer fehlenden Verknöcherung für die jeweilige Technik

Bei einem Patienten in der one-step Gruppe verknöcherte der Osteotomiespalt nicht regelrecht. Hierbei handelte es sich um denselben Patienten, bei dem auch eine Infektion und eine Zahnschädigung in diesem Bereich auftraten. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,227$ ).

**Technische Probleme** konnte bei keinem Patienten in der Nachuntersuchung festgestellt werden.

Die Aufteilung und Häufigkeit **einer fehlenden Expansion** der Mittellinie sind in Tab. 4-35 dargestellt.

Expansion	One-step		Two-step		Total	
	n	%	n	%	n	%
keine	2	13,3	1	2,0%	3	4,6%
regelrechte	13	86,7%	50	98,0%	63	95,4%
Gesamt	15	100,0%	51	100,0%	66	100,0%

Tab. 4-35: Darstellung der Häufigkeit einer fehlenden Expansion für die jeweilige Technik

Zwei Patienten mit der one-step Technik konnten nicht expandiert werden. Der erste Patient war hierbei derjenige mit vorangehender Infektion und Zahnschädigung, wobei aus diesem Grund keine Distraction durchgeführt wurde. Der zweite Patient ließ sich nicht distrahieren, da die Osteotomie im linguale Bereich nicht vollständig vollzogen wurde. Innerhalb der two-step Gruppe konnte ein Patient nicht distrahiert werden. Hierbei handelte es sich um den Patienten mit schwerer Zahnschädigung, dessen Zahn 31 anschließend extrahiert wurde. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,127$ ).

Die Aufteilung und Häufigkeit einer **unvollständigen Osteotomie** sind in Tab. 4-36 dargestellt.

Inkomplette Osteotomie	One-step		Two-step		Total	
	n	%	n	%	n	%
Ja	1	6,7%	0	0,0%	1	1,5%
Nein	14	93,3%	51	100,0%	65	98,5%
Gesamt	15	100,0%	51	100,0%	66	100,0%

Tab. 4-36: Darstellung der Häufigkeit einer unvollständigen Osteotomie für die jeweilige Technik

Bei dem Patienten innerhalb der one-step Gruppe, der ein zweites Mal osteotomiert werden musste, handelte es sich um denjenigen, der aus diesem Grund auch nicht distrahiert werden konnte. Nach erfolgreicher Re-osteotomie schlossen sich eine normale Distraktionsphase und ein regelrechter Heilungsverlauf an. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,227$ ).

Bei keinem Patienten in der Nachuntersuchung konnte eine ästhetisch oder funktionell **störende Narbenbildung**, eine **Störung** im Bereich des **Nervus alveolaris inferior** oder eine **Kiefergelenksstörung** festgestellt werden.

Die Aufteilung und Häufigkeit von **Wurzelresorptionen** sind in Tab. 4-37 dargestellt.

Wurzelresorption	One-step		Two-step		Total	
	n	%	n	%	n	%
Ja	3	20,0%	5	9,8%	8	12,1%
Nein	12	80,0%	46	90,2%	58	87,9%
Gesamt	15	100,0%	51	100,0%	66	100,0%

Tab. 4-37: Darstellung der Häufigkeit von Wurzelresorptionen für die jeweilige Technik

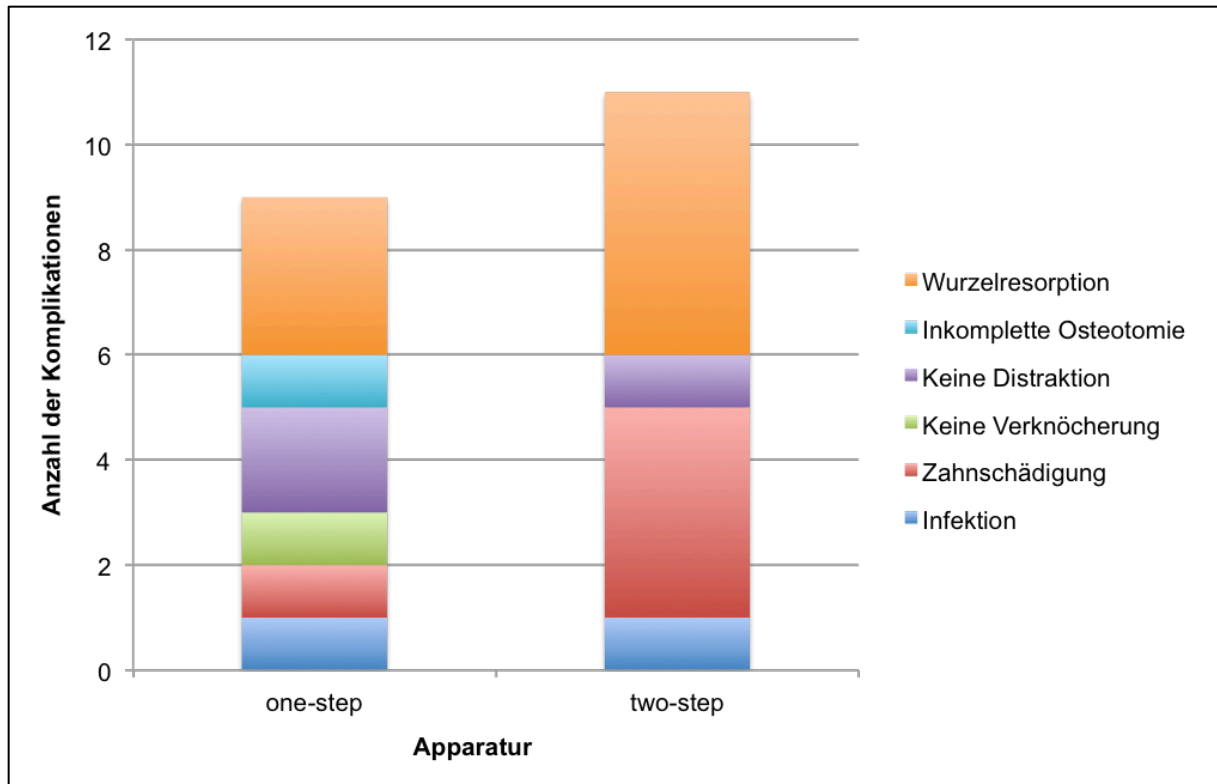
In der two-step Gruppe lagen fünf Fälle von apikalen Wurzelresorptionen vor, in der one-step Gruppe lagen hierbei drei Fälle vor. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,368$ ).

Die Häufigkeit der **patientenbezogenen Komplikationen**, entstanden durch Addition aller Patienten mit einer oder mehreren Komplikationen innerhalb einer Gruppe, ist in Tab. 4-38 dargestellt.

Gesamt	One-step		Two-step		Total	
	n	%	n	%	n	%
Ja	5	33,3%	8	15,7%	13	19,7%
nein	10	66,7%	43	84,3%	53	80,3%
Gesamt	15	100,0%	51	100,0%	66	100,0%

Tab. 4-38: Darstellung der Häufigkeit der patientenbezogenen Komplikationen für die jeweilige Technik

In der one-step Gruppe traten bei einem Drittel (33%), also bei 5 von 15 Patienten und in der two-step Gruppe bei 8 von 51 Patienten (16%) eine oder mehrere Komplikationen auf. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,152$ ). Bezüglich der Anzahl der Arten von Komplikationen ergaben sich für die one-step Technik insgesamt neun und für die two-step Technik elf verschiedene Komplikationen.



**Abb. 4-14:** Zusammenfassende Darstellung aller Arten von Komplikationen innerhalb der einzelnen Technik (UK)

In der nachfolgenden Abbildung sind Bilder der relevanten Komplikationen dargestellt (Abb. 4-15, LKH Feldkirch - Österreich).

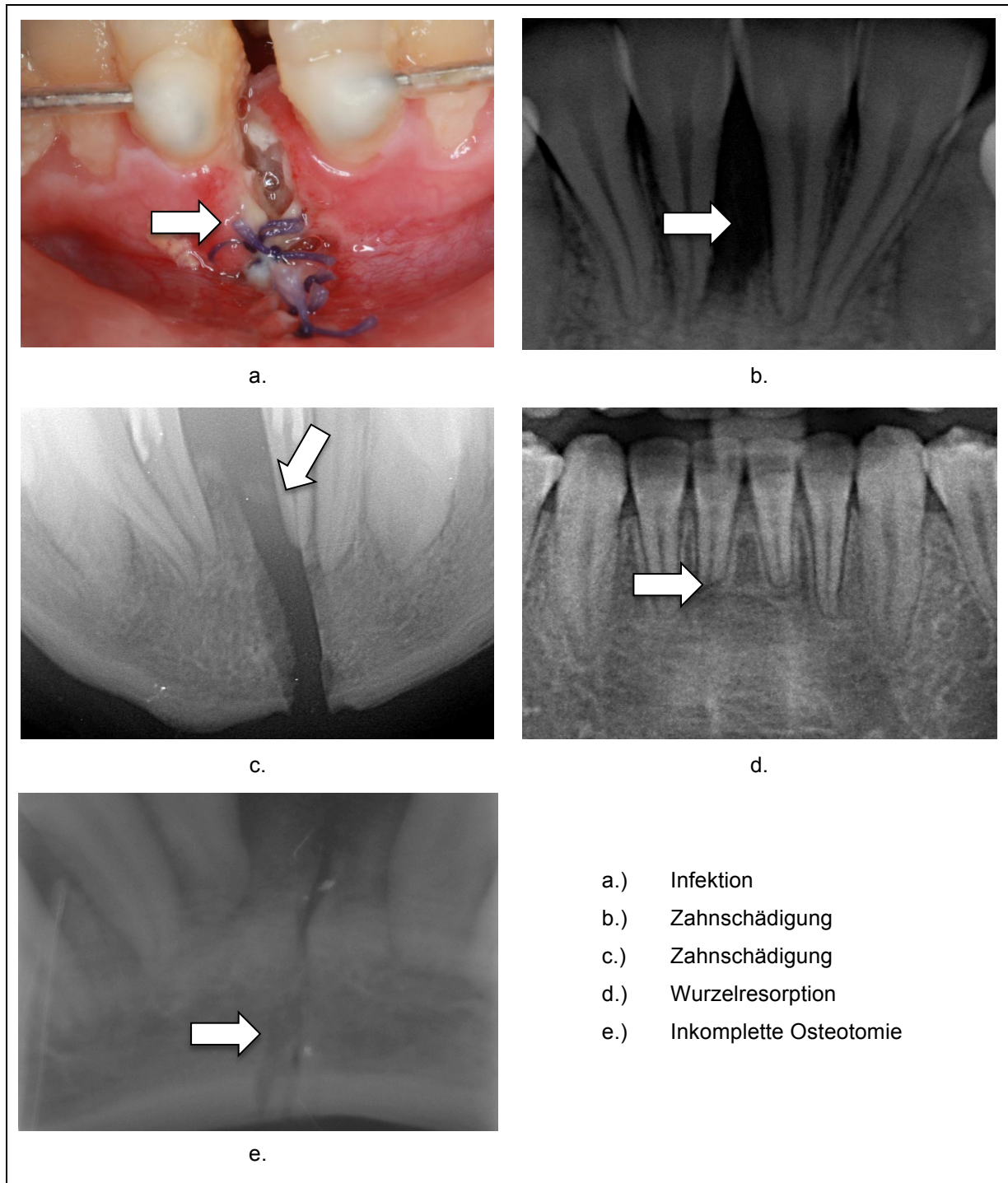


Abb. 4-15: Beispielbilder der relevanten Komplikationen (UK)

## 5 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war es, die verschiedenen Behandlungsmöglichkeiten zur Erweiterung des Ober- und des Unterkiefers retrospektiv auszuwerten und miteinander zu vergleichen. Durch die Teilnahme von drei Behandlungszentren (Feldkirch - Österreich, Bregenz - Österreich, München - Deutschland) konnte in allen Behandlungsgruppen eine ausreichend große Fallzahl inkludiert werden. Es wurden im Oberkiefer 65 Patienten und im Unterkiefer 66 Patienten in die Studie eingeschlossen. In den meisten veröffentlichten Studien zur **Oberkieferexpansion** wurden kleinere Fallzahlen inkludiert: von 20 Patienten [Bays 1992, Bierenbroodspot 2002, Chung 2001, Glassman 1984, Matteini 2001] bis rund 35 Patienten [Chamberland 2011, Magnusson 2012, Prado 2013]. Die hier publizierte Fallzahl zur **Unterkieferexpansion** hat mit 66 Patienten im Vergleich mit anderen Veröffentlichungen zu diesem Thema die zweitgrößte Grundgesamtheit. Die Fallzahlen ähnlicher Arbeiten liegen meist bei rund 20 Patienten [Chung 2007, Mommaerts 2008b, Seeberger 2011] oder deutlich darunter [Braun 2002, Gunbay 2009, Landes 2008a]. Nur in einer Arbeit, über die Komplikationsrate der Unterkieferexpansion, wurden knapp über 100 Patienten eingeschlossen. Jedoch wurde bei dieser Studie keine klinische oder radiologische Auswertung hinsichtlich der Expansionsraten oder der Stabilität durchgeführt [von Bremen 2008]. Im **Oberkiefer** wurden – wie in anderen Arbeiten auch [Gunbay 2008, Magnusson 2012, Ramieri 2005] – nur Patienten im bleibenden Gebiss behandelt. Im **Unterkiefer** setzte sich die Gruppe aus 34 Patienten im Wechselgebiss und 32 Patienten im bleibenden Gebiss zusammen. Von diesem Standpunkt betrachtet, ist die Gesamtgruppe der Unterkieferexpansion sehr ausgeglichen. Die wenigsten Autoren beginnen bei einem Teil der Patienten bereits im frühen Wechselgebiss mit der Behandlung [Chung 2007, Ploder 2009]. Die meisten Studien wurden im späten Wechselgebiss [Alkan 2007, Braun 2002, von Bremen 2008] bzw. nach dem Zahnwechsel [Duran 2006, Landes 2008a, Raoul 2009] durchgeführt.

Die operative Verbreiterung des **Oberkiefers** mittels einer SARPE kann auf unterschiedliche Arten durchgeführt werden. Dem **minimalinvasiven Zugang** durch drei vertikale Inzisionen steht eine durchgehende Schnittführung gegenüber, die eine bessere Übersicht bietet [Mommaerts 1999]. In dieser Arbeit wurde ein minimalinvasiver Zugang gewählt, welcher trotz geringerer Übersicht zu guten



Ergebnissen führte, da dadurch sowohl die postoperative Morbidität, als auch die Schwellung reduziert werden konnte. Bezüglich des Ausmaßes der Osteotomien gibt es in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben: Diese reichen von einer **kompletten Le Fort I Osteotomie bis hin zu Teilosteotomien des Oberkiefers** [Seeberger 2010]. Die Meinung, dass die Sutura palatina mediana den Ort des größten Widerstandes bildet, gilt heute als überholt [Bell 1976, Isaacson 1964a, Isaacson 1964b, Kennedy 1976, Lines 1975]. Viel mehr stellen die Suturen des Mittelgesichtes und der Processus pterygoideus die Hauptwiderstandszonen dar [de Assis 2014, Holberg 2005, Knaup 2004, Koudstaal 2005]. Die Osteotomie des Processus pterygoideus soll zu einer verstärkt posterioren und damit parallelen Expansion führen, was auch die Ergebnisse der Modellanalyse zeigen [Charezinski 2009, Matteini 2001, Ramieri 2005]. Allerdings sind mit den zusätzlichen Osteotomien auch schwerwiegende Komplikationen in der Literatur beschrieben, wie z.B. eine Oculomotoriusparese oder ein orbitales Kompartmentsyndrom mit nachfolgender Erblindung [Koudstaal 2005]. Diese schwerwiegenden Komplikationen konnten in der vorliegenden Arbeit nicht gefunden werden. Die in der Studie festgestellten Latenz- und Konsolidierungszeiten entsprechen den Literaturangaben. Eine zu kurze Latenzzeit könnte möglicherweise zu einer unzureichenden Kallusbildung führen [de Freitas 2008]. Im Gegensatz dazu kann eine zu lange Latenzzeit eine frühzeitige Konsolidierung des Osteotomiespalts verursachen [Verlinden 2011]. Bezüglich der Konsolidierungsphase kann ein zu kurz gewählter Zeitraum die Stabilität des Ergebnisses negativ beeinträchtigen [Koudstaal 2005, Pogrel 1992, Schwarz 2009]. Als Alternative zur SARPE gibt es die **Segmentosteotomie**, die im Rahmen eines orthognathen Eingriffs durchgeführt werden kann [Koudstaal 2005, Phillips 1992]. Ein Vorteil der SARPE gegenüber der Segmentosteotomie ist, dass hierbei weniger Rezidiv durch die langsame Dehnung erwartet wird [Lanigan 2002, Phillips 1992]. Bei einem transversalen Platzbedarf im posterioren Bereich des Oberkiefers von maximal 6 mm, kann eine mediane Osteotomie zur Erweiterung des Oberkiefers im Rahmen einer Le Fort I Osteotomie gewählt werden [Seeberger 2010]. Wie die Ergebnisse verschiedener Studien zeigen, ist auch ein konservatives Vorgehen möglich [Handelman 2011, Handelman 1997, Handelman 2000, Northway 1997, Stuart 2003].

Die chirurgische **Erweiterung der Mittellinie im Unterkiefer mittels einer MMDO** ist eine Behandlungsalternative zur konventionellen Engstandsauflösung mittels Stripping, asymmetrischer Frontzahnextraktion oder Prämolarenextraktion [Ploder 2009, Uckan 2005]. Jedoch ist das Ausmaß des Platzgewinns bei den angeführten Methoden unterschiedlich: durch Strippen und durch Reduktion der Approximalflächen der unteren Front kann maximal 2-3 mm Platz gewonnen werden. Bei der asymmetrischen Frontzahnextraktion wird die jeweilige Breite des Zahnes gewonnen. Die Prämolarenextraktion hingegen schafft über 12 mm Platz. Im Zuge dessen, ist zu erwähnen, dass der Platzgewinn bei einer MMDO zwischen 5 und 13 mm liegt. Ein weiterer Faktor, den es zu berücksichtigen gilt, ist die Lokalisation des Engstandes. Durch Strippen, die asymmetrische Frontzahnextraktion und die MMDO ist der Platzgewinn hauptsächlich in der unteren Front zu finden. Bei der Prämolarenextraktion ist der Platzgewinn primär im Seitzahnbereich lokalisiert und kann sich dann durch Mesialisieren bzw. Distalisieren in der Front auswirken [Winsauer 2011]. Der in dieser Arbeit verwendeten vertikalen **Schleimhautinzision** [Ploder 2009] (vgl. Abb. 3-13) steht eine horizontale Inzision gegenüber [Guerrero 1997, Weil 1997]. Eine horizontale Inzision kann durch die Wechselschnittführung einen speicheldichten Wundverschluss gewährleisten und das Infektionsrisiko minimieren. Dieser Schnitt ist jedoch bei einer zahngetragenen Apparatur nicht notwendig, da dies zu einer größeren Wundregion und Narbe führt. Bei einer vertikalen Inzision liegen die Vorteile in der deutlich kleineren Narbe, besseren Durchblutung und geringeren Sensibilitätsstörungen. Eine Schnittführung entlang der Schleimhautfalte ist später zudem kaum sichtbar. Allerdings liegt bei einer vertikalen Schnittführung die Wundfläche direkt über der Osteotomiestelle und könnte somit die Wundinfektionsrate erhöhen [Guerrero 1997, Ploder 2009, Weil 1997]. Dies wurde bei dieser Nachuntersuchung nicht festgestellt. Die Spaltung wurde stets in der Medianlinie zwischen den beiden unteren zentralen Inzisiven durchgeführt. In der Literatur werden auch parasymphyseale Osteotomien beschrieben [Mommaerts 2001]. Hierbei wird stets der Ort gesucht, an dem das Knochenangebot am größten ist, um die Verletzungsgefahr der Zähne zu reduzieren [Guerrero 1997, Mommaerts 2001]. Grundsätzlich richtet sich die Osteotomie immer nach der Planung und somit nach dem Engstand, den es zu korrigieren gilt. Der entscheidende Faktor bei der MMDO ist es aber, eine unerwünschte Beschädigung der Nachbarzähne durch ausreichende präoperative Platzbeschaffung zu vermeiden und eine ausreichende

Expansion zu erzielen [Dorfman 1979]. Die richtige Wahl der Osteotomie ist genauso entscheidend für den Erfolg, wie auch das intraoperative Aufdrehen der Apparatur zur Sicherstellung einer vollständigen Osteotomie [Alkan 2007]. Diese intraoperative Kontrolle wurde standardmäßig bei allen Patienten dieses Kollektivs durchgeführt.

Auf einen zweiten chirurgischen Eingriff zum Entfernen der Apparatur kann bei der zahngetragenen Apparatur verzichtet werden. Dies ist auch der entscheidende Vorteil gegenüber einer knochengetragenen Apparatur. Die Latenzzeit (Zeit bis zum Beginn der Distraction) muss sorgfältig ausgewählt werden und darf weder zu kurz, noch zu lange gewählt werden. In der Gruppe von Bremen et al. war dies bei einigen Patienten mit sieben Tagen zu lange gewählt. Dies führte in drei Fällen zu einer frühzeitigen Verknöcherung der Osteotomie und es musste eine Re-operation durchgeführt werden [von Bremen 2008]. In der vorliegenden Arbeit wurde bei allen Patienten eine Latenzzeit von fünf Tagen gewählt. Bezüglich des Distraktionsrhythmus wurde in dieser Arbeit eine Distraction von „zweimal pro Tag“ mit jeweils 0,3 mm gewählt. Dies entspricht am ehesten einer kontinuierlichen Distraction und zusätzlich wird eine übermäßige Belastung des Kiefergelenks vermieden [Kewitt 1999].

Die **Vermessung der transversalen Breite** anhand der **Gipsmodelle** ist ein Verfahren, um die erzielte Expansion und deren Langzeitstabilität bzw. ein mögliches Rezidiv auszuwerten. Eine ähnliche Methodik wurde schon in zahlreichen Veröffentlichungen zur Oberkiefer- [Adkins 1990, Charezinski 2009, Laudemann 2010, Pinto 2001, Ramieri 2005] und Unterkieferexpansion [Chung 2007, Del Santo 2000, Gunbay 2009, Malkoc 2006, Mommaerts 2005, Ploder 2009, Weil 1997] angewandt. Vor allem die Arbeit zur Oberkieferexpansion von Charezinski et al. ist der Methodik der vorliegenden Arbeit sehr ähnlich: Die Modellvermessung erfolgte zweimal mittels einer digitalen Schieblehre an den Eckzähnen, den ersten Prämolaren und ersten Molaren auf Zahn- und Knochenniveau zu den Zeitpunkten T1, T4 und T5. Allerdings wurden hierbei die 2. Prämolaren und 2. Molaren nicht vermessen. Eine zweite Kontrollmessung, um den Messfehler zu minimieren – wie in der Untersuchung von Charezinski et al. – erfolgte in dieser Studie nicht [Charezinski 2009]. Auch die Möglichkeit einer computergestützten Untersuchung besteht, wie sie schon von einigen Autoren angewandt wurde [Laudemann 2010, Pinto 2001, Ramieri 2005]. Dies hätte den Vorteil, dass die Vermessung so reproduzierbarer und

nachvollziehbarer wäre. Bezüglich des Untersuchungszeitpunktes T5 (1 Jahr postoperativ) besteht bei der Auswertung der große Nachteil, dass die durchgeführte Expansion einen längeren Zeitraum zurückliegt und bei einigen Patienten bereits eine kieferorthopädische Behandlung durchgeführt wurde. Dies führt unweigerlich zu Veränderungen der dentalen Messwerte, daher sind diese Werte kritisch zu betrachten. Somit ist die Bezeichnung „Rezidiv“ für den Unterschied der Werte zwischen dem Zeitpunkt T5 und T4 nicht zulässig und es wurde die Bezeichnung „Rückgang“ gewählt. Bei anderen Studien wurden die Patienten meist in einem deutlich kürzeren Follow-up nachuntersucht [Gunbay 2008] bzw. es wurde keine Untersuchung nach der Konsolidierungszeit durchgeführt [Ramieri 2005]. Nur Laudemann et al. haben mit 20 Monaten nach Expansionsstopp ein längeres Follow-up [Laudemann 2010].

Die oben genannten Arbeiten zur Unterkieferexpansion haben die Modellanalyse in ähnlicher Weise durchgeführt, allerdings unterscheiden sich alle Arbeiten geringfügig in der Lage der Messpunkte, in den Zeitpunkten der Untersuchungen und dem Zeitraum des Follow-ups. In einer einzigen Arbeit erfolgte die Vermessung in zwei unterschiedlichen Ebenen (transversale Breite auf dentaler und ossärer Ebene) [Ploder 2009]. An dieser Methodik orientiert sich die vorliegende Arbeit, allerdings beinhaltet sie zusätzlich eine Nachuntersuchung ein Jahr postoperativ zum Zeitpunkt T5. So verwendeten beispielsweise Chung et al. die Zähne 33/43, 34/44 und 36/46 als Messpunkte für die transversalen Breite. Diese wurden präoperativ, nach der Distraction und durchschnittlich 1,6 Jahre nach der Operation mit einer elektronischen Schieblehre vermessen. Daraus wurden Werte für die Gesamtexpansion, das Rezidiv und die Gesamtexpansion abzüglich des Rezidivs errechnet [Chung 2007]. Die Berechnungen sind denen der vorliegenden Arbeit sehr ähnlich. Zusätzlich wurden die Zahnbogenlängen und der Irregularitätsindex nach Little [Little 1975] vermessen. Auf Knochenniveau erfolgte keine Messung [Chung 2007]. Del Santo et al. verwendeten die gleichen Messpunkte wie in der vorliegenden Arbeit. Es erfolgte aber keine Untersuchung auf knöchernem Niveau. Ebenfalls wurden Zahnbogenlänge und Irregularitätsindex bestimmt. Die Vermessung erfolgte präoperativ, nach der aktiven Distraction und durchschnittlich 1,3 Jahre postoperativ mittels einer elektronischen Schieblehre. Errechnet wurde nur die erzielte Gesamtexpansion nach 1,3 Jahren. Der Rückgang der transversalen Breite fand dabei keine Beachtung [Del Santo 2000]. Malkoc et al. verwendeten zusätzlich die

zentralen und lateralen Inzisiven als Messpunkte. Allerdings errechneten sie wie Chung et al. [Del Santo 2000] die Gesamtexpansion, das Rezidiv und die Gesamtexpansion abzüglich des Rezidivs [Malkoc 2006]. Die Arbeit von Gunbay et al. hat mit drei Jahren das längste Follow-up und ist daher bezüglich eines Rezidivs sehr aussagekräftig [Gunbay 2009]. Mommaerts et al. digitalisierten ihre Modelle und untersuchten sie mit Hilfe einer Software. Außerdem fand die zweite Untersuchung nicht nach der Distraktionszeit, sondern erst, wie in der vorliegenden Arbeit, nach der Konsolidierungszeit statt [Mommaerts 2005]. Der Eckzahn spielt eine wichtige Rolle in der Behandlung des Engstandes. Zukünftig sollte vor allem über diesen als Mess-/Referenzpunkt reflektiert werden. Durch den, vor der Operation bestehenden Engstand, steht der Eckzahn zu diesem Zeitpunkt häufig stark mesialisiert und im seitlichen Außenstand. Nach abgeschlossener Behandlung mit einhergehender Vergrößerung des Zahnbogens, bewegt sich der Eckzahn deutlich nach distal und lingual. Daher fällt das „Rezidiv“ bzw. der Rückgang an dieser Stelle auch deutlich größer aus. Zudem dienen die Zähne auch als Referenzpunkt für die ossäre Vermessung. Allerdings sind diese Bezugspunkte vor allem durch die orthodontische Feinjustierung einer Veränderung ihrer Position unterworfen. Da in dieser Arbeit eine elektronische Schieblehre Verwendung fand, konnte ein möglicher Ablesefehler vermieden werden. Für zukünftige Studien wäre eine erneute Nachuntersuchung z.B. fünf Jahre nach Behandlungsabschluss interessant, um zu überprüfen, ob die hier vorgestellte Behandlung auch langfristig erfolgreich ist.

Die **Vermessungen der Röntgenbilder** dienen vor allem dazu, die Expansionswerte des Ober- und Unterkiefers anhand des röntgenologisch sichtbaren Distractionsspalt (T4) in koronarer Ebene zu vermessen, um sie mit den Ergebnissen der axialen Modellvermessung zu vergleichen. Der Distractionsspalt wurde in dieser Arbeit nur an einer Stelle vermessen. Eine Messung an drei Punkten hätte den Vorteil, eine parallele Expansion zu beweisen bzw. zu widerlegen. Für das Unterkieferkollektiv wurde dieses Vorgehen nicht angewandt, da dies bereits an einem Teil des Kollektivs im Rahmen einer Publikation durchgeführt wurde [Ploder 2009]. Diese Untersuchung zeigte, dass sich der Distractionsspalt bei der Verwendung einer zahngetragenen Apparatur in der koronaren Ebene symmetrisch erweiterte. Mit diesen Ergebnissen konnte bewiesen werden, dass auch zahngetragene Apparaturen annähernd eine symmetrische Expansion im Unterkiefer

ermöglichen und nicht, wie von Bell et al. angegeben, eine v-förmige Expansion in der vertikalen Ebene auslösen [Bell 1999, Bell 1997]. Für die Auswertung der **Oberkieferexpansion** ist diese Fragestellung sicher auch von Interesse. Allerdings überwiegt in dieser Gruppe die Frage, ob eine gleichmäßige Expansion im anterioren und posterioren Bereich erzielt werden könnte. Diese würde sich am besten anhand einer Vermessung einer dreidimensionalen Bildgebung in axialer Schichtung klären lassen. Einige Autoren verwendeten als röntgenologische Untersuchung eine Clementschitsch-Aufnahme, um die transversale dentale Veränderung zu quantifizieren [Byloff 2004, Gilon 2000, Zhou 2000]. So konnte auch die Zunahme des nasalen Raumes gemessen werden [Gilon 2000] und der Veränderung der Zahnachsen bzw. dem Vorhandensein einer möglichen Bukkalbewegung der Zähne Beachtung geschenkt werden [Byloff 2004]. Allerdings ist auch die Clementschitsch-Aufnahme einer dreidimensionalen Bildgebung in der Fragestellung nach posterior-anterioren Expansionsunterschieden unterlegen. Gilon et al. untersuchten zudem in einem Fernröntgenseitenbild die Veränderung der Inklination des Gaumens und entdeckten hierbei eine anteriore Rotation um  $1,5^\circ$  [Gilon 2000]. Andere Arbeiten zur **Unterkieferexpansion** verwendeten in ihren Untersuchungen eine Clementschitsch-Schädelaufnahme [Del Santo 2000, Gunbay 2009, Iseri 2005, Malkoc 2006, Malkoc 2007, Ploder 2009, Raoul 2009, Weil 1997], ein Fernröntgenseitenbild [Bayram 2007, Del Santo 2000, Gunbay 2009, Malkoc 2007, Raoul 2009, Uckan 2005] oder eine Computertomographie [Gunbay 2009, Landes 2008a, Raoul 2009, Seeberger 2011]. Zwei Arbeiten verwendeten ebenfalls ein Orthopantomogramm [Ploder 2009, Weil 1997]. Anhand der Clementschitsch-Aufnahmen konnten mit Hilfe von Messpunkten festgestellt werden, ob die Verbreiterung des Unterkiefers proportional erfolgte [Gunbay 2009, Iseri 2005]. Ebenso bestimmten einige Autoren mittels einer Computertomographie eine disto-laterale Rotation der Kondylen [Gunbay 2009, Landes 2008a]. In der computersimulierten Studie von Samchukov et al. führte eine transversale Expansion von 1 mm zu einer Rotation der Kondylen um  $0,34^\circ$ . Dies ist als sehr gering einzustufen [Samchukov 1998]. Studien, die die Veränderung der Lage des Kiefergelenks nach einer sagittalen Spaltung des Unterkiefers untersuchten, gaben erheblich größere Positionsänderungen/Rotationen an, die allerdings zu keinen klinischen Symptomen führten [Hackney 1989, Karabouta 1985].

### **Auswertung der Oberkieferexpansion (SARPE- und MAS-Gruppe)**

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Expansion im Oberkiefer ist das **Alter bzw. die skelettale Reife** des Patienten. Bei der Auswertung der Oberkieferexpansion war das Alter der Patienten zwischen den Gruppen ähnlich und somit gut vergleichbar. Ein signifikanter Unterschied zwischen der chirurgischen (27 Jahre) und der nicht-chirurgischen (24 Jahre) Gruppe bestand nicht. Ähnliche Ergebnisse zeigen auch anderer Publikationen zur chirurgischen Oberkieferexpansion [Bays 1992, Charezinski 2009, Gerlach 2003, Ramieri 2005]. Ganz anders verhält es sich bezüglich den nicht-chirurgischen Gruppen. Einige Studien zu diesem Thema haben nur Kinder unter 14 Jahren konservativ behandelt [Bell 1981, Wilmes 2010]. Einige wenige Studien haben die konservative Behandlung auch an Erwachsenen durchgeführt [Handelman 2000, Stuart 2003]. Dies ist insofern wichtig, da das Alter des Patienten bzw. das skelettale Alter einen wichtigen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Die Angaben bzgl. der skelettalen Reife, ab wann der Oberkiefer in der medianen Suture verknöchert ist, sind in der Literatur unterschiedlich [Liu 2015]. Einen einheitlichen Konsens, bis zu welchem Alter der Oberkiefer ohne chirurgische Intervention verbreitert werden kann, besteht daher bis heute nicht. Viele Autoren betrachten eine GNE bei erwachsenen Patienten (>15 Jahre) als unmöglich [Bishara 1987, Proffit 2000]. Andere erachten diese als eine mögliche Behandlungsoption bei jungen Erwachsenen [Alpern 1987, Capelozza Filho 1996, Handelman 1997, Handelman 2000, Northway 1997]. Das mittlere Alter der konservativ behandelten Gruppe von Northway/Meade lag bei 22 Jahren und entspricht daher dem Kollektiv dieser Arbeit [Northway 1997].

In der chirurgischen Gruppe (SARPE) war die **Geschlechterverteilung** mit 25 Frauen und 22 Männern ausgeglichen, wie auch in der Arbeit von Stromberg/Holm [Stromberg 1995]. In anderen Kollektiven wurden deutlich mehr Frauen als Männer therapiert [Gerlach 2003, Ramieri 2005, Verlinden 2011]. In der nicht chirurgischen Gruppe (MAS) wurden doppelt so viele Frauen wie Männer behandelt, wohingegen in anderen Arbeiten das Verhältnis ausgewogen war [Altug Atac 2006, Northway 1997]. Eine Begründung für die hohen weiblichen Fallzahlen könnte ein verstärktes ästhetisches Empfinden und eine höhere Compliance unter Frauen sein, die sich gerade für ein nicht operatives Vorgehen schneller entscheiden. Der präoperativ vorliegende **Engstand** war in der chirurgischen Gruppe deutlich größer als in der nicht-chirurgischen: 7,0 vs. 5,6 mm. Dies ergab sich allerdings auch aus der

unterschiedlichen Indikationsstellung, da für das konservative Verfahren bei skelettal reifen Patienten nur Patienten mit geringerem Expansionsbedarf ausgewählt worden sind. Zudem lag der Engstand hierbei eher im anterioren als im posterioren Bereich. Dies kann als Nachteil in dieser retrospektiven Auswertung gesehen werden. Bei einer prospektiven Studie könnte durch eine Randomisierung die Gruppenverteilung ausgeglichener gewählt werden und somit sicherlich eine validere Aussage getroffen werden.

Die in der Studie festgestellte **Latenzzeit** im Oberkiefer von knapp fünf Tagen entspricht den Literaturangaben [Uckan 2005]. Bei einer längeren Latenzzeit sind in der Literatur frühzeitige knöcherne Konsolidierungen beschrieben [Verlinden 2011, von Bremen 2008]. Nachdem in dem vorliegenden Kollektiv ein solcher Fall nicht auftrat, muss angenommen werden, dass die Latenzzeit mit fünf Tagen richtig gewählt worden ist. Es wurde auch schon über eine kürzere Latenzzeit von zwei Tagen berichtet [de Freitas 2008]. Dies könnte zu kurz gewählt sein, da hierbei die Möglichkeit besteht, dass sich in dieser Zeit kein ausgeprägter Kallus bildet und somit eine Pseudarthrose entstehen kann.

Die Dauer der **Distraction** im Oberkiefer ist abhängig von dem Ausmaß der täglichen Erweiterung und von dem Ausmaß der zu erzielenden Erweiterungstrecke. Die Distaktionszeit lag in der chirurgischen Gruppe im Mittel bei 21 Tagen und ist somit vergleichbar mit anderen Studien [Byloff 2004]. In der nicht-chirurgischen Gruppe dauerte die Distraction im Mittel ca. drei Monate. Dieser lange Zeitraum lässt sich durch das multizyklische Distaktionsprotokoll erklären. Das Wechselspiel zwischen Auf- und Zudrehen wird bis zur Bildung eines Diastemas verfolgt. Dies nimmt durch die fehlende chirurgische Schwächung viel Zeit in Anspruch. Ob dieser lange Zeitraum anstelle einer Operation, verbunden mit Risiken und Schmerzen, für den Patienten zumutbar ist, müssen weitere Studien („Quality of life Studien“) zur postoperativen Morbidität klären. Diese Art der Behandlung lässt sich nur mit einer Subgruppe hochmotivierter Patienten durchführen.

Die **Konsolidierungsphase** im Oberkiefer lag in der chirurgischen Gruppe (SARPE) bei rund einem Monat und ist im Vergleich zu anderen Studien relativ kurz [Petrick 2011]. Andere Studien weisen Retentionszeiten zwischen zwei und zwölf Monaten auf, wobei die meisten für drei Monate die transversale Erweiterung retinieren [Koudstaal 2005]. In der nicht-chirurgischen Gruppe (MAS) wurde für ca. 6,5 Monate retiniert. Gründe hierfür liegen ebenfalls in dem nicht-chirurgischen Vorgehen. Durch



die höheren Widerstände im Bereich der Mittelgesichtspfeiler wurde eine deutlich längere Konsolidierungsphase gewählt. Dieser Zeitraum erscheint sehr lange und erfordert viel Disziplin seitens der Patienten. Allerdings führt eine solch lange Retentionsphase zu stabilen Ergebnissen, was anhand der Resultate gezeigt wurde (MAS-Apparatur zeigte den geringsten Rückgang der transversalen Breite nach einem Jahr).

Das Hauptinteresse in der vorliegenden Arbeit lag in der Auswertung der **Expansionswerte**. Im **Oberkiefer** erreichte die zahngetragene Apparatur die größten Expansionswerte und die MAS-Apparatur die geringsten. Die knochengetragene Apparatur lag hierbei im mittleren Bereich. Die Ursache dieser Diskrepanz könnte in der unterschiedlichen Indikationsstellung und an der skelettalen Reife liegen. Die MAS-Apparatur wurde bei deutlich geringeren Engständen eingesetzt als die beiden anderen Apparaturen, die im Rahmen einer chirurgischen Schwächung des Oberkiefers verwendet wurden. Die Unterschiede hinsichtlich der skelettalen Reife wurden schon eingehend diskutiert. Die zahngetragene Apparatur zeigte auf allen Ebenen (dental und ossär) eine größere Expansion als die MAS-Apparatur. Im Vergleich zur knochengetragenen Apparatur zeigte die zahngetragene Apparatur vor allem im posterioren Bereich (dental und ossär) eine etwas größere Dehnung. Die Ursache hierfür könnte in der Position der Expansionsschraube liegen, die weiter anterior lag als bei der zahngetragenen Apparatur. Die knochengetragene Apparatur erzielte gegenüber der MAS Apparatur mehr dentale und ossäre Expansion.

Verglichen mit der Breite des Distractionsspalt im Röntgenbild ergaben sich bei beiden chirurgischen Gruppen geringfügig kleinere Expansionswerte anhand der Modellanalyse. Allerdings lässt sich trotzdem eine skelettal gleichmäßige Expansion feststellen, da die Werte der axialen Modellanalyse und der Röntgenanalyse annähernd übereinstimmen. In der Arbeit von Koudstaal et al. lag eine geringfügige Bukkalkippung der maxillären Segmente in der Koronarebene bei der Verwendung von zahn- und knochengetragenen Apparaturen vor [Koudstaal 2009b]. Für die MAS-Gruppe ergab die Röntgenanalyse einen deutlich breiteren Distractionsspalt als die Expansionswerte der Modellanalyse. Dies ist ein Hinweis, dass der Oberkiefer in dieser Gruppe vor allem im Frontzahnbereich eine stärkere Expansion erfahren hat. In diesem Bereich wurden die Modelle allerdings nicht vermessen. Aus den

Ergebnissen der axialen Modellanalyse und der koronaren Röntgenanalyse kann auf eine v-förmige Expansion in axialer Ebene und auf eine parallele Expansion in koronarer Ebene für die MAS-Gruppe geschlossen werden. Die **zahngetragene Apparatur** zeigte eine größere dentale als ossäre Expansion. Die größte Expansion erreichte die Apparatur im Bereich des 1. Prämolaren. Die Unterschiede zwischen anteriorer und posteriorer Expansion waren auf ossärer Ebene sehr gering, so dass von einer gleichmäßigen Expansion ausgegangen werden kann, was auch andere Arbeiten zeigen [de Freitas 2008, Neubert 1989]. Bays et al. berichteten über eine größere posteriore Expansion trotz fehlender Osteotomie im Bereich des Processus pterygoideus [Bays 1992]. Auch andere Arbeiten weisen die größte Expansion im Bereich der Prämolaren und ersten Molaren auf [Anttila 2004, Byloff 2004]. Größere dentale als ossäre Expansionswerte und eine damit einhergehende geringfügige Bukkalkippung der Zähne wurden in anderen Studien beobachtet [Anttila 2004]. Die zahngetragene Apparatur zeigte eine symmetrische Expansion auf dentaler und ossärer Ebene. Die knochengetragene Apparatur zeigt auf dentaler und ossärer Ebene eine symmetrische Expansion und die MAS eine symmetrische Expansion auf dentaler und eine leicht anteriore v-förmigen Expansion auf ossärer Ebene. Die Unterschiede bei allen Apparaturen zwischen dentaler und ossärer Ebene waren marginal. Somit lässt sich festhalten, dass alle Geräte eine ausreichend stabile Verankerung aufwiesen und sowohl die Zähne, als auch der Knochen gleichmäßig expandiert wurden. Vor allem bei den zahngetragenen Apparaturen widerspricht dies den Literaturangaben, da die herkömmlich verwendeten zahngetragenen Apparaturen das Parodontium zu stark belastet haben. Der Unterschied dürfte in der Fixierung der zahngetragenen Apparatur liegen. Diese Apparaturen wurden alle von einem Behandler (Bregenz - Österreich) eingebracht. Dabei handelt es sich um eine sogenannte Doppelfixierung: Die Apparaturen wurden mit Glasionomermzement zementiert und zusätzlich wurden auf beiden Seiten interdental zwei Federbolzenschrauben zur Fixierung eingebracht. Dies könnte der Grund für die rigide Verankerung sein [Winsauer 2011]. Diese Doppelfixierung wurde bei allen zahngetragenen Apparaturen im Oberkiefer angewandt. Auch die **knochengetragene Apparatur** erreichte im Bereich des 1. Prämolaren die größte dentale und ossäre Expansion. Auch in der Gruppe von Gunbay et al. lag die größte Expansion im Bereich der Prämolaren vor [Gunbay 2008]. Die dentale Expansion fiel in der Regel geringfügig größer aus als die ossäre Expansion. Die etwas höheren

Werte im dentalen Bereich könnten sich durch die kieferorthopädische Behandlung, die bereits nach der aktiven Distraktionsphase begann, erklären lassen. Der Unterschied zwischen anteriorer und posteriorer Dehnung war sehr gering, so dass von einer parallelen Expansion ausgegangen werden kann. Somit hat die Osteotomie des Processus pterygoideus eine gleichmäßige anteriore und posteriore Expansion ermöglicht, so wie sie auch in der Literatur beschrieben wurde [Charezinski 2009, Matteini 2001, Ramieri 2005]. Eine Durchtrennung dieser Knochenbrücke verändert das Widerstandszentrum [Mommaerts 1999]. Arbeiten, in denen der Processus pterygoideus nicht durchtrennt wurde, weisen eine deutlich größere anteriore Expansion auf [Gunbay 2008, Pinto 2001, Ramieri 2005]. Bei der **MAS-Apparatur** war die Expansion auf dentaler und ossärer Ebene beinahe gleich. Die größte Expansion wurde auch hier auf Höhe der 1. Prämolaren erzielt. Auch die Gruppe von Handelman et al. erzielte die größte Expansion im Bereich der Prämolaren [Handelman 2000]. Demnach lassen sich die Ergebnisse dieser Gruppe mit denen der chirurgischen Gruppe vergleichen. Der Vergleich von anteriorer und posteriorer Expansion war relativ gleichmäßig. Allerdings lässt sich ein leichter Rückgang der transversalen Breite, vor allem auf Höhe von M2 (dentale Expansion bei 1,73 mm) nach posterior erkennen [Garrett 2008, Handelman 2000]. Gründe hierfür können in einer posterior höheren knöchernen Resistenz liegen, ausgelöst durch den zygomaticomaxillären Pfeiler. Eine rein dentale Expansion, wie sie Alpern/ Yurosko befürchtet haben, konnte nicht festgestellt werden [Alpern 1987].

Eine weitere Auswertung betraf die **Veränderung der erzielten transversalen Breite** nach einem Jahr (T5 minus T4). Den größten **Rückgang im Oberkiefer** hatte die zahngetragene Apparatur auf dentaler Ebene mit 1,5 mm und auf ossärer Ebene mit 1,3 mm zu verzeichnen. Dies entspricht einer Reduktion der Breite um 24% (dental) bzw. 23% (ossär). Die knochengetragene Apparatur hatte einen Rückgang von 0,6 mm auf dentaler und ossärer Ebene und die MAS-Apparatur von 0,2 mm auf dentaler und ossärer Ebene zu verzeichnen. Dies entspricht einer Reduktion der Breite für die knochengetragene Apparatur von 12% (dental) bzw. 13% (ossär) und für die MAS-Apparatur von 6% (dental) und 5% (ossär). Für die unterschiedlichen Veränderungen der Apparaturen gibt es mehrere Erklärungsmöglichkeiten: Da der Zeitraum zwischen den beiden Messpunkten T4 und T5 bei einem Jahr lag, kann man davon ausgehen, dass in dieser Zeit eine kieferorthopädische Behandlung erfolgte. Dies ist am ehesten bei der knochengetragenen und MAS-Apparatur erfolgt,

da hierbei die Zähne in der gesamten Retentionsphase frei zugänglich waren und somit weiterbehandelt werden konnten. Ein weiterer Faktor kann die Bebänderung auf dem 1. Molaren bei der zahngetragenen Apparatur sein. Eine zu hohe Krafteinwirkung auf den 1. Molar kann zu einer verstärkten parodontalen Rückstellung führen. Die knochengetragene Apparatur hatte keinen nennenswerten größeren Rückgang als die MAS-Apparatur. Daran lässt sich erkennen, dass die Bewegung bzw. die Rückstellkräfte annähernd gleichsinnig auf dentaler und ossärer Ebene vollzogen worden sind. Zukünftig sollte bei Verwendung einer bestimmten Apparatur um die entsprechende Rückgangsrate überexpandiert werden. In der zusammenfassenden Darstellung von Koudstaal et al. zu diesem Thema wird angegeben, dass in einer Umfrage 67% der befragten Operateure nicht überkorrigieren, wohingegen der Rest um durchschnittlich 3,3 mm überexpandierte [Koudstaal 2005]. Da in der vorliegenden Arbeit in der chirurgischen Gruppe ein Rückgang der transversalen Breite vorlag, sollte zukünftig, abhängig von der jeweiligen Rückgangsrate, überkorrigiert werden. Die Überkorrektur wurde bei den, in Bregenz - Österreich und Feldkirch - Österreich behandelten Patienten mit 20% präoperativ berücksichtigt. Bei diesen Patienten wurde vor der durchgeführten Expansion ein Wax-set-up durchgeführt und die zu erzielende Breite an einem Modell vermessen. Anschließend wurde die Überkorrektur mit 20% hinzugerechnet und dem Operateur bzw. dem Patienten weitergegeben. Die **zahngetragene Apparatur** hatte sowohl einen leicht größeren dentalen (24%) als ossären (23%) Rückgang. Ein Rückgang der transversalen Breite zum Zeitpunkt T5 lässt sich auf allen Ebenen (dental/ossär) feststellen. Die größeren dentalen Rückgangswerte sind auf die stärkeren Rückstellkräfte des parodontalen Komplexes zurückzuführen. Auch bezüglich der Rückgangswerte liegen in anderen Arbeiten mit zahngetragenen Apparaturen ähnliche Raten vor, so dass die Ergebnisse dieser Studie als zuverlässig zu sehen sind. So berichteten Byloff et al. mit 28% über eine etwas höhere mittlere Rückgangsrate, wobei sich der Rückgang der Expansionswerte vor allem in der Postretentionsphase bemerkbar machte [Byloff 2004]. In der Gruppe von Antilla et al. lag der Rückgang zwischen 6-29% [Antilla 2004], in der Gruppe von de Freitas et al. bei 18-23% [de Freitas 2008]. Auch über geringere Rückgangsraten von 12%, erzielt durch längere Retentionszeiten von ca. einem Jahr, wurde berichtet [Pogrel 1992]. Bays et al. Angaben zu den Rückgangsraten variieren zwischen 1% und 9% [Bays 1992]. Ein Bukkalkippung oder eine Extrusion der Ankerzähne, wie sie

häufig in der Literatur für diese Apparatur beschrieben werden, konnte in dieser Studie nicht beobachtet werden [Gerlach 2003, Mommaerts 1999, Verstraaten 2010]. Dies zeigte sich auch an den geringen Unterschieden zwischen der dentalen und ossären Expansion bzw. dem Rückgang. Für die **knochengetragene Apparatur** konnte ein Rückgang der transversalen Breite beinahe auf allen Ebenen (dental/ossär) beobachtet werden. Der dentale Rückgang fiel in der Regel geringfügig größer aus als der ossärer. Die etwas höheren Werte im dentalen Bereich könnten sich durch die kieferorthopädische Behandlung, die bereits nach der aktiven Distraktionsphase begann, erklären lassen. Angaben zu möglichen Rückgangsraten erfolgten in den meisten Arbeiten nicht [Gunbay 2008, Matteini 2001, Mommaerts 1999, Pinto 2001]. Gerlach/Zahl geben an, dass sich auch sechs Monate postoperativ die Expansionswerte nicht verändert haben und daher stabil sind [Gerlach 2003]. Charezinski et al. geben zwar keine Rezidivraten an, allerdings erkennt man sowohl bei der okklusalen als auch bei der gingivalen Messung einen leichten Rückgang der transversalen Breite in der Postretentionsphase, welche mit denen der vorliegenden Arbeit (12% dentales, 13% ossäres Rezidiv) vergleichbar sind [Charezinski 2009]. Eine Überkorrektur verwendeten die meisten Autoren nicht, da die Kraft mittels einer knochenverankerten Apparatur direkt auf den Knochen wirkt [Gerlach 2003, Gunbay 2008, Matteini 2001, Mommaerts 1999]. Für die **MAS-Gruppe** konnte ein minimaler Rückgang der transversalen Breite beobachtet werden. Der dentale Rückgang fiel geringfügig größer aus als der ossäre. Der dentale (6%) und ossäre (5%) Rückgang waren sehr gering und lagen bei unter einem halben Millimeter. Der Rückgang fiel sicherlich so niedrig aus, weil die Expansion und die Konsolidierung über einen langen Zeitraum vollzogen worden sind. Handelman et al. geben ebenfalls eine sehr geringe Rückgangsrate von 9% an. Allerdings lag in dieser Gruppe zusätzlich ein Attachmentverlust vor, wobei die Begründung dafür in der zahngetragenen Apparatur gefunden werden kann [Handelman 2000]. Andere Autoren geben Rezidivraten von 63% an, die allerdings mit zunehmendem Alter steigen und empfehlen daher eine nicht-chirurgische Oberkiefererweiterung nur bis zu einem Alter von 13 bis maximal 15 Jahren [Koudstaal 2005]. Obwohl insgesamt die Expansion in dieser Gruppe deutlich geringer war als in der chirurgischen Gruppe, ist der sehr geringe Rückgang ein deutliches Argument für diese Verfahren. Zudem entscheiden sich Patienten ganz bewusst für ein nicht-operatives Vorgehen, da eine Operation mit einem Krankenhausaufenthalt, Kosten, höherer Morbidität und

einem höheren zeitlichen Aufwand einhergeht [Handelman 2000, Northway 1997]. Verglichen mit der Arbeit von Northway/Meade zeigt die vorliegende Arbeit einen Unterschied zwischen der chirurgischen (zahn- und knochengetragen) und der nicht-chirurgischen Gruppe (MAS-Apparatur). Northway/Meade fanden keinen Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Expansion und dem Rezidiv. Allerdings empfehlen sie mit steigendem Alter und Expansionsbedarf die Operation [Northway 1997]. Koudstall et al. vergleichen in ihrer Arbeit eine zahngetragene Apparatur mit einer knochengetragenen Apparatur. Sie konstatieren keinen Unterschied zwischen den Distraktoren bezüglich der Expansion, der Stabilität und des Rezidivs [Koudstaal 2009b]. Bis auf kleine Ausnahmen konnte auch in der vorliegenden Arbeit kein Unterschied in der chirurgischen Gruppe gefunden werden. Die Arbeit von Laudemann et al. weist mehr Expansion in der Gruppe mit knochengetragener Apparatur auf [Laudemann 2010]. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den vorliegenden Resultaten. Möglicherweise könnte zukünftig durch eine verbesserte Gestaltung der Osteosyntheseschrauben der knochengetragenen Apparatur eine größere Expansion erzielt werden, da sich die Apparatur so seltener lockern würde. Allerdings sollten an dieser Stelle auch die Konsolidierungszeit beachtet werden. Diese lag in der chirurgischen Gruppe bei durchschnittlich 33 Tagen. Durch eine längere Retentionszeit könnten sich die Rezidivwerte/Rückgangswerte verkleinern [Pogrel 1992]. In der Theorie sollte die Dehnschraube zweimal täglich um 0,3 mm gedreht werden. Allerdings stimmen so die realen Expansionswerte nicht mit den errechneten Werten überein. Gründe hierfür liegen in der Compliance der Patienten. Starke Schmerzen bei der Dehnung können dazu führen, dass die Patienten nicht wie besprochen die Apparatur aufdrehen. Ein weiterer Grund hierfür könnte die höhere Weichteilresilienz sein, die zu einer nicht vollständig parallelen Expansion führt, sowie eine mögliche Biegung der Schraube

Die **Vermessung des Distraktionsspalt**es (Oberkiefer) in der **Röntgenanalyse** ergab sowohl in der Gruppe mit zahngetragener Apparatur (7,3 mm), als auch in der Gruppe mit knochengetragener Apparatur (7,0 mm) vergleichbare Werte. Im Vergleich mit der Modellanalyse ergaben die Werte des Distraktionsspalt es zwar geringfügig höhere Expansionswerte; dennoch erfolgte bei beiden chirurgischen Verfahren eine parallele Expansion in der koronaren und axialen Ebene. Koudstaal et al. berichten allerdings für beide Distraktortypen über eine geringfügige

Bukkalkippung der maxillären Segmente [Koudstaal 2009b]. Andere Studien, die auch eine Vermessung des Distractionsspaltes anhand eines Orthopantomograms vorgenommen haben, existieren nach heutigem Stand nicht. Daher ist nur der Vergleich mit den Studien möglich, die posterior-anteriore Schädelaufnahmen verwendeten. So fanden Günbay et al. heraus, dass die transversale skelettale Expansion crestal auf der Höhe des Alveolarkamms (7,8 mm) nach kranial zum Nasenboden (4,3 mm) hin abnahm, obwohl ein knochenverankerter Distraktor verwendet wurde [Gunbay 2008]. Auch andere Arbeiten erreichten nur eine kleine skelettale Expansion. So berichteten Byloff et al. von einer skelettalen Erweiterung von 1,3 mm, erzielt mit einer Hyrax-Apparatur [Byloff 2004]. Berger et al. erreichten mit 3,0 mm eine etwas größere skelettale Expansion unter Verwendung einer Hyrax-Apparatur [Berger 1998]. Die Ergebnisse der genannten Studien stehen im Widerspruch zu den vorliegenden Ergebnissen dieser Studie. Eine skelettale Expansion ist hierbei sowohl für die zahn-, als auch für die knochengetragene Apparatur bewiesen. Die Expansionswerte des röntgenologischen Distractionsspaltes (7,0 mm) in der nicht-chirurgischen Gruppe sind deutlich höher ausgefallen, als die dentale und ossäre Modellvermessung (ca. 4,0 mm) ergab. Diese unterschiedlichen Ergebnisse weisen auf eine v-förmige Expansion des Oberkiefers, vor allem in der Oberkieferfront, in der axialen Schichtung hin. Allerdings sind die einzelnen Ergebnisse der Modellvermessung aussagekräftiger, da für die röntgenologische Untersuchung eine Panoramaschichtaufnahme verwendet wurde und keine dreidimensionale Bildgebung. Die Breite des Distractionsspaltes ergab sich hierbei aus einer Überlagerung der Schichten des Distractionsspaltes im Sinne einer Summationsaufnahme. In zukünftig durchgeführten Studien wäre eine dreidimensionale Vermessung mittels einer digitalen Volumentomografie (DVT) oder einer Computertomografie (CT) in axialer Schichtung zu empfehlen, da man den Distractionsspalt so auf seiner vollen Länge vermessen kann. Somit könnte eine Aussage darüber getroffen werden, ob anterior die gleichen Expansionswerte wie posterior erzielt worden sind [Goldenberg 2007]. Zudem könnte man den Distractionsspalt an drei Punkten messen, um zu überprüfen, ob crestal genauso viel Dehnung erfolgt wie kranial. Dies wäre vor allem für die MAS-Gruppe interessant und könnte eine rein dentale Expansion noch deutlicher beweisen bzw. widerlegen. Bezüglich des Attachmentverlustes der Zähne gab es keinen Unterschied innerhalb der chirurgischen Gruppe, da dieser weit unter 1 mm lag. Die Gruppe von Mordenfeld

et al. führte 12 Monate postoperativ die gleiche Untersuchung durch und fand einen signifikant höheren Attachmentverlust mesial der Zähne 11/21 als distal [Mordenfeld 1999]. Somit ist das vorgestellte Verfahren von diesem Standpunkt her betrachtet als sicher einzustufen.

Zusätzlich zu den klinischen Parametern (Expansion-/Rückgangsrate) wurden die **Komplikationen (Oberkiefer)** für dieses Verfahren nachuntersucht und ausgewertet. Das Auftreten von Komplikationen und deren Häufigkeit ist bei elektiven Eingriffen stets von großem Interesse und ein entscheidender prognostischer Faktor [Mommaerts 2008a]. Allgemeine Komplikationen wie Nachblutungen, Schmerzen oder Schwellungen, die bei jedem operativen Eingriff als Begleiterscheinung auftreten können, wurden daher nicht ausgewertet. Leichte Komplikationen wie Schleimhautirritationen, Drucknekrosen, verursacht durch den Expansionsapparat oder ein Ulkus in der Schleimhaut sind in anderen Publikationen beschrieben, lagen aber für dieses Kollektiv nicht vor und wurden daher nicht statistisch untersucht [Alpern 1987, Lehman 1989]. Probleme wie eine Sinusitis maxillaris oder eine Septumdeviation, ausgelöst durch eine ungenügende Schwächung in diesem Bereich, sind seit langer Zeit bekannte Risiken dieser Operation, traten allerdings auch nicht auf [Mehra 1999]. Außergewöhnliche Komplikationen wie eine Oculomotoriusparese, ausgelöst durch eine operativ bedingte Keilbeinfraktur, oder die Erblindung eines Patienten, verursacht durch ein orbitales Kompartmentsyndrom in Folge einer intraoperativen retrobulbären Einblutung, sind schwerwiegend und Einzelfälle [Lanigan 2002, Li 1995]. Postoperative Infektionen lagen vor allem in der MAS-Gruppe vor, wobei der Unterschied zu den anderen Gruppen nicht signifikant war, jedoch einen Trend zeigte ( $p=0,056$ ). Diese Gruppe erhielt keine routinemäßige antibiotische Abschirmung. Zukünftig sollte daher auch bei diesem Verfahren über die Gabe eines Breitbandantibiotikums und über antibakterielle Mundspüllösungen nachgedacht werden. Infektionen sind unerwünschte Komplikationen, aber nie vollständig auszuschließen [Mommaerts 2008a, Verlinden 2011]. **Zahnschädigungen** traten nur in den beiden chirurgischen Gruppen auf und wurden bei 10% der Patienten festgestellt. Sowohl in der Gruppe mit zahnetragener als auch mit knochengetragener Apparatur lag jeweils ein Fall vor, indem die oberen Schneidezähne postoperativ nicht auf den Kältetest reagierten. Des Weiteren lagen in der Gruppe mit zahnetragener Apparatur zwei Fälle und in der Gruppe mit



knochengetragener Apparatur ein Fall einer Schädigung des Desmodonts, einhergehend mit erhöhten Taschensondiertiefen und Rezessionen, vor. Schädigungen des Desmodonts bzw. des Zahnes können durch eine ausreichende Vorbehandlung im Sinne einer Divergenz der oberen Radices der Schneidezähne und durch eine sorgfältige mediane Separierung des Knochens vermieden werden [Gunbay 2008]. Die Komplikationen wurden auch von anderen Autoren, sowohl mit zahn-, als auch mit knochengetragenen Apparaturen beschrieben [Gunbay 2008, Mordenfeld 1999, Ramieri 2005, Williams 2012]. In einigen Fällen wurde eine Wurzelkanalbehandlung notwendig, weil eine Osteosyntheseschraube des Distraktors die Wurzelspitze perforierte [Verlinden 2011]. Die optimale Wurzeldivergenz zur Vermeidung von Zahnschädigungen wird in der Literatur mit ca. 1,5 mm angegeben [Dorfman 1979]. **Apikale Wurzelresorptionen** traten nur in der Gruppe mit zahngetragener Apparatur (7%) auf [Mordenfeld 1999]. In einer Publikation von Verlinden et al. wurde bei 28% der Patienten bei Verwendung einer knochengetragenen Apparatur eine Wurzelresorption festgestellt [Verlinden 2011]. Die Ursache soll hierbei nicht in der Operation, sondern in der kieferorthopädischen Behandlung zu finden sein. Laterale Resorptionen, bukkale Rezessionen, Fensterungen, bukkales Kippen oder eine Extrusion der Ankerzähne, wie sie in der Literatur häufig als unerwünschte Nebeneffekte für zahngetragene Apparaturen beschrieben werden, lagen in dieser Studie in keinem Fall vor [Gerlach 2003, Mommaerts 1999, Verstraaten 2010]. **Technische Probleme** mit der Apparatur traten nur in der Gruppe mit der knochengetragenen Apparatur und in der MAS-Gruppe auf. Bei der zahngetragenen Apparatur wurden keine technischen Probleme festgestellt. Die Erklärung dürfte in der langjährigen Entwicklung und der Erfahrung mit der Apparatur zusammenhängen. Zahngetragene Apparaturen werden seit mehr als 80 Jahren erfolgreich zur Erweiterung des Oberkiefers im Sinne einer GNE verwendet und gelten daher als ausgereift und zuverlässig. Die knochengetragenen Apparaturen werden erst seit ca. 18 Jahren eingesetzt und die Anfangsmodelle mussten immer wieder adaptiert werden. Auf Grund diverser Zwischenfälle wurden gewisse Apparaturen in der Zwischenzeit vom Markt genommen und werden nicht mehr eingesetzt (Rotterdam Distraktor, Medartis Distraktor). Vor allem die Lockerung der knochengetragenen Apparatur stellte hierbei ein Problem dar, welches bereits in vielen anderen Arbeiten beschrieben wurde [Matteini 2001, Neyt 2002, Ramieri 2005, Verlinden 2011, Verstraaten 2010]. In vier von sechs Fällen in dieser Studie mussten

die Patienten in Folge der Lockerung erneut operiert werden, wobei möglicherweise die relativ kurzen und transgingival gesetzten Schrauben der Apparatur ein Problem darstellen könnten. Die transgingivale Setzung wird aktuell nicht mehr verwendet. In einem weiteren Fall führte die Apparatur durch einen falschen Vektor zu einer asymmetrischen Expansion. Die Apparatur musste in einer zweiten Operation gegen eine zahngetragene Apparatur ausgetauscht werden. In der MAS-Gruppe brach zweimal aufgrund der hohen Kräfte die Expansionsschraube. Dies ist ein Hinweis, dass die Kräfte beim Aufdrehen der Apparatur auf Grund der Resistenzen im Bereich der Suturen zu hoch waren. Daher wurde die Apparatur verstärkt und mit einer Federwaage ausgestattet, die die Kraftübertragung messen und somit begrenzen soll. Auch in der Gruppe von Alpern et al. konnte bei zwei Patienten keine Expansion erfolgen, da die Schraube aufgrund hoher Resistenzen nicht aufgedreht werden konnte [Alpern 1987]. Zudem lockerten sich in der MAS-Gruppe bei zwei Patienten die MAS-Schrauben, die im Knochen verankert waren. Bei beiden Patienten ging der Lockerung eine Infektion voraus, die diese wahrscheinlich verursachte. Eine **asymmetrische Expansion** erfolgte in beiden chirurgischen Gruppen. In der knochengetragenen Gruppe erfolgte dies aufgrund eines falsch gewählten Vektors. In der zahngetragenen Gruppe vollzog sich die Expansion asymmetrisch aufgrund einer unvollständigen Osteotomie, die auch in anderen Publikationen beschrieben wurde [Koudstaal 2009b, Mehra 1999, Mommaerts 2008a, Verlinden 2011]. In der MAS-Gruppe erfolgte einmal keine Expansion, weil eine Infektion mit folgender Schraubenlockerung diese verhinderte. Andere Komplikationen, die in anderen Arbeiten beschrieben wurden, wie eine unzureichende Verknöcherung im Osteotomiebereich im Sinne einer Pseudoarthrose [Oliveira 2014], störende Narbenzüge [Mommaerts 2008a] oder die Schädigungen des Nervus infraorbitalis [Mommaerts 2008a, Neyt 2002] wurden in dieser Studie nicht festgestellt. Die **patientenbezogene Komplikationsrate** in dieser Studie war bei den knochengetragenen Apparaturen am höchsten und lag bei 50%. Ein möglicher Grund könnte die geringere Erfahrung der Operateure mit diesem Distraktor gewesen sein [Koudstaal 2009a, Koudstaal 2009b]. Auch in der Arbeit von Verlinden et al. wurde eine Komplikationsrate von 52% beschrieben [Verlinden 2011]. Dies stellt die weitere Anwendung solcher Apparaturen in Frage, da diese Komplikationsrate für einen elektiven Eingriff zu hoch ist und andere Verfahren (zahngetragen oder MAS) deutlich geringere Komplikationsraten aufweisen. Trotzdem zeigten auch die

Patienten in diesen Gruppen (zahngetragener Apparatur = 21%, MAS-Apparatur = 28%) eine relativ hohe Komplikationsrate, die auch in anderen Studien festgestellt wurde [Albuquerque 2013]. Die MAS Gruppe lag mit 28% hierbei im mittleren Bereich. Hier muss aufgrund der geringen Patientenzahlen noch von einer Verbesserung der Ergebnisse im Sinne einer Lernkurve ausgegangen werden. Die Vermutung, dass diese Behandlungsform starke Schmerzen aufgrund der hohen Widerstände verursacht, wurde nicht untersucht [Handelman 2000]. Die Frage nach der individuellen Schmerzempfindung zwischen chirurgischer und nicht-chirurgischer Behandlung ist von großem Interesse und könnte daher Bestandteil einer zukünftigen Untersuchung werden.

**Zusammenfassend** erreichte die zahngetragene Apparatur die größte Expansion und die MAS-Apparatur die geringste Expansion im Oberkiefer. Allerdings zeigte auch die zahngetragene Apparatur den größten Rückgang der transversalen Breite (dental 24%, ossär 23%) und die MAS-Apparatur den geringsten Rückgang (dental 6%, ossär 5%). Die knochengetragene Apparatur lag bezüglich der Expansion, also auch bezüglich des Rückgangs der transversalen Breite (dental 12%, ossär 13%) im mittleren Bereich. Die zahngetragene Apparatur zeigte auf dentaler Ebene eine geringe posterior v-förmige Expansion und die MAS-Apparatur zeigte auf ossärer Ebene eine geringe anteriore v-förmige Expansion. Alle anderen Vermessungen auf dentaler und ossärer Ebene waren bei den Apparaturen symmetrisch und gleichmäßig.

Die Komplikationsrate war in der zahngetragenen Gruppe mit 21% deutlich geringer als in der knochengetragenen Gruppe mit 50%. Die hohe Komplikationsrate in der knochengetragenen Gruppe lässt sich in erster Linie auf die technischen Probleme mit der Apparatur, die vor allem Lockerungen beinhalten, zurückführen. Um zukünftig bessere Ergebnisse mit dieser Apparatur zu erzielen, müssten gegebenenfalls die Befestigungsschrauben modifiziert werden. Weitere positive Argumente für die zahngetragene Apparatur sind eine geringere Operationszeit, niedrigere Kosten und der Wegfall eines zweiten operativen Eingriffs zur Entfernung der Apparatur. Eindeutige Indikationen zur Verwendung einer knochengetragenen Apparatur sind parodontal vorgeschädigte Zähne, ein geringer Restzahnbestand, Keramikronen oder bereits bestehende Schmelzdefekte. Die konservative Behandlungsalternative mit MAS-Apparatur hatte eine niedrige Komplikationsrate (28%). Diese Gruppe stellt

eine Kontrollgruppe dar, bei welcher die Behandlungsindikation gleich ist, aber die Ausgangssituation aufgrund der geringeren Engstände bzw. des geringeren Expansionsbedarfs eine Andere ist. Somit sollte dieses Verfahren bei skelettal reifen Patienten nur bei geringen Engständen angewendet werden. Aufgrund der deutlich längeren Behandlungszeit sollten nur Patienten mit hoher Compliance ausgewählt werden. Für diese Patienten ist die vorgestellte Behandlung eine echte Alternative zur konventionellen SARPE [Handelman 2011, Stuart 2003]. Es besteht zudem die Möglichkeit, die Behandlung zunächst konservativ zu beginnen und bei fehlender Expansion mit einer nachfolgenden Operation mit Schwächung der Suturen die Behandlung fortzusetzen [Silverstein 1997].

### **Auswertung der Unterkieferexpansion (one-step und two-step Technik)**

Bei der Auswertung der Erweiterung des **Unterkiefers** wurden ausschließlich chirurgische Behandlungen verglichen, da sich die mediane Suture bereits im Embryonalstadium vereinigt und nicht mehr separiert werden kann. In der Studie wurden zwei alternative Methoden (one-step versus two-step Technik) miteinander verglichen, die sich durch die Gestaltung und den Zeitpunkt der Insertion der Distraktionsapparatur unterscheiden. Bei der two-step Technik wurden drei bis vier Monate präoperativ auf den Zähnen 31 und 41 Brackets befestigt und die Zähne divergiert. Die eigentliche Apparatur wurde einige Tage vor der Operation eingegliedert. Bei der one-step Technik wurden Apparatur und Brackets gemeinsam ca. sechs Wochen vor der Operation eingesetzt. Zudem sind Apparatur und Brackets über einen Draht miteinander verbunden. Bereits zu diesem Zeitpunkt wurde die Apparatur in der one-step Gruppe divergiert. Die **Geschlechterverteilung** war in beiden Gruppen nicht ausgeglichen. Sowohl in der one-step (11 weibliche Patienten), als auch in der two-step (34 weibliche Patienten) Gruppe wurden zu 2/3 weibliche Patienten und nur zu 1/3 männliche Patienten (one-step: 4 männliche Patienten, two-step: 17 männliche Patienten) behandelt. Auch in der Gruppe von Bremen et al. wurde eine größere Anzahl weiblicher Patienten festgestellt [von Bremen 2008]. Gründe hierfür könnten zum Beispiel der verstärkte Wunsch nach einer perfekten Ästhetik bei weiblichen Patienten bzw. deren Erziehungsberechtigten sein. Das durchschnittliche **Alter** war in der one-step Gruppe (18 Jahre) höher als in der two-step Gruppe (14 Jahre). Die Verteilung zwischen **Wechselgebiss** (34 Patienten) und **bleibendem Gebiss** (32 Patienten) war insgesamt ausgeglichen. Allerdings wurden innerhalb der one-step Gruppe deutlich mehr Patienten (ca. 2/3) im bleibenden Gebiss behandelt als im Wechselgebiss. In der two-step Gruppe wurden beinahe 2/3 der Patienten im Wechselgebiss behandelt. Daher lässt sich auch das durchschnittlich höhere Alter innerhalb der one-step Gruppe erklären. Die Tendenz bezüglich des Gebissstadiums innerhalb der two-step Gruppe deckt sich auch mit der Arbeit von Ploder, in welcher 3/4 der Patienten bereits im Wechselgebiss behandelt wurden [Ploder 2009]. In der Literatur gibt es nur wenige Angaben bezüglich der operativen Behandlung eines Unterkieferengstandes im Wechselgebiss [Alkan 2007, Chung 2007]. In der Regel wird erst im bleibenden Gebiss operiert [Raoul 2009]. Die Werte für den **Engstand** waren in beiden Gruppen annähernd gleich. Die durchschnittliche Expansion war in beiden Gruppen (Wechselgebiss/bleibendes

Gebiss) annähernd gleich (7,4 mm vs. 6,2 mm). Der Unterschied lag statistisch jedoch im Trend. Daraus kann die Aussage getroffen werden, dass im Wechselgebiss größere Expansionen erzielt werden können. Gründe hierfür liegen möglicherweise in den vermehrten Umbauprozessen des Knochens während des Zahnwechsels. Die **Latenzzeit** mit fünf Tagen entspricht den Angaben in der Literatur. Bei einer längeren Latenzzeit kann es, wie bei von Bremen et al. beschrieben, zu einer frühzeitigen Verknöcherung des Distractionsspaltes kommen [von Bremen 2008]. Die **Distraktionszeit** lag in der one-step Gruppe bei 17 Tagen und in der two-step Gruppe bei 23 Tagen. Somit lag für die two-step Gruppe eine längere Distraktionszeit vor. Dies lässt sich durch die unterschiedliche Vorbehandlung erklären. Da in der one-step Gruppe präoperativ zusätzlich zur Wurzeldivergenz auch eine dentoalveoläre Dehnung durchgeführt wurde, konnte sich der postoperative Distraktionszeitraum verkürzen, um das gewünschte Ziel zu erreichen. Ebenso wird auch eine kürzere Distraktionszeit von rund zwei Wochen angegeben [Malkoc 2006]. Die **Konsolidierungszeit** war in der one-step Gruppe (71 Tage) etwas länger als in der two-step Gruppe (65 Tage). In anderen Arbeiten werden ähnliche bzw. etwas höhere Retentionsphasen von 95 Tagen [Malkoc 2006], von 60 bis 90 Tagen [Del Santo 2000] und von 83 Tagen [Chung 2007] angegeben. Eine längere Retentionsphase von beispielsweise vier Monaten wäre sicherlich von Vorteil und würde einem Rezidiv durch vollständige Kallushärtung stärker entgegenwirken. Allerdings muss bei solch langen Behandlungsphasen auch immer an die Compliance der zumeist jungen Patienten gedacht werden, die unter Umständen eine solch lange Retentionsphase mit inserierter Apparatur nicht tolerieren. In der vorliegenden Arbeit wurde bei 65 von 66 Patienten mit Unterkieferexpansion auch eine transversale Verbreiterung des Oberkiefers, altersabhängig mittels SARPE oder konservativer GNE, durchgeführt. Dieses Vorgehen wird auch von anderen Autoren beschrieben [Del Santo 2000, von Bremen 2008].

Die dentale **Expansion** beider Gruppen war geringfügig größer als die ossäre Expansion. Ebenso war auch der dentale **Rückgang** der transversalen Breite bei beiden etwas größer als der ossäre. Im Bereich des Distractionsspaltes der röntgenologischen Vermessung kam es zur einer annähernd parallelen Erweiterung der beiden Unterkiefersegmente. Parallele Bewegungen der dentalen und ossären

Segmente wurden nur für knochengetragene Apparaturen, aber nicht für zahnetragene Apparaturen beschrieben [Alkan 2007, Bell 1999, Bell 1997]. Obwohl in der vorliegenden Arbeit eine zahnetragene Apparatur Verwendung fand, erreichte sie aufgrund ihrer Rigidität durch die zweifache Fixation (Zementierung an den Zähnen und interdental Federbolzenschrauben) eine parallele Bewegung. Des Weiteren wurde die lingual auf Höhe der Wurzelspitzen platzierte Schraube in das Widerstandszentrum gesetzt, was ebenfalls eine parallele Öffnung begünstigt [Alkan 2007, Del Santo 2000]. Falls die Schraube über dem Widerstandszentrum positioniert wird, führt das zu einer divergenten Bewegung mit einer stärker dentoalveolären als basalen Dehnung [Del Santo 2000]. Eine disproportionale Bewegung der Segmente hätte negative Folgen für das Kiefergelenk. Zudem ist eine dentoalveoläre Expansion stärkeren Rezidiven ausgesetzt [Del Santo 2000, Samchukov 1998, Stelnicki 2001, Strang 1949]. Braun et al. berichten, sowohl für knochengetragene, als auch zahnetragene Apparaturen, über eine laterale Versetzung der Kondylen um den Expansionsbetrag an der Symphyse [Braun 2002]. Eine geringfügige Bukkalkippung der Zähne konnte auch in dieser Untersuchung festgestellt werden. Ein Grund hierfür könnte die hohe Zahl (n = 34) an Patienten sein, die während des Zahnwechsels behandelt wurden [Ploder 2009]. Dies zeigen auch die dental höheren Rückgangswerte und lassen sich durch die stärkeren parodontalen Rückstellkräfte des Zahnhalteapparates erklären. Beide Techniken wiesen posterior die geringsten Expansionswerte auf. Nach anterior nahmen diese Werte zu. Dies zeigt, dass die Expansion in der axialen Ebene v-förmig vollzogen wurde und sich gedanklich die Spitze des „v“ posterior befindet. Somit wird das Risiko für eine zu starke Lateralbewegung der Kondylen minimiert. Eine andere Studie zeigte die größte Expansion auf Höhe der 2. Prämolaren und 1. Molaren und den geringsten Zuwachs auf Höhe der Eckzähne und 1. Prämolaren [Del Santo 2000]. Weitere Studien geben ebenfalls die größte Expansion anterior an, welche nach posterior abnimmt [Chung 2007, Malkoc 2006]. Die **one-step** Gruppe erzielte auf dentalem und ossärem Niveau eine größere Expansion als die **two-step** Gruppe, obwohl die Distraktionszeit (one-step: 18 Tage, two-step: 24 Tage) innerhalb der one-step Gruppe kürzer war. Auf dentalem Niveau des 1. Prämolaren war die Expansion der two-step Gruppe geringfügig größer. Auf ossärem Niveau des 1. Molaren war die Expansion der one-step Gruppe größer. Der **dentale Rückgang** war in der one-step Gruppe mit 29% deutlich größer als in der two-step Gruppe mit 13%.

Auch der ossäre Rückgang war in der one-step Gruppe mit 24% höher als in der two-step Gruppe mit 2%. Beide Gruppen hatten im Bereich des Eckzahnes den größten Rückgang. Dies ist auf die engstandsbedingte Mesialisierung des Eckzahnes zurückzuführen. Deutlich mehr dentalen Rückgang hatte die one-step Gruppe auf dem Niveau des 1. Molaren und bezüglich des ossären Rückgangs auf dem Niveau der beiden Prämolaren und des 1. Molaren. Dies ist auf eine weitere Expansion zum Zeitpunkt T5, innerhalb der two-step Gruppe im Bereich von diesen Zähnen zurückzuführen. Die zusätzliche Expansion kann durch kieferorthopädische Feinjustierung bewirkt worden sein. Der stärkere Rückgang der transversalen Breite innerhalb der one-step Gruppe trat ein, obwohl die one-step Gruppe (71 Tage) eine längere Konsolidierungszeit hatte als die two-step Gruppe (65 Tage). Die deutlich größeren Expansions- und Rückgangswerte innerhalb der one-step Gruppe sind auf die präoperative Vordehnung im dentoalveolären Bereich des Unterkiefers für ca. sechs Wochen und die damit einhergehende verstärkten Rückstellkräfte des dentoalveolären Komplexes nach Abnahme des Gerätes zurückzuführen. Eine längere Konsolidierungszeit hätte sich wahrscheinlich positiv auf die Rückgangsrate ausgewirkt. Obwohl in diesem Kollektiv, ein wie zu erwartender Rückgang der transversalen Breite eintrat, waren die Expansionsergebnisse stabil. Auch andere Studien weisen über den Beobachtungszeitraum geringfügige Rückgänge auf. Allerdings sind auch deren Expansionsergebnisse stabil [Chung 2007, Malkoc 2006]. Ein deutlicher Vorteil dieser Forschungsarbeit ist die Tatsache, dass eine Untersuchung auf dentalem und ossärem Niveau erfolgt ist. Eine Vermessung auf ossärem Niveau hat nach heutigem Stand keine andere Arbeitsgemeinschaft angewandt.

Der Distractionsspalt in der **Röntgenanalyse** maß in der one-step Gruppe mit 5,7 mm etwas mehr als in der two-step Gruppe mit 5,2 mm. Der minimal größere Wert für die one-step Gruppe ergab sich offensichtlich aus der unterschiedlichen Vorbehandlung. Die dentoalveoläre Vordehnung der one-step Gruppe führte in der Summe zu größeren Expansionswerten. Dies zeigte sowohl die röntgenologische Vermessung, als auch die Modellanalyse. Im direkten Vergleich der röntgenologisch ermittelten Werte des Distractionsspalt mit den Werten der ossären Modellvermessung erkennt man, dass die Ergebnisse miteinander übereinstimmen. Die größten Expansionswerte der ossären Modellvermessung ergaben sich für beide



Gruppen auf Höhe des Eckzahnes und des 1. Prämolaren. Das bedeutet, dass anterior die größte Dehnung erfolgte. Daraus lässt sich ableiten, dass der Unterkiefer die gewünschte axiale v-förmige Expansion erfahren hat, wobei die Spitze des „v“ dorsal liegt. Diese Tatsache wirkt sich positiv auf das Kiefergelenk aus, so dass es in seiner Lage und Position offensichtlich nicht verändert wurde. Das beweisen auch die Ergebnisse der Komplikationsuntersuchung. Es lag kein Fall einer postoperativ bestehenden Kiefergelenksproblematik vor. Verantwortlich dafür könnten aber auch Anpassungsvorgänge im Kiefergelenk sein, so dass durch moderate Distraction keine klinische Symptomatik auftritt [Kewitt 1999, Mommaerts 2001]. Obwohl der Distractionsspalt in dieser Arbeit nur an einer Stelle vermessen wurde, ist der Beweis, dass die Apparatur der vorliegenden Arbeit eine parallele und gleichmäßige Expansion erzeugt, bereits durch die Voruntersuchungen von Ploder et al. erbracht worden [Ploder 2009]. Somit bestätigt sich auch die Aussage, dass die in dieser Arbeit untersuchte Apparatur dank ihrer hohen Rigidität durch die Befestigung an den Seitenzähnen und die zusätzlich interdental angebrachten Federbolzen eine deutlich parallelere Dehnung auf dentaler und ossärer Ebene schafft als vergleichbare knochengetragene Apparaturen [Ploder 2009]. Die Aussagen von Bell et al., Hollis et al. und Mommaerts, dass eine parallele Expansion nur mit knochengetragenen Apparaturen zu erreichen ist, muss widerlegt werden [Bell 1999, Bell 1997, Hollis 1998, Mommaerts 2001]

Der errechnete Attachmentverlust war in beiden Gruppen deutlich unter einem Millimeter. Diese Werte liegen innerhalb der Messtoleranz. Von diesem Standpunkt her betrachtet, ist die Behandlung als ein sicheres chirurgisches Verfahren einzustufen. Auch Mommaerts et al. untersuchten einen möglichen Attachmentverlust und berichteten, dass dieser nur transienter Natur war [Mommaerts 2005]. Die apikal gemessene Wurzeldivergenz war in der two-step Gruppe größer als in der one-step Gruppe. Gründe hierfür finden sich in der unterschiedlichen Vorbehandlung. Die Brackets in der two-step Gruppe waren mit vier Monaten Tragedauer deutlich länger inseriert als die gesamte Apparatur (inklusive der Brackets) in der one-step Gruppe mit sechs Wochen präoperativer Tragedauer. Somit erreichte die two-step Gruppe im apikalen Wurzelbereich ein größeres Platzangebot. Bezüglich der crestal gemessenen Wurzeldivergenz verhielt es sich umgekehrt. In der one-step Gruppe lag das Platzangebot bei 3,4 mm und in der two-step Gruppe bei 3,0 mm. Obwohl der Unterschied minimal war, dürfte die

Differenz an der unterschiedlichen Vorbehandlung mittels der dentoalveolären Vordehnung gelegen haben.

Allerdings spielen die unterschiedlichen Divergenzwerte im apikalen und crestalen Bereich, bezogen auf die Komplikation Zahnschädigung, eine untergeordnete Rolle. Eine Zahnschädigung wurde für beide Verfahren bei rund 7% der Patienten festgestellt. Obwohl der Unterschied bezüglich der crestalen Wurzeldivergenz zwischen den Patienten mit oder ohne Zahnschädigung nicht signifikant war, kommt der präoperativen Wurzeldivergenz eine wichtige Rolle zu. Schon Dorfmann/Turvey postulierten 1979, dass eine sichere interdentale Osteotomie nur mit einem ausreichend großen apikalen Platzangebot durchzuführen ist [Dorfman 1979].

Allgemeine Operationsrisiken wie Schwellung, Nachblutung, Schmerzen, Hämatom, oder leichte Schleimhautirritationen wurden in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht [Mommaerts 2008b, Uckan 2005, von Bremen 2008]. Die genannten **Komplikationen** sind natürliche Begleiterscheinungen bei jedem chirurgischen Eingriff und wurden daher nicht statistisch untersucht. Schwerwiegendere Komplikationen wie Mundbodenhämatome [Mommaerts 2008b] oder iatrogene Lippenverletzungen [Uckan 2005] wurden in dieser Arbeit nicht ausgewertet, da in dem vorliegenden Kollektiv keine der genannten Komplikationen auftraten. In beiden untersuchten Gruppen gab es trotz antibiotischer Abschirmung jeweils einen Fall einer lokalen **Infektion** im Operationsbereich. Obwohl Infektionen bei chirurgischen Eingriffen immer wieder auftreten, sind sie nicht gerne gesehen. Die Gruppe von Bremen et al. berichtet über einen Fall, bei dem die Infektion mit einer Abszedierung einherging [von Bremen 2008]. Mommaerts et al. beschreiben in ihrem Artikel zur Unterkieferdistraktion, dass Infektionen die häufigsten Komplikationen darstellten [Mommaerts 2008b]. Innerhalb der one-step Gruppe trat ein Fall einer **Zahnschädigung** auf. Diese Komplikation wäre vermeidbar gewesen, wenn man die geringen Werte der apikalen (4,9 mm) und crestalen (1,5 mm) präoperativen Wurzeldivergenz betrachtet. Mit einem Zuwarten und Vergrößern der Wurzeldivergenz hätte diese Komplikation verhindert werden können. Durch das geringe Platzangebot im Osteotomiespalt kam es zu einer iatrogenen Verletzung des Desmodonts [Dorfman 1979]. Durch die nachfolgende Infektion kam es zu erhöhten Taschensondiertiefen von bis zu 7 mm an den mittleren Inzisiven. Innerhalb der two-step Gruppe lag bei vier Patienten (8%) eine Zahnschädigung vor. Bei drei der vier

Patienten waren die Schädigungen nur transienter Natur und gingen im Rahmen des einjährigen Follow-ups bereits zurück. Die Vermutung, dass die meisten Zahnschädigungen nur vorübergehend seien, berichteten auch schon Mommaerts et al. [Mommaerts 2005]. Auch andere Autoren berichteten über Zahnschädigungen wie erhöhte Mobilität, Vergrößerungen des parodontalen Spalts, Zahnschmerzen [Kewitt 1999] oder Rezessionen [Uckan 2005, von Bremen 2008]. Auch über die Notwendigkeit einer endodontischen Behandlung wurde berichtet [Mommaerts 2005, von Bremen 2008]. Bei einem Patienten in dieser Studie war die Zahnschädigung so ausgeprägt, dass der entsprechende Zahn extrahiert werden musste. Hierbei muss erwähnt werden, dass dieser Patient zusätzlich eine Infektion im Operationsbereich hatte. Die präoperative Wurzeldivergenz lag in diesem Fall bei 8,2 mm apikal und 3,5 mm crestal. Somit erscheint ausreichend Platz für die Osteotomie vorhanden gewesen zu sein. Ob die Infektion den starken Attachmentverlust bedingte oder ob die Osteotomie zu nah am Zahn verlaufen ist lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht mehr nachvollziehen. Auch in der Gruppe von Bremen et al. musste ein mittlerer Schneidezahn extrahiert werden, da er durch die Osteotomie zu stark beschädigt wurde [von Bremen 2008]. Obwohl die Zahnschädigung die zweithäufigste Komplikation innerhalb dieses Kollektivs darstellt, muss konstatiert werden, dass alle bleibenden Schädigungen vermeidbar gewesen wären. Ein Grund für die geringeren Zahnschädigungen innerhalb der one-step Gruppe könnte die Lernkurve sein, da die one-step Gruppe als Weiterentwicklung der two-step Gruppe angesehen werden kann. In der one-step Gruppe lag ein Fall einer **unzureichenden Verknöcherung** im Osteotomiebereich vor. Hierbei handelte es sich um den Patienten, der bereits eine Infektion und eine Zahnschädigung erlitten hat. Denkbar wäre hierbei, dass der Knochen auf Grund der Infektion nicht mehr richtig ossifizierte. Zudem bildete sich ein Sequester in diesem Bereich. Auch eine Ausbildung einer Pseudarthrose als Folge der Infektion wäre in diesem Fall möglich gewesen [Winsauer 2011]. Geräte betreffende **technische Schwierigkeiten** wurden nicht beobachtet. Berichtet wurde bereits über Apparaturlockerung [Winsauer 2011] und Probleme mit der Expansionsschraube [von Bremen 2008, Weil 1997]. Die hier vorgestellte Apparatur ist verglichen mit anderen Apparaturen sehr sicher. Innerhalb der one-step und der two-step Gruppe lag jeweils nur ein Fall vor, in dem aufgrund der Infektion und Zahnschädigung nicht distrahiert wurde. Zudem gab es in der one-step Gruppe einen Fall, bei welchem die Distraction auf Grund einer inkompletten Osteotomie im

Bereich der lingualen Lamelle nicht möglich war. Dieser Patient musste ein zweites Mal operiert werden. Dies wäre durch eine größere Achtsamkeit beim standardmäßigen intraoperativen Aufdrehen der Apparatur zu vermeiden gewesen. Auch in der Gruppe von Bremen et al. liegen drei Fälle vor, in denen die Patienten ein zweites Mal operiert werden mussten. Dabei war die Ursache allerdings in einer zu langen Latenzzeit zu finden [von Bremen 2008]. **Übermäßige Narbenzüge**, wie sie ebenfalls in der Arbeit der Gruppe von Bremen beschrieben werden, fanden sich in dem vorliegenden Kollektiv nicht [von Bremen 2008]. **Parästhesien des Nervus mentalis** lagen ebenfalls nicht vor [Kewitt 1999]. Die häufigsten Komplikationen waren apikale **Wurzelresorptionen** (12%). In der one-step Gruppe lagen in 20% der Fälle und in der two-step Gruppe in 10% der Fälle Resorptionen vor. Dies könnte ein Hinweis sein, dass die Kräfte, die durch die one-step Apparatur ausgeübt werden, deutlich größer sind. Auch in der Literatur sind Wurzelresorptionen häufig beschriebene Komplikationen [Andersson 1999]. Probleme mit dem **Kiefergelenk** lagen in dieser Studie nicht vor, wobei die Begründung in der parallelen Expansion der Segmente liegen dürfte. Auch die Gruppe von Uckan et al. zeigte keine Probleme mit dem Kiefergelenk [Uckan 2005]. Andere berichten über vorübergehende Beschwerden [Kewitt 1999, Ploder 2009, Weil 1997].

Insgesamt lagen bei ca. 1/5 (20%) der Operationen Komplikationen vor: In der one-step Gruppe hatte 1/3 (33%) und in der two-step Gruppe 16% der Patienten Komplikationen. Die höheren Zahlen innerhalb der one-step Gruppe lassen sich auch auf die geringere Anzahl der Operierten und das neuere Vorgehen zurückführen. Es ist zu erwarten, dass in zukünftig durchgeführte Studien zur one-step Technik geringere Komplikationsraten angegeben werden, da die Technik im Sinne einer Lernkurve verbessert wurde. Auch die Gruppe von Bremen et al., die ebenfalls einen zahngetragenen Distraktor verwendete, hat mit 14% Komplikationsrate eine recht ähnliche, wenn auch etwas geringere Quote als die vorliegende Arbeit (20%) [von Bremen 2008]. Die Gruppe um Alkan et al., die alle drei Distraktortypen (zahngetragene-/knochengetragene-/Hybrid-Apparatur) untersuchte, berichtete über deutlich höhere Komplikationsraten unter den knochengetragenen Distraktoren und gibt daher den zahngetragenen Apparaturen den Vorzug [Alkan 2007].

**Zusammenfassend** erreichte die one-step Technik in einer kürzeren Distraktionsphase zunächst eine größere Expansion als die two-step Technik, hatte

aber mit 29% dentalem bzw. 24% ossärem Rückgang einen höheren Rückgang als die two-step Technik. In Summe erreichten beide Techniken sehr ähnliche Expansionswerte im Follow-up. Die dreidimensionale Expansion erfolgte in der koronaren Ebene parallel und in der axialen Ebene v-förmig. Die Komplikationsrate war in der one-step Gruppe mit 33% deutlich höher als in der two-step Gruppe mit 16%. Die two-step Technik erzielte zwar eine geringere Expansion, hatte aber auch einen geringeren dentalen (13%) und ossären (2%) Rückgang. Die Expansion zeigte auch in dieser Gruppe eine proportionale Dehnung auf allen Ebenen. Die Komplikationsrate (16%) ist ebenfalls geringer. Weitere Untersuchungen an einem größeren Kollektiv sollen zeigen, ob die Vorteile für die two-step Gruppe weiterhin überwiegen. Bei Betrachtung aller Ergebnisse sollte aktuell noch die two-step Technik bevorzugt werden. Allerdings kann eine abschließende Bewertung erst bei einer vergleichbaren Fallzahl gegeben werden, wobei sich eventuell eine Verbesserung im Sinne einer Lernkurve einstellt. Abschließend sollten weitere Untersuchungen aufzeigen, wie die Patienten die unterschiedlichen Behandlungstechniken empfunden haben. Eine Behandlung mit der one-step Technik erfordert durch die sechswöchige Vorbehandlung mit der gesamten Apparatur ein höheres Maß an Compliance. Durchschnittlich müssen die Patienten der one-step Technik die Apparatur 4,5 Monate tragen. Die Patienten der two-step Technik müssen die Apparatur rund 3 Monate tragen.

Zusammenfassend lässt sich dennoch feststellen, dass das untersuchte Vorgehen mittels einer modifizierten zahngetragenen Apparatur ein sicheres und vorhersagbares Verfahren ist. Nachteile wie längere Operationszeiten, hohe Kosten und die Notwendigkeit eines zweiten Eingriffs wie sie für knochengetragene Apparaturen gelten, entfallen hierbei [Alkan 2007].

## 6 Fazit und Ausblick

Für die Behandlung des Engstands im Oberkiefer stellt die nicht-chirurgische Erweiterung mittels MAS-Apparatur bei Jugendlichen, als auch bei Erwachsenen die Therapie der Wahl dar. Mit einer multizyklischen Expansion/Kompression kann die Sutura palatina mediana im Oberkiefer sogar bei Erwachsenen geschwächt werden und ermöglicht eine maximale Expansion von 4 mm. Bei größeren Expansionen kann das gleiche Verfahren gewählt werden und die Sutura palatina mediana durch die multizyklische Vorbehandlung geschwächt werden. Durch diese Schwächung kann der Eingriff zur SARPE deutlich verkleinert werden, da die Sutura palatina mediana des Oberkiefers nicht mehr mit einer Säge, sondern nur noch mit einem Skalpell separiert werden muss. Ein Einsatzgebiet für die herkömmlichen knochengetragenen Apparaturen kann aus heutiger Sicht nicht mehr gesehen werden. Gegen diese Apparaturen sprechen die hohe Komplikationsrate, die teilweise unzureichende Expansion und die teilweise auftretenden technischen Schwierigkeiten mit diesen Apparaturen. Diesbezüglich sollten im Rahmen einer prospektiven Studie die Unterschiede neu bewertet werden und das neuartige Behandlungsprotokoll (multizyklische Vorbehandlung) untersucht werden. Im Zuge dessen wäre zu überlegen, ob eine Biopsie zur histologischen Aufarbeitung der Sutura palatina mediana im Oberkiefer neue Erkenntnisse bringt. Aus der Erfahrung kann jedoch vermutet werden, dass dieses multizyklische Modell der Vorbehandlung eine deutliche Schwächung des Oberkiefers in der Mittellinie ermöglicht und somit den chirurgischen Eingriff bzw. die Komplikation einer Zahnschädigung minimiert. Ob dieses Verfahren (MAS) auch bei deutlich älteren Patienten (> 45 Jahre) anwendbar wäre oder durch vollständige Obliteration der Sutura palatina verhindert wird, ist noch unklar, da in dieser Studie nur deutlich jüngere Patienten behandelt wurden.

Im Unterkiefer haben die zahngetragenen Apparaturen die knochengetragenen Apparaturen vollkommen abgelöst und es muss festgehalten werden, dass die knochengetragenen Apparaturen aufgrund der Komplikationsrate, der Kosten, des invasiven Zugangs und des Zweiteingriffs zur Entfernung des Apparates nicht mehr eingesetzt werden sollten. Die von dem Behandlungszentrum in Bregenz - Österreich entwickelte Methode mittels einer zahngetragenen Apparatur die Unterkiefermittellinie zu verbreitern, hat diese Methode auch für die Praxis tauglich gemacht. Hinsichtlich der Methodik (one-step versus two-step) bleibt jedoch noch abzuwarten, inwiefern die one-step Methode die mögliche Zahnschädigung

reduzieren kann. Dies kann schlussendlich nur im Rahmen einer prospektiven randomisierten Studie untersucht werden.

Die hier vorliegende Arbeit wurde im Gegensatz zu anderen Studien interdisziplinär (Kieferorthopädie, MKG-Chirurgie) durchgeführt. Der Vorteil einer solchen kooperativen Zusammenarbeit liegt darin, durch den regen Austausch von Wissen und gewonnenen Erfahrungen, Fehler zu reduzieren bzw. vermeidbar zu machen. Zudem schafft die multizentrische Zusammenarbeit (München - Deutschland, Feldkirch - Österreich, Bregenz - Österreich) größere Fallzahlen zu generieren, um eine statistisch signifikante Aussage zu erhalten. Als Nachteil kann angesehen werden, dass in den verschiedenen Behandlungszentren sowohl die Indikationsstellung und die Patientenselektion, als auch die Nachbehandlung unterschiedlich waren. Daher ist die Datenlage bezüglich der erhobenen Befunde durch den retrospektiven Charakter der Studie einer großen Variation unterworfen. Daher sollten zukünftige Studien prospektiv mit Hilfe eines standardisierten Protokolls bezüglich der Vor- und Nachbehandlung und der Operation durchgeführt werden, dem an allen beteiligten Zentren Beachtung geschenkt wird.

## 7 Zusammenfassung

**Einleitung:** Das Ziel dieser longitudinalen Vergleichsstudie war es mittels klinischen und radiologischen Untersuchungen unterschiedliche Apparaturen für die Expansion im Ober- und Unterkiefer zu analysieren.

**Patienten und Methode:** 131 Patienten wurden im Zeitraum von 2004 bis 2012 an 3 Kliniken (München - Deutschland, Feldkirch - Österreich, Bregenz - Österreich) im Oberkiefer (n = 65) und im Unterkiefer (n = 66) erweitert. Im Oberkiefer wurden bei 47 Patienten (27,2 ± 8,2 Jahre) eine „Surgically Assisted Rapid Palate Expansion“ (SARPE) durchgeführt (n = 29 zahn- bzw. n = 18 knochengetragene Apparatur). Bei 18 Patienten (23,7 ± 6,4 Jahre) wurde mit einer Miniankerschrauben-Apparatur (MAS) ohne SARPE die Expansion im OK konservativ durchgeführt. Im UK wurde bei 66 Patienten eine zahngetragene Apparatur verwendet, wobei entweder die one-step (n = 15; 18,3 ± 7,4 Jahre) oder die two-step Technik (n = 51; 14,2 ± 7,7 Jahre) verwendet wurde.

Es wurden von allen Patienten prä- und postoperativ Modelle erstellt, um die Distanzen der korrespondierenden Zähne bzw. der knöchernen Anteile mittels einer elektronischen Schieblehre zu vermessen. Im Orthopantomogramm (OPT) wurden der Distractionsspalt und die Breite der präoperativen Wurzeldivergenz der UK Inzisiven vermessen. Klinische Untersuchungen (Zahnmobilität, Taschensondiertiefen, Sensibilität) wurden durchgeführt, um eine Aussage über die Komplikationsrate zu erhalten. Eine statistische Auswertung wurde durchgeführt.

**Ergebnisse:** Anhand der Modellvermessung ergab sich im Oberkiefer eine mittlere Expansion (MW ± SD) von 3,04 ± 1,42 mm (MAS), 4,88 ± 2,15 mm (knochengetragen), 6,32 ± 2,09 mm (zahngetragen) auf dentalen und von 3,17 ± 1,61 mm (MAS), 4,43 ± 2,05 mm (knochengetragen), 5,73 ± 1,79 mm (zahngetragen) auf ossärer Ebene. Anhand der OPT-Vermessung ergab sich im OK eine Breite des Distractionsspalt von 7,02 ± 1,59 mm (MAS), 7,04 ± 2,15 mm (knochengetragen), 7,33 ± 3,23 mm (zahngetragen). Ein Jahr postoperativ ergab sich ein Rückgang der transversalen Breite von 6% (MAS), 12% (knochengetragen), 24% (zahngetragen) auf dentalem Niveau und von 5% (MAS), 13% (knochengetragen), 23% (zahngetragen) auf ossärem Niveau für den Oberkiefer. Die Komplikationsrate lag bei 28% (MAS), 50% (knochengetragen) und 21% (zahngetragen).

Anhand der Modellvermessung ergab sich im Unterkiefer eine mittlere Expansion von 5,99 ± 2,29 mm (one-step), 5,45 ± 1,99 mm (two-step) auf dentalem und von



5,02 ± 1,45 mm (one-step), 4,03 ± 1,87 mm (two-step) auf ossärem Niveau. Für den UK ergab sich eine Breite des Distractionsspaltes von 5,72 ± 2,70 mm (one-step) und von 5,19 ± 2,04 mm (two-step). Ein Jahr postoperativ ergab sich ein Rückgang der transversalen Breite von 29% (one-step), 13% (two-step) auf dentalem und von 24% (one-step), 2% (two-step) auf ossärem Niveau für den Unterkiefer. Die Komplikationsrate lag bei 33% (one-step) und bei 16% (two-step).

**Zusammenfassung:** Im Oberkiefer ergaben der Distractionsspalt und die Modellvermessung eine parallele Expansion in anterior-posteriorer Richtung für die zahn- und knochengetragene Apparatur. Eine dentoalveoläre Kippung wurde für die zahngetragene Apparatur nicht beobachtet. Der zahngetragenen Apparatur ist auf Grund der geringeren Anzahl an Komplikationen gegenüber der knochengetragenen Apparatur der Vorzug zu geben. Die Methode der MAS-Apparatur ist aufgrund der geringeren Expansion bei Patienten mit kleinen Engständen mittels eines speziellen Distractionprotokolls anzuwenden.

Im Unterkiefer ergaben sowohl die one-step, als auch die two-step Methode stabile Resultate, bezogen auf die transversale Breite und eine geringe Morbidität. Die Expansion vollzog sich v-förmig. Hierbei war die größte Expansion anterior und die kleinste posterior im Bereich der Kondylen zu finden. Somit konnte eine negative Beeinflussung der Kiefergelenke verhindert werden.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Adkins, M.D., Nanda, R.S., Currier, G.F. Arch perimeter changes on rapid palatal expansion. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 97 (1990) 194-199
2. Albuquerque, G.C., Gonçalves, A.G.B., Tieghi Neto, V., Nogueira, A.S., Assis, D.S.F.R.d., Gonçalves, E.S. Complications following surgically assisted maxillary expansion. Revista de Odontologia da UNESP 42 (2013) 20-24
3. Alkan, A., Ozer, M., Bas, B., Bayram, M., Celebi, N., Inal, S., Ozden, B. Mandibular symphyseal distraction osteogenesis: review of three techniques. International journal of oral and maxillofacial surgery 36 (2007) 111-117
4. Alpern, M.C., Yurosko, J.J. Rapid palatal expansion in adults with and without surgery. The Angle orthodontist 57 (1987) 245-263
5. Altug Atac, A.T., Karasu, H.A., Aytac, D. Surgically assisted rapid maxillary expansion compared with orthopedic rapid maxillary expansion. The Angle orthodontist 76 (2006) 353-359
6. Andersson, L. Long-term effect of mandibular midline distraction osteogenesis on the status of the temporomandibular joint, teeth, periodontal structures, and neurosensory function. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery 57 (1999) 1426
7. Angell, E.H. Treatment of irregularity of the permanent or adult teeth. Dental Cosmos 1 (1860) 540-544
8. Anttila, A., Finne, K., Keski-Nisula, K., Somppi, M., Panula, K., Peltomaki, T. Feasibility and long-term stability of surgically assisted rapid maxillary expansion with lateral osteotomy. European journal of orthodontics 26 (2004) 391-395
9. Aumüller, G. Kopf - Schädel und mimische Muskulatur. (2010a) In: "Duale Reihe Anatomie", Aumüller G, Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W., Wurzinger, L., Zilch, H-G. (Hrsg.) Thieme-Verlag Stuttgart, 2010a, 2. Auflage, 852-881
10. Aumüller, G., Doll, A. Mundhöhle und Kauapparat. (2010b) In: "Duale Reihe Anatomie", Aumüller G, Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W., Wurzinger, L., Zilch, H-G. (Hrsg.) Thieme-Verlag Stuttgart, 2010b, 2. Auflage, 907-940
11. Baccetti, T., Franchi, L., Cameron, C.G., McNamara, J.A., Jr. Treatment timing for rapid maxillary expansion. The Angle orthodontist 71 (2001) 343-350
12. Bayram, M., Ozer, M., Arici, S., Alkan, A. Nonextraction treatment with rapid maxillary expansion and mandibular symphyseal distraction osteogenesis and vertical skeletal dimensions. The Angle orthodontist 77 (2007) 266-272
13. Bays, R.A., Greco, J.M. Surgically assisted rapid palatal expansion: an outpatient technique with long-term stability. Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 50 (1992) 110-113

14. Bell, R.A., LeCompte, E.J. The effects of maxillary expansion using a quad-helix appliance during the deciduous and mixed dentitions. *American journal of orthodontics* 79 (1981) 152-161
15. Bell, W.H., Epker, B.N. Surgical-orthodontic expansion of the maxilla. *American journal of orthodontics* 70 (1976) 517-528
16. Bell, W.H., Gonzalez, M., Samchukov, M.L., Guerrero, C.A. Intraoral widening and lengthening of the mandible in baboons by distraction osteogenesis. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 57 (1999) 548-562
17. Bell, W.H., Harper, R.P., Gonzalez, M., Cherkashin, A.M., Samchukov, M.L. Distraction osteogenesis to widen the mandible. *The British journal of oral & maxillofacial surgery* 35 (1997) 11-19
18. Berger, J.L., Pangrazio-Kulbersh, V., Borgula, T., Kaczynski, R. Stability of orthopedic and surgically assisted rapid palatal expansion over time. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 114 (1998) 638-645
19. Betts, N.J., Sturtz, D.H., Aldrich, D.A. Treatment of transverse (width) discrepancies in patients who require isolated mandibular surgery: the case for maxillary expansion. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 62 (2004) 361-364
20. Betts, N.J., Vanarsdall, R.L., Barber, H.D., Higgins-Barber, K., Fonseca, R.J. Diagnosis and treatment of transverse maxillary deficiency. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery* 10 (1995) 75-96
21. Bicakci, A.A., Agar, U., Sokucu, O., Babacan, H., Doruk, C. Nasal airway changes due to rapid maxillary expansion timing. *The Angle orthodontist* 75 (2005) 1-6
22. Biederman, W. A hygienic appliance for rapid expansion. *JPO: the journal of practical orthodontics* 2 (1968) 67-70
23. Biederman, W. Rapid correction of Class III malocclusion by midpalatal expansion. *American journal of orthodontics* 63 (1973) 47-55
24. Bierenbroodspot, F., Wering, P.C., Kuijpers-Jagtman, A.M., Stoelinga, P.J. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a retrospective study. *Nederlands tijdschrift voor tandheelkunde* 109 (2002) 299-302
25. Bishara, S.E., Staley, R.N. Maxillary expansion: clinical implications. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 91 (1987) 3-14
26. Braun, S., Bottrel, J.A., Legan, H.L. Condylar displacement related to mandibular symphyseal distraction. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 121 (2002) 162-165
27. Brown, G.V.I. (1938) *The surgery of oral and facial diseases and malformations* Kimpton. London
28. Byloff, F.K., Mossaz, C.F. Skeletal and dental changes following surgically assisted rapid palatal expansion. *European journal of orthodontics* 26 (2004) 403-409

29. Capelozza Filho, L., Cardoso Neto, J., da Silva Filho, O.G., Ursi, W.J. Non-surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery* 11 (1996) 57-66; discussion 67-70
30. Chamberland, S., Proffit, W.R. Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 139 (2011) 815-822
31. 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. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 38 (2009) 937-941
32. Chung, C.H., Woo, A., Zagarinsky, J., Vanarsdall, R.L., Fonseca, R.J. Maxillary sagittal and vertical displacement induced by surgically assisted rapid palatal expansion. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 120 (2001) 144-148
33. Chung, Y.W., Tae, K.C. Dental stability and radiographic healing patterns after mandibular symphysis widening with distraction osteogenesis. *European journal of orthodontics* 29 (2007) 256-262
34. Conley, R., Legan, H. Mandibular symphyseal distraction osteogenesis: diagnosis and treatment planning considerations. *The Angle orthodontist* 73 (2003) 3-11
35. Contasti, G., Guerrero, C., Rodriguez, A.M., Legan, H.L. Mandibular widening by distraction osteogenesis. *Journal of clinical orthodontics : JCO* 35 (2001) 165-173
36. Cozza, P., Giancotti, A., Petrosino, A. Rapid palatal expansion in mixed dentition using a modified expander: a cephalometric investigation. *Journal of orthodontics* 28 (2001) 129-134
37. Davidovitch, M., Efstathiou, S., Sarne, O., Vardimon, A.D. Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 127 (2005) 483-492
38. de Assis, D.S., Xavier, T.A., Noritomi, P.Y., Goncales, E.S. Finite element analysis of bone stress after SARPE. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 72 (2014) 167-e1
39. de Freitas, R.R., Goncalves, A.J., Moniz, N.J., Maciel, F.A. Surgically assisted maxillary expansion in adults: prospective study. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 37 (2008) 797-804
40. de Gijt, J.P., Vervoorn, K., Wolvius, E.B., Van der Wal, K.G., Koudstaal, M.J. Mandibular midline distraction: a systematic review. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 40 (2012) 248-260
41. Del Santo, M., Jr., Guerrero, C.A., Buschang, P.H., English, J.D., Samchukov, M.L., Bell, W.H. Long-term skeletal and dental effects of mandibular

- symphyseal distraction osteogenesis. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 118 (2000) 485-493
42. Dibbets, J., Müller, B. Postnatales Wachstum des Gesichtsschädels. (2011) In: "Kieferorthopädie", Sander, F.G., Schwenger, N., Ehrenfeld, M. (Hrsg.) Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York, 2011, 2. Auflage, 2-13
43. Dorfman, H.S., Turvey, T.A. Alterations in osseous crestal height following interdental osteotomies. Oral surgery, oral medicine, and oral pathology 48 (1979) 120-125
44. Duran, I., Malkoc, S., Iseri, H., Tunalı, M., Tosun, M., Kucukkolbasi, H. Microscopic evaluation of mandibular symphyseal distraction osteogenesis. The Angle orthodontist 76 (2006) 369-374
45. Garrett, B.J., Caruso, J.M., Rungcharassaeng, K., Farrage, J.R., Kim, J.S., Taylor, G.D. Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics 134 (2008) 8-9
46. Gerlach, K.L., Zahl, C. Transversal palatal expansion using a palatal distractor. Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie 64 (2003) 443-449
47. Gilon, Y., Heymans, O., Limme, M., Brandt, L., Raskin, S. Indications and implications of surgical maxillary expansion in orthodontic surgery. Revue de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale 101 (2000) 252-258
48. Glassman, A.S., Nahigian, S.J., Medway, J.M., Aronowitz, H.I. Conservative surgical orthodontic adult rapid palatal expansion: sixteen cases. American journal of orthodontics 86 (1984) 207-213
49. Goldenberg, D.C., Alonso, N., Goldenberg, F.C., Gebrin, E.S., Amaral, T.S., Scanavini, M.A., Ferreira, M.C. Using computed tomography to evaluate maxillary changes after surgically assisted rapid palatal expansion. The Journal of craniofacial surgery 18 (2007) 302-311
50. Gottlieb, E.L., Nelson, A.H., Vogels, D.S., 3rd 1990 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. 1. Results and trends. Journal of clinical orthodontics : JCO 25 (1991) 145-156
51. Guerrero, C. Rapid mandibular expansion. Rev Venez Ortod 48 (1990) 1-2
52. Guerrero, C.A., Bell, W.H., Contasti, G.I., Rodriguez, A.M. Mandibular widening by intraoral distraction osteogenesis. The British journal of oral & maxillofacial surgery 35 (1997) 383-392
53. Gunbay, T., Akay, M.C., Aras, A., Gomel, M. Effects of transmandibular symphyseal distraction on teeth, bone, and temporomandibular joint. Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 67 (2009) 2254-2265
54. Gunbay, T., Akay, M.C., Gunbay, S., Aras, A., Koyuncu, B.O., Sezer, B. Transpalatal distraction using bone-borne distractor: clinical observations and dental and skeletal changes. Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 66 (2008) 2503-2514

55. Haas, A.J. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *The Angle orthodontist* 31 (1961) 73-90
56. Haas, A.J. The Treatment of Maxillary Deficiency by Opening the Midpalatal Suture. *The Angle orthodontist* 35 (1965) 200-217
57. Haas, A.J. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *American journal of orthodontics* 57 (1970) 219-255
58. Hackney, F.L., Van Sickels, J.E., Nummikoski, P.V. Condylar displacement and temporomandibular joint dysfunction following bilateral sagittal split osteotomy and rigid fixation. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 47 (1989) 223-227
59. Handelman, C. Palatal expansion in adults: the nonsurgical approach. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 140 (2011) 462-468
60. Handelman, C.S. Nonsurgical rapid maxillary alveolar expansion in adults: a clinical evaluation. *The Angle orthodontist* 67 (1997) 291-308
61. Handelman, C.S., Wang, L., BeGole, E.A., Haas, A.J. Nonsurgical rapid maxillary expansion in adults: report on 47 cases using the Haas expander. *The Angle orthodontist* 70 (2000) 129-144
62. Hankemeier, S., Bastian, L., Gosling, T., Krettek, C. Principles of callus distraction. *Der Unfallchirurg* 107 (2004) 945-958
63. Hoffmeister, B. Chirurgie der Dysgnathien. (2007) In: "Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie", Horch, H.H. (Hrsg.) Urban & Fischer München-Jena, 2007, 4. Auflage, 553-608
64. Holberg, C. Effects of rapid maxillary expansion on the cranial base--an FEM-analysis. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie* 66 (2005) 54-66
65. Hollis, B.J., Block, M.S., Gardiner, D., Chang, A. An experimental study of mandibular arch widening in the dog using distraction osteogenesis. *Journal of oral and maxillofacial surgery* 56 (1998) 330-338
66. Ilizarov, G.A. The possibilities offered by our method for lengthening various segments in upper and lower limbs. *Basic life sciences* 48 (1988a) 323-324
67. Ilizarov, G.A. The principles of the Ilizarov method. *Bulletin of the Hospital for Joint Diseases Orthopaedic Institute* 48 (1988b) 1-11
68. Ilizarov, G.A. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clinical orthopaedics and related research* (1989a) 263-285
69. Ilizarov, G.A. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. *Clinical orthopaedics and related research* (1989b) 249-281
70. Isaacson, R.J., Ingram, A.H. Forces produced by rapid maxillary expansion: II. Forces present during treatment. *The Angle orthodontist* 34 (1964a) 261-270
71. Isaacson, R.J., Wood, J.L., Ingram, A.H. Forces produced by rapid maxillary expansion: I. Design of the force measuring system. *The Angle orthodontist* 34 (1964b) 256-260

72. Iseri, H., Malkoc, S. Long-term skeletal effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis. An implant study. *European journal of orthodontics* 27 (2005) 512-517
73. Joos, U., Kleinheinz, J. Klinisch relevante Syndrome im Kopfbereich. (2007) In: "Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie", Horch, HH (Hrsg.) Urban & Fischer München-Jena, 2007, 4. Auflage, 387-418
74. Kahl-Nike, B. Behandlung. (2010a) In: "Einführung in die Kieferorthopädie", Kahl-Nike, B (Hrsg.) Deutscher Zahnärzte-Verlag Köln, 2010a, 3. Auflage, 253-327
75. Kahl-Nike, B. Postnatale Entwicklung und Wachstum. (2010b) In: "Einführung in die Kieferorthopädie", Kahl-Nike, B (Hrsg.) Deutscher Zahnärzte-Verlag Köln, 2010b, 3. Auflage, 33-44
76. Kahl-Nike, B. Pränatale Schädelentwicklung. (2010c) In: "Einführung in die Kieferorthopädie", Kahl-Nike, B (Hrsg.) Deutscher Zahnärzte-Verlag Köln, 2010c, 3. Auflage, 19-32
77. Karabouta, I., Martis, C. The TMJ dysfunction syndrome before and after sagittal split osteotomy of the rami. *Journal of maxillofacial surgery* 13 (1985) 185-188
78. Kennedy, J.W., 3rd, Bell, W.H., Kimbrough, O.L., James, W.B. Osteotomy as an adjunct to rapid maxillary expansion. *American journal of orthodontics* 70 (1976) 123-137
79. Kewitt, G.F., Van Sickels, J.E. Long-term effect of mandibular midline distraction osteogenesis on the status of the temporomandibular joint, teeth, periodontal structures, and neurosensory function. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 57 (1999) 1419-1425
80. Knaup, B., Yildizhan, F., Wehrbein, H. Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie* 65 (2004) 467-474
81. Korbmacher, H., Huck, L., Merkle, T., Kahl-Nieke, B. Das klinische Profil der Gaumennahterweiterung–Ergebnisse einer nationalen Umfrage. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie* 6 (2005) 72
82. Korn, E.L., Baumrind, S. Transverse development of the human jaws between the ages of 8.5 and 15.5 years, studied longitudinally with use of implants. *Journal of dental research* 69 (1990) 1298-1306
83. Koudstaal, M.J., Poort, L.J., van der Wal, K.G., Wolvius, E.B., Prahli-Andersen, B., Schulten, A.J. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 34 (2005) 709-714
84. Koudstaal, M.J., Smeets, J.B., Kleinrensink, G.J., Schulten, A.J., van der Wal, K.G. Relapse and stability of surgically assisted rapid maxillary expansion: an anatomic biomechanical study. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 67 (2009a) 10-14
85. Koudstaal, M.J., van der Wal, K.G., Wolvius, E.B., Schulten, A.J. The Rotterdam Palatal Distractor: introduction of the new bone-borne device and

- report of the pilot study. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 35 (2006) 31-35
86. Koudstaal, M.J., Wolvius, E.B., Schulten, A.J., Hop, W.C., van der Wal, K.G. Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *International journal of oral and maxillofacial surgery* 38 (2009b) 308-315
87. Landes, C.A., Laudemann, K., Sader, R., Mack, M. Prospective changes to condylar position in symphyseal distraction osteogenesis. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 106 (2008a) 163-172
88. Landes, C.A., Stubinger, S., Ballon, A., Sader, R. Piezoosteotomy in orthognathic surgery versus conventional saw and chisel osteotomy. *Oral and maxillofacial surgery* 12 (2008b) 139-147
89. Landes, C.A., Stubinger, S., Rieger, J., Williger, B., Ha, T.K., Sader, R. Critical evaluation of piezoelectric osteotomy in orthognathic surgery: operative technique, blood loss, time requirement, nerve and vessel integrity. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 66 (2008c) 657-674
90. Lanigan, D.T., Mintz, S.M. Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: review of the literature and report of a case. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 60 (2002) 104-110
91. Laudemann, K., Petruchin, O., Nafzger, M., Ballon, A., Kopp, S., Sader, R.A., Landes, C.A. Long-term 3D cast model study: bone-borne vs. tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion due to secondary variables. *Oral and maxillofacial surgery* 14 (2010) 105-114
92. Lefoulon, P.J. *Orthopédie dentaire. Gazette de l'hôpital* (1839) 111-119
93. Lefoulon, P.J. (1841) *Nouveau traité théorique et pratique de l'art dentaire du dentiste*. Paris, Fortin. Masson
94. Lehman, J.A., Jr., Haas, A.J. Surgical-orthodontic correction of transverse maxillary deficiency. *Clinics in plastic surgery* 16 (1989) 749-755
95. Li, K.K., Meara, J.G., Rubin, P.A. Orbital compartment syndrome following orthognathic surgery. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 53 (1995) 964-968
96. Lindorf, H.H., Müller-Herzog, R. Die chirurgisch gesteuerte maxilläre Expansion durch selektive Schwächung der Gesichtspfeiler. *ZMK Z Zahnheilkd Management Kultur* 22 (2006) 6-18
97. Lines, P.A. Adult rapid maxillary expansion with corticotomy. *American journal of orthodontics* 67 (1975) 44-56
98. Little, R.M. The irregularity index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. *American journal of orthodontics* 68 (1975) 554-563
99. Little, R.M., Riedel, R.A., Stein, A. Mandibular arch length increase during the mixed dentition: postretention evaluation of stability and relapse. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 97 (1990) 393-404



100. Liu, S., Xu, T., Zou, W. Effects of rapid maxillary expansion on the midpalatal suture: a systematic review. *European journal of orthodontics* 37 (2015) 651-655
101. Magnusson, A., Bjerklin, K., Kim, H., Nilsson, P., Marcusson, A. Three-dimensional assessment of transverse skeletal changes after surgically assisted rapid maxillary expansion and orthodontic treatment: a prospective computerized tomography study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 142 (2012) 825-833
102. Malkoc, S., Iseri, H., Karaman, A.I., Mutlu, N., Kucukkolbasi, H. Effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis on mandibular structures. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 130 (2006) 603-611
103. Malkoc, S., Usumez, S., Iseri, H. Long-term effects of symphyseal distraction and rapid maxillary expansion on pharyngeal airway dimensions, tongue, and hyoid position. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 132 (2007) 769-775
104. Matteini, C., Mommaerts, M.Y. Posterior transpalatal distraction with pterygoid disjunction: a short-term model study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 120 (2001) 498-502
105. McNamara, J.A., Brudon, W.L., Kokich, V.G. "Orthodontics and dentofacial orthopedics" Needham Press 2001
106. Mehra, P., Cottrell, D.A., Caiazzo, A., Lincoln, R. Life-threatening, delayed epistaxis after surgically assisted rapid palatal expansion: a case report. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 57 (1999) 201-204
107. Melsen, B. Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *American journal of orthodontics* 68 (1975) 42-54
108. Mommaerts, M.Y. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *The British journal of oral & maxillofacial surgery* 37 (1999) 268-272
109. Mommaerts, M.Y. Bone anchored intraoral device for transmandibular distraction. *The British journal of oral & maxillofacial surgery* 39 (2001) 8-12
110. Mommaerts, M.Y., Ali, N., Correia, P. The concept of bimaxillary transverse osteodistraction: a paradigm shift? *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie : MKG* 8 (2004) 211-216
111. Mommaerts, M.Y., Collado, J., Mareque Bueno, J. Morbidity related to "endocorticotomies" for transpalatal osteodistraction. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 36 (2008a) 198-202
112. Mommaerts, M.Y., Polsbroek, R., Santler, G., Correia, P.E., Abeloos, J.V., Ali, N. Anterior transmandibular osteodistraction: clinical and model observations. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 33 (2005) 318-325

113. Mommaerts, M.Y., Spaey, Y.J., Soares Correia, P.E., Swennen, G.R. Morbidity related to transmandibular distraction osteogenesis for patients with developmental deformities. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 36 (2008b) 192-197
114. Mordenfeld, A., Andersson, L. Periodontal and pulpal condition of the central incisors after midline osteotomy of the maxilla. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 57 (1999) 523-529
115. Mossaz, C.F., Byloff, F.K., Richter, M. Unilateral and bilateral corticotomies for correction of maxillary transverse discrepancies. *European journal of orthodontics* 14 (1992) 110-116
116. Neubert, J., Somsiri, S., Howaldt, H.P., Bitter, K. Surgical expansion of midpalatal suture by means of modified Le Fort I osteotomy. *Deutsche Zeitschrift für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie* 13 (1989) 57-64
117. Neyt, N.M., Mommaerts, M.Y., Abeloos, J.V., De Clercq, C.A., Neyt, L.F. Problems, obstacles and complications with transpalatal distraction in non-congenital deformities. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 30 (2002) 139-143
118. Northway, W.M., Meade, J.B., Jr. Surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparison of technique, response, and stability. *The Angle orthodontist* 67 (1997) 309-320
119. Oliveira, T.F.M., Santos-Pinto, A., Gabrielli, M.F.R., Pereira Filho, V.A. Lack of bone healing: an unusual complication following surgically assisted rapid palatal expansion. *Oral Surgery* 7.S1 (2014) 21-26
120. Ozturk, M., Doruk, C., Ozec, I., Polat, S., Babacan, H., Bicakci, A.A. Pulpal blood flow: effects of corticotomy and midline osteotomy in surgically assisted rapid palatal expansion. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 31 (2003) 97-100
121. Persson, M., Thilander, B. Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *American journal of orthodontics* 72 (1977) 42-52
122. Petrick, S., Hothan, T., Hietschold, V., Schneider, M., Harzer, W., Tausche, E. Bone density of the midpalatal suture 7 months after surgically assisted rapid palatal expansion in adults. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 139 (2011) 109-116
123. Phillips, C., Medland, W.H., Fields, H.W., Jr., Proffit, W.R., White, R.P., Jr. Stability of surgical maxillary expansion. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery* 7 (1992) 139-146
124. Pinto, P.X., Mommaerts, M.Y., Wreakes, G., Jacobs, W.V. Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 59 (2001) 994-1000
125. Ploder, O., Kohnke, R., Klug, C., Kolk, A., Winsauer, H. Three-dimensional measurement of the mandible after mandibular midline distraction using a cemented and screw-fixated tooth-borne appliance: a clinical study. *Journal of*

- oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 67 (2009) 582-588
126. Pogrel, M.A., Kaban, L.B., Vargervik, K., Baumrind, S. Surgically assisted rapid maxillary expansion in adults. The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery 7 (1992) 37-41
  127. Prado, G.P., Pereira, M.D., Bilo, J.P., Furtado, F., Ferreira, L.M. Stability of surgically assisted rapid palatal expansion: a randomized trial. Journal of dental research 92 (2013) S49-S54
  128. Proffit, W.R., Fields, H.W. The biologic basis of orthodontic therapy. Contemporary orthodontics (2000) 331-358
  129. Ramieri, G.A., Spada, M.C., Austa, M., Bianchi, S.D., Berrone, S. Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinical and radiological results. International journal of oral and maxillofacial surgery 34 (2005) 357-363
  130. Raoul, G., Wojcik, T., Ferri, J. Outcome of mandibular symphyseal distraction osteogenesis with bone-borne devices. The Journal of craniofacial surgery 20 (2009) 488-493
  131. Samchukov, M.L., Cope, J.B., Harper, R.P., Ross, J.D. Biomechanical considerations of mandibular lengthening and widening by gradual distraction using a computer model. Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 56 (1998) 51-59
  132. Sander, C. Gaumennahterweiterung. (2011) In: "Kieferorthopädie", Sander, FG, Schwenzer, N, Ehrenfeld, M. (Hrsg.) Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York, 2011, 2. Auflage, 196-209
  133. Schuster, G., Borel-Scherf, I., Schopf, P.M. Frequency of and complications in the use of RPE appliances--results of a survey in the Federal State of Hesse, Germany. Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie 66 (2005) 148-161
  134. Schwarz, A., Watzke, I. Kieferorthopädische Gaumennahterweiterung (RPE) versus chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung (SARPE)–eine Gegenüberstellung. Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie 41 (2009) 253-258
  135. Seeberger, R., Kater, W., Davids, R., Thiele, O.C. Long term effects of surgically assisted rapid maxillary expansion without performing osteotomy of the pterygoid plates. Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery 38 (2010) 175-178
  136. Seeberger, R., Kater, W., Davids, R., Thiele, O.C., Edelmann, B., Hofele, C., Freier, K. Changes in the mandibular and dento-alveolar structures by the use of tooth borne mandibular symphyseal distraction devices. Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery 39 (2011) 177-181
  137. Seitz, O., Landes, C., Dissmann, J.P., Sader, R., Klein, C. First experiences in maxillary arch expansion using the MWD (Maxillary Widening Device). Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie : MKG 11 (2007) 327-332
  138. Silverstein, K., Quinn, P.D. Surgically-assisted rapid palatal expansion for management of transverse maxillary deficiency. Journal of oral and

- maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons 55 (1997) 725-727
139. Stelnicki, E.J., Stucki-McCormick, S.U., Rowe, N., McCarthy, J.G. Remodeling of the temporomandibular joint following mandibular distraction osteogenesis in the transverse dimension. *Plastic and reconstructive surgery* 107 (2001) 647-658
  140. Stöckli, P.W. Postnataler Wachstumsverlauf, Gesichts-, Kieferwachstum und Entwicklung der Dentition. (1994) In: "Zahnmedizin bei Kindern und Jugendlichen", Stöckli, P.W., Ben-Zur, E.D. (Hrsg.) Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York, 1994, 3. Auflage, 5-69
  141. Strang, R.H.W. The Fallacy of Denture Expansion As a Treatment Procedure. *The Angle orthodontist* 19 (1949) 12-22
  142. Stromberg, C., Holm, J. Surgically assisted, rapid maxillary expansion in adults. A retrospective long-term follow-up study. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 23 (1995) 222-227
  143. Stuart, D.A., Wiltshire, W.A. Rapid palatal expansion in the young adult: time for a paradigm shift? *Journal* 69 (2003) 374-377
  144. Timms, D.J. The dawn of rapid maxillary expansion. *The Angle orthodontist* 69 (1999) 247-250
  145. Uckan, S., Guler, N., Arman, A., Mutlu, N. Mandibular midline distraction using a simple device. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 100 (2005) 85-91
  146. Vanarsdall, R.L., White Jr, R.P. Three-dimensional analysis for skeletal problems. *The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery* 9 (1994) 159
  147. Verlinden, C.R., Gooris, P.G., Becking, A.G. Complications in transpalatal distraction osteogenesis: a retrospective clinical study. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 69 (2011) 899-905
  148. Verstraaten, J., Kuijpers-Jagtman, A.M., Mommaerts, M.Y., Berge, S.J., Nada, R.M., Schols, J.G., Eurocran Distraction Osteogenesis, G. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 38 (2010) 166-174
  149. von Bremen, J., Schafer, D., Kater, W., Ruf, S. Complications during mandibular midline distraction. *The Angle orthodontist* 78 (2008) 20-24
  150. Weil, T.S., Van Sickels, J.E., Payne, C.J. Distraction osteogenesis for correction of transverse mandibular deficiency: a preliminary report. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 55 (1997) 953-960
  151. Wertz, R., Dreskin, M. Midpalatal suture opening: a normative study. *American journal of orthodontics* 71 (1977) 367-381
  152. Wertz, R.A. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *American journal of orthodontics* 58 (1970) 41-66
  153. Williams, B.J., Currimbhoy, S., Silva, A., O'Ryan, F.S. Complications following surgically assisted rapid palatal expansion: a retrospective cohort study. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 70 (2012) 2394-2402

154. Wilmes, B., Nienkemper, M., Drescher, D. Application and effectiveness of a mini-implant- and tooth-borne rapid palatal expansion device: the hybrid hyrax. *World journal of orthodontics* 11 (2010) 323-330
155. Wiltfang, J., Kessler, P. Endoscopically assisted Le Fort I osteotomy to correct transverse and sagittal discrepancies of the maxilla. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 60 (2002) 1142-1145
156. Winsauer, H., Muchitsch, A.P., Walter, A., Vlachoianis, J., Winsauer, C., Ploder, O. Der MMDO-Hinge-Expander zur routinemäßigen medianen Distraction des Unterkiefers. *Informationen aus Orthodontie und Kieferorthopädie : mit Beiträgen aus der internationalen Literatur* 43 (2011) 175-187
157. Winsauer, H., Vlachoianis, J., Winsauer, C., Ludwig, B., Walter, A. A bone-borne appliance for rapid maxillary expansion. *Journal of clinical orthodontics : JCO* 47 (2013) 375-381
158. Zhou, Y., Wang, X., Lin, Y. Distraction osteogenesis for correction of maxillary constriction. *Zhonghua kou qiang yi xue za zhi = Zhonghua kouqiang yixue zazhi = Chinese journal of stomatology* 35 (2000) 177-180

## 9 Danksagung

Mit dem Abschluss dieser Dissertation danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Klaus-Dietrich Wolff, Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der TU München, für die Möglichkeit, diese Arbeit unter seiner Klinikleitung zu realisieren.

Mein besonderer Dank gilt Herrn apl. Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Andreas Kolk, geschäftsführender Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der TU München, für die Bereitstellung des Themas, die Anregungen und seine Hilfsbereitschaft bei der Durchführung und Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Prim. Univ.-Doz. DDr. Oliver Ploder, Leiter der Abteilung für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie des Landeskrankenhauses Feldkirch, Österreich danke ich für die gute Betreuung und interdisziplinäre Zusammenarbeit, die Planung der Untersuchung und die vielen Ratschläge bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich Dr. med. Dr. med. dent. Oliver Bissinger für die Betreuung dieser Forschungsarbeit und den stets regen, kritischen und freundschaftlichen Austausch miteinander.

Ebenfalls gilt mein Dank Herrn Dr. Heinz Winsauer und seinem Praxisteam, kieferorthopädische Praxis Bregenz, Österreich für die Bereitstellung seiner Patientendaten und Unterlagen. Ebenso danke ich allen niedergelassenen Kieferorthopäden, die durch die Bereitstellung ihrer Behandlungsunterlagen zur Realisierung dieser Arbeit beigetragen haben.

Nicht zuletzt danke ich Frau Lisa Pfadenhauer, MPH, Institut für medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie der LMU München für die Beratung und Unterstützung im Rahmen der statistischen Auswertung.

Mein größter Dank gilt allerdings meiner Familie und meinem langjährigen Freund Nepomuk Kessler, die mich stets unterstützt haben.

## 10 Curriculum vitae

### Persönliche Daten:

Name: Katharina Jüngling  
Geburtsdatum: 21. April 1988  
Geburtsort: München  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig

### Schulausbildung:

1994 – 1998 Grundschole an der Haimhauserstraße, München  
1998 – 2007 Oskar-von-Miller-Gymnasium, München  
29. 06. 2007 Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

### Hochschulstudium:

10/2007 – 03/2013 Studium der Zahnmedizin an der LMU München  
02. 10. 2008 Naturwissenschaftliche Vorprüfung  
15. 03. 2010 Zahnärztliche Vorprüfung  
24. 01. 2013 Zahnärztliche Prüfung  
30. 01. 2013 Approbation als Zahnärztin

### Berufliche Tätigkeit:

seit 02. 04. 2014 Vorbereitungsassistentin in der zahnärztlichen Praxis Pinder in München