



Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie der Technischen Universität München,  
Klinikum rechts der Isar

Die klinische Effizienz des Benesliders zur Distalisation von Molaren – eine kephalometrische Studie

Christina Maria Gahl

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. Jürgen Schlegel

Prüfende der Dissertation:

1. apl. Prof. Dr. Dr. Andreas Kolk

2. Prof. Dr. Herbert Deppe

Die Dissertation wurde am 08.04.2019 bei der Technischen Universität München eingereicht und  
durch die Fakultät für Medizin am 13.08.2019 angenommen.

Meiner liebevollen Mutter und Schwester

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literarischer Hintergrund</b>	<b>10</b>
2.1	<i>Verankerungsproblematik in der Kieferorthopädie</i>	10
2.1.1	Definition der Verankerung	10
2.1.2	Planung der Verankerungssituation	12
2.1.2.1	Biologisches Verankerungsvermögen	12
2.1.2.2	Mechanische Verankerungsmittel	14
2.1.2.2.1	Extraorale Apparaturen	15
2.1.2.2.2	Intraorale Apparaturen	17
2.1.2.3	Temporäre skelettale Verankerungselemente	19
2.1.2.3.1	Definition und Einteilung von temporären skelettalen Verankerungselementen	19
2.1.2.3.2	Die verschiedenen Implantatformen in der Geschichte	20
2.1.2.3.3	Skelettale temporäre Verankerungselemente der heutigen Zeit: Miniimplantate und Miniplatten	22
2.2	<i>Klasse II-Malokklusionen und deren Behandlungsmöglichkeiten</i>	28
2.3	<i>Orthodontische Behandlungsbehelfe zur Distalisation von Molaren im Oberkiefer</i>	29
2.3.1	Der Headgear	30
2.3.2	Die ACCO-Apparatur (Acrylic cervical occipital)	33
2.3.3	Der Wilson-Distalisierungsbogen (BDA)	35
2.3.4	Der Transpalatinalbogen (TPA)	36
2.3.5	Die Herbst-Apparatur	38
2.3.6	Der Jasper-Jumper	40
2.3.7	Magnetsysteme	41
2.3.8	Die Nickel-Titan Spiralfeder	42
2.3.9	Die Pendulum-Apparatur	43
2.3.10	Der Distal-Jet	46
2.3.11	Die Jones-Jig-Apparatur	48
2.3.12	Skelettal verankerte Distalisierungsgeräte	49
<b>3</b>	<b>Fragestellung</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>Material und Methode</b>	<b>57</b>
4.1	<i>Material</i>	57
4.1.1	Patientensample mit Auswahlkriterien, Charakteristika und Gruppeneinteilung	57
4.1.2	Der Beneslider	58
4.1.2.1	Konstruktion des Benesliders	58
4.1.2.2	Klinische Handhabung	60
4.2	<i>Methode</i>	61
4.2.1	Aufnahmetechnik	61
4.2.2	Verwendete technische Analyse des Fernröntgenseitenbildes	62
4.2.3	Statistisches Vorgehen mit Methodenfehler	75
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>77</b>
5.1	<i>Patientenverteilung nach Geschlecht, Alter und Behandlungsdauer</i>	77
5.2	<i>Gegenüberstellung der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 in Relation zum Zeitpunkt T2 innerhalb des gesamten Patientenkollektivs</i>	78
5.2.1	Skelettale Variablen	78
5.2.2	Dentale Variablen	78
5.3	<i>Gegenüberstellung der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 in Relation zum Zeitpunkt T2 innerhalb von Gruppe 1 (vor Durchbruch von 17 und 27)</i>	81
5.3.1	Skelettale Variablen	81
5.3.2	Dentale Variablen	82
5.4	<i>Gegenüberstellung der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 in Relation zum Zeitpunkt T2 innerhalb von Gruppe 2 (nach Durchbruch von 17 und 27)</i>	84
5.4.1	Skelettale Variablen	84
5.4.2	Dentale Variablen	85
5.5	<i>Vergleich der Differenzen (T1-T2) zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2</i>	86

5.5.1	Skelettale Variablen .....	86
5.5.2	Dentale Variablen.....	89
5.5.3	Die Distalisationsgeschwindigkeit und der Typ der Zahnbewegung (Kronen- bzw. Wurzelkipfung, Translation) .....	93
5.6	<i>Untersuchung der diskreten Merkmale: der Gesichtstyp und der skelettale vertikale Charakter (anteriöer Gesichtsinde und ML-NL) .....</i>	96
5.6.1	Untersuchung des Gesichtstyps .....	96
5.6.2	Veränderungen des Winkels ML-NL (der Untergruppen).....	96
5.6.3	Veränderungen des anterioren Gesichtsinde (der O-/N-/T-Typen) .....	97
5.7	<i>Lineare Regressionen .....</i>	98
5.7.1	Abhängigkeit der Zielvariablen WZ5-PtV (mm), WZ6-PtV (mm) und WZ7-PtV (mm) zum Zeitpunkt T2 von anderen Variablen.....	98
5.7.2	Abhängigkeit der Zielvariablen Diff.WZ5-PtV (mm), Diff.WZ6-PtV (mm) und Diff.WZ7-PtV (mm) (T1-T2) von anderen Variablen .....	100
<b>6</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>102</b>
6.1	<i>Material- und Methodenkritik.....</i>	102
6.1.1	Kritische Betrachtung des Patientenkollektivs .....	102
6.1.2	Kritik an den Zeitpunkten der Fernröntgenseitenaufnahmen .....	103
6.1.3	Fehlerquellen bei der Anfertigung und Auswertung des Fernröntgenseitenbildes .....	104
6.1.4	Diskussion der Stabilität und Insertionsregion von Miniimplantaten .....	107
6.1.5	Kritische Betrachtung der auftretenden Reibung bei dem Beneslidergerät .....	109
6.2	<i>Interpretation der Ergebnisse und Ergebniskritik .....</i>	110
6.2.1	Bewertung der skelettalen Variablen .....	110
6.2.2	Bewertung der Veränderungen der Indices und diskreten Merkmale: der O-/N-/T-Typ und die Untergruppen .....	128
6.2.3	Bewertung der Distalisationsstrecken .....	135
6.2.3.1	Bewertung der Distalisationsstrecken des zweiten Prämolaren.....	135
6.2.3.2	Bewertung der Distalisationsstrecken des ersten Molaren.....	137
6.2.3.3	Bewertung der Distalisationsstrecken des zweiten Molaren .....	140
6.2.4	Interpretation der Distalisationsgeschwindigkeit und des Typs der Zahnbewegung .....	142
6.2.5	Interpretation der linearen Regressionsmodelle .....	151
6.2.5.1	Diskussion möglicher Einflussvariablen auf die Abstände der Widerstandszentren zur Pterygoidvertikalen zum Zeitpunkt T2 .....	151
6.2.5.2	Diskussion möglicher Einflussvariablen auf die Distalisationsstrecken der Widerstandszentren.....	152
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerung.....</b>	<b>154</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>155</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>161</b>
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>162</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>163</b>
<b>12</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>176</b>
12.1	<i>Abkürzungsverzeichnis .....</i>	176
12.2	<i>Untersuchungsdaten .....</i>	180
12.2.1	Messwerte .....	180
12.2.2	Statistische Auswertung.....	196
<b>13</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>204</b>
<b>14</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>205</b>

## 1 Einleitung

Das Fachgebiet der Kieferorthopädie, Teilgebiet der Zahnmedizin, bezieht sich in seiner Definition auf das Erkennen, Verhüten und Behandeln von Zahn- und Gebissfehlstellungen (Dysgnathien) [Schmuth G., 1994].

Bezüglich der Zahnstellung wird diagnostisch wie therapeutisch das Augenmerk auf die Position der Zähne innerhalb des zahntragenden Abschnittes, der Alveole, gerichtet sowie auf die Zahnverschlüsselung, das Ineinandergreifen von oberer und unterer Zahnreihe, die Okklusion. Zahnstellung und Okklusion können regelrecht oder fehlerhaft sein. Bei vollständigem Zahnbestand definierte E. H. Angle um 1900 drei Okklusionstypen, ausgehend von Gipsmodellen erwachsener Patienten im bleibenden Gebiss [Angle, 1899], [Angle, 1900], [Angle, 1908]. Angle bezieht sich dabei auf sagittale Okklusionsmerkmale in der Lateralebene, von vestibulär betrachtet, wobei der erste Molar im oberen Zahnbogen als Referenz dient („key of occlusion“) [Nötzel et al., 2008].

Angle-Klassifikation



Abbildung 1: Angle-Klassifikation; Quelle: [Angle, 1908]

Eine Angle-Klasse I Okklusion (Regelokklusion, Regelbiss, Normokklusion) liegt vor, wenn der mesio-bukkale Höcker der ersten oberen Molaren in die Querfissur der ersten unteren Molaren eingreift; dies entspricht einer neutralen, regelrechten Verzahnung (Abbildung 1A).

Eine Angle-Klasse II Okklusion (Distalokklusion, Rückbiss) liegt vor, wenn die Querfissur des ersten unteren Molaren distal vom mesio-bukkalen Höcker des ersten oberen Molaren liegt; dies entspricht einer distalen, fehlerhaften Verzahnung (Abbildung 1B).

Eine Angle-Klasse III Okklusion (Mesialokklusion, Vorbiss) liegt vor, wenn die Querfissur des ersten unteren Molaren mesial vom mesio-bukkalen Höcker des ersten oberen Molaren liegt; dies entspricht einer mesialen, fehlerhaften Verzahnung (Abbildung 1C).

Diese drei sagittalen Okklusionsvariationen können ein Spiegelbild der basalen sagittalen Kieferbasisrelation sein, und somit die Bisslage charakterisieren, die dann als neutral (skelettale Klasse I), distal (skelettale Klasse II), oder mesial (skelettale Klasse III), diagnostiziert werden kann. Die Kieferbasisrelation kann jedoch auch kontrovers zur Okklusionsdiagnostik stehen, wenn dentale Kompensationen vorliegen, womit eine fehlerhafte, dysgnathe Bisslage in allen drei Raumebenen verschleiert werden kann:

- Transversale dentale Kompensationen beziehen sich auf den Seitenzahnbereich, wenn eine transversale Diskrepanz der Kieferbasisgröße vorliegt [Schmuth G., 1994]. Bei einer zu kleinen maxillären Basis können die oberen Seitenzähne nach vestibulär kippen und die unteren Seitenzähne nach lingual. Bei skelettalen lateralen Asymmetrien kippen die Seitenzähne auf der einen Seite nach vestibulär, auf der anderen, nach palatinal bzw. lingual.
- Vertikale dentale Kompensationen sind sowohl bei Tiefbissen, als auch bei offenen Bissen anzutreffen, wenn der Okklusionskontakt verloren gegangen ist, auch infolge unterschiedlicher Größe der dento-alveolären und/oder skelettalen Basis [Schmuth G., 1994].
- Sagittale dentale Kompensationen beziehen sich bei distaler Kieferbasisrelation, die skelettale Klasse II, auf eine Protrusion der unteren Inzisivi und Retrusion der oberen Inzisivi, bei mesialer Kieferbasisrelation, die skelettale Klasse III, auf eine Retrusion der unteren Inzisivi und Protrusion der oberen Inzisivi [Steinhäuser et al., 1988].

Ausgeprägte dentale Kompensationen von Dysgnathien mit Überschreitung der individuellen Grenzbereiche im Zahnbogen können zum Verlust von parodontalen Knochen und Weichgewebe führen. Therapeutisch sind sie kontraindiziert [Günay et al., 2006].

Ziel einer kieferorthopädischen Therapie ist es, dem Gebiss, Teil des Kauorgans, das umfassender als stomatognathes System beschrieben wird, durch eine

Gesamtbehandlung eine Struktur zu geben, in der alle Zähne mit ihrem funktionellen Halteapparat, der Alveole, weiter die maxilläre und mandibuläre Kieferbasis mit Kiefergelenk, ebenso wie die das Zahnsystem umgebende Muskulatur, sowie der vaskuläre und neurale Steuerungsmechanismus, miteinander störungsfrei kooperieren können [Kahl-Nieke, 2009].

Weiter ist zu beachten, dass alle Zahnstellungen und Okklusionsbefunde während der gesamten Entwicklungs- und Wachstumsperiode des Kauorgans fortlaufend einer großen Variation unterliegen, bedingt durch den Wechsel von zwei Gebissperioden, vom Milchgebiss zum bleibenden Gebiss. Deren morphologische, ebenso wie auch funktionell unterschiedlichsten charakteristischen Eigenschaften, prägen vor allem die Übergangszeit im Zeitraum des Kindesalters und des Jugendlichen, ca. vom fünften bis fünfzehnten Lebensjahr, wenn die Spanne von verfrühtem oder verspätetem Durchbruch der bleibenden Zähne mit einbezogen wird [Barros et al., 2015], [Janson, 1971], [Proff et al., 2006].

Am Ende der Milchzahnreihe, mit jeweils zehn Milchzähnen im oberen wie unteren Zahnbogen, entwickelt sich im vorgestellten Zeitraum die Zuwachszahnung, die im bleibenden Gebiss zumeist drei Molaren umfasst, insgesamt 32 Zähne. Nach dem ersten Molaren, Sechsjahrmolar, folgt der zweite Molar, Zwölfjahrmolar, und dann der dritte Molar, der Weisheitszahn, der zeitlich eine überaus variierende Entwicklung mit Eruption aufweist. Sein Durchbruch kann bereits in der Mitte der zweiten Lebensdekade liegen, jedoch auch erst nach dem dreißigsten Altersjahr anfallen [Schmuth G., 1994]. Nicht selten verhindern Raumprobleme am Ende der Zahnreihen teilweise seinen Durchbruch vollständig.

Den Milchzähnen obliegen innerhalb des Wechselgebisses die Aufgaben, den bleibenden Zähnen im zahortragenden Knochenabschnitt, der Alveole, als Platzhalter zu dienen sowie durch molekularbiologische Interaktionen multifaktoriell beeinflusst, die Eruption der permanenten Zähne zu ermöglichen [Proff et al., 2006]. Unregelmäßigkeiten des Zahndurchbruchs, entsprechend ihrer Ätiologie als erworben oder ererbt einzuordnen, führen zwangsläufig zu fehlerhaften Zahnstellungen innerhalb der Zahnbögen [Proff et al., 2006].

Dominierend sind dabei lokale Zahnwanderungen nach mesial. Zumeist liegen diese Mesialwanderungen im Seitenzahnbereich im kariesbelasteten Milchgebiss vor, als Konsequenzen eines frühzeitigen Kontaktpunktverlustes bis hin zum Zahnverlust. Unerwünschte Bewegungen von lückenständigen Zähnen oder eines Zahnbogensegmentes können auch durch Traumata erfolgen, ebenso wie durch eine Vielzahl von bekannten Anomalien des Zahnwechsels, z.B. Zahnverlagerungen, Hyper- und Hypodontien. Nicht zu vergessen sind hier auch länger bestehende Habits, z.B. Lutschgewohnheiten und Mundatmung, womit nicht selten die gesamte obere Zahnreihe nach mesial verschoben wird [Sander et al., 2011], [Schmuth G., 1994].

Alle Zahnwanderungen im Milch- und Wechselgebiss, sowie im bleibenden Gebiss, verändern nachhaltig die Verschlüsselung der Zahnreihen, die intermaxilläre Okklusion. Die Kieferbasisrelation muss dabei nicht in Mitleidenschaft gezogen werden. Bei fehlerhaften lokalen Okklusionsbefunden helfen im diagnostischen Part der Behandlungsplanung, die ursprüngliche, korrekte Ausgangsposition der Zahnstellung gedanklich zu rekonstruieren [Angle, 1913]. Dann kann, differenzialdiagnostisch abgesichert, die wiederum individuell korrekte Bewegungsrichtung der Zähne geplant werden.

Zur Differenzialdiagnose gehört, eine regelrechte oder fehlerhafte Kieferbasisrelation in allen Gebissperioden, immer in Relation zur individuell ererbten Morphologie des Viszerokraniums, zu interpretieren [Schmuth G., 1994]. Dem skelettal variierenden Aufbau retrognather, orthognather und prognather Gesichtstypen folgend, stehen zuerst transversale, dann vertikale und letztendlich die sagittalen Veränderungen im kieferorthopädischen Planungs- und Behandlungskanon zur Diskussion [Björk, 1947], [Hasund et al., 1984].

Alle Zahnbewegungen führen in Abhängigkeit vor allem zum vertikalen Charakter der Gesichtstypen zu unterschiedlichen skelettalen und muskulären Reaktionen. Diese vertikale Inklination der Kieferbasen kann in allen drei Gesichtstypen sowohl harmonisch nach anterior oder posterior inkliniert ausfallen, als auch divergent bzw. konvergent sein. Damit scheinen unterschiedliche Reaktionen auf scheinbar gleiche therapeutische Interventionen vorprogrammiert [Steinhäuser et al., 1988]. Bei jeder



Bisslage diktieren weiter Ätiologie und Morpho-, wie Pathogenese das therapeutische Vorgehen [Diedrich, 2000].

Für erworbene fehlerhafte kieferorthopädische Befunde sind präventive Maßnahmen so früh wie nur möglich einzuleiten, um die Gebissentwicklung wieder in ererbte korrekte Bahnen zu leiten. Erfolgversprechend sind umfangreiche Aufklärung der Eltern bezüglich Kariesprophylaxe, gesicherte Kontrolle von orofazialen Dyskinesien und kompetenter Lippenschluss mit freier Nasenatmung [Schmuth G., 1994], [Kahl-Nieke, 2009]. Prognostische Kenntnisse über ein günstiges Wachstum der Kieferbasen mit zeitlich richtigem Therapieansatz während der wachstumsintensiven Entwicklungsphase sind dann unabdingbar.

Bei ererbten fehlerhaften Befunden folgen nach Wachstumsende chirurgische Interventionen, die zur individuell erforderlichen Harmonisierung der Kieferbasen führen [Sander et al., 2011], [Steinhäuser et al., 1988], [Steinhäuser et al., 1994].

Damit verbleiben vornehmlich lokale Veränderungen von Zahnstellungen der kieferorthopädischen Diskussion vorbehalten. Innerhalb der Simulation des folgenden Behandlungsablaufs nimmt die Abklärung aller potentiell möglichen Nebenwirkungen beim Einsatz von orthodontischen Kräften (Größe, Richtung und Dauer) einen zentralen Stellenwert ein. Damit steht das Verankerungspotential innerhalb der Zahnbögen, seine Qualität und Richtung im Fokus aller noninvasiven und invasiven Maßnahmen.

Bezogen auf seine Häufigkeit im kieferorthopädischen Therapiekomplex, gebührt der Angle-Klasse II Malokklusion, entstanden durch eine Mesialbewegung (auch als Verankerungsverlust bezeichnet) der oberen Seitenzähne, größte Aufmerksamkeit.

Es können umfassende Distalisationen des gesamten Seitenzahnbereiches bei Patienten mit Frontengständen in einem nach der morphologischen und funktionellen Gesamtdiagnose als NonEx-Kasus ausgewiesenen Befund, anfallen [Hasund et al., 1984], [Ihlow et al., 2017], [Ricketts, 1993] sowie lediglich lokale Distalisationen von oberen Sechsjahresmolaren, aufgrund von einer einzelnen Zahnwanderung.

Zahlreiche orthodontische Apparaturen stehen in der Kieferorthopädie für diese Distalisation der Molaren im oberen Zahnbogen zur Verfügung, mit dem gemeinsamen Ziel, die verloren gegangene lokale Angle-Klasse I Verzahnung (im Molaren- und Eckzahnbereich) wiederherzustellen [Keles et al., 2000], [Wilmes et al., 2013].

In diesem Zusammenhang weisen mehrere Autoren [Bolla et al., 2002], [Bowman, 1998] bereits auf Kontraindikationen für eine Molarendistalisation hin, z.B. wenn hyperdivergierende Kieferbasen im Gesichtsschädel dominieren, weil sie eine Keilwirkung interokklusal befürchten, die zur unerwünschten Bissöffnung führt.

Für einen Behandlungserfolg spielt weiter die Patientenmitarbeit eine Schlüsselrolle [Behrents, 1996], womit die Überlegenheit der kooperationsunabhängigen Apparaturen, im Mund fest eingesetzt, in Relation zu den abnehmbaren Geräten, sowohl vom Patienten, als auch vom Kieferorthopäden zumeist akzeptiert wird. Abnehmbare Geräte als spezielle am Gaumen gut abgestützte Plattenapparaturen, z.B. ACCO-Geräte oder Headgear-Varianten, bei denen der intraorale Druck auf den Sechsjahresmolaren mit einem extraoralen Zug verbunden ist, waren jahrzehntelang als Standardgeräte zur Distalisation der Molaren im Einsatz [Cetlin et al., 1983], [Dietz et al., 2000], [Ferro et al., 2000], [Graber, 1955], [Klein, 1957], [Kloehn, 1947], [Kloehn, 1953], [Poulton, 1967]. Die Headgear-Varianten beanspruchten mit Recht den Vorteil einer maximalen Verankerung mit Distalisierung, ihre Handhabung forderte jedoch ausreichend Wissen ein. Auch der mangelnde Komfort eines Headgears mit beruflicher und sozialer Beeinträchtigung in Bezug auf das äußere Erscheinungsbild, führte insbesondere bei erwachsenen Patienten zu immer mehr Ablehnung [Wehrbein et al., 1996a]. Hohe Verletzungsgefahr für Augen, Augenlider, Wangen und Nase, waren ebenfalls gerätefeindlich [Samuels et al., 1994]. Wilson und Wilson führten eine ebenfalls von der Mitarbeit des Patienten abhängige Distalisationsmechanik ein, die durch Gummizüge mandibulär verankert war [Muse et al., 1993], [Rana et al., 2000], [Wilson, 1978a], [Wilson, 1978b], [Wilson et al., 1987]. Ebenso verwendeten Locatelli et al. 1992 eine Mechanik mit Ni-Ti-Bögen mit intermaxillären Gummizügen [Locatelli et al., 1992]. Dabei handelte es sich bei allen um Behelfe, die Mitarbeit benötigten.

Von Compliance unabhängige Apparaturen wurden bessere Behandlungsergebnisse mit realistischer Prognose erwartet [Bolla et al., 2002]. Die Entwicklung immer neuer

Gerätevariationen erstaunt. Dazu zählen das Herbst-Scharnier, der Jasper-Jumper und die befestigte Piston-Apparatur [Cope et al., 1994], [Greenfield, 1995], [Jasper, 1987], [Pancherz, 1982], [Pancherz et al., 1993]. Auch eine Konstruktion mit Magneten und eine mit Nickel-Titan-Federn kamen zum Einsatz [Bondemark et al., 1992], [Bondemark et al., 1994], [Gianelly et al., 1988], [Gianelly et al., 1989], [Gianelly et al., 1991], [Itoh et al., 1991]. 1992 führten Hilgers et al. das Pendulum in die Kieferorthopädie ein [Bussick et al., 2000], [Byloff et al., 1997a], [Byloff et al., 1997b], [Ghosh et al., 1996], [Hilgers, 1992], [Joseph et al., 2000]. Ebenfalls zu dieser Gruppe, die Titan-Molybdän-Federn bzw. Drähte als Distalisationsmechanik nutzen, gehört das K-Loop-Gerät und das intraorale körperliche Molarendistalisationsgerät (IBMB) [Kalra, 1995], [Keles et al., 2000]. Es folgten der Distal-Jet, die Jones-Jig-Apparatur und das Keles-Slider-Gerät, die alle Spiralfedern auf Teilbögen aufweisen [Brickman, 1998], [Carano et al., 1996], [Jones et al., 1992], [Keles, 2001], [Keles, 2002], [Ngantung et al., 2001]. Eine „First-Class-Apparatur (FCA)“ soll nicht unerwähnt bleiben; sie besteht aus einer vestibulär angebrachten aktiven Schraube und einer palatinalen Ni-Ti-Spiralfeder pro Seite [Fortini et al., 1999].

Alle diese konventionell verankerten Geräte auf Prämolaren bzw. Milchmolaren und einem Kunststoffteil am Gaumen (Nance-Button) sollten die Molarendistalisation im oberen Zahnbogen effektiver gestalten. Eine reziproke Wirkung, als Verankerungsverlust beschrieben, konnte nicht vermieden werden, als Mesialwanderung der Verankerungszähne, einschließlich einer Protrusion der oberen Frontzähne, bekannt [Bolla et al., 2002], [Byloff et al., 1997a], [Byloff et al., 1997b]. Den Verankerungsverlust von 16 – 43 % mit dem Pendulumgerät, von 26 – 55 % mit der Jones-Jig-Apparatur und von 15 – 62 % mit dem Distal-Jet beschreiben Bolla et al. 2002 [Bolla et al., 2002].

Des Weiteren wurden die Molaren größtenteils nicht rein translatorisch nach distal bewegt, sondern nach distal gekippt, was wiederum zu einem posterioren Verankerungsverlust in der sich ggf. anschließenden Retraktionsphase der anterioren Dentition, führte [Bolla et al., 2002]. Häufig war auch eine unerwünschte posteriore Rotation der Mandibula zu erkennen [Fortini et al., 2004].

Das Problem des Verankerungsverlustes durch die unzureichende stationäre Verankerung, einer Nance-Apparatur mit dentaler Verankerung, war primär

ausschlaggebend für das Einbeziehen von temporären skelettalen Verankerungselementen in die Kieferorthopädie [Velo et al., 2007]. Mit osseointegrierten Implantaten ließen sich reziproke Nebeneffekte vermeiden, sie blieben positionsstabil, ermöglichten eine stationäre Verankerung während der Behandlung, ohne die Mitarbeit des Patienten [Borsos et al., 2012], [Gedrange et al., 2009], [Heidemann et al., 1998]. Orthodontische Implantate zur Verankerung (TADs, Temporary anchorage devices) galten bereits im letzten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts als geeignete Verankerungshilfen [Borsos et al., 2012]. Miniimplantate bewährten sich zur skelettalen Verankerung. Durch ihre kleinere Dimensionierung, ihre vielseitige Einsetzbarkeit, die geringere chirurgische Invasivität und die relativ geringen Kosten, erfreuten sie sich einer immer größer werdenden Beliebtheit, im Gegensatz zu osseointegrierten Implantaten, Miniplatten oder beispielsweise das Orthosystem [Freudenthaler et al., 2001], [Fritz et al., 2004], [Kanomi, 1997], [Melsen et al., 2000], [Wehrbein et al., 1996b], [Wilmes et al., 2006a], [Wilmes et al., 2008a], [Wilmes et al., 2013].

Als Insertionsregion für die Minischrauben, als Basis einer Distalisation von Molaren, bietet der anteriore Gaumen die besten Voraussetzungen. Dieser Bereich weist eine gute Knochenqualität auf mit relativ dünner Schleimhaut, ohne dass eine Verletzung von Zahnwurzeln, wie bei interrädikulär inserierten Miniimplantaten, riskiert wird [Ludwig et al., 2011], [Wilmes et al., 2013]. Auch bringt der anteriore Gaumen diesbezüglich mehr Vorteile gegenüber der oftmals vorgeschlagenen retromolaren Region [Wilmes et al., 2008a]. Durch eine sagittale Verbindung von zwei palatinal angebrachten Minischrauben, können die Stabilität und der Widerstand der Implantate gegenüber kippenden Momenten vergrößert werden [Wilmes et al., 2008a].

Wilmes führte mit dem Beneslider, einem skelettal am anterioren Gaumen direkt verankerten Gerät, eine Distalisationsmechanik ein, die auf einen palatinalen Druckmechanismus, mit jeweils 240 g Ni-Ti Federn pro Seite, basiert [Wilmes et al., 2008a], [Wilmes et al., 2013]. Die bisherigen klinischen und röntgenologischen Studien am Universitätsklinikum Düsseldorf zur Wirkungsweise dieses Gerätes erscheinen vielversprechend, insbesondere bezüglich einer körperlichen Distalisation ohne dentalen Verankerungsverlust und ohne vertikale skelettale Veränderung [Nienkemper et al., 2014], [Wilmes et al., 2010]. Diese Hinweise sollen mit einer Studie an

Fernröntgenseitenbildern von Patienten aus zwei Fachpraxen für Kieferorthopädie, die sich aufgrund einer kieferorthopädischen Indikation in Behandlung mit diesem Gerät befinden, ergänzt werden, wobei die sagittalen Parameter nach den Vorgaben von Nienkemper et al. zum besseren Vergleich eingehalten und die vertikalen Parameter nach der individualisierten Kephalemetrie geprüft werden [Nienkemper et al., 2014], [Segner et al., 1998]. Aufgabe dieser Arbeit ist es, die Wirkung der Apparatur mit austauschbarem Abutment an Hand von bereits zur Dokumentation der kieferorthopädischen Therapie notwendigerweise angefertigten Fernröntgenseitenbildern (FRS) zu untersuchen. Die Auswertung der pseudonymisierten Daten und Röntgenbilder erfolgte hierzu in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, der Technischen Universität München, am Klinikum rechts der Isar.

## 2 Literarischer Hintergrund

### 2.1 Verankerungsproblematik in der Kieferorthopädie

#### 2.1.1 Definition der Verankerung

Jede kieferorthopädische Therapie, die sich auf eine Veränderung der Zahnstellung durch Einsatz von orthodontischen Kräften bezieht, basiert primär auf der Verankerungsproblematik innerhalb der oberen und unteren Zahnreihen. Dabei geht es um das Abfangen reaktiver Kräfte und Drehmomente über eine stationäre Verankerung [Glatzmaier et al., 1995]. Es handelt sich dabei einmal um ein mechanisches Problem, nämlich die Fixierung des Gerätes im Mund durch Halteelemente, aber auch um die Kräfte eines aktiven orthodontischen Elements und dessen Wirkung [Schmuth G., 1994].

Nach dem dritten Newtonschen Axiom (1687) wirkt ein Körper A auf einen Körper B mit der Kraft  $F_1$ , dann wirkt der Körper B auf den Körper A mit einer Kraft  $F_2$ , die den gleichen Betrag aber die entgegengesetzte Richtung wie  $F_1$  beinhaltet. Somit hat jedes orthodontische Gerät eine Wirkung in zwei Richtungen und die Belastung der Verankerung erfolgt nach einem statischen Gleichgewicht [Diedrich, 1993].

Dieser Effekt, eine reziproke Verankerung, kann je nach der orthodontisch geplanten Zahnbewegung erwünscht oder unerwünscht sein. Beispiele hierfür sind die W-Feder und der Gummizug. Sollte jedoch nur von einer Krafrichtung profitiert werden, ist eine stationäre Verankerung (Blockverankerung) erforderlich; diese kann beispielsweise durch Plattengeräte erreicht werden [Schmuth G., 1994].

Eine Verankerung beschreibt also allgemein, wie orthodontisch/kieferorthopädisch angewandte Kräfte im stomatognathen System eingesetzt werden, um die gewünschten Bewegungen von einzelnen Zähnen bzw. Zahngruppen kontrolliert zu erzielen. Dieser Verankerungseinheit fällt dann die Aufgabe zu, der reziproken Kraft Widerstand entgegen zu setzen, um sie auf- bzw. abzufangen [Schmuth G., 1994]. Proffit et al. definierten 1993 die Verankerung als den Widerstand gegenüber unerwünschten Zahnbewegungen [Proffit et al., 2013]. Auch Kahl-Nieke definierte die

Verankerung als Widerstand, den ein Zahn bzw. eine Zahngruppe und oder eine anatomische Einheit einer Bewegung entgegensetzen, wenn sie als Träger einer Kraft zur Bewegung von anderen Zähnen herangezogen werden [Kahl-Nieke, 2009]. Gianelly und Goldman führten 1971 weitere Begriffe zur Verankerung ein, um die Richtung der Zahnbewegung innerhalb des Zahnbogens zu beschreiben: maximale, moderate und minimale Verankerung [Gianelly et al., 1971]. Diese Begriffe beschreiben, wie weit sich die Zähne der aktiven (zu bewegende Zähne) und der reaktiven (Ankerzähne) Einheit durch die applizierte Kraft bewegen dürfen. Dadurch ist das Ausmaß des Kraftwiderstandes angesprochen [Sander et al., 2011].

Die minimale Verankerung (minimale Verankerungsnotwendigkeit der Seitenzähne) betrifft eine Situation, bei der im Frontbereich die Verankerung vergrößert wird, damit die Seitenzähne sich nach mesial bewegen können, ohne eine unerwünschte reziproke Kraft im Frontbereich zu erzielen. Ein Lückenschluss wird dann von distal nach mesial erreicht [Kahl-Nieke, 2009].

Die moderate Verankerung betrifft reziproke Kräfte (actio = reactio); der zu bewegende Zahn und der Ankerzahn werden gleichermaßen bewegt, z.B. bei einem Lückenschluss bewegen sich beide Zahneinheiten gleichmäßig aufeinander zu [Kahl-Nieke, 2009].

Die maximale Verankerung betrifft dann eine Situation, bei der die Bewegung der Seitenzähne, insbesondere der Molaren total gehemmt werden sollen, damit ein Lückenschluss im anterioren Seitenzahnbereich von mesial nach distal erfolgen kann [Kahl-Nieke, 2009].

Im Prinzip steht der Begriff „maximale Verankerung“ jedoch für eine Situation in der generell eine Art von Zahnbewegung beschrieben wird, bei der eine Seite ihre Position uneingeschränkt behält, und nur die Gegenseite sich in die gewünschte Richtung bewegen darf, also die Bewegung eines Zahnes gefördert und die des anderen jedoch total gehemmt wird [Schmuth G., 1994]. Diese Bewegung kann dann auch zur Distalführung von Molaren geeignet sein, wobei die „maximale Verankerung“ der Gegenseite eine große Herausforderung für die orthodontische/kieferorthopädische Therapie darstellt.

Mit dem Begriff „maximale Verankerung“ wird zumeist die Verankerung von Molaren im Seitenzahnbereich beschrieben, um Zähne ohne „Verankerungsverlust“ von mesial

nach distal zu führen. Dieser Begriff beschreibt jedoch im Prinzip auch die Situation, die bei einer „minimalen Verankerung“ eintritt in Bezug auf das Frontsegment. Hier sollen ja die seitlichen Zähne ohne „Verankerungsverlust“ im Frontbereich nach mesial bewegt werden.

Eine maximale Verankerung innerhalb einer Zahnreihe zu erreichen ist immer schwierig, denn eine Verankerungseinheit darf dann in keinem Fall bewegt werden. Um dies umsetzen zu können, werden Verankerungshilfen benötigt [Schmuth G., 1994].

Die reaktive Belastung der Ankerzähne, in Quantität und Qualität (Richtung, Art, Ausmaß und Dauer), ergibt sich dabei aus den orthodontisch applizierten Kräften und deren Biomechanik, also aus den für die Zahnbewegung benötigten Kräften [Wehrbein, 1994].

Des Weiteren lässt sich die Verankerung in eine einfache und in eine stationäre Verankerungssituation unterteilen. Bei einer einfachen Verankerung führt die eingesetzte Kraft zu einer Kippung der Zähne der Verankerungseinheit, während bei einer stationären Verankerung diese eine geringe körperliche Zahnbewegung oder bei zusätzlichen extraoralen Verankerungshilfen, gar keine Zahnbewegung erfahren [Schmuth G., 1994].

## 2.1.2 Planung der Verankerungssituation

### 2.1.2.1 *Biologisches Verankerungsvermögen*

Das biologische Verankerungsvermögen der Ankerzähne muss bei der Planung von Zahnbewegungen in der kieferorthopädischen Therapie im Zusammenhang mit der Verankerungssituation genau analysiert werden. Es wird durch die Größe des desmodontalen Potenzials festgelegt [Sander et al., 2011].

Dieses desmodontale Potenzial wird durch folgende Faktoren bestimmt: Größe der Wurzeloberfläche, Attachmentniveau und Wurzeltopographie [Sander et al., 2011].



Das heißt, dass der Widerstand eines Zahnes der reaktiven Einheit umso größer ist, je mehr Wurzeln bzw. Wurzeloberfläche er besitzt und je gesünder sein Parodont ist. Die Verankerungsqualität des Zahnes steigt auch mit dem Anteil der Kortikalis des Knochens, in dem der Zahn verankert ist. Ein Zahn, der ganz oder nur zum Teil in der Kortikalis verankert ist, leistet aufgrund der höheren Knochenmasse einen größeren Widerstand, als ein Zahn, dessen Wurzel nur von Spongiosa umgeben ist [Sander et al., 2011].

Das desmodontale Potential kann zusätzlich durch folgendes beeinflusst werden. Erstens spielt die funktionelle Belastung der Ankerzähne eine Rolle. Die Kaukraft lässt sich durch Training der muskulären Kräfte steigern. Dadurch werden die Ankerzähne stabilisiert und ihr Widerstand wird größer. Kaufaule Patienten hingegen weisen somit einen geringeren Widerstand gegen Belastungen auf [Sander et al., 2011]. Ein vertikales Wachstumsmuster ist beispielsweise auch mit einer schwächeren Kaumuskelatur verbunden, ein horizontales hingegen mit einer stärkeren, was zu einer Stabilisierung der Ankerzähne führt [Diedrich, 1993].

Zweitens kann die Verankerungsqualität durch Verblockung mehrerer Zähne (Stahlligatur) gesteigert werden, wodurch die reaktiven Kräfte verteilt werden, und sich der Widerstand erhöht.

Drittens kann der Kieferorthopäde die Qualität der Verankerung durch Einbringen von Biegungen (erster, zweiter und dritter Ordnung) in den Bogen steigern. Die In-out-Biegung (erste Ordnung) bewirkt einen größeren Widerstand gegenüber rotatorischen Kräften, die Tip-back-Biegung (zweite Ordnung) hingegen erzeugt ein Aufrichtmoment, das den Zahn gegen eine Mesialisierung stabilisiert. Der Torque, Biegung dritter Ordnung, bewegt den Zahn mehr in die Kortikalis und erhöht somit seinen Widerstand gegenüber reaktiven Kräften. Die genannten Biegungen verändern also die Position der Ankerzähne temporär und stabilisieren sie somit [Diedrich, 1993], [Sander et al., 2011].

### 2.1.2.2 Mechanische Verankerungsmittel

Bei der Analyse der Verankerungssituation ist nicht nur das Betrachten des biologischen Verankerungsvermögens wichtig, sondern auch die richtige Auswahl des mechanischen Verankerungsmittels. Mechanische Verankerungshilfen werden häufig aufgrund eines nicht ausreichenden desmodontalen Verankerungspotenzials für eine maximale Verankerung benötigt [Diedrich, 1993].

Nach der Lage der Verankerungseinheit, also des Widerstandes, wird zwischen intraoraler und extraoraler Verankerung unterschieden. Intraoral sind hier das Weichgewebe (Lippe, Gaumen, Wange) sowie die Zähne zu nennen. Weiterhin kann diese in die intermaxilläre und intramaxilläre Verankerung unterteilt werden. In Erstgenannter befindet sich die Verankerung im Gegenkiefer, in Zweitgenannter im selben Kiefer, wie die eingesetzte Kraft. Die intramaxilläre Verankerung wird meist bei minimalen und mäßigen Verankerungsanforderungen angewendet, ist aber auch bei maximaler Verankerung (Bügel) zu finden [Schmuth G., 1994]. In den Fällen maximaler Verankerung, wird oft der Gegenkiefer als Verankerung mitbenutzt. Werden extraorale Verankerungshilfen miteinbezogen, lässt sich der Widerstand der Verankerungseinheit weiter vergrößern.

Bekannte intraorale Verankerungsmittel sind der Transpalatinal- oder Lingualbügel, der Nance holding arch und die intermaxillären Gummizüge. Der Verankerungswert dieser sollte jedoch nicht überschätzt werden, denn sie sind nur begrenzt für eine stationäre Verankerung geeignet [Glatzmaier et al., 1995]. Oft tritt bei der Verwendung dieser Verankerungsmittel ein Verankerungsverlust auf. Dieser unerwünschte Nebeneffekt zeigt sich durch eine Protrusion der Frontzähne, Extrusion und Kippung der Pfeilerzähne und eine negative Veränderung der Okklusionsebene [Fuhrmann et al., 1994].

Das bekannteste und am häufigsten genutzte extraorale Verankerungsmittel ist der Headgear. Dieses zur maximalen Verankerung im Oberkiefer verwendete Gerät findet jedoch bei den erwachsenen Patienten aufgrund von beruflichen und sozialen Umständen immer mehr Ablehnung [Wehrbein et al., 1996a]. Durch eine fehlende

Patientencompliance kann allerdings das gesamte kieferorthopädische Behandlungsziel gefährdet werden [Glatzmaier et al., 1995].

#### *2.1.2.2.1 Extraorale Apparaturen*

##### **Der Headgear:**

Der Headgear ist das Mittel der Wahl bei maximalen Verankerungsanforderungen. Bei dem Headgear im Oberkiefer kann die extraorale Abstützung am Nacken, am Hinterkopf oder dazwischen erfolgen. Bei allen Zügen werden die reziproken Kräfte der Apparatur durch die extraorale Verankerungshilfe abgefangen (indirekter Einsatz), oder die Kräfte direkt auf die zu bewegenden Zähne ausgeübt (direkter Einsatz) [Diedrich, 1993]. Er weist sehr viele Kombinationsmöglichkeiten auf. Man kann ihn mit verschiedenen Zügen (High-pull, Straight-pull, Low-pull), mit unterschiedlichen funktionskieferorthopädischen Geräten, mit aktiven Platten und mit festsitzenden Apparaturen verwenden. Der große Vorteil des Headgears ist also, dass eine vertikale bzw. sagittale Verankerungskontrolle durch den Einsatz einer variablen Krafrichtung und Kraftgröße, sowie eine Drehmomentkontrolle durch Variation des Kraftansatzpunktes, ermöglicht werden [Diedrich, 1993].

Seine Hauptkontraindikationen sind die Behandlung von Klasse III-Patienten, eine vorliegende Halswirbelsäulenproblematik und die Migräne. Obwohl der Headgear die häufigste extraorale Verankerungsform ist, sollte seine Anwendung auch kritisch beurteilt werden. Eine ungenügende Patientenakzeptanz kann zu einer nicht ausreichenden Patientenmitarbeit führen und den kieferorthopädischen Behandlungserfolg gefährden [Glatzmaier et al., 1995]. Weitere Nachteile des Headgears sind die erforderliche Tragedauer (Compliance) und Risiken, wie die Verletzungsgefahr und die Jiggling-Effekte [1975], [Diedrich, 1993], [Samuels et al., 1994], [Turley et al., 1988], [Wehrbein et al., 1996a].

Der Unterkieferheadgear wird nur in Ausnahmefällen angewendet, da sonst das Gelenk durch die Unkalkulierbarkeit geschädigt werden kann [Diedrich, 1993]. Die

extraorale Verankerung kann im Nacken oder darüber liegen (Low-pull, Straight-pull). Er soll hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

### **Die Hickham- und Delaire-Maske:**

Die beiden Masken bieten eine extraorale Verankerung ohne Beteiligung von Zähnen, was sehr vorteilhaft ist.

Bei der Delaire-Gesichtsmaske (1971) befinden sich extraoral zwei Abstützungen, an der Stirn und am Kinn. Diese sind durch zwei vertikale Stäbe miteinander verbunden. Eine verschiebbare horizontale Vorrichtung ist auf diesen Stäben befestigt, an der Gummizüge befestigt werden können, die zum Oberkiefer führen [Schmuth G., 1994]. Das Mesialisieren von Zähnen ist mit dieser Apparatur also ohne intraoralen Verankerungsblock möglich. Zusätzlich ist die Delairemaske indiziert, wenn die orthopädische Beeinflussung des Ober- und Unterkiefers erwünscht ist. Das Wachstum der Maxilla wird durch dieses Gerät stimuliert und die Mandibula dabei zurückgeschwenkt.

Die Hickham-Maske ist ebenfalls an zwei Stellen, dem Kopf und dem Kinn, befestigt. Durch zwei vertikale Stege, angebracht an den Seiten der Kinnkappe, die mit Gummizügen mit dem Oberkiefer verbunden werden, kann auch mit dieser Verankerung die Maxilla protrahiert und die Mandibula retrahiert werden. Um die Kräfte auf den ganzen Oberkiefer ausüben zu können, werden die Zähne durch einen Labiolingualbogen mit einem palatinalen Bügel verblockt [Schmuth G., 1994].

Die Nachteile bei allen extraoralen Verankerungshilfen sind jedoch, dass eine gute Patientencompliance vorauszusetzen ist und der Tragekomfort von den meisten Patienten als unangenehm empfunden wird.

#### 2.1.2.2.2 Intraorale Apparaturen

##### **Der Transpalatinal- und Lingualbogen:**

Die beiden Bögen werden in die Ober- bzw. Unterkiefermolarenschlösser eingeführt und stabilisieren diese Zähne in der Transversalen. Der Widerstand der Zähne wird somit gegenüber kippenden und transversalen Kräften sowie Rotationen erhöht. Auf Kräfte in der Sagittalen und Vertikalen haben die Bögen keinen signifikanten Einfluss [Zablocki et al., 2008]. Diedrich et al. hingegen berichten von einer vertikalen Stabilisierung der Verankerungseinheit im Oberkiefer durch den Zungendruck und den Bügel [Diedrich, 1993]. Ihr Vorteil liegt darin, dass die Bögen ohne jegliche Patientencompliance funktionieren.

##### **Der Jasper-Jumper:**

Der Aufbau des Jasper-Jumpers ähnelt im Groben dem der Herbst-Apparatur. Zwei mit Kunststoff umhüllte Federn verbinden den Oberkiefer mit dem Unterkiefer, indem sie jeweils am oberen ersten Molaren an einem Headgearröhrchen, und im Unterkiefer im Eckzahnbereich befestigt sind. Alle Zähne sind dabei voll bebändert. Durch diese Konstruktion des Geräts wird die Mandibula in einer protrudierten Position gehalten und an den Oberkiefermolaren werden Kräfte (250 cN) erzeugt, die den sagittalen Kräften (Mesialisierung) Widerstand leisten [Sander et al., 2011]. Zusätzlich werden als Verankerungshilfen ein Transpalatinal- und Lingualbogen benutzt. Der Jasper-Jumper ist bei dentalen und skelettalen Klasse II-Patienten indiziert [Sander et al., 2011].

##### **Die Nance-Apparatur (Nance holding arch):**

Nance erweiterte 1947 den Palatinalbügel durch eine anteriore Gaumenplatte aus Kunststoff [Diedrich, 1993]. Die Nance-Apparatur ist also eine passive Apparatur, kann allerdings auch mit anderen Geräten verbunden werden [Sander et al., 2011]. Die Effektivität der Stabilisierung der Oberkiefermolaren dieser Verankerung wird in der

Literatur oft angezweifelt. Grund dafür ist die Nachgiebigkeit der Gaumenschleimhaut (Schleimhaut Resilienz) und ein Verankerungsverlust [Diedrich, 1993] , [Sander et al., 2011]. Nachteilig ist des Weiteren, dass das Gerät eine aufwendige optimale Mundhygiene fordert, da es sonst zu Entzündungen an der Auflagefläche der Kunststoffabstützung kommen kann [Sander et al., 2011]. In einer Studie in Irland wurde bestätigt, dass die Nance-Apparatur keine absolute Verankerung bietet und es zu einem Verankerungsverlust kommt [Al-Awadhi et al., 2015]. Sie sollte also bezüglich des Verankerungswertes nicht überschätzt werden [Bondemark et al., 1992], [Diedrich, 1993], [Fuhrmann et al., 1994], [Wehrbein et al., 1996a].

### **Gummizüge:**

Klasse II- und Klasse III-Gummizüge sind intermaxilläre Züge, die die reaktive Einheit entlasten [Diedrich, 1993]. Sie werden bei mäßigen und maximalen Verankerungsanforderungen angewendet. Auch werden sie zur Therapie von Klasse II- bzw. Klasse III-Dysgnathien verwendet. Klasse II-Gummizüge werden am oberen Eckzahn und unteren letzten bebänderten Molaren befestigt, Klasse III-Gummizüge hingegen am oberen Molaren und unteren Eckzahn. Klasse I-Gummizüge werden bei Fällen minimaler Verankerung intramaxillär benutzt. Nach Tweed kann bei Verwendung von Klasse II-Gummizügen durch eine Biegung zweiter Ordnung in der Vertikalebene (Tip back) eine stationäre Verankerung erreicht werden [Schmuth G., 1994].

Die intermaxillären Züge verlangen allerdings eine gute Compliance des Patienten und weisen Nebenwirkungen auf. Klasse II-Gummizüge können eine Kippung und Extrusion der Molaren bewirken, Klasse III-Gummizüge können eine Überbelastung des Kiefergelenks sowie eine Extrusion der beteiligten Zähne herbeiführen [Sander et al., 2011]. Auch können eine Mesialisierung der Molaren im Unterkiefer, eine Protrusion der Frontzähne und damit eine Kippung der Okklusionsebene bei der Verwendung von Klasse II-Gummizügen als Nebeneffekte auftreten [Tweed, 1941]. Bei vertikalem Wachstumsmuster ist der Einsatz von Gummizügen als kritisch zu beurteilen [Diedrich, 1993].

### *2.1.2.3 Temporäre skelettale Verankerungselemente*

#### *2.1.2.3.1 Definition und Einteilung von temporären skelettalen Verankerungselementen*

Durch das Einführen von Implantaten als stabile intraorale Verankerungselemente in die Kieferorthopädie wurden viele neue Behandlungswege eröffnet und es konnten dadurch Probleme, die mit der traditionellen Verankerungsform verbunden waren, wie der Verankerungsverlust oder die fehlende Patientenkooperation, vermieden werden [Melsen et al., 1997]. Verankerungshilfen, die temporär, für die Therapiezeit, in oder am Knochen befestigt werden, erhielten die Bezeichnung temporäre skelettale Verankerungselemente. Durch sie werden eine maximale Verankerungsstabilität und damit keine ungewollten Bewegungen durch reziproke Kräfte ermöglicht (Positionsstabilität) [Cope, 2005].

Dabei unterscheidet man die direkte und indirekte Implantatverankerung. Bei der direkten Verankerung wird die Applikation der Kraft direkt vom aktiven Element, das am Implantat befestigt ist, auf den zu bewegenden Zahn übertragen. Dabei dient das Implantat als stabiler Anker und es gibt keine dentale Verankerungseinheit. Bei der indirekten Implantatverankerung hingegen wird eine dental-implantäre Verankerungseinheit bewerkstelligt, die die reziproken Kräfte abfangen und Widerstand leisten soll [Kinzinger et al., 2005a]. Somit werden die Ankerzähne stabilisiert.

Die skelettalen Verankerungselemente können transossär, subperiostal oder enossal eingebracht werden. Ihre Stabilität wird durch eine mechanische (kortikal) oder biomechanische (Osseointegration) Verankerung gewährleistet [Sander et al., 2011]. Als Primärstabilität bezeichnet man die mechanische Stabilität des Implantats gleich nach der Insertion. Ein Maß für diese ist das Eindrehmoment beim Einbringen in den Knochen [Wilmes et al., 2009a]. Die Sekundärstabilität setzt in der Phase der Osseointegration ein, also dann, wenn Knochen um das Implantat gebildet wurde. Als Osseointegration definiert man die direkte Anlagerung von Knochen an die Implantatoberfläche ohne Bindegewebsschicht zwischen Implantat und Knochen [Branemark et al., 1969]. Es gibt Studien, die diese Osseointegration an

konventionellen Implantaten und deren Wichtigkeit untersucht und bestätigt haben [Branemark et al., 1969], [Brunski et al., 1979]. Eine Voraussetzung der Osseointegration ist die Biokompatibilität des Implantatmaterials, welche bei Reintitan und Titanlegierungen gegeben ist. Durch Bildung einer Oxidschicht auf der Implantatoberfläche wird eine Osseointegration ermöglicht [Ludwig et al., 2007]. Brunski schreibt jedoch neben dem Implantatmaterial auch von chirurgischen, klinischen und biomechanischen Faktoren, die die Osseointegration beeinflussen [Brunski et al., 1979]. Zu erwähnen sind hierbei das Implantatdesign, die Oberflächeneigenschaften des Implantats (Rauigkeit), das Volumen und die Struktur des Knochens, die periimplantäre Knochenregeneration und die chirurgische Technik, wozu die Einheilzeit, der Belastungszeitpunkt sowie die Belastungsart gehören [Sander et al., 2011].

Im Vergleich zur orthodontisch-prothetischen Nutzung von Implantaten, liegen bei der rein orthodontischen Verwendung von Implantaten andere Bedingungen vor, wie beispielsweise die vollständige Bezahnung der Kiefer oder Lücken nach einer Extraktion, die geschlossen werden sollen. In solchen Fällen ist die Pars alveolaris als Insertionsort ungeeignet und es werden andere Stellen zur Insertion benötigt [Wehrbein et al., 1996a]. Mögliche Implantationsgebiete im Ober- und Unterkiefer wären der anteriore Gaumenbereich, die retromolare Region und der Tuberbereich [Glatzmaier et al., 1995]. Da an anderen topographischen Regionen ein anderes Knochenangebot vorliegt, sollten orthodontische Verankerungsimplantate geringer dimensioniert sein (Länge). Des Weiteren werden eine ausreichende Positionsstabilität, eine geringe Belastung der Patienten bei der Insertion, der Behandlung und der Explantation sowie eine gute Fixierung der kieferorthopädischen Drähte und Apparaturen von den Verankerungsimplantaten gefordert [Wehrbein et al., 1996a].

#### *2.1.2.3.2 Die verschiedenen Implantatformen in der Geschichte*

1988 berichteten Shapiro und Kokich, acht Jahre später Schweizer et al. von den ersten Anwendungen von enossalen Implantaten in der Kieferorthopädie. [Schweizer et al., 1996], [Shapiro et al., 1988]. Jedoch können konventionelle Implantate im



Alveolarknochen nicht mit allen möglichen kieferorthopädischen Apparaturen kombiniert werden und somit nicht alle Aufgaben in der kieferorthopädischen Therapie bewerkstelligen. Bei Vollbezahnung beispielsweise gibt es im Alveolarknochen keinen Platz für ein konventionelles Implantat. Auch ein Lückenschluss nach Extraktion stellt ein Problem dar. Für solche Patienten wurde ein neues Therapieschema mit Implantaten, inklusive einer anderen Positionierung benötigt [Wehrbein et al., 1996b]. Dazu wurde die retromolare Region in der Mandibula als Insertionsstelle herangezogen [Higuchi et al., 1991]. Aber auch der Gaumen stellte eine Alternative für die skelettale Verankerung dar. 1992 wurde der anteriore Gaumen erstmals von Triaca et al. als Insertionsstelle gewählt [Triaca et al., 1992]. 1996 führten Wehrbein et al. ein neues Implantatsystem für die Insertion am anterioren Gaumen, das Orthosystem (Institut Straubman, Waldenburg/Schweiz) ein [Wehrbein et al., 1996a], [Wehrbein et al., 1996b]. In einer Studie von Yildizhan wurde der harte Gaumen bezüglich des Knochenangebotes (Höhenvergleich) in sagittaler und transversaler Richtung vermessen [Yildizhan, 2004]. Dabei wurde deutlich, dass das Knochenangebot im anterioren medianen Bereich am größten ist. Auch ist die Knochenqualität an dieser Stelle besonders gut, welche sich durch eine hohe Knochendichte auszeichnet [Kim et al., 2006]. Eine ausreichende Primärstabilität wird jedoch nicht nur durch eine gute Knochendichte erreicht, sondern hängt auch von der Dicke der Weichgewebeschicht ab [Wilmes et al., 2011]. Die bedeckende Weichgewebsschicht sollte besonders dünn sein, um eine optimale Insertionstiefe erreichen zu können [Wilmes et al., 2009a]. Posterior der Papilla inzisiva des anterioren Gaumens werden alle diese Voraussetzungen erfüllt. Dort liegen eine ausreichende Knochendicke, eine optimale Knochenqualität und eine dünne Schleimhautbedeckung vor [Kim et al., 2006]. Somit eignet sich diese Region der Maxilla als ideale Insertionslokalisation von Implantaten, die der Anatomie in Größe und Dimension angepasst sind [Schlegel et al., 2002]. Da der knöcherne Gaumen im Fernröntgenseitenbild dünner erscheint, als er tatsächlich ist, hat man angenommen, dass Gaumenimplantate besonders breit sein müssen. So führten 1995 Block und Hoffman ein subperiostales Implantat vom disc-Typ (Onplant) ein, das einen Durchmesser von 10 mm hatte [Block et al., 1995]. Das von Triaca et al. eingeführte Flachschaubenimplantat wies einen Durchmesser von 7,5 mm auf [Triaca et al., 1992]. Diese Systeme mit großem Durchmesser und geringer Länge waren jedoch wesentlich invasiver, was die Gaumenschleimhaut betrifft, als welche mit geringerem Durchmesser und größerer Implantatlänge. Das enossale

Orthosystem von Wehrbein et al. hingegen war durch einen geringeren Durchmesser (3,3 mm) und einer mittleren Länge (4 und 6 mm) wesentlich weniger invasiv gegenüber dem Weichgewebe und wies trotzdem eine hohe Stabilität im Knochen auf [Wehrbein et al., 1996a], [Wehrbein et al., 1999]. 1999 stellte sich auch heraus, dass der Knochen in der Midsagittalebene des Gaumens mindestens 2 mm dicker ist, als auf den Fernröntgenseitenbildern zu erkennen und somit Implantatlängen von 6 mm kein Problem darstellen. Sollte trotzdem eine minimale Perforation des Knochens zur Nasenhöhle vorkommen, wird eine Verbindung des Mund-Nasenraumes erst einmal durch die dicke Mukosa des Naseninnenraumes verhindert [Wehrbein et al., 1999]. 1994 führten Glatzmaier et al. ein enossales resorbierbares Verankerungsimplantat (BIOS-Implantatsystem) ein, wobei der Implantatkörper aus Polylactid, einem aus der Unfallchirurgie bekannten Material, bestand [Glatzmaier et al., 1995]. Als Insertionsstelle wurde in dieser Studie ebenfalls der mediane Gaumen auf Höhe der Prämolaren gewählt. Trotz der Idee, dem Patienten eine Zweitoperation zur Entfernung des Ankerimplantates durch Degradation zu ersparen, setzte sich dieses Implantatsystem nicht durch [Glatzmaier et al., 1995]. In den darauf folgenden Jahren wurden dann auch Miniimplantate zur Verankerung im Gaumen benutzt [Lee et al., 2004], [Kyung et al., 2003].

#### *2.1.2.3.3 Skelettale temporäre Verankerungselemente der heutigen Zeit:*

##### *Miniimplantate und Miniplatten*

Der Einsatz von Miniimplantaten wurde in der Vergangenheit wegen ihrer Einsatzflexibilität, ihren geringen Kosten und dem wenig invasiven Eingriff beim Ein- und Ausgliedern immer beliebter [Costa et al., 1997], [Freudenthaler et al., 2001], [Kanomi, 1997], [Kuroda et al., 2004], [Lee et al., 2004], [Wilmes et al., 2008a]. Ihre Verwendung hat sich in der Vergangenheit bereits bewährt [Kanomi, 1997], [Melsen et al., 2000]. Die Längen der Schrauben liegen zwischen 4 und 15 mm, ihr Durchmesser zwischen 1,2 und 2,3 mm [Ludwig et al., 2007]. Miniimplantate sind universell einsetzbar, da sie durch ihre Größe für jede Situation des Knochens passen. Sie können zwischen den Wurzeln der Zähne, apikal der Wurzeln aber auch im Gaumen platziert werden. Damit ergibt sich eine Vielzahl von Einsatz- und Therapiemöglichkeiten im Ober- und Unterkiefer. Sie werden beispielsweise für das

Distalisieren und Mesialisieren von Zähnen, zur Lückenöffnung und zum Lückenschluss, für die Intrusion von Zähnen und zur Retraktion und Protrusion von Frontzähnen benutzt [Sander et al., 2011].

Auf dem Markt gibt es mittlerweile viele verschiedene Minischrauben unterschiedlicher Marken und Hersteller. Sie sind meist aus einer Titanlegierung (Titan 6-Aluminium 4-Vanadium) und bestehen aus drei Teilen, dem Kopf, dem transmukosalen Bereich (Gingivahals) und dem Schaft mit Gewinde [Sander et al., 2011]. Erstgenanntes kann einen Kreuzslot, einen Haken, eine Kugel oder eine Öse aufweisen und dient zur Fixierung der kieferorthopädischen Elemente. Der Gingivahals befindet sich vollständig in der Mukosa und dichtet den Knochen ab, um das Eindringen von Mikroorganismen zu verhindern und einen dadurch verursachten Schraubenverlust zu vermeiden. Der Gewindeschaft, der sich im Knochen befindet, ist mit für die Primärstabilität verantwortlich und dient der Verankerung des Implantats [Sander et al., 2011]. Ihre Oberfläche ist meist glatt, damit eine exzessive Osseointegration vermieden wird und die spätere Entfernung somit leichter fällt [Cornelis et al., 2007b]. Man kann selbstschneidende und selbstbohrende Miniimplantate unterscheiden. Selbstschneidende Minischrauben besitzen eine stumpfe Spitze und abgerundete Gewindeflanken, weshalb vor ihrer Insertion eine Vorbohrung der Kortikalis und Spongiosa (Pilotbohrung) nötig ist. Selbstbohrende Minischrauben hingegen können ohne Pilotbohrung eingebracht werden, da sie eine scharfkantige Spitze und scharfkantige Flanken aufweisen [Sander et al., 2011]. Wilmes et al. empfiehlt bei diesen jedoch eine Schwächung der Kompakta (3 bis 4 mm tief), um ein zu hohes Eindrehmoment vermeiden zu können [Wilmes et al., 2006b]. Dies hängt jedoch von der Knochenqualität an der Insertionsstelle und dem Alter des Patienten ab. Während bei erwachsenen Patienten eine Vorbohrung meist nötig ist, kann die Pilotbohrung bei jungen Patienten (unter zwölf Jahren) in der Regel weggelassen werden [Wilmes et al., 2013].

Ihre Insertion ist einfacher als die von konventionellen Implantaten und ihre Einheilungsphase kürzer [Kanomi, 1997]. Melsen et al. fanden in ihrer Studie sogar heraus, dass eine sofortige Belastung der Miniimplantate als Verankerung die Osseointegration nicht negativ beeinflusst [Melsen et al., 2000]. Kim et al. bestätigten dies 2005 [Kim et al., 2005]. Kyung et al. vertreten die Ansicht, dass auf das Warten

einer Osseointegration verzichtet werden kann [Kyung et al., 2003]. Auch Cope definiert eine Minischraube als ein Fixierungselement, das als Ziel das Erreichen einer mechanischen Stabilität, aber nicht einer Osseointegration hat [Cope, 2005]. Dies kann allgemein durch den großen Unterschied zwischen konventionellen permanenten Implantaten, die einen Zahn ersetzen und temporären skelettalen Verankerungsimplantaten erklärt werden. Erstgenannte werden erst nach einer Osseointegration belastet, was mit den hohen intermittierenden Kaukräften zusammenhängt. Zweitgenannte hingegen können lange vor einer Osseointegration belastet werden, da die ansetzenden Kräfte kontinuierlich und geringer sind [Cornelis et al., 2007b]. Auch unterscheidet sich die Krafrichtung zwischen den beiden. Eine sofortige Belastung der Miniimplantate erscheint akzeptabel, wenn die Kräfte zunächst reduziert eingesetzt werden. Viele Autoren bevorzugen jedoch immer noch eine Einheilungszeit des Implantats von drei bis zwölf Wochen, um das Risiko des Implantatverlustes zu minimieren [Cornelis et al., 2007b].

Die Stabilität der temporären skelettalen Verankerungsminiimplantate hängt nach Melson et al. von dem Knochentyp und der Lokalisation der Insertion ab [Melsen et al., 2000]. Nach Wilmes und Drescher hängt das Eindrehmoment und damit die Primärstabilität der Miniimplantate von der Knochenqualität (Dicke der Kompakta), dem Design und der Größe des Implantates und der Präparation des Implantationsbettes (Insertionsmodalitäten) ab [Wilmes et al., 2011]. Selbstbohrende Miniimplantate scheinen eine höhere Primär- und Sekundärstabilität, als selbstschneidende aufzuweisen [Cornelis et al., 2007b], [Kim et al., 2005]. Konische Miniimplantate weisen höhere Eindrehmomente auf, als welche mit einem zylindrischen Design des intraossären Anteils. Dabei ist das Eindrehmoment bei denen mit größerem Durchmesser, ebenfalls größer [Wilmes et al., 2008c]. Somit sollte ein Miniimplantat mit ausreichend dimensioniertem Durchmesser gewählt werden, um eine optimale Primärstabilität erreichen zu können. Jedoch müssen bei der Wahl das Platzangebot und die anatomischen Verhältnisse berücksichtigt werden [Wilmes et al., 2008c]. Weiterhin nimmt die Primärstabilität mit zunehmender Pilotbohrergröße ab [Heidemann et al., 1998], [Steeves et al., 2005]. Ein Vorbohren wird allgemein in allen Bereichen mit hoher Knochendichte empfohlen. Dazu zählen der ganze Unterkiefer, die Mitte des Alveolarkamms und der Gaumen. Dies gilt auch für selbstbohrende Miniimplantate. Der Durchmesser des Bohrers sollte dabei 0,5 mm kleiner als der des

Implantates sein [Wilmes et al., 2011]. Bei selbstbohrenden Implantaten ist eine Schwächung der Kompakta ausreichend. Die Tiefe der Vorbohrung ist dabei abhängig von der Dicke der Kompakta an der Insertionsstelle. Bei selbstschneidenden Miniimplantaten hingegen erfolgt die Vorbohrung über die gesamte Insertionstiefe [Wilmes et al., 2006b]. Das Eindrehmoment sollte nicht größer als 200 Nmm gewählt werden, da es sonst zu einer Fraktur des Implantates oder einer Überhitzung des Knochens kommen kann [Wilmes et al., 2011]. Es ist also wichtig, dass man das für das vorliegende Knochenangebot geeignete Implantat aussucht und bei der Einbringung von diesem alle genannten Faktoren aufeinander abstimmt. Weiterhin hat sich herausgestellt, dass die Insertionstiefe des Implantates auch einen entscheidenden Einfluss auf die Primärstabilität hat. Daher sollte beim Einbringen immer darauf geachtet werden, dass die Miniimplantate vollständig eingeschraubt werden, da das letzte einzuschraubende Stück die Primärstabilität erhöht. Dies verdeutlicht, wie wichtig es ist, die Insertionsregion in einen Bereich mit dünner befestigter Schleimhaut (1 mm bis 1,5 mm) zu legen. Auch können dadurch große Kippmomente vermieden werden [Wilmes et al., 2009a]. Ebenso beeinflusst der Insertionswinkel die Primärstabilität. Winkel von 60° und 70° bedingen eine hohe Primärstabilität, kleine Winkel (30°) reduzieren sie [Wilmes et al., 2008d].

Die Vorteile des anterioren Gaumens als Insertionsstelle wurde bereits weiter oben angesprochen. Weitere mögliche Insertionsstellen für Miniimplantate im und um den Oberkiefer sind die Tuber maxillae, die Teile des Jochbeins anliegend an der Maxilla, der palatinale Alveolarknochen, der bukkale Alveolarknochen und die Spina nasalis anterior [Ludwig et al., 2011], [Sander et al., 2011]. Aber auch der posteriore Anteil des Gaumens wurde als Verankerungsort beschrieben [Kravitz et al., 2007]. Die Tuber maxillae sind jedoch eher ungeeignet, denn sie weisen meist zu wenig Knochen auf, da sich dort die noch nicht durchgebrochenen Weisheitszähne befinden und die Tubera mit einer dicken Gingivaschicht bedeckt sind [Poggio et al., 2006]. Die Insertionsstelle im Bereich des Jochbeins birgt die Gefahr der Perforation in die Kieferhöhle (Sinus maxillaris), wohingegen der posteriore Gaumenanteil die Gefahr der iatrogenen Verletzung von Blutgefäßen und Nerven aus dem Foramen palatinum majus aufweist [Gracco et al., 2010], [Ludwig et al., 2011]. Die Miniimplantate können nicht nur bukkal (posterior oder anterior) am Alveolarknochen gesetzt werden, sondern auch palatinal. Dazu eignet sich die Stelle zwischen dem zweiten Prämolaren und

ersten Molaren im Oberkiefer am besten, da palatinal zwischen den Wurzeln dieser Zähne am meisten Platz im Knochen zur Verfügung steht [Poggio et al., 2006]. Jedoch müssen bei beiden Vorgehensweisen die interradiären Platzverhältnisse genauestens betrachtet werden, um Verletzungen der Wurzeln mit Schrauben zu vermeiden [Poggio et al., 2006]. Mit unter den Wurzeln eingebrachten Miniimplantaten kann dieses Risiko verringert werden, dadurch verringert sich durch die ungünstige Position der Kraftvektoren jedoch die applizierte Kraft [Kanomi, 1997], [Costa et al., 1997]. Nach wie vor erscheint der anteriore Gaumen als beste Insertionsstelle für Miniimplantate, medial und paramedian der Sutur gesetzt [Wehrbein, 2009], [Wilmes et al., 2008b]. Ein gutes Knochenangebot, eine dünn dimensionierte befestigte Gingiva sowie keine Gefahr der Wurzelverletzungen sprechen für diese Lokalisation. Zusätzlich ist es möglich an dieser Stelle alle möglichen Geräte mit verschiedenen Biomechaniken einzusetzen, die auch während der Behandlung ausgetauscht werden können [Ludwig et al., 2011]. Im Unterkiefer können die Miniimplantate vestibulär oder lingual des Processus alveolaris inferior platziert werden. Jedoch sind lingual inserierte Implantate mit größeren Verlustraten verbunden, als vestibulär inserierte [Wiechmann et al., 2007]. Beim Einbringen der Schrauben sollte darauf geachtet werden, dass diese in der befestigten Schleimhaut fixiert werden [Heymann et al., 2010]. Weitere Möglichkeiten der Positionierung sind die Symphyse und die Retromolarregion des Unterkiefers [Sander et al., 2011].

Neben den Miniimplantaten wurden in den letzten Jahren auch immer mehr Miniplatten verwendet, die durch Minischrauben befestigt werden. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Plattensysteme. Miniplatten können im Oberkiefer über den Zähnen im Bereich der Crista zygomaticomaxillaris und im Unterkiefer in der Mentalisregion (zwischen Eckzahn und seitlichem Schneidezahn) oder im bukkalen Vestibulum der Molaren angebracht werden [Umemori et al., 1999]. Zum Einbringen der Platten wird in Lokalanästhesie ein Mukoperiostlappen im Bereich der Gingiva fixa gebildet [Sander et al., 2011], [Cornelis et al., 2008a]. Sie sind durch Minischrauben im Knochen befestigt, wobei drei Schrauben eine bessere Stabilität gewährleisten, als zwei [Proffit et al., 2013]. Miniplatten besitzen einen kleinen Konnektor der auf Höhe der Grenze zwischen befestigter und beweglicher Schleimhaut in die Mundhöhle ragt. Der Eingriff beim Einbringen und das Entfernen der Platten ist wesentlich invasiver, als der bei Miniimplantaten. Trotzdem werden sie von den Patienten gut toleriert und stellen eine

gute Verankerungshilfe in der Kieferorthopädie dar [Cornelis et al., 2008b]. Folgende Vorteile der Miniplatten sind zu nennen [Proffit et al., 2013]: Miniplatten können eine größere Kraft tolerieren, als einzelne Miniimplantate im Alveolarknochen, da sie durch mehrere Schrauben befestigt sind und an Stellen mit dickem kortikalen Knochen verankert sind. Des Weiteren kann die Krafrichtung variiert werden, ohne dass die Schrauben locker werden. Dies ist möglich, weil die Platte von mehreren Schrauben gehalten wird. Zusätzlich weisen sie den Vorteil auf, dass sie über den Wurzeln der Zähne platziert werden können und somit nicht interdental beim Mesialisieren oder Distalisieren stören, sowie die Gefahr der Wurzelverletzung vermieden werden kann. Sie eignen sich somit gut für komplexe Bewegungen mehrere Zähne. Dies kann mit am Gaumen angebrachten Miniimplantaten zwar auch erzielt werden, jedoch nur in Kombination mit einem geeigneten kieferorthopädischen Gerät.

In der Literatur sind eine Vielzahl von Miniplattenvariationen zu finden [Chung et al., 2002], [De Clerck et al., 2002], [Umemori et al., 1999]. Auf die Bollard Miniplatte soll im Folgenden kurz eingegangen werden, welche 2002 erstmals von De Clerck et al. in der Literatur beschrieben wurde. Sie besteht aus drei Titanteilen, wovon das obere Teil die Miniplatte und das mittlere Teil ein rundes Drahtstück ist. Unten befindet sich eine zylinderförmige Halterung, an welcher durch eine Fixierschraube ein orthodontischer Draht befestigt werden kann. Die Bollard Miniplatte wird durch zwei bzw. drei Schrauben befestigt, wozu ein L-förmiger Mukoperiostlappen gebildet wird [Sander et al., 2011]. Nach De Clerck et al. können die orthodontischen Kräfte direkt nach der Insertion appliziert werden, da durch die Anzahl der Minischrauben eine ausreichende mechanische Retention erreicht wird [De Clerck et al., 2002]. Heymann et al. beschreiben nicht nur eine dentale Behandlung mit dieser Platte, sondern auch die Möglichkeit einer skelettalen Korrektur bei Klasse III-Patienten [Heymann et al., 2010]. Miniplatten sind also vielseitig einsetzbar und aus der heutigen Kieferorthopädie nicht mehr wegzudenken.

## 2.2 Klasse II-Malokklusionen und deren Behandlungsmöglichkeiten

Der klinische Befund einer Klasse II-Malokklusion kann basal eine Vielzahl von differenzialdiagnostischen Befunde aufweisen. Deshalb ist es erforderlich zuerst die skelettale Konfiguration dreidimensional zu eruieren, wobei die Kephalmetrie (FRS) einen wesentlichen Beitrag leistet. Hierbei ist jedoch auch immer der Bezug zum klinischen Erscheinungsbild zu beachten.

Dominiert bei einer Klasse II-Malokklusion der skelettale Bezug, dann ist für die kieferorthopädische Behandlung das individuelle Wachstum in Zeit, Potenzial und Richtung der wesentlichste Bestandteil der Therapieplanung [Björk, 1955], [Björk, 1966], [Graber et al., 2005], [Proffit et al., 2013].

Darüber hinaus sind die Fragen nach der Ätiologie, sowohl die Familienanamnese für vererbte Variationen, als auch die individuelle Anamnese bezüglich erworbener Befunde (orofaziale Dyskinesien), der Schlüssel zur erfolgreichen Versorgung [Proffit et al., 2013].

Das frühzeitige Abgewöhnen von Habits und die Kontrolle von Parafunktionen stehen im Fokus bei der Therapie aller Typen von Klasse II-Malokklusionen [Schmuth G., 1994]. Diese frühzeitig einzusetzende Behandlung, auch als einleitende Behandlungsphase bekannt, hilft nicht nur bei einem „Rezidiv zur Gesundheit“ [Kantorowicz et al., 1926], [Kantorowicz, 1959], sondern verhindert auch eine gravierende Verschlechterung von ererbten Klasse II-Befunden.

Bei günstigem Wachstum bietet sich der pubertäre Zeitraum einschließlich dem Restwachstum als beste Behandlungschance mit Hilfe der Funktionskieferorthopädie an [Sander et al., 2011]. Bei ererbten skelettalen Klasse II-Befunden muss dieser Zeitraum vermieden werden, um nicht über dentale Kompensation die skelettale Klasse II zu verschleiern. Dann bleibt im jungen und späten Erwachsenenalter die operative Korrektur als Mittel der Wahl [Steinhäuser et al., 1988], [Steinhäuser et al., 1994].



Die Palette der funktionskieferorthopädischen Geräte ist groß, begonnen mit dem Monoblock, von Robin 1902 vorgestellt, über das norwegische System, dem Aktivator, 1935 von Andresen eingeführt und dessen Wirkung von Häupl genauer beschrieben [Häupl et al., 1957], bis zu einer Vielzahl von skelettierten Aktivatoren nach Balters und Fränkel [Balters, 1964], [Fränkel, 1967], [Fränkel et al., 1992], [Kahl-Nieke, 2009].

Neben der Kombination von skelettalen und dentalen Klasse II-Befunden erfordern die rein dental geprägten Klasse II-Malokklusionen, beginnend im Wechselgebiss und weiter in allen Stufen des bleibenden Gebisses, die Möglichkeit, durch gegenseitige Bewegungen in den Zahnreihen, eine Klasse II-Korrektur herbeizuführen.

Je nach diagnostischem Hintergrund dominieren dabei vor allem Distalisationen im oberen Seitenzahnggebiet, da man in den vergangenen Jahren aufgrund der großen Fortschritte in der Mechanotherapie und wegen Veränderungen in den kieferorthopädischen Therapiekonzepten immer mehr von einer Extraktionstherapie abkam [Cetlin et al., 1983].

Auch hier sind viele kieferorthopädische/orthodontische Geräte bekannt, die als intra- und extraorale Verankerungsgeräte zur Verfügung stehen.

### 2.3 Orthodontische Behandlungsbehelfe zur Distalisation von Molaren im Oberkiefer

Aktuell sind eine Vielzahl von kieferorthopädischen Geräten zur Distalisation von Oberkiefermolaren im klinischen Einsatz. Die meisten traditionellen Techniken zur Distalisation von Molaren waren jedoch teils oder ganz von der Mitarbeit des Patienten abhängig, was den Behandlungserfolg gefährdete und die Behandlungsdauer oft verlängerte. Da die Patientenmitarbeit allerdings ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg einer Behandlung ist, wurden später Geräte in die Kieferorthopädie eingeführt, die zum großen Teil unabhängig von der Patientenkooperation ihre Wirkung zeigten [Behrents, 1996], [Fortini et al., 2004].

Diesen werden neben dem dentalen Effekt auch skelettale Reaktionen zugeschrieben, insbesondere in der vertikalen Dimension. Eine Auswahl der bekanntesten Distalisationsbehelfe wird im Folgenden vorgestellt.

### 2.3.1 Der Headgear

Der Headgear ist seit 1948 als Behandlungsgerät bekannt, wobei sich seine Vorformen noch weiter zurückverfolgen lassen [Sander et al., 2011]. In den vierziger Jahren hatte er seinen Durchbruch, was auch an den zahlreichen Veröffentlichungen von Kloehn lag, der das Gerät modifizierte und anwendungsfreundlich gestaltete. In seinen Arbeiten zeigte er den Behandlungserfolg von Klasse II-Patienten mit einem Headgear im Gesichtsbogendesign, wobei der Außenbogen mit dem Innenbogen verlötet war [Kloehn, 1947], [Kloehn, 1953]. Seitdem ist es eins der meistgebräuchlichsten Geräte und aus keiner Praxis mehr wegzudenken. Sein großer Anwendungsbereich sowie seine Kombinierbarkeit mit unterschiedlichen Zügen, mit der Multibandbehandlung, mit aktiven Platten und mit funktionskieferorthopädischen Apparaturen machen ihn so beliebt [Sander et al., 2011].

Sein großer Nachteil ist jedoch, dass er von der Patientenkooperation abhängt. Oft sind die Patienten nicht gewillt den Headgear für die empfohlene Tragezeit von 12 - 14 Stunden pro Tag zu tragen [Sfondrini et al., 2002]. Dies bedeutet, dass sie ihn die gesamte Nacht und einige Stunden am Nachmittag tragen müssten.

Seine Wirkungsweise besteht aus einem dentalen und skelettalen Anteil [Sfondrini et al., 2002]. Eine Klasse II-Malokklusion kann mit Hilfe des Headgears durch eine Distalisation der Molaren und durch eine Hemmung des sagittalen Wachstums der Maxilla, sowie einer Abwärtskipfung des vorderen Teils des Palatinalplanums beseitigt werden [Poulton, 1967], [Wieslander et al., 1963]. Klein beobachtete dabei eine Retraktion des A-Punktes, sowie eine Verkleinerung des SNA-Winkels [Klein, 1957]. Ricketts beschrieb in einem Fall sogar eine obere Molarendistalisation von 8 mm mit Hilfe einer Kombination aus zervikalem und Highpull-Headgear [Ricketts, 1960].

Der Headgear besteht aus einem Gesichtsbogen, der der Kraftübertragung dient, und einer Kraftquelle, dem extraoralen Zug [Schmuth G., 1994]. Der Gesichtsbogen besteht aus einem Innen- (Dicke: 1,0 - 1,3 mm) und Außenbogen (Dicke: 1,4 - 1,8 mm), die in der Mitte verlötet bzw. verschweißt sind. Diese Lötstelle sollte zu den Frontzähnen etwa 5 bis 8 mm Abstand haben und sich zwischen den Lippen befinden. Die Enden des Innenbogens werden in Headgearröhrchen an den Molarenbändern der ersten Molaren eingeführt oder an Röhrchen der herausnehmbaren Apparaturen befestigt, wobei der Innenbogen mesial der Röhrchen Stopps aufweisen muss. Der Außenbogen verläuft entlang der Wangen und besitzt an seinen Enden Haken, in die der extraorale Zug eingehängt wird. Es gibt mehrere Außenbogentypen, die sich nach Länge und Angulation unterscheiden. Es gibt einen kurzen, mittleren und langen Außenbogen, sowie einen der nach oben zum Innenbogen anguliert, gerade dazu geneigt oder nach unten anguliert ist [Schmuth G., 1994]. Die Kraftquelle kann ein Zugband aus Gummi oder ein Federzug sein und ihre Zugrichtung parietal, okzipital oder zervikal liegen. Dementsprechend unterscheidet man den Highpull-Headgear (Kraftursprung oberhalb des Kraftansatzes), den horizontalen Headgear (Kraftursprung auf Höhe der Okklusionsebene) und den Nackenzugheadgear (Kraftursprung unterhalb des Kraftansatzes) [Schmuth G., 1994]. Die mit einem Headgear angewandten Kräfte liegen zwischen 2 und 20 N, wobei man bei der Molarendistalisation eine Kraft von 3 bis 5 N appliziert [Schmuth G., 1994].

Bei einem zervikalen Headgear (Nackenzugheadgear) liegt der Kraftursprung unter dem Widerstandszentrum, weshalb er unabhängig von der Angulation und Länge des Außenarms, neben der Distalisation der oberen Molaren eine Extrusion dieser bewirkt. Er ist bei Klasse II Patienten mit einem tiefen Biss indiziert [Schmuth G., 1994]. Jedoch hat eine Extrusion der Molaren meist eine Beeinflussung der Wachstumsrichtung der Mandibula, in Form einer posterioren Rotation, zur Folge. Wird dies anschließend nicht durch das kondyläre Wachstum ausgeglichen, bleibt dieser Nebeneffekt permanent erhalten [Poulton, 1967]. Um einen komprimierenden Effekt der Molaren (Einwärtsrollen der Molaren) entgegenzuwirken, wird der Innenbogen im Bereich der Molaren expandiert, um eine Kreuzbissentwicklung zu vermeiden [Schmuth G., 1994]. Seine Kontraindikationen sind der offene Biss und das vertikale Wachstumsmuster [Sander et al., 2011].

Bei dem horizontalen (okzipitalen) Headgear liegt der Kraftursprung auf der Ebene des Widerstandszentrums. Somit findet bei Verwendung eines nicht angulierten horizontalen Außenbogens eine reine Distalisation statt, weshalb dieser Typ von Headgear bei Patienten ohne vertikale Probleme indiziert ist [Schmuth G., 1994]. Meist wird hier zur Verankerung eine Hickham-Kappe verwendet, durch die ein Hochzug und ein Nackenzug kombiniert wird, damit ein besserer Halt gewährleistet werden kann. Ein Molarenrollen tritt beim horizontalen Headgear nicht auf. Seine Kontraindikationen sind das vertikale und horizontale Wachstumsmuster, der Tiefbiss und ein zu kleiner Kieferbasiswinkel [Sander et al., 2011].

Der parietale Headgear (Highpull-Headgear) bewirkt eine Intrusion der Molaren und wirkt einer anterioren Rotation der Maxilla entgegen, und wird somit bei Klasse I- und Klasse II-Patienten mit offenem Biss mit einem Counterclockwise-Wachstum des Oberkiefers verwendet. Bei diesen Fällen ist eine Extrusion und Distalisation der Molaren kontraindiziert. Um die Intrusion zu verstärken, sollten die Kraftlinie (Verbindungsline zwischen Kraftursprung und dem Haken des Außenbogens) möglichst vertikal verlaufen, die Neigung der Außenbögen nach horizontal/kaudal sein, und kurze/mittellange Außenarme gewählt werden [Schmuth G., 1994]. Bei dem parietalen Zug besteht die Gefahr der Kippung der Molaren nach bukkal (Rollen der Molarenkronen). Um einem Scherenbiss entgegenzuwirken, kann der Innenbogen komprimiert werden, oder ein Gaumenbügel eingesetzt werden, der die beiden Molaren miteinander verbindet. Dieser muss jedoch genügend Freiraum zum Gaumen lassen, damit die Intrusion der Molaren nicht gestört wird [Schmuth G., 1994]. Die Kontraindikationen des parietalen Headgears sind ein kleiner Kieferbasiswinkel, ein horizontales Wachstum und eine starke Distalisation der Molaren [Sander et al., 2011].

Allgemein sollte bei der Anwendung des Headgears darauf geachtet werden, dass die Kräfte der Außenarme nicht mehr als fünf Newton betragen, die Anwendungszeit eingehalten wird, die Anwendungsdauer des Geräts 18 Monate nicht überschreitet, die Außenarme nicht mehr als 20° anguliert werden (sonst negative Auswirkungen) sowie eine regelmäßige Kontrolle (4 - 6 Wochen) und Nachaktivierung erfolgt [Sander et al., 2011]. Die skelettalen Wirkungen des Headgears lassen sich jedoch nur vollständig nutzen, wenn dieser mit einer Multibandapparatur kombiniert wird. Durch die Vollbebänderung werden die auf die Molaren wirkenden Kräfte auf den Oberkiefer übertragen. Auch kann eine skelettale Wirkungssteigerung durch Kombination des

Headgears mit einem Aktivator oder einer Sander-II-Apparatur erreicht werden [Sander et al., 2011].

Der asymmetrische Headgear soll an dieser Stelle nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Er wird verwendet, wenn die Molaren unterschiedlich weit distalisiert werden sollen, indem der Außenarm an der Seite der stärkeren Distalisation länger gestaltet wird. Seine Nebenwirkungen können jedoch die Mesialrotation des Molaren, der weniger bzw. nicht distalisiert wird, sein, sowie eine stärkere palatinale Bewegung des Molaren am längeren Außenarm, wodurch ein Kreuzbiss entstehen kann [Sander et al., 2011].

Vorteile des Headgears sind jedoch immer noch die niedrigen Kosten, die einfache Handhabung und die Möglichkeit den Verankerungsverlust durch eine extraorale Verankerung zu vermeiden. Nachteilig ist jedoch die Schwierigkeit eine körperliche Molarendistalisation zu erreichen, der mangelnde Komfort beim Tragen und die Abhängigkeit von der Kooperation des Patienten [Sfondrini et al., 2002]. Auch geht von diesem Gerät ein gewisses Verletzungsrisiko aus, wobei meist die Augen, Augenlider, Wangen und Nase betroffen sind [Samuels et al., 1994].

### 2.3.2 Die ACCO-Apparatur (Acrylic cervical occipital)

Diese herausnehmbare Apparatur besteht aus einer Kunststoffplatte, modifizierten Adamsklammern an den ersten Prämolaren, einem Labialbogen von Kunststoff umhüllt, der der Retention der oberen Frontzähne dient, und Fingerfederchen, um mesialen Kräften an den ersten Molaren entgegenzuwirken und die Krone des ersten oberen Molaren zu distalisieren [Sfondrini et al., 2002]. Um eine körperliche Distalisierung zu erreichen, wird die ACCO-Apparatur in Kombination mit einem zervikalen oder parietalen Headgear verwendet (je nach Wachstumstyp). In den 80ern stellte Cetlin dazu sein Behandlungsprotokoll mit dem ACCO-Gerät im Oberkiefer, einem Headgear und einem Lip Bumper im Unterkiefer vor [Cetlin et al., 1983]. Der Lip Bumper besteht aus einem Stahldraht mit U-Schlaufen vor den Molarenbändern, welche auf dem am weitesten distalen Molaren befestigt sind. Seine Aufgabe ist das Abhalten der Wangen und Lippe, damit sich der Kiefer aufgrund des fehlenden Muskeldrucks frei entwickeln und wachsen kann [Cetlin et al., 1983], [Ferro et al.,

2000]. Der Platzgewinn im Oberkiefer wird durch Aktivierung der Fingerfederchen und extraoralen Kräften erreicht. Der Headgear hat dabei die Aufgabe, die Wurzeln zu distalisieren, die Fingerfederchen sind für die Molarenkronen zuständig [Cetlin et al., 1983]. Die herausnehmbare Apparatur sollte dabei 24 Stunden getragen werden, wohingegen der Headgear meist nur 12 - 14 Stunden pro Tag angewendet werden sollte.

Cetlin et al. berichteten in ihrer Studie jedoch auch von einer größeren distalen Wurzelbewegung, im Vergleich zur Zahnkrone. Die zweiten Prämolaren folgten den ersten Molaren von selbst [Cetlin et al., 1983]. Wie Cetlin et al. bereits erwähnten, bestätigten Ferro et al. in ihrer Studie die Schwierigkeit der Einstellung der Kraftvektoren, was zu einer Kippung der Molaren führte. Eine körperliche Bewegung fand nur bei 9 % der Patienten statt, wohingegen eine Kippung der Molarenkrone nach distal und mesial öfter auftrat [Ferro et al., 2000]. Dies ist jedoch nicht der einzige Nachteil der Apparatur. Des Weiteren ist an dieser Stelle der Verankerungsverlust zu nennen, der sich in einer labialen Bewegung und Proklination der oberen Frontzähne in 81 % der Fälle darstellte [Ferro et al., 2000].

Ein Vorteil der Apparatur ist jedoch, dass diese nicht nur für eine Distalisation geeignet ist, sondern auch zur Therapie eines Kreuzbisses, da sie auch die transversale Zahnbogenbreite vergrößert [Cetlin et al., 1983]. Durch Verwendung eines Aufbisses (1 mm), kann die Distalisation beschleunigt werden, es kann allerdings auch eine posteriore Rotation der Mandibula resultieren [Dietz et al., 2000], [Sfondrini et al., 2002]. Auch kann mit dem Gerät eine asymmetrische Distalisation durch unterschiedliche Aktivierung der Fingerfederchen erreicht werden [Dietz et al., 2000]. Bei einer genauen klinischen Einstellung und guter Patientenkooperation ist dies ein wirksames Gerät zur Distalisierung von Molaren im Oberkiefer zum Zeitpunkt des späten Zahnwechsels [Dietz et al., 2000]. Es gibt jedoch folgende Indikationen und Kontraindikationen, die zu beachten sind. Bei Patienten mit einem tiefen Biss und normal bis retrognath inklinierten oberen Frontzähnen ist es indiziert. Nicht anzuwenden ist die ACCO-Apparatur jedoch bei einem offenen Biss, vergrößerter unterer Gesichtshöhe und proklinierten oberen Frontzähnen [Sfondrini et al., 2002].

### 2.3.3 Der Wilson-Distalisierungsbogen (BDA)

William L. Wilson und Robert C. Wilson haben ein kieferorthopädisches Therapiekonzept, nämlich die modulare Kieferorthopädie vorgeschlagen, in dem eine Anwendungsmöglichkeit zur Therapie der Klasse-II-Malokklusion, die schnelle Molarendistalisation, beinhaltet ist [Wilson, 1978a], [Wilson, 1978b]. Diese Technik benutzt einen „3D bimetric“ Distalisationsdraht im Oberkiefer, einen „3D mandibularen lingualen Draht“ im Unterkiefer und Klasse II-Gummizüge. Der Unterkiefer dient somit der Verankerung und soll den extrusiven und mesialen Kräften, verursacht durch den BDA und die Gummizüge, entgegenwirken [Rana et al., 2000], [Wilson et al., 1987]. Der linguale Bogen berührt im Unterkiefer die Cingulae der Frontzähne und ist lingual an den Molarenbändern der unteren ersten Molaren befestigt. Die oberen Frontzähne werden mit Hilfe von Brackets aus der Standard Edgewise- oder Straight-Wire-Technik behandelt und an die ersten Molaren werden Molarenbänder angebracht. Der Drahtbogen im Oberkiefer befindet sich bukkal, besitzt auf jeder Seite jeweils einen Omega-Regulierungsstop und eine offene Spiralfeder (zunächst aus Stahl, später aus Ni-Ti), die durch den Stopp gegen das Molarenband gedrückt wird. Die Gummizüge werden in Haken auf Höhe des Eckzahnes im Oberkiefer mit den Headgear tubes der Unterkiefermolarenbänder verbunden. Der Patient sollte angewiesen werden, diese 24 Stunden pro Tag zu tragen und sie jeden Tag auszutauschen. Es gibt verschiedene Studien, die sich mit der Wirkung des Gerätes beschäftigt haben. Rana et al. und Becher et al. haben eine Molarendistalisation im Oberkiefer von 0,8 mm und einer Distalkippung von  $2,3^\circ$  festgestellt. Zusätzlich wurden die Molaren um 1,1 mm extrudiert. Die anterioren Frontzähne wurden dabei um  $3,5^\circ$  ausgeweitet und um 2,7 mm extrudiert [Rana et al., 2000]. Im Gegensatz dazu beobachteten Muse et al. eine Distalisationsstrecke von 2,2 mm der Oberkiefermolaren (50,7 % der Klasse II-Korrektur), was eine monatlichen Distalisation von 0,56 mm entspricht, und eine größere Kippung von  $7,8^\circ$ . Die obere Front wurde dabei um 0,3 mm protrudiert und 1,6 mm extrudiert [Muse et al., 1993]. Der Durchbruch der zweiten Molaren korrelierte nicht mit einem Unterschied in der Größe der Distalisation [Muse et al., 1993]. Im Unterkiefer kam es zu kontroversen Ergebnissen. Rana et al konnten fast keine Veränderungen in der Position der unteren Molaren finden, wohingegen Muse et al. eine Mesialwanderung von 1,38 mm feststellten, was 39,8 % der Korrekturstrecke von einer Klasse II in eine Klasse I entsprach [Muse et al., 1993], [Rana et al., 2000]. Dieser

große Unterschied ist auf die nach der BDA-Therapie erfolgte Edgewise-Therapie bei Rana et al. zurückzuführen, deren Ergebnis in der Auswertung der Fernröntgenseitenbilder mitenthalten war. Auch können die kleinen Untersuchungsgruppen, der unterschiedliche Einsatz von verschiedenen starken Gummizügen, und die unterschiedlichen Materialien der Federn (Stahl, Elgiloy, Ni-Ti) zu einem Unterschied in den Ergebnissen führen [Sfondrini et al., 2002]. Des Weiteren kam es bei diesem Distalisierungssystem zu einer Extrusion der unteren Molaren, einer Auffächerung der unteren Inzisivi und einer Verstärkung der Neigung der Okklusionsebene [Muse et al., 1993], [Üçem et al., 2000]. In einer dritten Studie konnte zusätzlich noch eine Distalkippung und Distalisation der Eckzähne (1,6 mm), der ersten (1,7 mm) und zweiten (2,1 mm) Prämolaren festgestellt werden [Üçem et al., 2000].

Das Therapiesystem ist jedoch bei Patienten mit vertikalem Schädelbau, vergrößerter unterer Gesichtshöhe und extrudierten Molaren kontraindiziert [Wilson et al., 1987]. Auch Patienten mit einem dentalen oder skelettalen offenen Biss sind für diese Apparatur ungeeignet [Sfondrini et al., 2002]. Diese Mechanik verursacht nur eine kleine Distalisation der oberen Molaren, hat dabei höchstwahrscheinlich auch Auswirkungen auf die Dentition im Unterkiefer, hat als Nebeneffekt einen Verankerungsverlust und hängt von der Mitarbeit des Patienten, aufgrund der Verwendung von Klasse II-Gummizügen ab [Bolla et al., 2002]. Als vorteilhaft sind allerdings die direkte Herstellung am Patienten und die dadurch verursachten geringen Kosten zu nennen [Rana et al., 2000].

#### 2.3.4 Der Transpalatinalbogen (TPA)

Der Transpalatinalbogen wurde in der Vergangenheit oft nur als passives kieferorthopädisches Gerät, wie beispielsweise zur Molarenverankerung, als Platzhalterfunktion und zur Retention der Molarenposition benutzt. Er kann jedoch auch als aktives orthodontisches Gerät dienen [Rebellato, 1995].

Er besteht aus einem starren Stahlbogen (0.9 mm), der die beiden ersten Molaren über den Gaumen miteinander verbindet. Die Biomechanik des Transpalatinalbogens ist sehr komplex und es gibt viele verschiedene Anwendungsmöglichkeiten. Mit ihm



sind Rotationen, die Expansion und die Distalisation der oberen Molaren möglich [Sfondrini et al., 2002]. Eine Expansion des Zahnbogens kann einfach durch eine Erweiterung des Bogens erreicht werden. Durch eine symmetrische Aktivierung mittels einer „toe-in“-Biegung in der Okklusionsebene (bilaterale Biegung erster Ordnung) auf jeder Seite können die Molaren in eine mesiofaziale Richtung rotiert werden, wodurch mesial der Molaren Platz in der Zahnreihe gewonnen werden kann [Rebellato, 1995]. Werden „toe-out“-Biegungen in der Okklusionsebene (bilaterale Biegung erster Ordnung) angewendet, ist es möglich die Molaren in eine mesiolinguale Richtung zu rotieren. Bilaterale Biegungen zweiter Ordnung verursachen eine mesiodistale Kippung und werden bei der Korrektur von einseitigen Klasse-II-Malokklusionen verwendet. Auch ist es möglich durch beidseitige „toe-in“-Biegungen in der Frontalebene (Biegungen dritter Ordnung) die Molaren in transversaler Richtung aufzurichten [Rebellato, 1995]. Eine weitere Möglichkeit einen Patienten mit einseitiger Klasse II-Okklusion zu therapieren ist die unilaterale Biegung erster Ordnung (unilaterale „toe-in“-Biegung in der Okklusionsebene), wodurch die Distalisierung eines Molaren erreicht und bei fehlender Vollbebänderung eine mesiofaciale Rotation des anderen Molaren, sowie nach mesial gerichtete Kräfte verursacht werden [Rebellato, 1995]. Auch kann zur Reduktion der Nebeneffekte zusätzlich ein Headgear verwendet werden [Sfondrini et al., 2002]. Durch eine unilaterale „toe-out“-Biegung erster Ordnung (in der Okklusionsebene) kann ein Molar mesialisiert werden, während der andere einem mesiolingualen Moment und einer distalen Kraft ausgesetzt ist. Weiterhin verursacht eine einseitige Biegung dritter Ordnung („toe-in“-Biegung in der Frontalebene) einen fazialen Wurzeltorque mit Intrusion und am gegenüberliegenden Molaren eine Extrusion [Rebellato, 1995]. Kombiniert man beispielsweise die beiden unilateralen Biegungen erster Ordnung miteinander, so addieren sich die mesiodistalen Kräfte und man kann ein größeres Ausmaß der einseitigen Distalisierung erreichen (bei einseitiger Klasse II-Malokklusion). Auch hier wird zu einer Kombination mit einem Headgear oder einer Vollbebänderung geraten, um die Rotationen einzudämmen [Rebellato, 1995]. Bei der Apparatur handelt es sich um ein Zwei-Bracket-System, bei dem es sehr schwierig ist die klinischen Kräfte und Momente zu messen [Rebellato, 1995]. Ihr großer Vorteil ist jedoch, dass sie völlig unabhängig von der Patientenmitarbeit wirkt. Ihre Indikationen sind jedoch sehr eingeschränkt. Haas et al. berichteten davon, dass Klasse II-Patienten durch eine distobukkale

Rotation und einer Distalkippung therapiert werden können, wobei die Kräfte der Distalisation im Vergleich zum Headgear sehr viel niedriger sind [Haas et al., 2000]. Man kann den Transpalatinalbogen bei einseitiger Klasse-II-Malokklusionen und beidseitigen De-/Rotationen der Molaren anwenden [Sfondrini et al., 2002].

### 2.3.5 Die Herbst-Apparatur

Das Herbst-Scharnier wurde von Emil Herbst (1905) eingeführt und 1979 von Pancherz weiterentwickelt und deren Wirkung untersucht [Pancherz, 1979]. Es dient als künstlicher Verbund zwischen Maxilla und Mandibula, wobei die Mandibula durch einen bilateralen Teleskopmechanismus in eine protrudierte Position gezwungen wird. Das Herbst-Scharnier verbindet dabei die Oberkiefermolaren mit den Unterkieferzähnen bzw. ersten unteren Prämolaren. Weiterhin besteht das Herbst-Scharnier aus einem Teleskoprohr mit Ösen für den Oberkiefer und einer Schubstange für den Unterkiefer, die mit Schrauben an kieferorthopädischen Bändern, gegossenen oder gefrästen Kappenschienen (Acryl), Cobalt-Chrom-Gusschienen oder Stahlkronen an den Zähnen befestigt sind [Pancherz, 1979], [Sfondrini et al., 2002]. Die Herbst-Apparatur ist eine befestigte Apparatur, die die Mandibula ohne Patientenkooperation 24 Stunden in einer zuvor definierten ventralen Position hält, die durch einen Konstruktionsbiss in Kopfbiss (Schneidekante auf Schneidekante der Front) festgestellt wurde [Pancherz, 1979].

Pancherz beobachtete in seiner Studie von zehn heranwachsenden Jungen eine Reduktion des SNA-Winkels, was einer Hemmung des Oberkieferwachstums entsprach, eine Vergrößerung des SNB-Winkels und der Länge des Unterkiefers, was für eine Stimulation des Unterkieferwachstums und des kondylären Wachstums stand, sowie einer Vergrößerung der unteren Gesichtshöhe, aufgrund einer Zunahme der Ramushöhe. Zusätzlich konnte eine Klasse II-Malokklusion beseitigt werden, wobei ein Verankerungsverlust im Ober- und Unterkiefer festzustellen war, wie beispielsweise die Proklination der Unterkieferfrontzähne [Pancherz, 1979]. Die Herbst-Apparatur wurde ursprünglich konstruiert, um das Wachstum des basalen Knochens zu beeinflussen, weniger um die oberen Molaren zu distalisieren. Dennoch produziert das Scharnier eine nach posterior und superior gerichtete Kraft auf die Molaren im Oberkiefer und eine nach vorne gerichtete Kraft auf die Unterkieferzähne

[Lai, 2000]. Im Durchschnitt liegt die Distalisierungsstrecke in den Studien von Pancherz et al. nach sieben bzw. sechs Monaten bei 2,1 mm und 2,8 mm [Pancherz et al., 1993], [Pancherz, 1982]. Das Gerät distalisiert die Molaren jedoch in einer langsameren Rate, als beispielsweise das magnetische Gerät, das Pendulum oder der Wilson-Distalisierungsbogen [Lai, 2000]. Zusätzlich zu der distal gerichteten Kraft in der Maxilla, erzeugt das Herbst-Scharnier auch eine intrusive Kraftkomponente. Die Intrusion der oberen Molaren betrug im Durchschnitt 0,7 mm, wodurch die Okklusionsebene nach unten kippte [Pancherz et al., 1993]. Lai verglich die Wirkung des Gerätes mit der eines High-Pull-Headgears. Wegen der auftretenden Molarenintrusion kam es somit zu keiner posterioren Rotation des Unterkiefers, welche oft zu einer Kontraindikation für Patienten mit einem vertikalen Wachstumsmuster geführt hat [Lai, 2000]. Auch Pancherz konnte keine Rotation des Unterkiefers und Veränderung des Winkels ML-NSL feststellen [Pancherz, 1982]. Die Kraftlinie liegt okklusal des Widerstandszentrums, weshalb es zu einer distalen Zahnkipfung der Molaren kommt [Lai, 2000]. Da diese Apparatur eine intermaxilläre Verankerung benutzt, tritt ein Verankerungsverlust im Unterkiefer auf, welcher durch eine Proklination und anteriore Bewegung der unteren Front deutlich wird [Franchi et al., 1999], [Lai, 2000], [Pancherz, 1982]. Die Korrektur der Klasse II wurde durch eine Längenzunahme der Mandibula, eine Mesialwanderung des unteren Zahnbogens, einer Remodellation der Fossa glenoidalis, einer Distalbewegung der oberen Molaren und einem hemmenden Effekt auf das Oberkieferwachstum erreicht. [Franchi et al., 1999], [Pancherz, 1982], [Sfondrini et al., 2002].

Vorteile der Herbst-Apparatur sind die 24-Stunden Wirkung, die kurze Behandlungszeit (6-8 Monate) und die Wirkung des Gerätes ohne Mitarbeit des Patienten [Sfondrini et al., 2002]. Weiterhin kann das Gerät für Patienten mit retroinklinierten unteren Frontzähnen vorteilhaft sein [Lai, 2000]. Sfondrini et al. empfehlen das Herbst-Scharnier für Patienten mit einer skelettalen Klasse II, einem tiefen Biss und einer retroinklinierten unteren Front, wohingegen er für Patienten mit rein dento-alveolärer Klasse II andere komfortablere, weniger sperrige und billigere Geräte vorschlägt [Sfondrini et al., 2002]. Als idealen Behandlungszeitpunkt wird die Zeit während des pubertären Wachstums, oder das Intervall danach angesehen, da sich die gemischte Dentition als eher schwierig erweist [Sfondrini et al., 2002].

### 2.3.6 Der Jasper-Jumper

Dieses Gerät wurde 1987 von J. Jasper entwickelt und ähnelt sehr dem des Herbst-Gerätes [Jasper, 1987]. Beide Apparaturen nutzen eine Druckmechanik mit intrusiven Kraftvektoren als Nebeneffekt und sind unabhängig von der Patientenkooperation [Cope et al., 1994]. Zwei mit Kunststoff umhüllte Federn (250-300 g) verbinden den Oberkiefer mit dem Unterkiefer, indem sie jeweils am oberen ersten Molaren an einem Headgearröhrchen, und im Unterkiefer im Eckzahnbereich befestigt sind [Cope et al., 1994]. Alle Zähne sind dabei durch einen rechteckigen Stahldraht voll bebändert. Durch diese Konstruktion des Geräts wird die Mandibula in einer protrudierten Position gehalten [Sfondrini et al., 2002]. Zusätzlich werden als Verankerungshilfen ein Transpalatinal- und Lingualbogen benutzt. Die Korrektur bei den Klasse II Patienten erfolgte hauptsächlich durch dentale Bewegungen (97 %) und nur geringfügig durch eine skelettale Wirkung (3 %) [Covell Jr et al., 1999]. Dies wurde durch Cope et al. in ihrer Studie bestätigt [Cope et al., 1994]. Der skelettale Einfluss beschränkte sich auf die hemmende Wirkung auf das Oberkieferwachstum (Reduktion des SNA-Winkels um  $0,8^\circ$ ). Die oberen Molaren wurden distalisiert, nach distal gekippt ( $4,3^\circ$ ) und intrudiert (0,7 mm). Die unteren Molaren wurden mesialisiert, nach mesial gekippt ( $2,9^\circ$ ) und extrudiert (0,9 mm). Die Frontzähne des Unterkiefers erfuhren eine Proklination und Intrusion, während die Zähne der Oberkieferfront retroinkliniert und extrudiert wurden. Diese dentalen Veränderungen führten zu einer Rotation der Okklusionsebene, die Mandibularebene allerdings wurde nicht rotiert [Covell Jr et al., 1999]. Diesen Ergebnissen stimmten Cope et al. im Allgemeinen zu [Cope et al., 1994]. Zusätzlich stellten sie fest, dass die Distalkippungen der oberen Molaren und der oberen Frontzähne von größerem Ausmaß waren, als die Kippungen bei der Herbst-Apparatur. Sie fanden heraus, dass der Jasper Jumper nur einen kleinen bzw. keinen orthopädischen Effekt auf das horizontale Wachstum der Mandibula aufweisen konnte, aber zu einer leichten Clockwise-Rotation des Unterkiefers führte. Des Weiteren konnten sie keine Stimulation des kondylären Wachstums oder eine Remodellation der Fossa belegen. Die Maxilla hingegen wurde in ihrem Wachstum gehemmt und leicht nach posterior verschoben [Cope et al., 1994].

Die Vorteile der Apparatur liegen in der 24-Stundenwirkung ohne Patientenmitarbeit und in der relativ schnellen Korrektur einer Klasse II-Malokklusion [Covell Jr et al., 1999]. Das Gerät wird für heranwachsende Klasse II-Patienten mit einem tiefen Biss

und retroinklinierten unteren Frontzähnen empfohlen, wohingegen es bei Fällen mit dentalem oder skelettalem offenen Biss, vertikalem Gesichtsaufbau und vergrößerter unterer Gesichtshöhe, aufgrund des Nebeneffektes der posterioren Rotation der Mandibula, kontraindiziert ist [Sfondrini et al., 2002].

### 2.3.7 Magnetsysteme

Sich abstoßende Magneten aus Samarium-Cobalt ( $\text{SmCo}_5$ ) wurden 1988 und 1989 von Gianelly et al. zur Distalisierung von Oberkiefermolaren beschrieben [Gianelly et al., 1988], [Gianelly et al., 1989], [Sfondrini et al., 2002]. Auf jeder Seite werden jeweils bukkal zwei Magneten, einmal am Molaren und einmal auf Höhe der Prämolaren, angebracht. Der erste Molar soll durch die magnetische Kraft nach distal bewegt werden, welche mit dem größer werdenden Abstand der Magnete abnimmt. Das Gerät wird deshalb alle zwei Wochen reaktiviert, indem die Magnete sich angenähert werden [Itoh et al., 1991], [Sfondrini et al., 2002]. Um die reaktiven Kräfte der Magneten abzufangen, werden sie mit einer modifizierten Nance-Apparatur kombiniert, welche durch einen Drahtbogen lingual an den Prämolaren befestigt ist und welcher über die dento-gingivalen Bereiche der Frontzähne verläuft [Gianelly et al., 1989].

Gianelly et al. konnten eine rasche Molarendistalisation feststellen, im Durchschnitt betrug diese bei durchgebrochenen zweiten Molaren 0,75 - 1,0 mm pro Monat, bei den nicht durchgebrochenen Siebenern 1,7 mm pro Monat [Gianelly et al., 1988], [Gianelly et al., 1989]. Die Distalisierung war jedoch mit einem Verankerungsverlust von 20 % assoziiert, welcher sich durch eine Mesialisierung des Verankerungsblocks (Prämolaren-Incisivi-Segment) bemerkbar machte [Gianelly et al., 1989]. Itoh et al. berichteten sogar von einem Verankerungsverlust von 30-50 % der distalen Bewegung der Molaren, was wiederum zeigte, dass die Nance-Apparatur keine absolute Verankerung bieten kann. Weiterhin stellten sie fest, dass die Distalisation nahezu einer körperlichen Bewegung entsprach, es bei dem Gerät jedoch zu einer leichten Distalkippung und Rotation der Molaren kam [Itoh et al., 1991]. Bondemark und Kurol bestätigten diese Distalkippung und Rotation. Die Frontzähne wanderten um fast zwei Millimeter nach vorne und erfuhren eine anteriore Kippung von  $6^\circ$  bei einer Molarendistalisation von 4,2 mm in 16,6 Wochen, wodurch der beschriebene Verankerungsverlust deutlich wurde [Bondemark et al., 1992].

Dieses Gerät wirkt ohne Patientenkooperation, ermöglicht eine rasche Distalbewegung der Molaren und wird gut von den Patienten toleriert [Gianelly et al., 1989]. Jedoch ist es mit hohen Kosten verbunden und weist einen hohen Verankerungsverlust auf [Sfondrini et al., 2002]. Auch wurde von Schwierigkeiten beim Zähneputzen und Entfernen von Essensresten berichtet, die sich zwischen Magnet und Zahn einlagern, sowie von Irritationen der Wangenschleimhaut nach dem Einsetzen [Itoh et al., 1991].

### 2.3.8 Die Nickel-Titan Spiralfeder

Gianelly et al. beschrieben 1991 eine Distalisationsapparatur mit 100 g superelastischen Ni-Ti-Federn pro Seite, die von Miura 1988 eingeführt wurden [Gianelly et al., 1991], [Miura et al., 1988]. Die Ni-Ti-Federn wurden auf einen passiven Drahtbogen, der am distalen Teil der Prämolarenbrackets jeweils einen Stopp aufweist, bukkal zwischen dem ersten Molaren und dem ersten Prämolaren platziert. Für die Verankerung wurde wie bei dem magnetischen Gerät eine Nance-Apparatur benutzt, die an den ersten Prämolaren befestigt ist. Diese weist einen anterioren Aufbiss auf, um die posterioren Zähne geringfügig zu diskludieren [Gianelly et al., 1991]. Um die Verankerungssituation zu verbessern, wurde eine aufrichtende Feder in den vertikalen Slot des Prämolarenbrackets eingebracht und in manchen Fällen zusätzlich noch Klasse II-Gummizüge benutzt [Gianelly et al., 1991]. Die Aktivierung der Federn erfolgt durch Kompression und Fixierung dieser. Bei einer Aktivierung von 8 bis 10 mm kann eine Distalisation von 1 bis 1,5 mm pro Monat pro Seite erreicht werden [Gianelly et al., 1991]. Gianelly et al. schilderten, dass die Größe des Verankerungsverlustes bei Verwendung der Ni-Ti-Federn ohne elastische Gummizüge vergleichbar mit dem der magnetischen Apparatur, nämlich circa 20 %, ist [Gianelly et al., 1989], [Gianelly et al., 1991]. Pieringer et al. stellten zusätzlich zu einer Bukkalkippung der oberen Frontzähne auch noch eine Distalkippung der Molaren bei allen Patienten fest sowie Zahnrotationen der Molaren (nach innen und außen) [Pieringer et al., 1997]. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Kraftlinie bukkal und okklusal zum Widerstandszentrum lag [Sfondrini et al., 2002].

In der Literatur wurden das magnetische Gerät in Bezug auf die Effizienz mit dem Spiralfedergerät verglichen und es konnte festgestellt werden, dass die Spiralfedern

eine konstantere Kraft in einem bestimmten Zeitraum ausüben und somit effizienter distalisieren [Bondemark et al., 1994], [Erverdi et al., 1997]. Dies liegt daran, dass die Kraft der Magnete beim Auseinanderwandern rasch weniger wird, wohingegen die Kraft der Spiralfeder mit zunehmender Länge nur langsam und wenig abnimmt [Bondemark et al., 1994]. Dies könnte nur durch mehrmaliges Aktivieren (einmal die Woche) der Magneten verhindert werden. Erverdi et al. stellten in Bezug auf die Distalkippung und distopalatinale Rotation der Molaren keinen Unterschied zwischen den beiden Distalisationssystemen fest [Erverdi et al., 1997].

Das Gerät mit den Spiralfedern war jedoch aufgrund des besseren Tragekomforts und der einfacheren Mundhygiene bei den Patienten beliebter [Bondemark et al., 1994]. Bondemark et al. modifizierten in ihrer Vergleichsstudie die Geräte, indem sie die Nance-Apparatur an den zweiten Prämolaren befestigten und diese zusätzlich an den Palatinaltubes der Molaren fixierten. Dadurch minimierten sie die Distalkippung und die Rotation der Molaren [Bondemark et al., 1994].

Die Ni-Ti-Federn sind bei einer Klasse II-Malokklusion mit normalen oder retroinklinierten oberen Frontzähnen indiziert, wohingegen sie bei proklinierten oberen Frontzähnen, sowie skelettal offenem Biss und vergrößerter unterer Gesichtshöhe nicht verwendet werden sollten [Sfondrini et al., 2002].

### 2.3.9 Die Pendulum-Apparatur

Die Pendulum-Apparatur besteht aus einer großen Nance-Acryl-Fläche am Gaumen zur Verankerung und aus einer TMA-Feder (Titan-Molybdän-Alloy) pro Seite, die das aktive Element zur Distalisation darstellt [Hilgers, 1992]. Die Nance-Apparatur wird durch Klammerauflagen fixiert, welche auf den okklusalen Flächen der Prämolaren oder der Milchmolaren befestigt sind. Mittlerweile ist man dazu übergegangen, von der Kunststoffplatte ausgehende Retentionsdrähte mit den Bändern der ersten Prämolaren oder ersten Milchmolaren zu verlöten. Zusätzlich können okklusale Auflagen an den zweiten Prämolaren/Milchmolaren angebracht werden, um die Verankerungsqualität zu erhöhen [Hilgers, 1992]. Die TMA-Feder besteht aus einem umgebogenen Drahtstück, das palatinal am Molarenband befestigt wird, einer kleinen horizontalen Regulierungsschleife, einer geschlossenen Helix und einem

Retentionsstück zur Verankerung in der Kunststoffplatte. Die Federn sind so nahe wie möglich an der distalen Kante der Platte, sowie im Zentrum dieser, montiert, sodass die Federn eine ausgedehnte, kontinuierliche Kraft (Pendulum) von der Mittellinie des Gaumens auf die oberen Molaren ausüben können [Hilgers, 1992]. Sie können intraoral aktiviert werden, jedoch ist es viel effizienter dies vor dem Einsetzen der Apparatur zu tun. Durch die Aktivierung ( $60^\circ - 70^\circ$ ) werden Kräfte von 230 g pro Seite produziert [Ghosh et al., 1996]. Alle drei Wochen wird die Apparatur kontrolliert und bei Bedarf nachaktiviert, indem man die Feder vom Molarenband löst, die geschlossene Helix mit einer Zange umfasst und die Feder mit den Fingern nach distomedial drückt. Die Molaren bewegen sich jedoch bei der Distalisation auch nach medial, was zu einem Kreuzbiss führen kann. Diesem kann durch Aufbiegen der Regulierungsschleife entgegengewirkt werden, wodurch die Expansion und Molarenrotation zunimmt [Hilgers, 1992].

Wenn zusätzlich zur Distalisation eine Expansion des oberen Zahnbogens erwünscht ist, kann eine palatinale Expansionsschraube (Jackscrew) in das Gerät eingebaut werden [Snodgrass, 1996]. Man bezeichnet die Apparatur dann als Pend-X [Hilgers, 1992]. Hilgers berichtete von einer Distalisation von 5 mm in drei bis vier Monaten, Byloff und Darendeliler von 1,02 mm pro Monat [Byloff et al., 1997a], [Hilgers, 1992]. Da die Kraftlinie jedoch okklusal des Widerstandszentrums liegt, handelt es sich bei der Distalisierung um keine rein körperliche Bewegung, sondern die Molaren werden nach distal gekippt [Sfondrini et al., 2002]. Verschiedene Studien bestätigten dies. Sie beschreiben nicht nur eine Distalkippung der ersten Molaren, sondern auch eine Intrusion dieser [Byloff et al., 1997a], [Ghosh et al., 1996], [Joseph et al., 2000]. Zusätzlich wurden die Sechser nach mesiobukkal rotiert [Ghosh et al., 1996]. Es wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Distalisation und der Größe der Kippung festgestellt [Ghosh et al., 1996], [Joseph et al., 2000]. Der Durchbruch der zweiten Molaren hatte nur einen geringen bzw. keinen Einfluss auf die Distalisation der ersten Molaren [Bussick et al., 2000], [Ghosh et al., 1996], [Joseph et al., 2000]. Die Siebener wurden zusätzlich zur distalen Bewegung nach distal gekippt, intrudiert und nach bukkal geschoben, und zwar mesiobukkal mehr als distobukkal, woraus sich eine mesiobukkale Rotation ergab [Ghosh et al., 1996]. Die ersten Prämolaren, welche zur Verankerungseinheit gehören, wurden zusätzlich zur mesialen Bewegung und Kippung, extrudiert [Ghosh et al., 1996]. Byloff et al.



beschrieben dies auch für die zweiten Prämolaren [Byloff et al., 1997a]. Nach Ghosh et al. bewegte sich der erste Prämolare für jeden Millimeter Molarendistalisierung, um 0,75 mm nach vorne [Ghosh et al., 1996]. Wird hingegen eine modifizierte Nance-Apparatur, wie sie von Gianelly et al. und Bondemark et al. bei den magnetischen Geräten verwendet wurde, benutzt, werden die Front- und Eckzähne mit in den Verankerungsblock aufgenommen, und somit für jeden Millimeter Molarendistalisierung eine Mesialbewegung des Blockes um 0,25 mm (Gianelly et al.) bzw. 0,35 mm (Bondemark et al.) als Verankerungsverlust verzeichnet [Bondemark et al., 1992], [Gianelly et al., 1989]. Der Verankerungsverlust zeigte sich auch durch die Vergrößerung des Overjets und durch eine Kippung der Frontzähne nach labial [Byloff et al., 1997a] [Ghosh et al., 1996], [Joseph et al., 2000]. Das Distalisationsausmaß repräsentierte nur 71 % des neu gewonnenen Platzes, womit der Verankerungsverlust bei 29 % lag [Byloff et al., 1997a]. Nach Bussick et al. betrug der Verankerungsverlust, der zur Lückenöffnung beiträgt, 24 % [Bussick et al., 2000]. Bei der Dokumentation von vertikalen skelettalen Veränderungen herrscht unter den Autoren Uneinigkeit. Nach Ghosh et al. vergrößerte sich aufgrund der Distalisation der Molaren (Keilwirkung) die untere Gesichtshöhe, was auf eine posteriore Rotation der Mandibula zurückzuführen ist [Ghosh et al., 1996]. Bussick et al. bestätigten diese posteriore Rotation und die Vergrößerung der unteren Gesichtshöhe [Bussick et al., 2000]. Byloff et al. hingegen berichteten in ihrer Studie von keinerlei dentalen oder skelettalen Bissöffnungen [Byloff et al., 1997a]. Joseph und Butchart stellten eine sehr geringe vertikale Veränderung fest [Joseph et al., 2000].

Vorteile des Pendulum-Gerätes sind die Wirkung ohne Patientenkooperation, die einfache Herstellung, das einmalige Aktivieren der Federn und die Möglichkeit der Korrektur von transversalen Bewegungen der Zähne. Das Gerät weist jedoch einen Verankerungsverlust auf, welcher durch Erweiterung des Verankerungsblocks, durch Expandieren der Kunststoffplatte und Einbeziehen mehrerer Zähne, verringert werden könnte [Ghosh et al., 1996].

Die Pendulum-Apparatur ist sowohl für die Behandlung einer einseitigen, wie auch einer zweiseitigen Klasse II-Malokklusion geeignet [Hilgers, 1992]. Da allerdings die Gefahr einer Bissöffnung besteht, ist sie bei ausgeprägtem vertikalen Wachstum nicht anzuwenden [Hilgers, 1992]. Wie auch bei den anderen Geräten ist die Pendulum-

Apparatur bei proklinierten Zähnen kontraindiziert. Auch bei einem geringen labialen Knochenangebot in der Maxilla ist von diesem Gerät abzuraten [Joseph et al., 2000].

### 2.3.10 Der Distal-Jet

In den meisten der vorher genannten Distalisierungssystemen traten Kronenkipnungen und Rotationen bei den Molaren auf, weshalb nach dem Einsatz der Apparaturen in einer zweiten Phase das Aufrichten der Molaren, beispielsweise mit Hilfe eines Headgears, nötig war [Carano et al., 1996]. Mit der Einführung des Distal-Jets, einem palatinal gelegenen Gerät, soll eine körperliche Distalisation der Molaren ermöglicht worden sein, da die Kraftlinie nahe am Widerstandszentrum der Molaren verläuft [Carano et al., 1996]. Das Distal-Jet-Gerät besteht aus einer Nance-Apparatur, an der bilateral jeweils ein Röhrchen parallel zur Okklusionsebene über einen Verankerungsdraht befestigt ist. Das andere Ende des Drahtes endet in einer Bajonettbiegung, die palatinal an dem Molarenband fixiert ist. Über jedes Röhrchen wird eine Sprungfeder und eine Schraubeklemme geschoben. Die Aktivierung erfolgt durch Kompression der Feder und Fixierung der Klemme. Die Reaktivierung erfolgt einmal pro Monat, indem die Klemme näher zum Molaren geschoben wird [Carano et al., 1996]. Ein Verankerungsdraht verbindet den zweiten oder ersten Prämolaren lingual mit der Nance-Apparatur. Carano et al. verwendeten 150 g Ni-Ti-Federn für Kinder und 250 g Federn für Erwachsene [Carano et al., 1996]. Das Distal-Jet-Gerät ermöglichte eine effektive Distalisation der Molaren (0,6 mm pro Monat), mit signifikant geringerer Molarenkipnung, bei Bolla et al. nämlich  $3,1^\circ$ , als für das Pendulum oder das Jones Jig-Gerät beschrieben [Bolla et al., 2002], [Brickman, 1998], [Ghosh et al., 1996], [Ngantung et al., 2001]. Huerter beschrieb eine Distalisation von 3,1 mm und eine Molarenkipnung von  $5,6^\circ$  bei einer siebenmonatigen Behandlung. Zusätzlich stellte er eine Vergrößerung der unteren Gesichtshöhe fest, was zu einem kleinen Teil auf die Kippung der Molaren zurückzuführen war [Bolla et al., 2002], [Huerter, 2000]. Die zweiten Prämolaren wurden nach mesial bewegt und zusätzlich nach distal gekippt [Ngantung et al., 2001]. Diese Kippung nach distal unterscheidet sich von der Kipprichtung nach mesial, wie es bei den anderen Geräten zu sehen war. Patel machte hierfür den Aufbau der Apparatur verantwortlich [Patel, 1999]. 71 % des gewonnenen Platzes entsprach der Distalisation der Molaren, wohingegen 29 % durch den

Verankerungsverlust repräsentiert wurde [Bolla et al., 2002]. Der Verankerungsverlust wurde allerdings auch noch durch eine Labialkipfung der Front und einer Vergrößerung des Overjets deutlich. Interessanterweise konnte festgestellt werden, dass ohne Multibandapparatur, also bei alleiniger Behandlung mit dem Distal-Jet-Gerät, etwas weniger Verankerungsverlust zu verzeichnen war, als bei einer gleichzeitigen Vollbebänderung [Bolla et al., 2002]. All diese Zahnbewegungen zeigen, dass der zweite Prämolare, die Nance-Apparatur und die Vollbebänderung zur Verankerung nicht ausreichen und compliance-abhängige Verankerungshilfen (Headgear, Gummizüge) zur Unterstützung benötigt werden [Ngantung et al., 2001]. Bolla et al. versuchten die Effektivität des Distal-Jets mit anderen Geräten zu vergleichen, indem sie den effektiven Platzgewinn berechneten. Dazu zogen sie vom gewonnenen Platz den Platzverlust ab, der durch das Aufrichten der Prämolaren und Molaren zu erwarten wäre. Dabei kam heraus, dass die Jones-Jig-Apparatur das ineffizienteste Distalisierungssystem (1,6 mm Platz pro Seite) war, wohingegen das Pendulum und das Distal-Jet Gerät mit und ohne Multibandapparatur einen Platzgewinn von 4 mm pro Seite ermöglichten [Bolla et al., 2002]. Die Schwierigkeit bei der Konstruktion und beim Einsetzen des Gerätes sind die parallele Ausrichtung der Tubes sowie die Festlegung der richtigen Höhe, die der des Widerstandszentrums des Molaren entsprechen soll, da dabei die Anatomie des Gaumens auch eine Rolle spielt. Bolla et al. legten diese auf 4 bis 5 mm über der Okklusionsfläche fest, welche er vorher mithilfe von Fernröntgenseitenbildern eruiert hatte [Bolla et al., 2002]. Keles et al. postulierten jedoch, dass die Kraft zum Distalisieren bei dem Distal-Jet-Gerät nicht durch das Widerstandszentrum geht, was an apikalen Röntgenaufnahmen zu sehen war [Keles, 2002]. Auch bemängelten sie die Bajonettbiegung am Distal-Jet, die einmal zu einer größeren Reibung im Tube am Molarenband führt und zweitens die Gefahr mit sich bringt, ab einer gewissen Distalisationsstrecke, aus dem Molarenband zu rutschen [Keles, 2002].

Vorteile dieser Apparatur sind jedoch eine bessere Ästhetik, ein verbesserter Tragekomfort, das einfache Einsetzen und Aktivieren, eine bessere körperliche Bewegung der Molaren und die einfache Umwandlung des Gerätes in ein Retentionsgerät. Auch kann dieses Distalisierungssystem gleichzeitig mit einer Vollbebänderung benutzt werden, was zu einer deutlichen Verkürzung der

allgemeinen Therapie führen kann [Bolla et al., 2002], [Carano et al., 1996], [Ngantung et al., 2001], [Sfondrini et al., 2002].

### 2.3.11 Die Jones-Jig-Apparatur

Diese Apparatur nutzt eine offene Ni-Ti-Feder (Kraft: 70-75 g) mit einer Kompressionsspanne von 1-5 mm um die Molaren im Oberkiefer zu distalisieren. Das Gerät wird bukkal an den ersten Molaren und den Prämolaren befestigt. Eine modifizierte Nance-Apparatur wird zur Verankerung herangezogen. Diese wird am ersten oder zweiten Prämolaren bzw. zweiten Milchmolaren lingual befestigt [Jones et al., 1992]. Wird der erste Prämolare zur Verankerung herangezogen, folgt der zweite Prämolare dem ersten Molaren bei der Distalisation [Jones et al., 1992]. Mit dem Jones-Jig-Gerät erfolgte eine Distalisation von 0,83 mm pro Monat (Kraft der Feder: 150 g) [Gulati et al., 1998]. Während Jones und White in ihrer Studie kaum Verankerungsverlust gemessen haben, stellten Brickman et al. fest, dass 45 % des gewonnenen Platzes dem Verankerungsverlust zuzuschreiben ist, und 55 % davon der Distalisation des Sechlers [Brickman et al., 2000]. Dies entspricht in etwa dem, was auch Ghosh et al. in ihrer Pendulumstudie beobachtet haben [Ghosh et al., 1996]. Gulati et al. stellten in ihrer Studie bei Verwendung einer Feder mit doppelt so großer Kraft einen Verankerungsverlust von 26 % fest [Gulati et al., 1998]. Die ersten Prämolaren wurden um einen Millimeter nach mesial bewegt ( $1,05 \text{ mm} \pm 0,87 \text{ mm}$ ) und auch der Overjet nahm um  $1,1 \text{ mm} \pm 0,83 \text{ mm}$  zu [Gulati et al., 1998]. Wegen seinem Aufbau hat das Gerät jedoch weniger Rotation der Molaren ( $3,4^\circ$ ) zur Folge, als beispielsweise das von Itoh et al. mit den Magneten ( $6,2^\circ$ ) [Gulati et al., 1998], [Itoh et al., 1991]. Die Drähte der Rund- und Edgewisebögen, welche an die Doppeltubes des Sechlers befestigt sind, lassen wenig Spielraum für eine Rotation in labiolinguale Richtung [Gulati et al., 1998]. Auch war die beobachtete Zahnkipfung geringer, als bei anderen Geräten. Sie betrug  $3,5^\circ$  für die ersten Molaren und  $3,3^\circ$  für die zweiten. Im Gegensatz dazu berichteten Bondemark und Kurol von einer Kippung von  $8^\circ$  und Itoh et al. von einer von  $7,4^\circ$  bei der Anwendung des magnetischen Geräts [Bondemark et al., 1992], [Itoh et al., 1991]. Dies kann wieder durch den Aufbau des Gerätes sowie der mehr gingivalen Platzierung der Federn, wodurch die Kraftlinie näher am Widerstandszentrum der Molaren liegt, erklärt werden [Gulati et al., 1998]. Brickman

et al. stellten eine Korrelation zwischen dem Ausmaß der Distalisierung des ersten und zweiten Molaren und deren Kippungen fest [Brickman et al., 2000].

Die Vorteile dieser Apparatur liegen in der Wirkung ohne Patientenmitarbeit, in der raschen Distalisierung sowie in der einfachen Herstellung und Benutzung [Sfondrini et al., 2002]. Im Gegensatz zu den Ni-Ti-Spiralfedern wird hier keine Vollbebänderung mit einem passiven Drahtbogen sowie Klasse II-Gummizüge benötigt [Jones et al., 1992]. Das Jones-Jig-Gerät ist jedoch bei einem vertikalen Wachstumstyp kontraindiziert, da eine Extrusion der Molaren nicht verhindert werden kann [Jones et al., 1992]. Auch Gulati et al. berichteten von exzessiven Molarenextrusionen im Oberkiefer [Gulati et al., 1998]. Die Apparatur wird für Distalisationsfälle empfohlen, bei denen die Mesialbewegung und Protrusion der Verankerungseinheit toleriert werden können [Sfondrini et al., 2002].

#### 2.3.12 Skelettal verankerte Distalisierungsgeräte

Seit Einführung der temporären skelettalen Verankerungselemente wurden diese in die Distalisationsmechaniken integriert, um den Nebeneffekt des Verankerungsverlustes der anterioren Dentition zu verhindern [Wilmes et al., 2013]. Nach Kinzinger et al. bewerkstelligt eine minischrauben-gestützte parodontale Verankerung einen höheren prozentualen Anteil der Distalisierung der Molaren an der gesamten Bewegung, als ein konventioneller Aufbau, der aus einer Kunststoffpelotte und mehreren Verankerungszähnen besteht [Kinzinger et al., 2009]. Auch andere Studien mit indirekter Verankerung belegten eine effektive Molarendistalisation mit reduziertem Verankerungsverlust [Kinzinger et al., 2006], [Velo et al., 2007]. Byloff et al. beispielweise fertigten eine Pendulum-Apparatur mit einer durch vier Minischrauben fixierten Verankerungsplatte an [Byloff et al., 2000]. Gelgör et al. nutzten eine indirekte Verankerung, indem sie an einem palatinalen intraossären Implantat (Durchmesser: 1,8 mm, Länge: 14 mm) einen Transpalatinalbogen fixierten, der an den ersten Prämolaren befestigt war. Die Distalisation erfolgte durch Ni-Ti-Spiralfedern, die auf einem Teilbogen zwischen den Molaren und Prämolaren angebracht sind. Es konnte eine Distalisierung der oberen Molaren zwischen 3,9 und 4,3 mm erreicht werden, die allerdings mit einer Distalkippung von  $8,76^\circ$  verbunden war. Aufgrund der Flexibilität des Transpalatinalbogens und der insuffizienten

Verbindung zwischen Schraube und Bogen, trat ein Verankerungsverlust von 12 % auf, welcher sich durch eine Mesialkipfung der ersten Prämolaren, einer Vergrößerung des Overjets und einer Proklination der oberen Frontzähne zeigte [Gelgor et al., 2004]. In einer Studie von Karaman et al. wurde eine Distal-Jet-Apparatur mit einer indirekten palatinalen skelettalen Implantatverankerung (Schraubendurchmesser 3 mm, Länge 14 mm) kombiniert und somit ein oberer erster Molar unilateral distalisiert [Karaman et al., 2002]. Kyung et al. beschrieben in ihrer Studie eine Distalisierung durch direkte Verankerung mittels einer palatinal angebrachten Minischraube [Kyung et al., 2003].

Allerdings nutzen die meisten dieser Geräte immer noch Zähne zur Unterstützung der Verankerung oder andere Verankerungshilfen, zusätzlich zu den Implantaten. Dadurch wird eine indirekte Verankerung zu Grunde gelegt, durch die zwei Behandlungsphasen benötigt werden, nämlich erst die Distalisierung der Molaren und anschließend die Retraktion der Prämolaren und anterioren Zähne. Durch eine direkte Verankerung an den Miniimplantaten kann einer Kippung der Miniimplantate, einer Deformation der Bögen und einen dadurch bedingten Verankerungsverlust von Verankerungszähnen aus dem Weg gegangen werden [Wilmes et al., 2009b]. Außerdem kann eine einphasige Behandlung, dadurch, dass das Gerät nicht neu konstruiert werden muss, erzielt werden [Wilmes et al., 2010].

Keles et al. nutzten ein osseointegriertes palatinales paramedian angebrachtes Implantat (direkte Verankerung), an Stelle der Nance-Apparatur und anstatt der ersten Prämolaren als Verankerung in dem Keles-Slider-Gerät. Ihnen gelang dabei eine körperliche Distalisation der Molaren ohne Verankerungsverlust mit einer Distalbewegung der beiden Prämolaren [Keles et al., 2003]. Sugawara et al. nutzten eine direkte Verankerung mit dem skelettalen Verankerungssystem (SAS), das auf am Jochbeinpfiler angebrachten Titanplatten, die mit jeweils drei Minischrauben befestigt waren, und Ni-Ti-Spiralfedern beruhte. Durch dieses System wurde eine nahezu körperliche Distalisation von einzelnen Molaren (3,78 mm) oder auch eine En-masse-Bewegung des maxillären bukkalen Segmentes unter einer dreidimensionalen Kontrolle ermöglicht [Sugawara et al., 2006]. Durch eine Modifikation der Pendulum-Apparatur (BAPA), bei der die Acryplatte direkt an einer intraossären Schraube, und nicht an den Prämolaren, befestigt ist, gelang es Kircelli et al. eine distale

Molarenbewegung ohne Verankerungsverlust, aber mit signifikanter Kippung der Zähne durchzuführen. Auch wurde eine Distalisation der Prämolaren aufgrund der transseptalen Fasern beobachtet, was zu einer Verkürzung der Behandlungszeit führte [Kircelli et al., 2006]. Escobaret al. stellten vergleichbare Resultate mit ihrer modifizierten Pendulum-Apparatur (BSP) fest [Escobar et al., 2007]. 2014 entwickelten Longerich et al. eine Apparatur, verankert an zwei gekoppelten palatinalen Miniimplantaten, mit Ni-Ti-Federn, die eine fast konstante Kraft von bis zu 600 g (5,88 N) pro Seite aufbringen kann, wohingegen in ihrer Studie eine Kraft von 350 g (3,42 N) gewählt wurde. Die hohen Kräfte wurden aufgrund von einem vermuteten Kraftverlust (50 - 80 %) durch Reibung beim Gleiten zwischen dem Führungsbogen und dem Röhrchen am Molaren gerechtfertigt. Der Longslider nutzt die Kraft der beiden parallelen Standard-Ni-Ti-Federn, vorhanden in verschiedenen Kraftgrößen, mit Hilfe eines Zugmechanismus. Die Apparatur ist so konstruiert, dass die ausgeübten Kräfte durch das Widerstandszentrum gehen sollen und die durch Mesialrotation der Molaren entstehende unvermeidliche Reibungskraft durch höhere Federkräfte überwunden wird. Es konnte eine translatorische Distalisation der Molaren ( $0,81 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$  pro Monat) und eine distale Bewegung der restlichen oberen Zähne beobachtet werden [Longerich et al., 2014]. Auch wenn dieses Gerät sehr vielversprechend ist, besteht aufgrund des fehlenden Wissens des genauen Kraftverlustes durch Reibung die Gefahr von Wurzelresorptionen. Auch stellte sich das Gerät aufgrund seiner Größendimension als eher unkomfortabel heraus [Nienkemper et al., 2014].

Die Vorteile der geführten körperlichen Distalisierung der oberen Molaren mit minimalen dentalen Nebeneffekten teilt der Longslider sich mit dem Gerät von Benedict Wilmes, dem Beneslider. Der Longslider beruht auch in groben Zügen auf der Konstruktion des Benesliders [Longerich et al., 2014]. Trotzdem unterscheiden sie sich in einem wichtigen Aspekt, nämlich, dass der Beneslider einen Druckmechanismus mit einer 240 g Ni-Ti-Feder pro Seite nutzt. Er wurde durch die Kombination von Elementen des Distal-Jets und des Keles-Sliders mit Hilfe des „Benefit Systems“ konstruiert [Carano et al., 1996], [Keles et al., 2003], [Wilmes et al., 2008b], [Wilmes et al., 2009b]. Eine körperlich geführte Distalisation von  $4,6 \text{ mm} \pm 1,5 \text{ mm}$  in acht Monaten wurde mit Hilfe des Gerätes erreicht [Wilmes et al., 2010]. In einer weiteren Studie wurden eine nahezu körperliche Molarendistalisation von  $3,6 \text{ mm} \pm$

1,9 mm (in 7,5 Monaten  $\pm$  2,9 Monaten) ohne vertikale skelettale Veränderungen und ohne signifikante Protrusion der Oberkieferfrontzähne ermittelt [Nienkemper et al., 2014].

Die Beschreibung und Untersuchung der Wirkung dieses Gerätes ist nun die Aufgabe dieser Dissertation, nachdem schon alternative Behandlungsmöglichkeiten dargestellt wurden.

Tabelle 1: Übersicht: Konventionell verankerte Distalisationsgeräte

Konventionell verankerte Distalisationsgeräte	Wesentliche Merkmale	Literatur	Compliance abhängig / unabhängig
Headgear-Varianten	<b>herausnehmbar</b> ; besteht aus einem Innen- und Außenbogen; über Headgearröhrchen an den Molarenbändern der ersten Molaren befestigt; extraoraler Zug (zervikal, horizontal, parietal)	[Kloehn, 1947], [Kloehn, 1953]	Compliance abhängig
ACCO-Apparatur (Acrylic cervical occipital)	<b>herausnehmbare Kunststoffplatte</b> mit Labialbogen aus Kunststoff umhüllt und Fingerfederchen; oft in Kombination mit zervikalem oder parietalem Headgear	[Cetlin et al., 1983]	Compliance abhängig
Der Wilson-Distalisierungsbogen (BDA) (mit Klasse II-Gummizügen)	„3D bimetric“ Distalisationsdraht im OK <b>bukkal</b> mit je einem Omega-Regulierungsstop, und je einer <b>offenen Spiralfeder</b> ; einen „3D mandibularen lingualen Draht“ im UK (Verankerung); Klasse II-Gummizüge	[Wilson, 1978a], [Wilson, 1978b],[Wilson et al., 1987]	Compliance abhängig (Klasse II-Gummizüge)
Ni-Ti-Bögen (mit Klasse II-Gummizügen)	100 g <b>Ni-Ti-Draht</b> zwischen Prämolare und Molar, länger, als die Lücke, weshalb er sich kurvenförmig in die <b>Bukkalfalte</b> einschmiegt; bei Rückstellen in die Ursprungsform Abgabe der Kräfte; in Kombination mit Klasse II-Gummizügen	[Locatelli et al., 1992]	Compliance abhängig (Klasse II-Gummizüge)
Der Transpalatinalbogen (TPA)	verbindet die beiden ersten Molaren mit einem <b>starrten Bogen</b> über den Gaumen miteinander	[Rebellato, 1995]	Compliance unabhängig
Das Herbst-Scharnier	bilateraler <b>Teleskopmechanismus</b> ; feste Verbindung OK und UK (OK 6-UK 3/4); UK wird in eine protrudierte Position gezwungen	[Pancherz, 1979], [Pancherz, 1982], [Pancherz et al., 1993]	Compliance unabhängig
Der Jasper-Jumper	zwei <b>mit Kunststoff umhüllte Federn</b> (250-300 g) verbinden den Oberkiefer mit dem Unterkiefer (6-3), UK wird in eine protrudierte Position gezwungen; in Kombination mit Transpalatinal- und Lingualbogen	[Cope et al., 1994, Jasper, 1987]	Compliance unabhängig
Die befestigte Piston-Apparatur	die ersten Prämolaren und erste Molaren im OK sind <b>palatinal</b> und <b>bukkal</b> über <b>Kolbenstangen</b> an den Bändern miteinander verbunden, über die <b>Ni-Ti-</b>	[Greenfield, 1995]	Compliance unabhängig



	<b>Spiralfedern</b> geschoben sind (Kraftapplikation von 50 g pro Zahn); in Kombination mit der Nance-Apparatur		
Magnetsysteme	<b>bukkal</b> sind zwei sich abstoßende <b>Magneten</b> aus Samarium-Cobalt (SmCo <sub>5</sub> ) am Molaren und Prämolaren angebracht; Kombination mit modifizierter Nance-Apparatur	[Gianelly et al., 1988], [Gianelly et al., 1989]	Compliance unabhängig
Die Nickel-Titan Spiralfeder	auf einem passiven Drahtbogen <b>bukkal</b> zwischen dem ersten Molaren und dem ersten Prämolaren platzierte <b>Ni-Ti-Federn</b> ; Kombination mit modifizierter Nance-Apparatur; (evtl. Klasse II-Gummizüge)	[Miura et al., 1988]	Compliance unabhängig  (Compliance abhängig bei Verwendung von Klasse II-Gummizügen)
Das Pendulum	<b>TMA-Feder</b> pro Seite als aktives Element zur Distalisation; bewirkt kontinuierliche Kraft (Pendulum) von der Mittellinie des Gaumens auf die oberen Molaren; TMA-Feder besteht aus einem umgebogenen Drahtstück zur palatinalen Befestigung am Molarenband, einer horizontalen Regulierungsschleife, einer geschlossenen Helix und einem Retentionsstück; Kombination mit Nance-Apparatur	[Hilgers, 1992]	Compliance unabhängig
Das K-Loop-Gerät	<b>Draht aus TMA</b> in der Form einer K-Schleife <b>bukkal</b> zwischen den oberen ersten Prämolaren und ersten Molaren angebracht; durch Biegung des Drahtes wird ein Moment erzeugt, das zu einer Distalisation führt; Kombination mit Nance-Apparatur	[Kalra, 1995]	Compliance unabhängig
Das intraorale körperliche Molarendistalisationsgerät (IBMB)	zwei <b>aufrechte Distalisationsfedern aus TMA</b> als aktive Einheiten befestigt am Molarenband und der Nance-App.; bestehen aus einer Distalisationskomponenten und einer Aufrichtungskomponenten; Kombination mit modifizierter Nance-Apparatur	[Keles et al., 2000]	
Distal-Jet	<b>palatinal</b> gelegenes Gerät; bilateral parallel zur Okklusionsebene angebrachte Röhren mit <b>Sprungfeder</b> und Schraubenklemme, die durch eine Bajonettbiegung palatinal an dem Molarenband fixiert sind; Kombination mit Nance-Apparatur	[Carano et al., 1996]	Compliance unabhängig
Die Jones-Jig-Apparatur	Apparatur mit <b>offener Ni-Ti-Feder</b> (70-75 g) mit einer Kompressionsspanne von 1-5 mm um die Molaren im Oberkiefer zu distalisieren; <b>bukkal</b> an den ersten Molaren und den Prämolaren befestigt (keine Vollbebänderung und Klasse II-Gummis nötig); Kombi. mit modifizierter Nance-Apparatur	[Jones et al., 1992]	Compliance unabhängig
Das Keles-Slider-Gerät	<b>palatinal</b> an den Molarenbändern des Sechсers befestigter, parallel	[Keles, 2002]	Compliance unabhängig

	zur Okklusionsebene geführter Stahldraht, auf dem jeweils eine <b>Ni-Ti-Spiralfeder</b> (Kraft von 200 g pro Seite) angebracht ist (wird zwischen Tube und Schraube komprimiert); Kombination mit modifizierter Nance-Apparatur		
Die First-Class-Apparatur (FCA)“	besteht aus einem <b>palatinalen</b> und einem <b>vestibulären</b> Anteil; bukkal befindet sich eine angelötete vestibuläre <b>Schraube</b> (aktive Einheit); palatinal zwischen dem zweiten Prämolaren und Molaren angebrachte <b>Ni-Ti-Feder</b> (Ausgleich der Kräfte, die zu einem Kreuzbiss führen); Kombination mit Nance-Apparatur	[Fortini et al., 1999]	Compliance abhängig  (Patienten müssen die bukkale Schraube einmal am Tag um eine Viertel Drehung aktivieren)

Tabelle 2: Übersicht: Skelettal verankerte Distalisationsgeräte

<b>Skelettal parodontal verankerte Distalisationsgeräte (indirekte Verankerung)</b>		
Modifizierte Pendulum-Apparatur	Pendulum-Apparatur mit einer durch vier Minischrauben fixierten Verankerungsplatte	[Byloff et al., 2000]
Ni-Ti-Spiralfedern	durch eine indirekte palatinale intraossäre Implantatverankerung fixiert; Distalisation erfolgte durch Ni-Ti-Spiralfedern; Kombination mit Transpalatinalbogen	[Gelgor et al., 2004]
Distal-Jet	indirekt palatinal skelettal verankerte Distal-Jet	[Karaman et al., 2002]
<b>Skelettal verankerte Distalisationsgeräte (direkte Verankerung)</b>		
Skel. Verankertes Keles-Slider-Gerät	osseointegriertes palatinales paramedian angebrachtes Implantat zur Verankerung	[Keles et al., 2003]
Skelettales Verankerungssystem (SAS)	beruht auf am Jochbeinpfeiler angebracht Titanplatten (3 Minischrauben) und Ni-Ti-Spiralfedern	[Sugawara et al., 2006]
Modifizierte Pendulum-Apparatur (BAPA)	Acryplatte direkt an einer intraossären Schraube befestigt	[Kircelli et al., 2006]
Longslider	verankert an zwei in der Sagittalen gekoppelten palatinalen Miniimplantaten, der Longslider nutzt die Kraft von jew. 2 pro Seite parallel palatinal angebrachte Ni-Ti-Federn (350 g) in Form eines Zugmechanismus	[Longerich et al., 2014]
Beneslider	verankert an zwei in der Sagittalen gekoppelten palatinalen Miniimplantaten; der Beneslider nutzt einen Druckmechanismus mit einer 240 g Ni-Ti-Feder pro Seite (Kombination aus Distal-Jet und Keles-Slider)	[Wilmes et al., 2010]

### 3 Fragestellung

Messungen an Fernröntgenseitenbildern zur Darstellung der Wirkung des Distalisationsgerätes „Beneslider“ wurden bereits von Nienkemper et al. beschrieben [Nienkemper et al., 2014]. Die Autoren legen dabei sagittale Messungen vor, um das Ausmaß der Distalisation auszuloten. Dabei wählten sie drei Zeitintervalle aus, welche vom Durchbruchstand der zweiten Molaren bestimmt wurden: vor (Kinder) und nach Eruption der zweiten Molaren (Jugendliche) sowie bei Erwachsenen. Ihr Beweggrund war, die potenziell mögliche Beeinflussung zu differenzieren.

In der bisher zur Verfügung stehenden Literatur sind weitere skelettale Variablen im Fernröntgenseitenbild, vor allem bezüglich des Gesichtstyps der Patienten, insbesondere dem vertikalen Gesichtsaufbau, nicht nach der individualisierten Kephalemetrie beurteilt [Hasund et al., 1984], [Segner et al., 1998]. Diese unabhängig von Mittelwerten ausgerichtete Bewertung von Typ und Charakter einer Malokklusion, verwendet fließende Normen und leitende Variablen, um Aussagen über vertikale und sagittale Veränderungen der Kieferbasen zu erhalten. Dadurch werden gleich große Variablen jeweils in Relation zu weiteren vertikalen und sagittalen Messungen unterschiedlich interpretiert.

Zielsetzung der vorliegenden Studie war es die Veränderungen der repräsentativen dentalen und skelettalen Variablen an klinisch notwendigerweise zur Therapieüberwachung angefertigten Fernröntgenseitenbildern von Patienten, die mit dem Beneslider behandelt wurden, zu zwei Zeitpunkten zu kontrollieren, T1 vor und T2 nach Einsatz des Compliance unabhängigen Gerätes, zur Distalisation der ersten Molaren.

Fragestellungen zur Wirkungsweise des Benesliders:

- Ist eine effektive Molarendistalisation (erster und zweiter Molar) möglich?
- Welche Art von Zahnbewegung (Kronenkipfung, Wurzelkipfung oder Translation) wird durch das Gerät, in Bezug auf die Stellung des zweiten Prämolaren, des ersten Molaren und des zweiten Molaren, erreicht?
- Wie groß ist die Distalisationsgeschwindigkeit und ist sie vergleichbar mit anderen Studien?

- Gibt es Unterschiede bezüglich des Ausmaßes, der Art der Zahnbewegung und der Distalisationsgeschwindigkeit, in Bezug auf noch nicht durchgebrochene bzw. bereits durchgebrochene zweite Molaren?
- Welche skelettalen Variablen werden durch das Gerät beeinflusst, unter Berücksichtigung des Gesichtstyps und des Alters der Patienten?
- Ändert sich durch die Behandlung der vertikale Charakter des Gesichtes, beurteilt nach den Variablen, die von der individualisierten Kephalemetrie vorgegeben werden: anteriorer Gesichtsinde (O-/N-T-Typ) in Kombination mit dem Interbasiswinkel ML-NL (Untergruppen 1, 2, 3)?
- Gibt es hierzu Abhängigkeiten bzw. Einflussfaktoren auf die Distalisationsstrecken?

## 4 Material und Methode

### 4.1 Material

#### 4.1.1 Patientensample mit Auswahlkriterien, Charakteristika und Gruppeneinteilung

Für diese Arbeit wurde ein homogenes Patientenkollektiv, das aus 37 Patienten im Alter von 9,5 bis 28,8 Jahren (Mittelwert:  $14,4 \pm 3,8$  Jahre) besteht, von zwei Fachpraxen für Kieferorthopädie (München und Bad Aibling) zur Verfügung gestellt. Die Nachuntersuchung bzw. Auswertung der pseudonymisierten Daten und Röntgenbilder erfolgte in der Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie der Technischen Universität München, Klinikum rechts der Isar. Alle Patienten befanden sich aufgrund einer kieferorthopädischen Indikation in Behandlung mit dem Gerät Beneslider zur Distalisation der Oberkiefermolaren. Es handelt sich hierbei um eine kephalometrische Studie (prospektive Studie an einem historischen Kollektiv), wofür ein positives Ethikvotum vorliegt. 21 der Patienten waren weiblich (56,8 %) und 16 männlich (43,2 %). Eingeteilt wurden diese Patienten in zwei Gruppen. In Gruppe 1 befanden sich alle jüngeren Patienten, bei denen auf dem Anfangsferrnröntgenseitenbild (FRS 1) und Orthopantomogramm (OPG) noch keine zweiten Oberkiefermolaren durchgebrochen waren. Diese Gruppe bestand aus 16 Patienten, wovon 6 (37,5 %) männlich und 10 (62,5 %) weiblich waren. Das Durchschnittsalter beim Einsetzen des Gerätes in Gruppe 1 lag bei  $12,3 \pm 1,7$  Jahren. In Gruppe 2 waren alle Patienten zu finden, bei denen bei der Anfangsdiagnostik bereits alle zweiten Molaren im Oberkiefer durchgebrochen waren. Sie bestand aus 10 (47,6 %) Jungen und 11 (52,4 %) Mädchen. Das Alter der Gruppe lag bei  $16,0 \pm 4,2$  Jahren.

Die Auswahl der Patienten für diese Dissertation erfolgte unabhängig von der Indikationsstellung, dem klinischen Befund (Malokklusion, Engstand, Dysgnathie) und der Modellanalyse. Hauptauswahlkriterium zur Aufnahme der Patienten in diese Studie war, dass für die Patienten eine vollständige prätherapeutische Planung unter Verwendung des Gerätes Beneslider existierte. Ein weiterer Gesichtspunkt war eine gute Dokumentation der mit diesem Gerät behandelten Patienten, womit das Vorliegen von prä- und posttherapeutischen Ferrnröntgenseitenbildern gemeint ist. Es wurden dazu die für die kieferorthopädische Therapie (Planung und Kontrolle) ohnehin

vorliegenden Röntgenbilder (obligate Dokumentation) ausgewertet. Folgende pseudonymisierte Daten wurden in eine Exceltabelle (Microsoft Corporation, Redmond, USA) eingetragen: Geschlecht, Datum beim Einsetzen des Benesliders, Alter beim Einsetzen, Tragedauer in Monaten, Datum beim Ausgliedern und die Daten der erstellten Orthopantomogramme und Fernröntgenseitenbilder. Die Auswertung der pseudonymisierten Daten und Röntgenbilder erfolgte in der Klinik für MKG-Chirurgie am Klinikum rechts der Isar.

Ausschlusskriterium war eine präoperative Therapie skelettaler Klasse III-Patienten, bei denen nach der Distalisierung eine Umstellungsosteotomie durchgeführt wurde. Nicht verwendet wurden auch Patienten, bei denen die Qualität der Fernröntgenseitenbilder aufgrund von falschen Einstellungen beim Röntgen, zu schlecht waren. Mehr zu den Fehlerquellen beim Anfertigen eines FRS folgt unter dem Punkt 6.1.3.

#### 4.1.2 Der Beneslider

##### 4.1.2.1 Konstruktion des Benesliders

Der von den Fachpraxen verwendete Beneslider besteht aus einer Beneplate mit einem 1,1 mm Führungsbogen aus starrem Stahl, zwei Druckfedern aus Nickel-Titan, zwei Aktivator-Röhrchen, zwei Molarenbändern mit Palatinalschlössern und zwei Aktivierungsreitern.

Die Beneplate besitzt ein Rund- und ein Langloch, damit sie auf mehrere Miniimplantate passt, die verschiedene Abstände (3,5 - 14 mm) haben [Wilmes et al., 2013]. Sie koppelt zwei Miniimplantate in Belastungsrichtung (sagittal), verbessert dadurch die Stabilität der Implantate und verbindet diese stabil mit dem Gerät. Auch nimmt durch diese Kopplung die biomechanische Belastbarkeit zu und kann ein Kippen der Miniimplantate verhindern, wodurch eine hohe Primärstabilität erreicht werden kann [Nienkemper et al., 2014]. Die Beneplate wird durch Aufschrauben der Fixierungsschraubchen auf die Miniimplantate fixiert [Wilmes et al., 2009b]. Der Führungsbogen, welcher an der Beneplate befestigt ist, wurde so gebogen, dass er zur Gaumen-Mukosa circa 1 mm Abstand hat und eine körperliche Führung des

Molaren auf Höhe seines Widerstandszentrums bewerkstelligt, womit Kippmomente umgangen werden können [Nienkemper et al., 2014]. Je nach Angulation des Bogens kann zusätzlich zur Distalisation eine Extrusion oder Intrusion eingestellt werden [Wilmes et al., 2012]. Die Aktivator-Röhrchen werden bei der Herstellung des Geräts im Labor auf den Drahtbogen geschoben und anschließend mit den palatinalen Schließern der Molarenbänder so verlötet, dass sie sich möglichst nahe am Widerstandszentrum des Molaren befinden, um eine körperliche Distalisation zu ermöglichen (siehe Abbildung 3).

Die verwendeten 240 g Ni-Ti-Druckfedern haben eine Kraftgröße von 2,4 N. Sie werden durch Kompression aktiviert, indem der Aktivierungsreiter nach distal geschoben und fixiert wird.



Abbildung 2: Aktivatorröhrchen

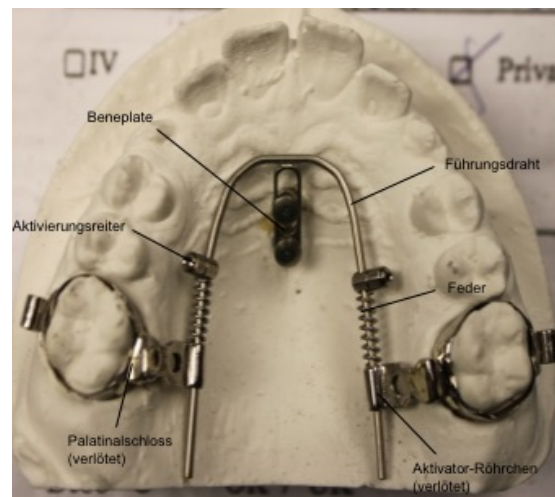


Abbildung 3: Der Beneslider, fertiggestellt am Modell



Abbildung 4: Im Mund des Patienten eingesetzt und aktivierter Beneslider

#### 4.1.2.2 *Klinische Handhabung*

Alle Patienten wurden in den beiden Fachpraxen für Kieferorthopädie von unterschiedlichen Kieferorthopäden behandelt. Der erste Termin des Patienten beinhaltete das Setzen der Miniimplantate. Dafür wurde zunächst eine Lokalanästhesie (Infiltration) gesetzt und anschließend die Schleimhautdicke mittels einer zahnärztlichen Sonde mit Gummi-Stopper gemessen, um eine Insertionsstelle mit möglichst dünner befestigter Schleimhaut (1,5 - 2 mm) zu finden. In der Regel befindet sich diese Stelle im Bereich des dritten Gaumenfaltenpaares (bzw. zwischen zweitem und drittem Gaumenfaltenpaar), auf der medianen Gaumennaht [Wilmes et al., 2010]. Die Insertionsstelle des zweiten Miniimplantats befindet sich dann circa 8 mm hinter dem ersten Implantat. In einer der Praxen wird vor der Insertion der Implantate eine Pilotbohrung durchgeführt, um die Kompakta zu schwächen und die Eindrehmomente reduzieren zu können. Um eine ausreichende Primärstabilität zu wahren, wurde der Durchmesser bei der Bohrung 0,5 mm kleiner als der Implantat-Durchmesser gewählt. Da die Benefit-Implantate auch selbstbohrend sind, können sie auch ohne Vorbohrung eingebracht werden. Diesen Weg geht man in der zweiten Praxis und verzichtet auf eine Pilotbohrung. Wilmes et al. empfehlen bei Erwachsenen eine Pilotbohrung, während sie diese für jüngere Patienten (bis 10/12 Jahre), aufgrund der relativ geringen Knochenmineralisation, als nicht notwendig ansehen [Wilmes et al., 2009b]. Die Insertion der Implantate erfolgte dann je nach Belieben mit einem Schraubendreher oder maschinell mit einem speziellen Winkelstück. Für das anteriore Miniimplantat wurde eine Größe von 2 x 11 mm gewählt, während für das posterior lokalisierte Miniimplantat eine Größe von 2 x 9 mm genutzt wurde. Die Größen beruhen auf dem unterschiedlichen Knochenangebot an den Insertionsstellen. Auch wurde darauf geachtet, dass die Miniimplantate annähernd parallel gesetzt wurden und nicht divergieren. In derselben Sitzung wurden die Molarenbänder an den ersten Molaren angepasst. Die Bänder werden im zahntechnischen Labor zur Herstellung des Geräts benötigt. Anschließend wurden die Abdruckkappen aufgesetzt und ein Alginatabdruck angefertigt. Daraufhin konnte der Beneslider im Labor mit Hilfe von Labor-Implantaten konstruiert werden. In einer weiteren Sitzung folgte dann das Einsetzen des fertig hergestellten Gerätes mit Zementierung der Molarenbänder. Beim Einsetzen wurde die Beneplate mit den Fixierschraubchen befestigt, indem diese auf die Miniimplantate geschraubt wurden. Die 240 g Ni-Ti-Druckfedern (2,4 N) wurden



direkt aktiviert, indem sie durch nach hinten schieben des Aktivierungsreiters komprimiert wurden. Eine Nachaktivierung und Kontrolle wurde in regelmäßigen Abständen (4 - 6 Wochen) durchgeführt. Nach einigen Monaten wurde dem Beneslider eine Multibandapparatur im Oberkiefer hinzugefügt, um die gesamte Behandlungszeit zu verkürzen. Nach durchschnittlich 19,4 Monaten (Mittelwert) wurde der Beneslider aus dem Mund des Patienten entfernt. Das Abschlussfernrontgenseitenbild (FRS 2) wurde dann entweder zu diesem Zeitpunkt mit Multibandapparatur, oder nach Abschluss der festsitzenden Behandlung angefertigt.

## 4.2 Methode

### 4.2.1 Aufnahmetechnik

Einer metrischen Auswertung eines FRS werden standardisierte Röntgenbilder vorausgesetzt. Diese Standardisierung schließt eine einheitliche Einstellung des Röntgenapparates und damit einen optimalen Kontrast, sowie eine zufriedenstellende Bildschärfe, wie auch eine korrekte Kopfhaltung ein. Geometrische Abbildungsfehler und Bewegungsunschärfen sollten so weit wie möglich vermieden und eine gute Wiederholgenauigkeit angestrebt werden. Dabei dürfen jedoch der Strahlenschutz, der Patientenschutz und die dazugehörige Röntgenverordnung nicht in Vergessenheit geraten.

Bei allen Patienten lag vor der Anfertigung eines Fernrontgenseitenbildes sowie des Orthopantomogramms eine rechtfertigende Indikation (RöV §23) vor [RöV, 1987, 2003]. Die Bilder wurden zu Beginn der Behandlung bzw. vor dem Einsetzen des Benesliders (T1) und zum Zeitpunkt der Ausgliederung des Gerätes bzw. zum Behandlungsende (T2) (Kontrollaufnahme) erstellt. Sie konnten nicht immer am Tag der Ausgliederung ohne Verzögerung angefertigt werden, da dies nicht mit der Röntgenverordnung zu vereinbaren war und sich auch die Kassenleistung auf bestimmte zeitliche Abstände beschränkt. Im Mittel lagen zwischen dem Ausgangsfernrontgenseitenbild (T1) und dem Tag des Einsetzens des Gerätes 6,0 Monate, zwischen dem Ausgliedern und der Endaufnahme (T2) 7,8 Monate.

Für die Anfertigung der digitalen FRS (und OPG) wurden die Geräte der Marken Gendex Orthoralix 9200 und Planmeca Pro max Scara2 RPX241957 verwendet.

Voraussetzungen für eine gute Bildqualität sind ein optimaler Kontrast, eine gute Bildschärfe sowie eine optimal eingestellte Bildschwärzung. Um dies zu erreichen, wurden die Aufnahmeparameter entsprechend gewählt. In der Münchner Praxis wurde die Quantität der Strahlung durch eine Stromstärke von 7 mA sowie einer Belichtungszeit von 8 s festgelegt. Die Spannung, welche Einfluss auf die Qualität der Röntgenstrahlung hat, betrug 72 kV. In Bad Aibling hingegen wurde für die Stromstärke 10 mA, für die Belichtungszeit 6,4 s und für die Spannung im Mittel 67 kV eingestellt.

Zur richtigen Positionierung des Patienten beim Erstellen eines FRS wurde dieser mit Hilfe eines Kephalostaten in der Transversalen sowie Sagittalen und Vertikalen fixiert. Der Kopf wurde dabei nach der Frankfurter Horizontalen (Verbindungsline zwischen Porus acusticus externus und Infraorbitalpunkt) ausgerichtet. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass die Bipupillarlinie in der Horizontalen liegt, damit Doppelkonturen auf dem Röntgenbild vermieden werden konnten. Um eine maßstäbliche Abbildung ohne Verzerrungen zu erhalten, wurde die Bildebene parallel zur Mediansagittalebene des Objekts angeordnet. Der zentrale Strahl der Röntgenstrahlung verlief dabei senkrecht durch den Porus acusticus externus des Patienten und damit auch senkrecht durch die Bildebene.

Trotz dieser Ausrichtung war eine vergrößerte Abbildung des Objekts nicht zu vermeiden, welche durch eine geeignete Eichung des Röntgenbildes vor der Auswertung eliminiert wurde. In den beiden Praxen wurden die Aufnahmen bei einem Abstand zwischen Bildträger und Fokus von 1,5 m durchgeführt. Das FRS wurde in der Schlussbissstellung angefertigt.

#### 4.2.2 Verwendete technische Analyse des Fernröntgenseitenbildes

Zur Auswertung der prä- und posttherapeutischen digitalen Fernröntgenseitenbilder zum Zeitpunkt T1 und T2 wurden diese aus dem digitalen Karteikarten (Ivoris) in das

Computerprogramm DiagnoseFix Version 1.1.2014-5 der Diagnostik Wingberg GmbH, Buchholz, Deutschland, übergestellt und vor der kephalometrischen Auswertung jeweils geeicht. Die eingestellte Fernröntgenseitenanalyse Bergen-Classic wurde zuvor umprogrammiert, indem zusätzlich benötigte Punkte und Hilfslinien sowie Streckenmessungen eingefügt und unnötige Parameter entfernt wurden.

Um an seitlichen FRS metrische Messungen durchführen zu können, werden definierte und reproduzierbare Bezugspunkte benötigt. Diese dienen zum Konstruieren von Referenzlinien und Ebenen, welche für die Strecken- und Winkelmessungen nötig sind. Hierzu wurde die auf Hasund und Segner [Segner et al., 1998] basierende kieferorthopädische Analyse der Studie zu Grunde gelegt und zum Teil modifiziert.

Die verwendeten Referenzpunkte lassen sich in skelettale, dentale und dentoalveoläre Punkte einteilen. Folgende Referenzpunkte wurden aus dem Buch von D. Segner und A. Hasund entnommen und zur Auswertung bestimmt [Segner et al., 1998]:

Tabelle 3: Die Definitionen der verwendeten Referenzpunkte

S	Sella	Zentrum der knöchernen Krypte der Sella turcica in der Median-Sagittalebene; Konstruktion des Punktes: Halbierung des größten Durchmessers der Sella
N	Nasion	Anteriorster Punkt der Sutura naso-frontalis in der Median-Sagittalebene; bei V-Form der Sutura wird der posteriorste Punkt des V's verwendet
Ba	Basion	Am weitesten posterior und kaudal gelegener Punkt des Clivus in der Median-Sagittalebene; entspricht dem anteriorsten Punkt des Foramen magnum
Sp	Spina nasalis anterior	Am weitesten anterior gelegener Punkt der knöchernen Spina nasalis anterior in der Median-Sagittalebene
A	A-Punkt	Tiefster Punkt der anterioren Kontur des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes in der Median-Sagittalebene; entspricht dem anthropologischen Punkt Subspinale (SS)

Pm	Pterygomaxillare	Schnittpunkt der dorsalen Kontur des Corpus maxillae mit der Kontur des harten bzw. weichen Gaumens (die dorsale Kontur des Corpus maxillae entspricht der anterioren Begrenzung der Fossa pterygopalatina)
Iss	Inzision superius	Am weitesten inzisal gelegener Punkt des am anteriorsten stehenden oberen mittleren Schneidezahnes
I <sub>sa</sub>	Apex des Oberkiefer-Schneidezahnes	Apikalster Punkt der Wurzel des am weitesten anterior stehenden mittleren Oberkiefer-Schneidezahnes
Pg	Pogonion	Am weitesten anterior gelegener Punkt des knöchernen Kinns in der Median-Sagittalebene
B	B-Punkt	Tiefster Punkt der anterioren Kontur des Unterkiefer-Alveolarfortsatzes in der Median-Sagittalebene; entspricht dem anthropologischen Punkt Supramentale (SM)
Gn	Gnathion	Kaudalster Punkt der Unterkiefersymphyse in der Median-Sagittalebene; im amerikanischen Sprachgebrauch oft als Menton (Me) bezeichnet
Ar	Artikulare	Schnittpunkt des Unterrandes der Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Collum mandibulae (konstruierter Punkt)
Sp'	Spina Strich	Konstruierter Punkt; Schnittpunkt der Linie Nasion-Gnathion und Spina-Pterygomaxillare (NL)
tgo	Gonion-Tangentenpunkt	Konstruierter Punkt; Schnittpunkt der Mandibularlinie mit der Ramuslinie; tgo wird bei der Computerauswertung konstruiert, indem die Tangentenpunkte am Kieferwinkel bestimmt werden

Weiterhin wurden zusätzliche Punkte für die Auswertung der Distalisationsstrecken der Oberkieferbackenzähne im Fernröntgenseitenbild definiert und bestimmt:

Tabelle 4: Die Definitionen der zusätzlich benötigten Punkte

Pt	Pterygoidpunkt	Hinterer, oberer Rand der pterygomaxillären Fissur
A5	Apex des 5ers im OK	Wurzelspitze; entspricht dem röntgenologischen Apex des oberen zweiten Prämolaren
A6	Apex des 6ers im OK	Zentraler Punkt der Verbindungslinie der bukkalen Wurzeln des oberen ersten Molaren
A7	Apex des 7ers im OK	Zentraler Punkt der Verbindungslinie der bukkalen Wurzeln des oberen zweiten Molaren
WZ5	Widerstandszentrum des 5ers im OK	Widerstandszentrum des zweiten oberen Prämolaren; entspricht Übergang vom zervikalen zum mittleren Wurzeldrittel
WZ6	Widerstandszentrum des 6ers im OK	Widerstandszentrum; entspricht der Trifurkation/Furkation der bukkalen Wurzeln des oberen ersten Molaren
WZ7	Widerstandszentrum des 7ers im OK	Widerstandszentrum; entspricht der Trifurkation/Furkation der bukkalen Wurzeln des oberen zweiten Molaren
SZG5	Schmelz-Zement-Grenze des 5ers im OK	Punkt an der Schmelz-Zement-Grenze auf der Längsachse des zweiten oberen Prämolaren
SZG6	Schmelz-Zement-Grenze des 6ers im OK	Punkt an der Schmelz-Zement-Grenze auf der Längsachse des ersten oberen Molaren
SZG7	Schmelz-Zement-Grenze des 7ers im OK	Punkt an der Schmelz-Zement-Grenze auf der Längsachse des zweiten oberen Molaren
Z5	Zentroidpunkt des 5ers im Oberkiefer	Mittelpunkt zwischen der größten mesialen und distalen Ausdehnung der im Röntgenbild erkennbaren Zahnkrone des zweiten oberen Prämolaren
Z6	Zentroidpunkt des 6ers im Oberkiefer	Mittelpunkt zwischen der größten mesialen und distalen Ausdehnung der im Röntgenbild erkennbaren Zahnkrone des ersten oberen Molaren

Z7	Zentroidpunkt des 7ers im Oberkiefer	Mittelpunkt zwischen der größten mesialen und distalen Ausdehnung der im Röntgenbild erkennbaren Zahnkrone des zweiten oberen Molaren
dP5	Distalster Punkt des 5ers im OK	Dorsalster Punkt der klinischen Krone des zweiten oberen Prämolaren
dP6	Distalster Punkt des 6ers im OK	Dorsalster Punkt der klinischen Krone des ersten oberen Molaren
dP7	Distalster Punkt des 7ers im OK	Dorsalster Punkt der klinischen Krone des zweiten oberen Molaren
kP5	Koronaler Punkt des 5ers im OK	Okklusal höchster Punkt auf der Längsachse des zweiten oberen Prämolaren
kP6	Koronaler Punkt des 6ers im OK	Okklusal höchster Punkt auf der Längsachse des ersten oberen Molaren
kP7	Koronaler Punkt des 7ers im OK	Okklusal höchster Punkt auf der Längsachse des zweiten oberen Molaren

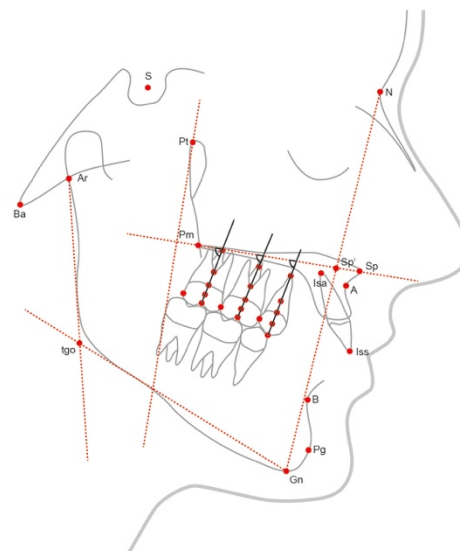
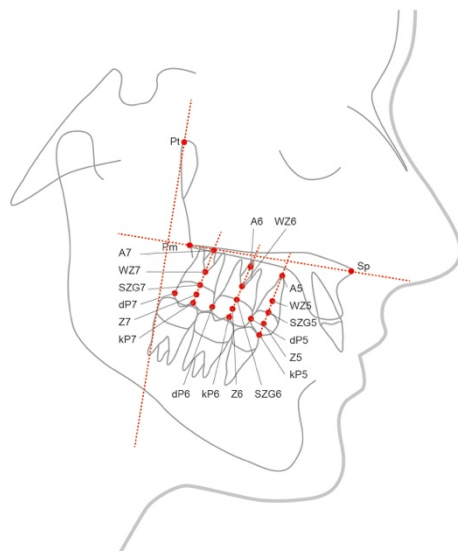


Abbildung 5: Die zusätzlich benötigten Referenzpunkte    Abbildung 6: Alle verwendeten Referenzpunkte

Es kann im FRS allerdings zu Doppelkonturen aufgrund von Abbildungsfehlern kommen. Diese Doppelkontur ist beispielsweise öfter am Collum mandibulae zu sehen. Für die Auswertung des Röntgenbildes wurde dann die gedachte Mitte der Doppelkontur der jeweiligen anatomischen Struktur verwendet.

Auf der Basis dieser verwendeten Referenzpunkte wurden vom Computerprogramm die Referenzlinien NSL, NL, ML, NA-Linie, NB-Linie, Ramus-Linie, Clivus-Linie, ZA5, ZA6, ZA7, PtV, NGn-Linie bestimmt. Eine genauere Beschreibung der Linien folgt in Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7 [Segner et al., 1998].

Tabelle 5: Horizontale Referenzlinien

NSL	Nasion-Sella-Linie	Linie zwischen Sella und Nasion; Hauptreferenzebene; auch anteriore Schädelbasis genannt
NL	Nasallinie	Linie zwischen Spina nasalis anterior und Pterygomaxillare; Bezugsebene für den Nasenboden und der Oberkieferbasis; auch Oberkiefergrundebene genannt
ML	Mandibularlinie	Linie zwischen Gonion-Tangentenpunkt und Gnathion; Referenzlinie für den Corpus mandibulae; auch Unterkiefergrundebene genannt

Tabelle 6: Vertikale Referenzlinien

NA-Linie	Linie zwischen Nasion und A-Punkt; zur Beschreibung der sagittalen Position des Oberkiefers
NB-Linie	Linie zwischen Nasion und B-Punkt; zur Beschreibung der sagittalen Position des Unterkiefers
NPg-Linie	Linie zwischen Nasion und Pogonion, zur Beschreibung der sagittalen Position der Mandibula bzw. des knöchernen Kinns

Zur Analyse eines FRS werden allerdings noch weitere Hilfslinien benötigt.

Tabelle 7: Weitere Hilfslinien

Ramus-Linie	Ramus-Linie	Linie zwischen Artikulare und Gonion-Tangentenpunkt
Clivus-Linie	Clivus-Linie	Linie zwischen Sella und Basion; auch hintere Schädelbasis genannt
ZA1	Zahnachse 1er	Verbindungsline von Iss und Isa
ZA5	Zahnachse 5er	Verbindungsline von Z5 und WZ5
ZA6	Zahnachse 6er	Verbindungsline von Z6 und WZ6
ZA7	Zahnachse 7er	Verbindungsline von Z7 und WZ7
PtV	Pterygoidvertikale	Senkrechte zum Nasalplanum durch den Pterygoidpunkt
NGn-Linie	Nasion-Gnathion-Linie	Linie zwischen Nasion und Gnathion; benötigt für die Bestimmung des Index der anterioren Gesichtshöhen

Aus diesen definierten Referenzpunkten und Bezugslinien hat das Auswertungsprogramm die folgenden Parameter berechnet:

Tabelle 8: Auswertungsparameter Teil 1

SNA-Winkel	Der Prognathiegradwinkel der Maxilla	beschreibt die sagittale Position des Oberkiefers in Relation zur anterioren Schädelbasis
SNB-Winkel	Der Prognathiegradwinkel der Mandibula	beschreibt die sagittale Lage des Unterkiefers in Relation zur anterioren Schädelbasis
ANB-Winkel	Der sagittale Interbasalwinkel	beschreibt die anterior-posteriore Relation der Maxilla zur Mandibula



Der SNPg-Winkel		beschreibt wie auch der SNB-Winkel die sagittale Position der Mandibula; Einschätzung des knöchernen Kinnvorsprungs und der sagittalen Stellung der Zähne
ML-NSL-Winkel	Der Inklinationswinkel der Mandibula	beschreibt die vertikale Relation der Mandibula, in Relation zur anterioren Schädelbasis
NL-NSL-Winkel	Der Inklinationswinkel der Maxilla	drückt die Neigung des Oberkiefers in der Vertikalen in Bezug auf die anteriore Schädelbasis aus
ML-NL-Winkel	Der Interbasiswinkel	beschreibt die Neigung der Mandibula relativ zur Oberkieferbasis in der Vertikalen; somit die Relation der beiden Kiefer zueinander
NSBa-Winkel	Der Schädelbasiswinkel	beschreibt die Relation des Clivus zur anterioren Schädelbasis und damit die Stärke der Abknickung der Schädelbasis
Gn-tgo-Ar	Der Kieferwinkel	beschreibt die Form des Unterkiefers, indem er die Relation von Corpus und Ramus mandibulae angibt

<p>N-Sp' mm, Sp'-Gn mm, Index %</p>	<p>Vordere mittlere Gesichtsteilhöhe, vordere untere Gesichtsteilhöhe und Index der vorderen Gesichtshöhe</p>	<p>Der Index ist der Quotient aus der Strecke N-Sp' und der Strecke Sp'-Gn und drückt die Beziehung zwischen der vorderen mittleren und vorderen unteren Gesichtsteilhöhe aus</p>
<p>OK1-NA-Winkel</p>		<p>drückt die Achsenneigung des oberen mittleren Inzisivus (ZA1) im Verhältnis zur Basis der Maxilla in sagittaler Richtung aus</p>
<p>OK1-NA-Strecke</p>		<p>gibt ebenfalls die Stellung des ersten oberen Schneidezahnes in der Sagittalen in Bezug auf die Basis der Maxilla an</p>

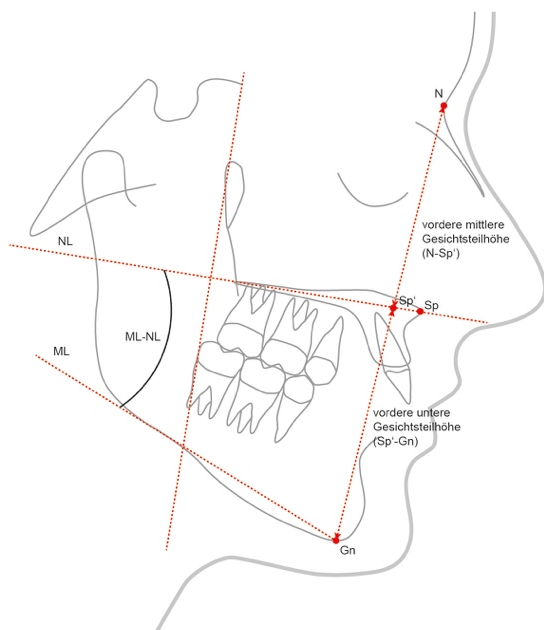


Abbildung 7: Der Gesichtsindezes

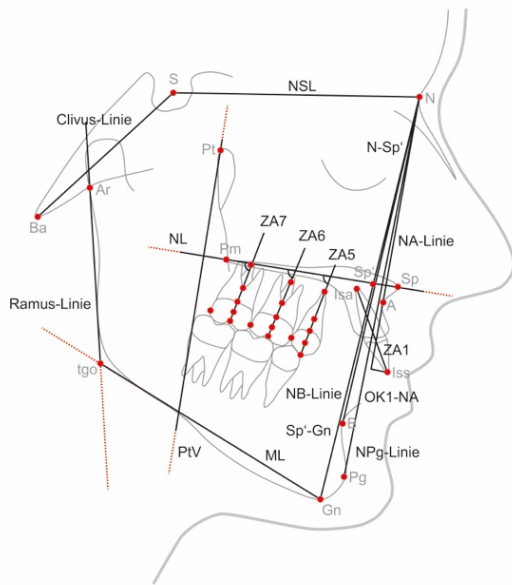


Abbildung 8: Übersicht der Winkel- und Streckenmessungen

Tabelle 9: Auswertungsparameter Teil 2

A5-PtV, A6-PtV, A7-PtV	Abstände Apex 5er, Apex 6er, Apex 7er zur Pterygoidvertikalen	beschreiben die Positionen der Wurzelspitzen in der Sagittalen
WZ5-PtV, WZ6-PtV, WZ7-PtV	Abstände Widerstandszentrum 5er, 6er, und 7er zur Pterygoidvertikalen	beschreiben die Positionen der Widerstandszentren in der Sagittalen
SZG5-PtV, SZG6-PtV, SZG7-PtV	Abstände Schmelz-Zement-Grenze 5er, 6er und 7er zur Pterygoidvertikalen	beschreiben die Positionen der Schmelz-Zement-Grenzen in der Sagittalen
Z5-PtV, Z6-PtV, Z7-PtV	Abstände Zentroidpunkt 5er, 6er und 7er zur Pterygoidvertikalen	beschreiben die Positionen der Zahnkronen in der Sagittalen

<p>kP5-PtV, kP6-PtV, kP7-PtV</p>	<p>Abstände koronaler Punkt 5er, 6er, 7er zur Pterygoidvertikalen</p>	<p>beschreiben ebenfalls die Positionen der Zahnkronen in der Sagittalen</p>
<p>dP5-PtV, dP6-PtV, dP7-PtV</p>	<p>Abstände distalster Punkt 5er, 6er und 7er zur Pterygoidvertikalen</p>	<p>beschreiben ebenfalls die Positionen der Zahnkronen in der Sagittalen</p>
<p>ZA5-NL-Winkel, ZA6-NL-Winkel, ZA7-NL-Winkel</p>		<p>stellen die jeweilige Position der Zahnachse in Bezug auf das Nasalplanum dar</p>

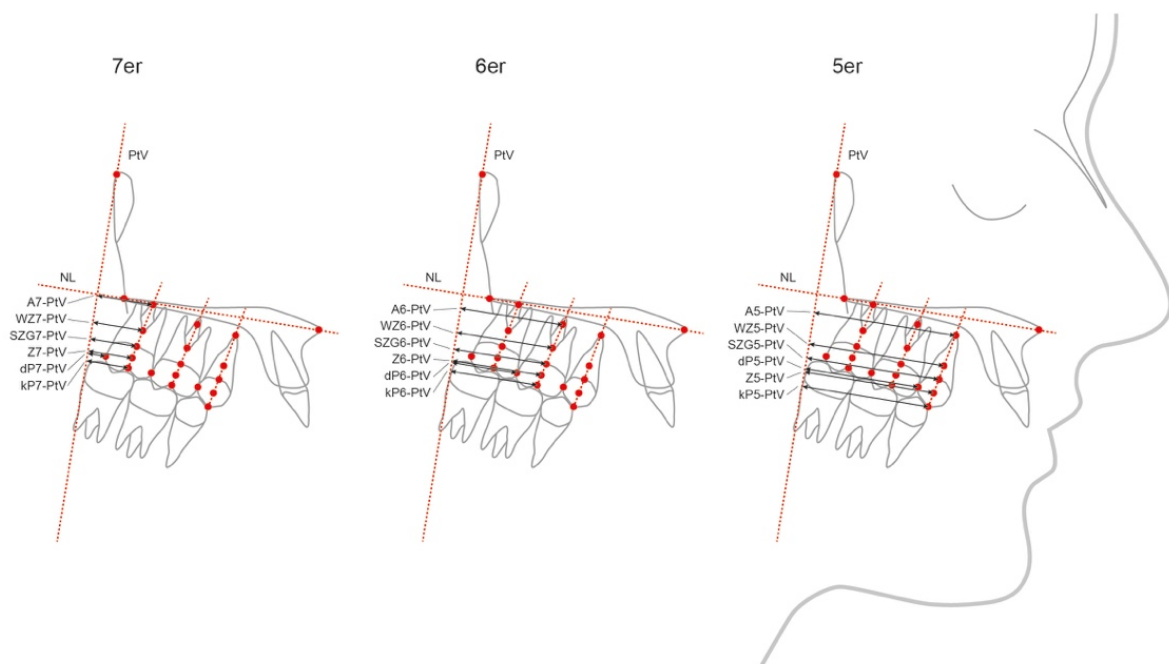


Abbildung 9: Messungen der Abstände der dentalen Referenzpunkte zur Pterygoidvertikalen

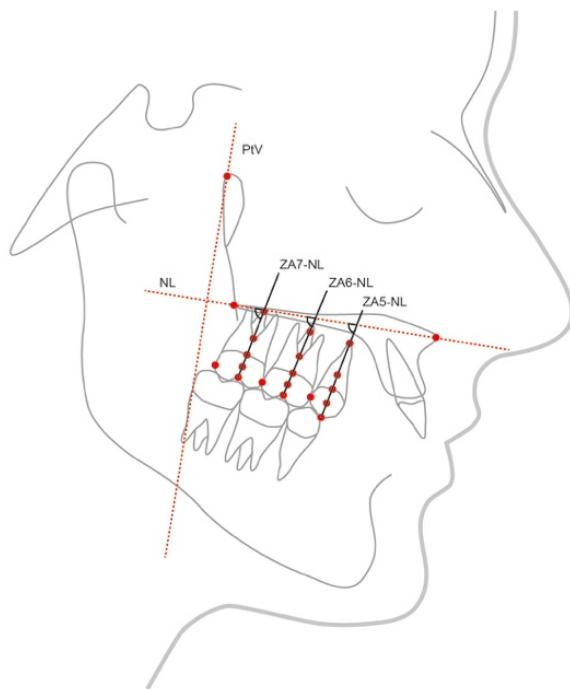


Abbildung 10: Messungen der Winkel zwischen den Zahnachsen und dem Nasalplanum

Milchzähne wurden nicht in die Messungen mit aufgenommen. Das heißt, dass in Fällen, bei denen der zweite Milchmolar noch nicht durch den bleibenden Prämolaren ersetzt wurde, keine Messungen an dem Milchmolaren stattgefunden haben. Der zweite permanente Molar wurde jedoch immer vermessen, auch wenn dieser noch nicht durchgebrochen war, also noch von Knochen umfasst war.

Alle Messwerte des Auswertungsprogramms wurden in eine Excel Tabelle eingetragen. Dabei wurden die Messwerte aller genannten Variablen von dem prätherapeutischen FRS mit den Werten der posttherapeutischen Aufnahme verglichen und die jeweiligen Differenzen gebildet. Somit ließen sich die Veränderungen der Parameter durch die Behandlung feststellen. Die Distalisierungsstrecken des zweiten Prämolaren, des ersten und des zweiten Molaren im Oberkiefer ließen sich somit aus den Differenzen der jeweiligen Strecken beschreiben.

Auch wurden die Distalisationsgeschwindigkeiten der beschriebenen Zähne bestimmt. Diese Geschwindigkeit wurde als Quotient aus dem Ausmaß der Verlagerung des

Widerstandszentrums und der Dauer der Distalisation definiert [Nienkemper et al., 2014].

Weiterhin wurde zur Quantifizierung der Zahnbewegung der Quotient aus der Streckenveränderung des jeweiligen Apex zur Pterygoidvertikalen und dem Ausmaß der Verlagerung des entsprechenden koronalen Punktes gebildet und somit der Typ der Zahnbewegung bestimmt [Kinzinger et al., 2005b].

Zusätzlich wurde mit Hilfe des Indexes, welcher aus dem Quotient der mittleren zur unteren Gesichtsteilhöhe gewonnen wurde, der vertikale Charakter jedes Patienten vor und nach der Therapie festgelegt.

Dabei lassen sich der O-, N-, T-Typ voneinander unterscheiden. Bei einem kleinen Index (Index < 71 %) spricht man von einem O-Typ, dem basal offenen Typ. Ist die untere Gesichtsteilhöhe jedoch kleiner, als die mittlere (Index > 89 %), liegt eine Konfiguration des T-Typs (tiefe Konfiguration) vor. Ist das Verhältnis von Mittel- und Untergesichtshöhe in etwa gleich (Index liegt zwischen den Grenzen), handelt es sich um eine basal neutrale Konfiguration, dem N-Typ.

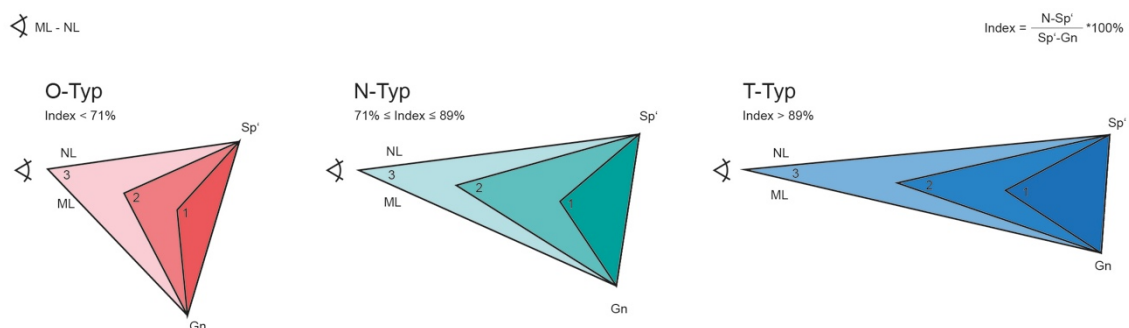


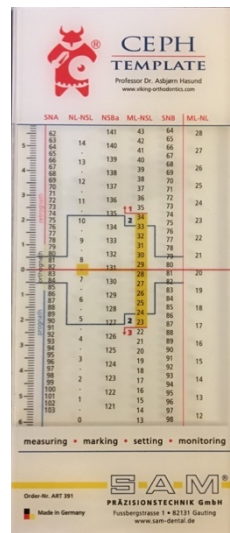
Abbildung 11: O-/N-/T-Typ

Diese vertikalen Typen wurden mit Hilfe des CEPH Templates (SAM, Präzisionstechnik GmbH), eine Harmoniebox aus Kunststoff, auf der die Schablone der Harmoniebegrenzung verschiebbar ist (siehe Abbildung 12), in die Untergruppen 1, 2, 3 unterteilt. Dazu wurde die Zentrallinie auf den Winkel NL-NSL gelegt und der dazu gemessene ML-NSL-Wert betrachtet. Lag der Messwert mehr als sechs Grad über dem Idealwert der Variable ML-NSL, so war ML-NSL zu groß und dieser Fall

wurde als „1“ oder „high-angle“ (großer ML-NL-Winkel) bezeichnet. Der Fall wurde als „3“ (kleiner ML-NL-Winkel) bezeichnet, wenn ML-NSL mehr als sechs Grad darunterlag. War der Messwert allerdings zwischen den Grenzen zu finden (gelbe Fläche), handelte es sich um eine harmonische skelettale Kombination oder auch den Fall „2“ (ausgewogener Winkel ML-NL). Auch wurde unter Verwendung des CEPH Templates der Gesichtstyp der Patienten bestimmt.

Abbildung 12: CEPH Template

Zentrallinie im orthognathen Bereich



#### 4.2.3 Statistisches Vorgehen mit Methodenfehler

Alle Auswertungen wurden mit Hilfe des Statistikprogramms R (Version 3.1) erstellt.

Alle stetigen Variablen wurden mit Mittelwert und Standardabweichung repräsentiert, die diskreten Merkmale mit absoluten Häufigkeiten. Die Normalverteilungsannahme wurde mit Shapiro Wilk Tests überprüft. Je nach Ausgang dieses Tests, wurden die verbundenen Stichproben mittels verbundenem t-Test oder Wilcoxon Vorzeichen-Rang-Test und die unverbundenen mittels t-Test oder Mann Whitney U Test überprüft. Die Veränderung in den diskreten Merkmalen wurde mit marginalen Homogenitätstests überprüft. Um die Einflüsse auf die Veränderungen der Strecken zu untersuchen, wurden lineare Regressionsmodelle berechnet. Ausgewählte

Variablen wurden mit Hilfe von Boxplots und Säulendiagrammen repräsentiert. Als Signifikanzniveau wurde ein  $\alpha$  von 5 % ( $p \leq 0,05$ ) gewählt.

Um den Methodenfehler zu bestimmen, wurden alle FRS zweimal in einem Abstand von ein bis zwei Wochen vermessen und daraus der Methodenfehler nach Dahlberg (1943) sowie der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston (1983) berechnet.

Der Methodenfehler nach Dahlberg betrug 1,46 mm bis 3,91 mm (Mittel: 2,33 mm) für lineare Messungen und  $1,03^\circ$  bis  $7,15^\circ$  (Mittel:  $2,71^\circ$ ) bei den Winkelmessungen. Der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston lag für lineare Messungen zwischen 0,52 und 0,93 (Mittel: 0,75) und für anguläre Messungen bei 0,39 bis 0,95 (Mittelwert: 0,76).



## 5 Ergebnisse

### 5.1 Patientenverteilung nach Geschlecht, Alter und Behandlungsdauer

Tabelle 10: Übersicht über die Patientencharakteristika

	Alle	Vor Durchbruch 7er (Gruppe 1)	Nach Durchbruch 7er (Gruppe 2)	P-Wert
	N=37	N=16	N=21	
Alter Einsetzen (Jahre)	14.4 (3.78)	12.3 (1.67)	16.0 (4.17)	0.001
Geschlecht:				0.779
m	16 (43.2 %)	6 (37.5 %)	10 (47.6 %)	
w	21 (56.8 %)	10 (62.5 %)	11 (52.4 %)	
Tragedauer (Monate)	19.4 (9.42)	18.5 (8.28)	20.0 (10.3)	0.615

In Gruppe 1 befanden sich alle jüngeren Patienten, bei denen auf dem Anfangsferrnröntgenseitenbild und OPG noch keine zweiten Oberkiefermolaren durchgebrochen waren. Diese Gruppe bestand aus 16 Patienten, wovon 6 (37,5 %) männlich und 10 (62,5 %) weiblich waren. Das Durchschnittsalter beim Einsetzen des Gerätes in Gruppe 1 lag bei  $12,3 \pm 1,7$  Jahren. In Gruppe 2 waren alle Patienten zu finden, bei denen bei der Anfangsdiagnostik bereits alle zweiten oberen Molaren im Oberkiefer durchgebrochen waren. Sie setzte sich aus 10 (47,6 %) Jungen und 11 (52,4 %) Mädchen zusammen. Das Alter der Gruppe lag bei  $16,0 \pm 4,2$  Jahren.

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen der Verteilung der Geschlechter in den zwei Gruppen und der Tragedauer des Gerätes zwischen den Gruppen. Im Mittel betrug die Tragedauer des Beneslidars vom Tag des Einsetzens bis zum Zeitpunkt des Ausgliederns im gesamten Kollektiv  $19,4 (\pm 9,42)$  Monate. Es ließ sich jedoch ein signifikanter Unterschied bezüglich des Durchschnittsalters beim Einsetzen zwischen den jeweiligen Gruppen feststellen.

## 5.2 Gegenüberstellung der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 in Relation zum Zeitpunkt T2 innerhalb des gesamten Patientenkollektivs

### 5.2.1 Skelettale Variablen

Der SNA-Winkel betrug zum Zeitpunkt T1 (FRS der Anfangsdiagnostik) im Mittel  $79,4^\circ \pm 3,66^\circ$  und zum Zeitpunkt T2  $80,1^\circ \pm 3,26^\circ$ . Er vergrößerte sich im Laufe der Behandlung signifikant um  $0,74^\circ$  ( $p=0,033$ ). Der SNB-Winkel (Mittelwert T1:  $76,1^\circ \pm 3,63^\circ$ ) und der ANB-Winkel (Mittelwert T1:  $3,30^\circ \pm 2,09^\circ$ ) wurden ebenfalls größer (SNB um  $0,28^\circ$ , ANB um  $0,45^\circ$ ), diese Veränderungen erwiesen sich jedoch als nicht signifikant. Auch der SNPg-Winkel vergrößerte sich von  $77,2^\circ \pm 3,93^\circ$  im Durchschnitt um  $0,56^\circ \pm 2,23^\circ$ . Jedoch wies auch diese Veränderung keine Signifikanz auf. Der Winkel des Inklinationsgrades der Mandibula ( $30,5^\circ \pm 6,75^\circ$ ) blieb unverändert (Zunahme um  $0,04^\circ$ ), wohingegen der der Maxilla um  $0,59^\circ \pm 2,40^\circ$  abnahm. Das Signifikanzniveau wurde jedoch nicht erreicht ( $p=0,1$ ). Somit vergrößerte sich der Winkel ML-NL (Mittelwert T1:  $22,7^\circ \pm 5,64^\circ$ ) um  $0,62^\circ \pm 2,35^\circ$ , ohne relevante Signifikanz. Der Schädelbasiswinkel und der Kieferwinkel blieben während der Behandlung weitgehend unverändert (leichte Abnahme um: NSBa  $0,28^\circ$ , Gn-tgo-Ar  $0,32^\circ$ ). Die vordere mittlere Gesichtsteilhöhe nahm von  $53,5 \text{ mm} \pm 5,89 \text{ mm}$  auf  $55,0 \text{ mm} \pm 5,32 \text{ mm}$  um  $1,47 \text{ mm} \pm 3,00 \text{ mm}$  mit einer Signifikanz von 0,013 zu. Auch die vordere untere Teilhöhe des Gesichts vergrößerte sich um  $3,69 \text{ mm} \pm 4,18 \text{ mm}$  von  $61,6 \text{ mm} \pm 7,57 \text{ mm}$  auf  $65,3 \text{ mm} \pm 7,88 \text{ mm}$ , wobei das Signifikanzniveau erreicht wurde. Insgesamt sank der Index dabei von durchschnittlichen  $87,4 \% \pm 7,65 \%$  auf  $84,7 \% \pm 7,39 \%$  um  $2,59 \% \pm 3,22 \%$ . Dies erwies sich als signifikant mit  $p<0,0001$ .

### 5.2.2 Dentale Variablen

#### **Der obere mittlere Inzisivus:**

Die Stellung des oberen mittleren Schneidezahnes wurde durch die Variablen OK1-NA-Winkel und OK1-NA-Strecke beschrieben. Der Winkel nahm dabei von  $22,0^\circ \pm 7,25^\circ$  auf  $19,3^\circ \pm 6,60^\circ$  um durchschnittlich  $2,55^\circ$  ab. Diese Abnahme wurde auf eine Signifikanz von  $p=0,033$  getestet. Der Abstand des am weitesten inzisal gelegenen

Punktes des Inzisivus zur NA-Linie nahm von  $3,19 \text{ mm} \pm 2,62 \text{ mm}$  auf  $2,80 \text{ mm} \pm 2,78 \text{ mm}$  um  $0,45 \text{ mm}$  ab, was sich jedoch als nicht signifikante Veränderung erwies.

### **Der zweite Oberkieferprämolar:**

Die Position des zweiten oberen Prämolaren wurde durch die jeweiligen Streckenmessungen der Punkte Apex, Widerstandszentrum, Schmelz-Zement-Grenze, Zentroidpunkt, koronaler Punkt und distalster Punkt der Zahnkrone zur Pterygoidvertikalen zum Zeitpunkt T1 und T2 gemessen. Die Veränderungen der jeweiligen Strecken stellten die Distalisationsstrecken der Punkte am Zahn dar.

Die Wurzelspitze hatte zu Beginn der Behandlung einen Abstand zur Vertikalen von  $31,7 \text{ mm} \pm 5,34 \text{ mm}$ , welcher sich auf  $30,3 \text{ mm} \pm 5,51 \text{ mm}$  reduzierte. Die Distalbewegung des Apex betrug somit  $1,53 \text{ mm} \pm 1,97 \text{ mm}$ . Das Widerstandszentrum bewegte sich um  $2,51 \text{ mm} \pm 1,81 \text{ mm}$  nach posterior. Die Strecke nahm dabei von  $31,2 \text{ mm} \pm 5,25 \text{ mm}$  auf  $28,8 \text{ mm} \pm 5,31 \text{ mm}$  ab. Die Schmelz-Zement-Grenze des zweiten Prämolaren erfuhr eine Distalisation von  $3,00 \text{ mm} \pm 1,80 \text{ mm}$  (von  $30,9 \text{ mm} \pm 5,26 \text{ mm}$  auf  $28,0 \text{ mm} \pm 5,35 \text{ mm}$ ), wohingegen der Zentroidpunkt um  $3,35 \text{ mm} \pm 1,83 \text{ mm}$  distalisiert wurde (von  $30,6 \text{ mm} \pm 5,32 \text{ mm}$  auf  $27,4 \text{ mm} \pm 5,31 \text{ mm}$ ). Der Abstand von dem koronalen Punkt des 5ers zur Pterygoidvertikalen nahm von  $30,4 \text{ mm} \pm 5,39 \text{ mm}$  auf  $26,9 \text{ mm} \pm 5,30 \text{ mm}$ , also um  $3,58 \text{ mm} \pm 1,86 \text{ mm}$  ab. Der distalste Punkt wurde um  $3,29 \text{ mm} \pm 1,49 \text{ mm}$  distalisiert. Alle Distalisationsstrecken ergaben bei der Testung eine Signifikanz von  $p < 0,0001$ . Der Winkel zwischen der Zahnachse des zweiten Prämolaren und dem Nasalplanum nahm um  $6,50^\circ \pm 5,09^\circ$  ab. Dies entspricht einer hochsignifikanten Kronenkipfung ( $p < 0,0001$ ).

### **Der erste Oberkiefermolar:**

Für den ersten oberen Molaren wurden die gleichen Punkte am Molaren zur Bestimmung der jeweiligen Variablen benutzt. Der Apex wurde um  $3,55 \text{ mm} \pm 1,35 \text{ mm}$  distalisiert, wobei die Strecke zur Pterygoidvertikalen vom ersten Zeitpunkt von  $24,1 \text{ mm} \pm 4,54 \text{ mm}$  auf  $20,5 \text{ mm} \pm 4,57 \text{ mm}$  abnahm. Das Widerstandszentrum des 6ers erfuhr eine Distalbewegung von  $3,49 \text{ mm} \pm 1,10 \text{ mm}$ , wohingegen die Schmelz-

Zement-Grenze um  $3,63 \text{ mm} \pm 1,17 \text{ mm}$  distalisiert wurde. Die Abstände des Widerstandszentrums zur Vertikalen betragen zum Zeitpunkt T1  $23,3 \text{ mm} \pm 4,57 \text{ mm}$  und zum zweiten Zeitpunkt T2  $19,8 \text{ mm} \pm 4,70 \text{ mm}$ , die der Schmelz-Zement-Grenze  $22,6 \text{ mm} \pm 4,73 \text{ mm}$  und  $18,9 \text{ mm} \pm 5,02 \text{ mm}$ . Der Zentroidpunkt des Molaren wurde um  $3,60 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$  nach distal bewegt, wobei die Strecken  $21,9 \text{ mm} \pm 4,94 \text{ mm}$  und  $18,2 \text{ mm} \pm 5,22 \text{ mm}$  betragen. Die nach posterior gerichtete Bewegung des okklusal am höchsten gelegenen Punktes auf der Längsachse des Zahnes betrug  $3,65 \text{ mm} \pm 1,35 \text{ mm}$  (Verringerung des Abstandes von  $21,3 \text{ mm} \pm 5,16 \text{ mm}$  auf  $17,7 \text{ mm} \pm 5,49 \text{ mm}$ ). Der distalste Punkt des Oberkiefermolaren wurde um  $3,15 \text{ mm} \pm 1,64 \text{ mm}$  distalisiert, wobei die Abstände  $16,0 \text{ mm} \pm 4,85 \text{ mm}$  und  $12,8 \text{ mm} \pm 5,35 \text{ mm}$  betragen. Auch hier ergaben alle Distalisationsstrecken bei der Testung eine Signifikanz von  $p < 0,0001$ . Der Winkel zwischen der Zahnachse des Molaren und der Nasallinie nahm um lediglich  $0,73^\circ \pm 5,04^\circ$  ab, was gegen eine signifikante Kippung spricht ( $p=0,447$ ).

#### **Der zweite Oberkiefermolar:**

Auch für diesen Molaren wurden die oben genannten Strecken gemessen und die Variablen bestimmt. Die Wurzelspitze wurde um  $2,86 \text{ mm} \pm 1,66 \text{ mm}$  distalisiert, wobei die Abstände zum Zeitpunkt T1  $17,1 \text{ mm} \pm 3,95 \text{ mm}$  und zu T2  $14,3 \text{ mm} \pm 4,23 \text{ mm}$  betragen. Die Distalbewegung des Widerstandszentrums des 7ers betrug  $3,01 \text{ mm} \pm 1,52 \text{ mm}$ . Die Strecke nahm dabei von  $15,5 \text{ mm} \pm 3,96 \text{ mm}$  auf  $12,5 \text{ mm} \pm 4,42 \text{ mm}$  ab. Die Schmelz-Zement-Grenze wurde um  $3,32 \text{ mm} \pm 1,75 \text{ mm}$  nach posterior bewegt, wohingegen der Zentroidpunkt um  $3,48 \text{ mm} \pm 2,04 \text{ mm}$  distalisiert wurde. Die Abstände zur Pterygoidvertikalen nahmen dabei von  $14,1 \text{ mm} \pm 4,08 \text{ mm}$  auf  $10,7 \text{ mm} \pm 4,71 \text{ mm}$  und von  $12,7 \text{ mm} \pm 4,11 \text{ mm}$  auf  $9,14 \text{ mm} \pm 4,89 \text{ mm}$  ab. Die Distalisationsstrecke des koronalen Punktes machte  $3,59 \text{ mm} \pm 2,31 \text{ mm}$  aus (von  $11,3 \text{ mm} \pm 4,27 \text{ mm}$  auf  $7,71 \text{ mm} \pm 5,18 \text{ mm}$ ). Der distalste Punkt der Zahnkrone wurde um  $3,37 \text{ mm} \pm 2,18 \text{ mm}$  nach hinten bewegt. Auch hier ergaben alle Distalisationsstrecken bei der Testung eine Signifikanz von  $p < 0,0001$ . Der Winkel zwischen der Achse des Zahnes und dem Nasalplanum verringerte sich um  $2,01^\circ \pm 10,0^\circ$ , was zwar einer Kippung der Zahnkrone entspricht, welche jedoch nicht das Signifikanzniveau erreichte ( $p=0,238$ ).

Eine Übersicht der dentalen Streckenmessungen der Backenzähne und die jeweiligen Positionen der Zahnachsen in Bezug auf das Nasalplanum gibt folgende Tabelle:

Tabelle 11: Gesamtes Patientenkollektiv: Abstände der dentalen Punkte zur Pterygoidvertikalen, deren Differenzen und Achsenneigungen der Zähne (PtV: Pterygoidvertikale; A-PtV.mm: Abstand der Zahnwurzel zur PtV in mm; WZ-PtV.mm: Abstand des Widerstandszentrums des Zahnes zur PtV; SZG-PtV.mm: Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zur PtV, Z-PtV.mm: Abstand des Zentroidpunktes zur PtV; kP-PtV.mm: Abstand koronaler Punkt zur PtV; dP-PtV.mm: Abstand distalster Punkt der Zahnkrone zur PtV; ZA-NL. °: Winkel zwischen der jeweiligen Zahnachse und dem Nasalplanum; T1: Zeitpunkt vor dem Einsetzen; T2: Zeitpunkt nach dem Behandlungsende; w-Test: Wilkoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t-Test: verbundener t-Test)

	T1	T2	Differenz (T1-T2)	P-Wert	Test
A5-PtV.mm	31.7 (5.34)	30.3 (5.51)	1.53 (1.97)	<0.0001	w
A6-PtV.mm	24.1 (4.54)	20.5 (4.57)	3.55 (1.35)	<0.0001	w
A7-PtV.mm	17.1 (3.95)	14.3 (4.23)	2.86 (1.66)	<0.0001	w
WZ5-PtV.mm	31.2 (5.25)	28.8 (5.31)	2.51 (1.81)	<0.0001	w
WZ6-PtV.mm	23.3 (4.57)	19.8 (4.70)	3.49 (1.10)	<0.0001	w
WZ7-PtV.mm	15.5 (3.96)	12.5 (4.42)	3.01 (1.52)	<0.0001	w
SZG5-PtV.mm	30.9 (5.26)	28.0 (5.35)	3.00 (1.80)	<0.0001	w
SZG6-PtV.mm	22.6 (4.73)	18.9 (5.02)	3.63 (1.17)	<0.0001	t
SZG7-PtV.mm	14.1 (4.08)	10.7 (4.71)	3.32 (1.75)	<0.0001	w
Z5-PtV.mm	30.6 (5.32)	27.4 (5.31)	3.35 (1.83)	<0.0001	w
Z6-PtV.mm	21.9 (4.94)	18.2 (5.22)	3.60 (1.27)	<0.0001	t
Z7-PtV.mm	12.7 (4.11)	9.14 (4.89)	3.48 (2.04)	<0.0001	w
kP5-PtV.mm	30.4 (5.39)	26.9 (5.30)	3.58 (1.86)	<0.0001	t
kP6-PtV.mm	21.3 (5.16)	17.7 (5.49)	3.65 (1.35)	<0.0001	t
kP7-PtV.mm	11.3 (4.27)	7.71 (5.18)	3.59 (2.31)	<0.0001	w
dP5-PtV.mm	27.4 (5.17)	24.2 (5.07)	3.29 (1.49)	<0.0001	w
dP6-PtV.mm	16.0 (4.85)	12.8 (5.35)	3.15 (1.64)	<0.0001	t
dP7-PtV.mm	7.67 (4.08)	4.26 (4.67)	3.37 (2.18)	<0.0001	w
ZA5-NL. °	85.7 (6.31)	79.1 (5.59)	6.50 (5.09)	<0.0001	t
ZA6-NL. °	80.7 (7.04)	80.0 (8.44)	0.73 (5.04)	0.447	t
ZA7-NL. °	66.5 (7.58)	64.5 (9.13)	2.01 (10.0)	0.238	t

### 5.3 Gegenüberstellung der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 in Relation zum Zeitpunkt T2 innerhalb von Gruppe 1 (vor Durchbruch von 17 und 27)

#### 5.3.1 Skelettale Variablen

Die Gruppe 1, bestehend aus den Patienten, bei denen der zweite Molar noch nicht durchgebrochen war, wies ein relativ kleines Patientenkollektiv von 16 Personen auf. Der SNA-Winkel zu dem Zeitpunkt T1 entsprach im Mittel  $77,9^\circ \pm 3,88^\circ$ , zum Zeitpunkt T2  $78,6^\circ \pm 3,12^\circ$ . Er vergrößerte sich somit nicht signifikant um  $0,72^\circ \pm 2,42^\circ$  ( $p=0,267$ ). Der SNB-Winkel nahm ebenfalls von  $75,0^\circ \pm 4,08^\circ$  auf  $75,3^\circ \pm 3,53^\circ$  geringfügig zu

(um  $0,23^\circ$ ), was sich jedoch als nicht signifikant herausstellte. Dasselbe galt für den ANB-Winkel, der sich um  $0,47^\circ \pm 1,44^\circ$  nicht signifikant vergrößerte (von  $2,86^\circ \pm 2,35^\circ$  auf  $3,29^\circ \pm 2,49^\circ$ ). Auch der SNPg-Winkel vergrößerte sich geringfügig um  $0,68^\circ \pm 2,98^\circ$  ( $p=0,361$ ). Betrachtet man die Winkel der Vertikalen, fällt auf, dass der Winkel ML-NSL um  $0,58^\circ \pm 2,68^\circ$  zunahm (von  $32,4^\circ \pm 6,43^\circ$  auf  $32,9^\circ \pm 6,66^\circ$ ). Der NL-NSL-Winkel hingegen nahm geringfügig um  $0,44^\circ \pm 3,00^\circ$  ab (von  $7,24^\circ \pm 4,00^\circ$  auf  $6,76^\circ \pm 3,98^\circ$ ), womit sich der Interbasiswinkel um  $1,04^\circ \pm 2,64^\circ$  (von  $25,1^\circ \pm 5,50^\circ$  auf  $26,1^\circ \pm 6,57^\circ$ ) vergrößerte. Diese Veränderungen erreichten jedoch nicht das Signifikanzniveau. Der Schädelbasiswinkel und der Kieferwinkel blieben während der Behandlung weitgehend unverändert. Die vordere mittlere Gesichtsteilhöhe nahm von  $52,2 \text{ mm} \pm 5,63 \text{ mm}$  auf  $53,8 \text{ mm} \pm 5,22 \text{ mm}$  um  $1,52 \text{ mm} \pm 3,35 \text{ mm}$  zu, ohne das Signifikanzniveau zu erreichen ( $p=0,103$ ). Auch die vordere untere Teilhöhe des Gesichts vergrößerte sich um  $3,72 \text{ mm} \pm 4,41 \text{ mm}$  von  $62,7 \text{ mm} \pm 8,32 \text{ mm}$  auf  $66,4 \text{ mm} \pm 8,73 \text{ mm}$ , wobei das Signifikanzniveau erreicht wurde ( $p=0,004$ ). Insgesamt sank der Index dabei von durchschnittlichen  $83,7 \% \pm 7,15 \%$  auf  $81,6 \% \pm 7,74 \%$  um  $2,27 \% \pm 3,45 \%$ . Dies erwies sich als signifikant mit  $p=0,024$ .

### 5.3.2 Dentale Variablen

#### **Der obere mittlere Inzisivus:**

Der Winkel OK1-NA nahm von  $22,7^\circ \pm 5,77^\circ$  auf  $20,3^\circ \pm 5,59^\circ$  um durchschnittlich  $2,45^\circ$  ab. Diese Abnahme wurde auf eine Signifikanz von  $p=0,266$  getestet und erreichte somit nicht das Signifikanzniveau. Der Abstand des am weitesten inzisal gelegenen Punktes des Inzisivus zur NA-Linie blieb weitestgehend unverändert (von  $3,62 \text{ mm} \pm 2,43 \text{ mm}$  auf  $3,63 \text{ mm} \pm 2,64 \text{ mm}$  um  $0,06 \text{ mm}$  zugenommen).

#### **Der zweite Oberkieferprämolare, der erste und zweite Oberkiefermolar:**

Eine Übersicht der Abstände zur Pterygoidvertikalen und deren Veränderungen gibt Tabelle 12. Alle dentalen Punkte erfuhren eine signifikante Distalisation, mit einer Ausnahme. Lediglich die Distalbewegung des Zentroidpunktes des zweiten Prämolaren erreichte mit  $p=0,062$  das Signifikanzniveau nicht ganz. Dabei verringerte sich der Abstand des dentalen Punktes zur Vertikalen von  $26,6 \text{ mm} \pm 4,38 \text{ mm}$  auf

24,2 mm  $\pm$  4,63 mm, womit die Distalisationsstrecke 3,95 mm  $\pm$  2,10 mm betrug. Betrachtet man nur den ersten und zweiten oberen Molaren, konnte bei jedem Referenzpunkt eine hochsignifikante Distalisation festgestellt werden. Die posteriore Bewegung der Schmelz-Zement-Grenze sowie des koronalen und des distalsten Punktes des 5ers konnten jedoch nur als signifikant getestet werden. Auf den Betrag der Distalisationsstrecken wird im übernächsten Punkt, dem Vergleich der beiden Gruppen, eingegangen. Die Winkel, zwischen den Zahnachsen des zweiten Prämolaren und des zweiten Molaren, und dem Nasalplanum verkleinerten sich um  $4,13^\circ \pm 6,60^\circ$  bzw. um  $5,56^\circ \pm 12,1^\circ$ , was einer Distalkippung der Zahnkronen entsprach, welche jedoch nicht das Signifikanzniveau erreichte. Im Gegensatz dazu vergrößerte sich dieser Winkel geringfügig beim ersten Molaren (um  $0,64^\circ \pm 5,12^\circ$ ). Diese Veränderung wurde auf eine Signifikanz von  $p= 0,711$  getestet, und war somit als nicht signifikant zu bezeichnen.

Tabelle 12: Gruppe 1: Abstände der dentalen Punkte zur Pterygoidvertikalen, deren Differenzen und Achsenneigungen der Zähne (PtV: Pterygoidvertikale; A-PtV.mm: Abstand der Zahnwurzel zur PtV in mm; WZ-PtV.mm: Abstand des Widerstandszentrums des Zahnes zur PtV; SZG-PtV.mm: Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zur PtV, Z-PtV.mm: Abstand des Zentroidpunktes zur PtV; kP-PtV.mm: Abstand koronaler Punkt zur PtV; dP-PtV.mm: Abstand distalster Punkt der Zahnkrone zur PtV; ZA-NL.°: Winkel zwischen der jeweiligen Zahnachse und dem Nasalplanum; T1: Zeitpunkt vor dem Einsetzen; T2: Zeitpunkt nach dem Behandlungsende; w-Test: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t-Test: verbundener t-Test)

	T1	T2	Differenz (T1-T2)	P-Wert	Test
A5-PtV.mm	28.4 (3.38)	27.7 (4.94)	2.14 (1.36)	0.009	t
A6-PtV.mm	22.9 (3.83)	19.0 (4.13)	3.81 (1.54)	<0.0001	t
A7-PtV.mm	16.1 (3.05)	12.9 (3.57)	3.18 (2.06)	<0.0001	t
WZ5-PtV.mm	27.6 (3.93)	25.7 (4.56)	3.55 (1.44)	0.01	t
WZ6-PtV.mm	21.6 (3.58)	17.9 (4.13)	3.67 (1.30)	<0.0001	t
WZ7-PtV.mm	14.4 (2.91)	10.8 (3.29)	3.53 (1.70)	<0.0001	t
SZG5-Pt.V.mm	27.0 (4.19)	24.9 (4.57)	3.77 (1.89)	0.019	t
SZG6-PtV.mm	20.6 (3.52)	16.6 (4.32)	3.93 (1.39)	<0.0001	t
SZG7-PtV.mm	13.0 (2.93)	8.80 (3.28)	4.14 (1.57)	<0.0001	t
Z5-PtV.mm	26.6 (4.38)	24.2 (4.63)	3.95 (2.10)	0.062	w
Z6-PtV.mm	19.5 (3.68)	15.8 (4.45)	3.67 (1.55)	<0.0001	t
Z7-PtV.mm	11.6 (2.94)	7.04 (3.21)	4.60 (1.77)	<0.0001	t
kP5-PtV.mm	26.1 (4.45)	23.6 (4.66)	4.05 (2.15)	0.02	t
kP6-PtV.mm	18.7 (4.00)	15.0 (4.69)	3.64 (1.61)	<0.0001	t
kP7-PtV.mm	10.1 (3.23)	5.32 (3.31)	4.75 (2.10)	<0.0001	t
dP5-PtV.mm	23.6 (4.25)	21.1 (4.35)	3.75 (1.63)	0.011	t
dP6-PtV.mm	13.3 (3.64)	10.2 (4.45)	3.08 (2.15)	<0.0001	t
dP7-PtV.mm	6.45 (2.78)	2.31 (3.13)	4.12 (2.03)	<0.0001	t
ZA5-NL. °	81.8 (3.57)	77.5 (2.48)	4.13 (6.60)	0.169	t
ZA6-NL. °	76.2 (6.76)	76.7 (7.66)	-0.64 (5.12)	0.711	t
ZA7-NL. °	64.8 (9.74)	59.4 (7.42)	5.56 (12.1)	0.097	t

## 5.4 Gegenüberstellung der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 in Relation zum Zeitpunkt T2 innerhalb von Gruppe 2 (nach Durchbruch von 17 und 27)

### 5.4.1 Skelettale Variablen

Gruppe 2 bestand aus einem Patientengut von 21 Personen, bei denen die zweiten Molaren zum Zeitpunkt T1 bereits durchgebrochen waren. Der SNA-Winkel vergrößerte sich in dieser Gruppe signifikant um  $0,76^\circ \pm 1,53^\circ$  von einem Anfangswert von  $80,6^\circ \pm 3,06^\circ$  auf einen Wert zu dem Zeitpunkt T2 von  $81,3^\circ \pm 2,90^\circ$  ( $p=0,047$ ). Der SNB-Winkel hingegen nahm nicht signifikant um  $0,32^\circ \pm 1,39^\circ$  von  $77,0^\circ \pm 3,08^\circ$  auf  $77,3^\circ \pm 3,01^\circ$  zu. Somit widerfuhr dem ANB-Winkel eine Vergrößerung von  $3,63^\circ \pm 1,85^\circ$  auf  $3,98^\circ \pm 1,73^\circ$  um  $0,43^\circ \pm 1,42^\circ$ , die das Signifikanzniveau nicht erreichte. Der SNPg-Winkel stieg geringfügig um  $0,47^\circ \pm 1,49^\circ$  ( $p=0,147$ ). Der Winkel des Inklinationsgrades der Mandibula ( $29,1^\circ \pm 6,79^\circ$ ) nahm geringfügig (um  $0,38^\circ \pm 1,80^\circ$ ) auf  $28,7^\circ \pm 6,33^\circ$  ab, wohingegen der der Maxilla (von  $8,33^\circ \pm 3,44^\circ$ ) um  $0,70^\circ \pm 1,90^\circ$  abnahm. Das Signifikanzniveau wurde jedoch bei beiden nicht erreicht ( $p=0,332$  bzw.  $0,062$ ). Somit vergrößerte sich der Winkel ML-NL (Mittelwert T1:  $20,8^\circ \pm 5,12^\circ$ ) um  $0,30^\circ \pm 2,12^\circ$ , ohne relevante Signifikanz ( $p=0,297$ ). Der Schädelbasiswinkel ( $133,0^\circ \pm 4,87^\circ$ , Abnahme um  $0,23^\circ \pm 1,57^\circ$ ) und der Kieferwinkel ( $119^\circ \pm 6,61^\circ$ , Abnahme um  $0,70^\circ \pm 3,66^\circ$ ) blieben während der Behandlung weitgehend unverändert. Die vordere mittlere Gesichtsteilhöhe nahm von  $54,6 \text{ mm} \pm 6,01 \text{ mm}$  auf  $55,9 \text{ mm} \pm 5,32 \text{ mm}$  um  $1,44 \text{ mm} \pm 2,80 \text{ mm}$  zu, wobei das Signifikanzniveau erreicht wurde ( $p=0,039$ ). Auch die vordere untere Teilhöhe des Gesichts vergrößerte sich signifikant um  $3,66 \text{ mm} \pm 4,10 \text{ mm}$  von  $60,8 \text{ mm} \pm 7,04 \text{ mm}$  auf  $64,4 \text{ mm} \pm 7,27 \text{ mm}$  mit einer Signifikanz von  $p=0,001$ . Insgesamt sank der Index dabei von durchschnittlichen  $90,1 \% \pm 6,95 \%$  auf  $87,2 \% \pm 6,26 \%$  um  $2,82 \% \pm 3,10 \%$ . Dies erwies sich als signifikant mit  $p<0,0001$ .



## 5.4.2 Dentale Variablen

### Der obere mittlere Inzisivus:

Der Winkel OK1-NA nahm mit einer Signifikanz von  $p=0,063$  von  $21,4^\circ \pm 8,30^\circ$  auf  $18,6^\circ \pm 7,11^\circ$  um durchschnittlich  $2,64^\circ$  ab.

Der Abstand OK1-NA verringerte sich um  $0,75$  mm, was sich jedoch als nicht signifikante Veränderung erwies.

### Der zweite Oberkieferprämolare, der erste und zweite Oberkiefermolar:

Tabelle 13 gibt eine Übersicht der Abstände zur Pterygoidvertikalen und deren Veränderungen. Alle dentalen Punkte des zweiten Prämolaren, des ersten Molaren und des zweiten Molaren erfuhren eine hochsignifikante Distalisation, außer der Apex des 5ers ( $p=0,003$ ). Im nächsten Punkt, dem Vergleich von Gruppe 1 und Gruppe 2, wird auf die Distalisationsstrecken genauer eingegangen. Betrachtet man den Winkel zwischen der Zahnachse des 5ers und der Nasallinie, so fällt auf, dass dieser hochsignifikant um  $7,07^\circ \pm 4,68^\circ$  verkleinert wurde. Dieser Winkel nahm bei dem ersten Molaren ebenfalls ab, aber wesentlich geringer. Die Abnahme betrug hier nur  $1,78^\circ \pm 4,84^\circ$  und entsprach einer leichten nicht signifikanten Distalkippung der Zahnkrone des 6ers ( $p=0,19$ ). Der Winkel des durchgebrochenen zweiten Molaren blieb hingegen in etwa gleich (leichte Vergrößerung um  $0,70^\circ \pm 7,40^\circ$ ,  $p=0,705$ ).

Tabelle 13: Gruppe 2: Abstände der dentalen Punkte zur Pterygoidvertikalen, deren Differenzen und Achsenneigungen der Zähne (PtV: Pterygoidvertikale; A-PtV.mm: Abstand der Zahnwurzel zur PtV in mm; WZ-PtV.mm: Abstand des Widerstandszentrums des Zahnes zur PtV; SZG-PtV.mm: Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zur PtV, Z-PtV.mm: Abstand des Zentroidpunktes zur PtV; kP-PtV.mm: Abstand koronaler Punkt zur PtV; dP-PtV.mm: Abstand distalster Punkt der Zahnkrone zur PtV; ZA-NL.°: Winkel zwischen der jeweiligen Zahnachse und dem Nasalplanum; T1: Zeitpunkt vor dem Einsetzen; T2: Zeitpunkt nach dem Behandlungsende; w-Test: Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test; t-Test: verbundener t-Test)

	T1	T2	Differenz (T1-T2)	P-Wert	Test
A5-PtV.mm	32.5 (5.48)	31.0 (5.55)	1.38 (2.10)	0.003	w
A6-PtV.mm	25.1 (4.90)	21.6 (4.67)	3.34 (1.18)	<0.0001	w
A7-PtV.mm	17.9 (4.42)	15.3 (4.48)	2.62 (1.29)	<0.0001	w
WZ5-PtV.mm	32.0 (5.24)	29.7 (5.27)	2.26 (1.83)	<0.0001	w
WZ6-PtV.mm	24.6 (4.89)	21.1 (4.72)	3.36 (0.93)	<0.0001	w
WZ7-PtV.mm	16.3 (4.50)	13.7 (4.83)	2.61 (1.26)	<0.0001	w
SZG5-PtV.mm	31.8 (5.14)	28.9 (5.30)	2.81 (1.77)	<0.0001	w
SZG6-PtV.mm	24.1 (5.03)	20.6 (4.92)	3.41 (0.95)	<0.0001	w
SZG7-PtV.mm	14.9 (4.67)	12.2 (5.16)	2.69 (1.64)	<0.0001	w

Z5-PtV.mm	31.6 (5.13)	28.3 (5.23)	3.20 (1.79)	<0.0001	w
Z6-PtV.mm	23.7 (5.08)	20.1 (5.11)	3.55 (1.04)	<0.0001	t
Z7-PtV.mm	13.4 (4.74)	10.7 (5.40)	2.63 (1.84)	<0.0001	w
kP5-PtV.mm	31.5 (5.16)	27.9 (5.18)	3.47 (1.82)	<0.0001	t
kP6-PtV.mm	23.4 (5.09)	19.7 (5.30)	3.65 (1.15)	<0.0001	t
kP7-PtV.mm	12.3 (4.76)	9.54 (5.65)	2.71 (2.10)	<0.0001	w
dP5-PtV.mm	28.3 (5.02)	25.1 (4.99)	3.18 (1.48)	<0.0001	w
dP6-PtV.mm	18.0 (4.71)	14.7 (5.21)	3.20 (1.17)	<0.0001	w
dP7-PtV.mm	8.60 (4.69)	5.75 (5.16)	2.79 (2.16)	<0.0001	w
ZA5-NL. °	86.6 (6.53)	79.5 (6.18)	7.07 (4.68)	<0.0001	t
ZA6-NL. °	84.1 (5.12)	82.6 (8.24)	1.78 (4.84)	0.19	t
ZA7-NL. °	67.8 (5.33)	68.4 (8.47)	-0.70 (7.40)	0.705	t

## 5.5 Vergleich der Differenzen (T1-T2) zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2

### 5.5.1 Skelettale Variablen

Die Vergrößerung des SNA-Winkels in Gruppe 1, der Patienten ohne zweite durchgebrochene Molaren zu Beginn der Behandlung, unterschied sich nicht signifikant von der von Gruppe 2 (Zunahme: Gruppe 1: 0,72°, Gruppe 2: 0,76°).

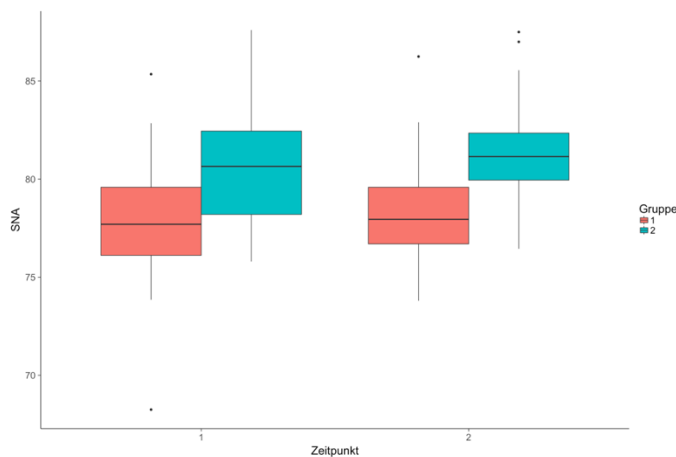


Abbildung 13: Boxplot SNA-Winkel (Y-Achse: SNA-Winkel: Prognathiegradwinkel der Maxilla; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

Dies galt auch für den SNB-Winkel (Zunahme: Gruppe 1: 0,23°, Gruppe 2: 0,32°), für den ANB-Winkel (Zunahme: Gruppe 1: 0,47°, Gruppe 2: 0,43°) sowie für den SNPg-Winkel (Zunahme: Gruppe 1: 0,68°, Gruppe 2: 0,47°).

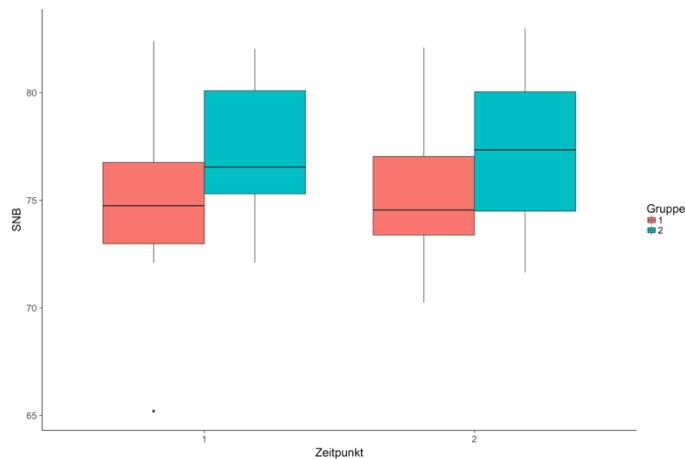


Abbildung 14: Boxplot SNB-Winkel (Y-Achse: SNB-Winkel: Prognathiegradwinkel der Mandibula; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

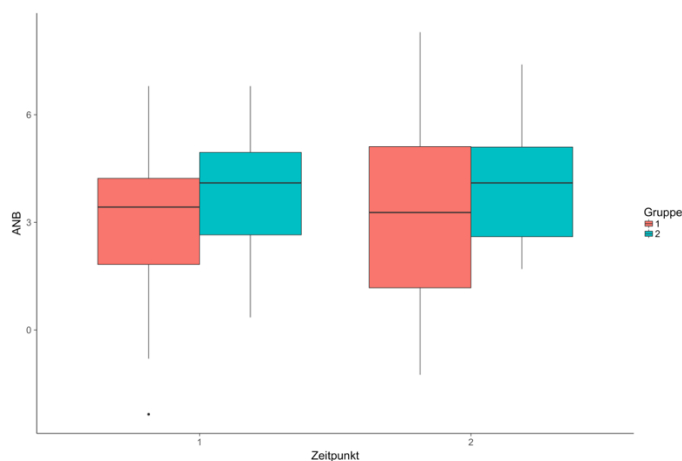


Abbildung 15: Boxplot ANB-Winkel (Y-Achse: ANB-Winkel: sagittaler Interbasalwinkel; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

Bei den Winkeln, die die vertikale Relation beschreiben, fiel auf, dass der Winkel ML-NSL in Gruppe 1 tendenziell zunahm ( $0,58^\circ \pm 2,68^\circ$ ), wohingegen er in Gruppe 2 leicht abnahm, bzw. die Tendenz zeigte, unverändert zu bleiben (Abnahme:  $0,38^\circ \pm 1,80^\circ$ ). Dieser Unterschied wurde jedoch als nicht signifikant getestet ( $p=0,2246$ ). Der Winkel NL-NSL hingegen nahm in beiden Gruppen geringfügig, ohne signifikanten Unterschied, ab (Gruppe 1:  $0,44^\circ$ , Gruppe 2:  $0,70^\circ$ ). Somit vergrößerte sich in beiden Gruppen der Interbasiswinkel, in Gruppe 1 um  $1,04^\circ \pm 2,64^\circ$ , in Gruppe 2 um  $0,30^\circ \pm 2,12^\circ$ , ohne statistisch signifikanten Unterschied ( $p=0,365$ ).

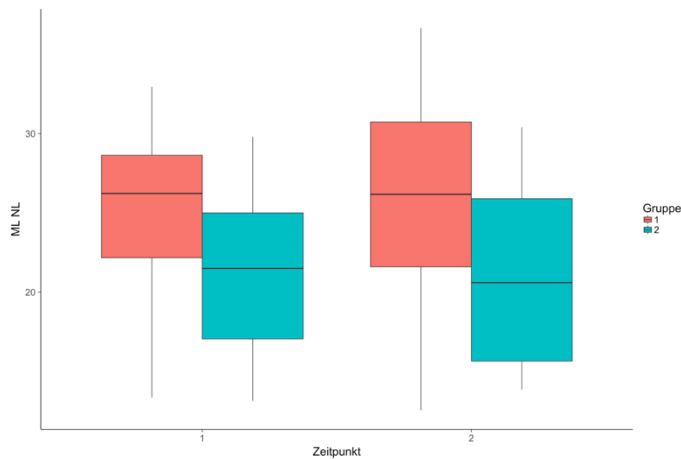


Abbildung 16: Boxplot ML-NL-Winkel (Y-Achse: ML-NL-Winkel: Interbasiswinkel; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

Betrachtet man den Schädelbasis- und Kieferwinkel, konnten auch hier keine signifikanten Unterschiede bezüglich deren Veränderungen zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Die vordere mittlere sowie die vordere untere Gesichtsteilhöhe nahmen in beiden Gruppen ohne signifikanten Unterschied zu (Gruppe 1: 1,52 mm, 3,72 mm, Gruppe 2: 1,44 mm, 3,66 mm). Im Vergleich ist jedoch eine Tendenz zu sehen, dass diese in Gruppe 1 etwas mehr zunahmen als in Gruppe 2. Auch die Differenzen des Index konnten im Vergleich als statistisch nicht signifikant getestet werden ( $p=0,6184$ ). Der Index nahm in beiden Gruppen ab (Gruppe 1: 2,27 %, Gruppe 2: 2,82 %).

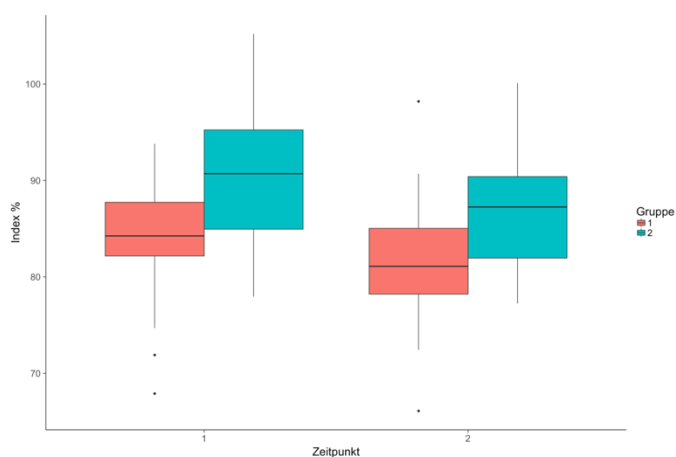


Abbildung 17: Boxplot Index (Y-Achse: Index %: Index der vorderen Gesichtshöhe; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

## 5.5.2 Dentale Variablen

### **Der obere mittlere Inzisivus:**

Der Winkel OK1-NA, zur Beschreibung der Frontzahnstellung im Oberkiefer nahm in Gruppe 1 um  $2,45^\circ$  ab, in Gruppe 2 um  $2,64^\circ$ , wobei sich im Vergleich kein signifikanter Unterschied ergab. Der Abstand des am weitesten inzisal gelegenen Punktes des Inzisivus zur NA-Linie blieb im jüngeren Patientenkollektiv weitestgehend gleich, in der Gruppe mit den älteren Patienten verringerte sich dieser um  $0,75$  mm. Der statistische Test zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen ( $p=0,4676$ ).

### **Der obere zweite Prämolare:**

Betrachtet man die Messungen der Veränderungen der Abstände der Referenzpunkte des 5ers zur Pterygoidvertikalen, also die Distalisationsstrecken, fiel auf, dass sich keine davon im Vergleich mit derer der anderen Gruppe signifikant unterschieden. Trotz einer fehlenden statistischen Signifikanz, waren die Distalisationsstrecken der Messpunkte des Prämolaren in der jüngeren Patientengruppe tendenziell größer, als bei den Patienten mit durchgebrochenen zweiten Molaren. Die Distalbewegung der Wurzelspitze des 5ers betrug in Gruppe 1  $2,14$  mm  $\pm$   $1,36$  mm, in Gruppe 2 hingegen  $1,38$  mm  $\pm$   $2,10$  mm. Das Widerstandszentrum des Prämolaren wurde in erstgenannter um  $3,55$  mm  $\pm$   $1,44$  mm und in zweiter um  $2,26$  mm  $\pm$   $1,83$  mm distalisiert. Die Schmelz-Zement-Grenze des Zahnes erfuhr in Gruppe 1 eine Distalisation von  $3,77$  mm  $\pm$   $1,89$  mm und in Gruppe 2 eine von  $2,81$  mm  $\pm$   $1,77$  mm, der Zentroidpunkt eine von  $3,95$  mm  $\pm$   $2,10$  mm bzw.  $3,20$  mm  $\pm$   $1,79$  mm. Der koronale Punkt wurde in Gruppe 1 um  $4,05$  mm  $\pm$   $2,15$  mm und um  $3,47$  mm  $\pm$   $1,82$  mm in Gruppe 2 nach posterior geschoben. Dem distalsten Punkt widerfuhr eine Distalisation von  $3,75$  mm  $\pm$   $1,63$  mm bzw. eine von  $3,18$  mm  $\pm$   $1,48$  mm in Gruppe 2. Bei Betrachtung des Winkels der Neigung der Zahnachse des Prämolaren zum Nasalplanum, war festzustellen, dass dieser in den beiden Gruppen jeweils abnahm (Gruppe 1:  $4,13^\circ$ , Gruppe 2:  $7,07^\circ$ ) und sich diese Werte nicht signifikant unterschieden.

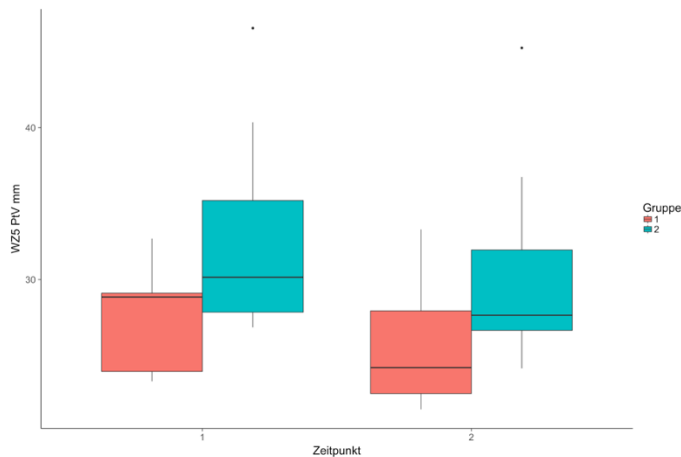


Abbildung 18: Boxplot Distalisation WZ5 (Y-Achse: WZ5-PtV: Abstand des Widerstandszentrums des zweiten Prämolaren zur Pterygoidvertikalen in mm; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

### Der erste Oberkiefermolar:

Wie auch bei dem oberen zweiten Prämolaren beschrieben, konnten bei den Distalisationsstrecken der Messpunkte des ersten oberen Molaren keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei Gruppen festgestellt werden. Jedoch fällt auch hier auf, dass die Strecken der Messpunkte des Molaren in der jüngeren Patientengruppe tendenziell größer waren, als bei den Patienten mit durchgebrochenen zweiten Molaren. Es sind jedoch folgende Ausnahmen zu nennen. Die Distalisierung des koronalen Punktes des 6ers war in Gruppe 1 und 2 gleich groß und die des distalen Punktes in Gruppe 2 um 0,12 mm größer. Der Betrag der Distalbewegung der Wurzelspitze des Molaren belief sich im jüngeren Patientenkollektiv auf  $3,81 \text{ mm} \pm 1,54 \text{ mm}$ , wohingegen er im älteren Kollektiv  $3,34 \text{ mm} \pm 1,18 \text{ mm}$  ausmachte. Die Distalisierungsstrecke des Widerstandszentrums betrug  $3,67 \text{ mm} \pm 1,30 \text{ mm}$  in Gruppe 1 und  $3,36 \text{ mm} \pm 0,93 \text{ mm}$  in Gruppe 2. Die Schmelz-Zement-Grenze des Zahnes wurde in erstgenannter um  $3,93 \text{ mm} \pm 1,39 \text{ mm}$  nach distal bewegt, in zweitgenannter um  $3,41 \text{ mm} \pm 0,95 \text{ mm}$ . Der Zentroidpunkt erfuhr eine Distalisation von  $3,67 \text{ mm} \pm 1,55 \text{ mm}$  bei den jüngeren Patienten und eine von  $3,55 \text{ mm} \pm 1,04 \text{ mm}$  bei den älteren. Die Distalisierung des koronalen Punktes des ersten Molaren belief sich auf  $3,64 \text{ mm} \pm 1,61 \text{ mm}$  in der erstgenannten Gruppe und  $3,65 \text{ mm} \pm 1,15 \text{ mm}$  in zweitgenannter. Dem distalsten Punkt widerfuhr eine Distalisation von  $3,08 \text{ mm} \pm 2,15 \text{ mm}$  bzw. eine von  $3,20 \text{ mm} \pm 1,17 \text{ mm}$  in Gruppe 2. Bei Betrachtung des Winkels der Neigung der Zahnachse des Molaren zum Nasalplanum, fiel auf, dass dieser in der ersten Gruppe leicht um  $0,64^\circ$  zunahm, wohingegen er in der Gruppe mit den durchgebrochenen

zweiten Molaren um  $1,78^\circ$  abnahm. Dieser Unterschied wurde auf eine Signifikanz von  $p=0,1554$  getestet und erreichte somit nicht das Signifikanzniveau.

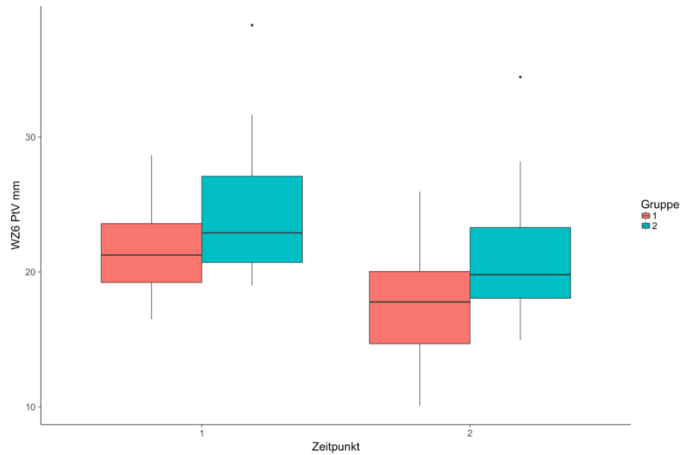


Abbildung 19: Boxplot Distalisation WZ6 (Y-Achse: WZ6-PtV: Abstand des Widerstandszentrums des ersten Molaren zur Pterygoidvertikalen in mm; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

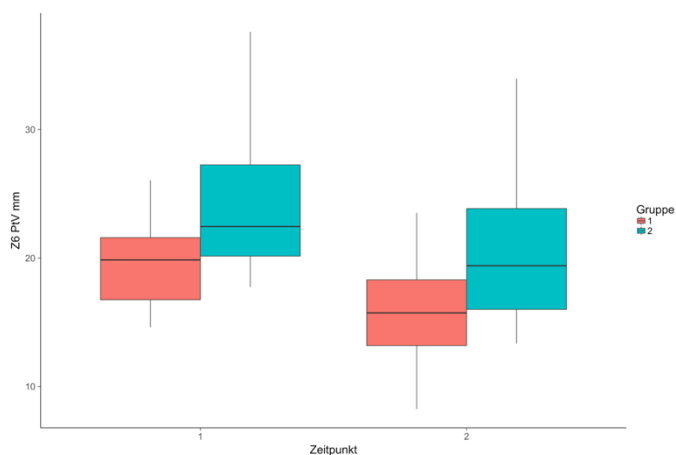


Abbildung 20: Boxplot Distalisation Z6 (Y-Achse: Z6-PtV: Abstand des Zentroidpunktes des ersten Molaren zur Pterygoidvertikalen in mm; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)

### Der zweite Oberkiefermolar:

Wie auch bei den beiden anderen Zähnen fiel bei dem zweiten Molaren auf, dass die Distalisationsstrecken in Gruppe 1 größer waren, als die in Gruppe 2. Dabei unterschieden sich die Distalisationsstrecken der Wurzelspitze nicht signifikant zwischen den Gruppen. In der ersten Gruppe bewegte sich die Wurzel um  $3,18 \text{ mm} \pm 2,06 \text{ mm}$  nach distal, wohingegen sie sich in der zweiten Gruppe nur um  $2,62 \text{ mm} \pm 1,29 \text{ mm}$  nach posterior bewegen lies. Auch wurde das Signifikanzniveau im Vergleich

der Gruppen bezüglich der Distalbewegung des Widerstandszentrums nicht ganz erreicht ( $p=0,0799$ ). Hierbei betrug die Distalisation des Widerstandszentrums in der ersten Gruppe  $3,53 \text{ mm} \pm 1,70 \text{ mm}$  und in der zweiten Gruppe  $2,61 \text{ mm} \pm 1,26 \text{ mm}$ . Bei Betrachtung der Veränderungen der Strecken der Schmelz-Zement-Grenze, des Zentroidpunktes und des koronalen Punktes des zweiten Molaren konnte jeweils eine statistische Signifikanz im Vergleich der Gruppen festgestellt werden. Die Schmelz-Zement-Grenze wurde im jüngeren Patientenkollektiv um  $4,14 \text{ mm} \pm 1,57 \text{ mm}$  distalisiert, wohingegen dieser dentale Referenzpunkt im älteren Kollektiv um  $2,69 \text{ mm} \pm 1,64 \text{ mm}$  nach distal bewegt wurde ( $p=0,0096$ ). Der Zentroidpunkt erfuhr in erstgenannter Gruppe eine Distalbewegung von  $4,60 \text{ mm} \pm 1,77 \text{ mm}$ , in zweitgenannter eine von  $2,63 \text{ mm} \pm 1,84 \text{ mm}$ . Bei dem Vergleich ergab sich eine statistische Signifikanz bezüglich des Unterschiedes von  $p=0,0024$ . Der koronale Punkt wurde in Gruppe 1 um  $4,75 \text{ mm} \pm 2,10 \text{ mm}$  und in Gruppe 2 um  $2,71 \text{ mm} \pm 2,10 \text{ mm}$  nach distal bewegt, wobei sich ein signifikanter Unterschied testen lies ( $p=0,0062$ ). Beim Vergleich der Distalisation des distalsten Punktes konnte das Signifikanzniveau nicht erreicht werden ( $p=0,1252$ ). Die Distalbewegungen betrugen hier  $4,12 \text{ mm} \pm 2,03 \text{ mm}$  (Gruppe 1) und  $2,79 \text{ mm} \pm 2,16 \text{ mm}$  (Gruppe 2). Der Winkel zwischen der Zahnachse des 7ers und der NL-Linie verkleinerte sich in der Gruppe, in der sich der Zahn noch im Knochen befand, um  $5,56^\circ$ , wohingegen er sich bei den Patienten, bei denen dieser schon durchgebrochen war, kaum veränderte ( $0,70^\circ$ ). Dieser Unterschied wurde auf eine Signifikanz von  $0,0801$  getestet und erreichte somit nicht ganz das Signifikanzniveau.

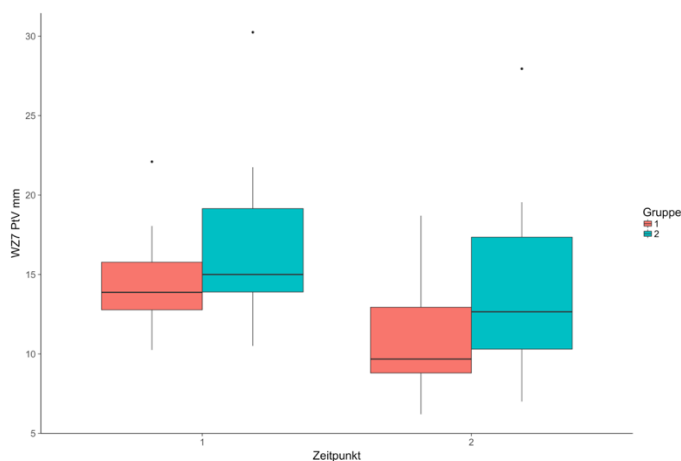


Abbildung 21: Boxplot Distalisation WZ7 (Y-Achse: WZ7-PtV: Abstand des Widerstandszentrums des zweiten Molaren zur Pterygoidvertikalen in mm; X-Achse: Zeitpunkte T1 vor der Behandlung und T2 nach der Behandlung)



### 5.5.3 Die Distalisationsgeschwindigkeit und der Typ der Zahnbewegung (Kronen- bzw. Wurzelkipfung, Translation)

Zur Bestimmung der Distalisationsgeschwindigkeit wurde der Quotient aus der Verlagerung des Widerstandszentrums und der Behandlungsdauer gebildet.

Dieser betrug für den zweiten Prämolaren im gesamten Patientenkollektiv 0,15 mm ( $\pm$  0,14 mm) pro Monat, in der ersten Gruppe 0,20 mm ( $\pm$  0,12 mm) pro Monat und in der zweiten 0,14 mm ( $\pm$  0,14 mm) pro Monat. Bei den Patienten, bei denen die zweiten Molaren noch nicht durchgebrochen waren, erfolgte die Distalisation also schneller, als in der zweiten Gruppe. Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant ( $p= 0,3591$ ).

Die Geschwindigkeit der Zahnbewegung des ersten Molaren war etwas größer, als die des 5ers. Betrachtet man alle Patienten, betrug sie 0,21 mm ( $\pm$  0,10 mm) pro Monat, wohingegen sie in der jüngeren Patientengruppe 0,22 mm ( $\pm$  0,10 mm) pro Monat und in der älteren 0,20 mm ( $\pm$  0,09 mm) pro Monat ausmachte. Auch hier war eine größere Geschwindigkeit in Gruppe 1 festzustellen, was statistisch gesehen allerdings nicht signifikant war ( $p= 0,6842$ ).

Die Distalisationsgeschwindigkeit des zweiten oberen Molaren lag zwischen denen von 5er und 6er. Sie belief sich allgemein auf 0,18 mm ( $\pm$  0,11 mm) pro Monat sowie auf 0,20 mm ( $\pm$  0,11 mm) pro Monat in Gruppe 1 und 0,17 mm ( $\pm$  0,11 mm) pro Monat in Gruppe 2. Auch hier konnte bei der statistischen Untersuchung des Unterschiedes zwischen den Gruppen, trotz einer ersichtlichen Tendenz, das Signifikanzniveau nicht erreicht werden ( $p=0,1847$ ).

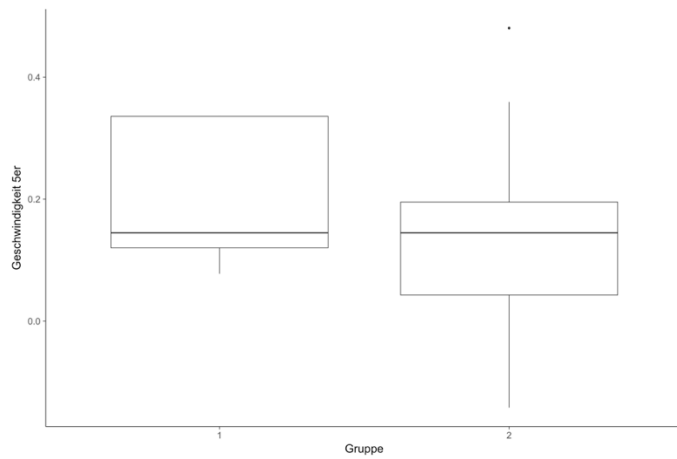


Abbildung 22: Boxplot Distalisationsgeschwindigkeit 5er (Y-Achse: Distalisationsgeschwindigkeit des zweiten Prämolaren in mm pro Monat; X-Achse: Gruppe 1 und Gruppe 2)

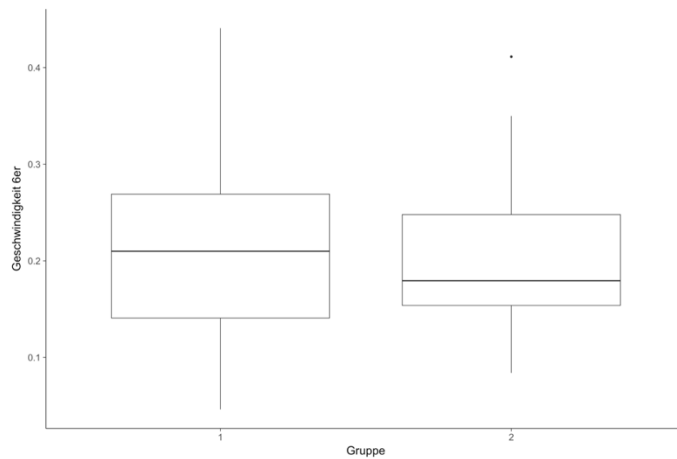


Abbildung 23: Boxplot Distalisationsgeschwindigkeit 6er (Y-Achse: Distalisationsgeschwindigkeit des ersten Molaren in mm pro Monat; X-Achse: Gruppe 1 und Gruppe 2)

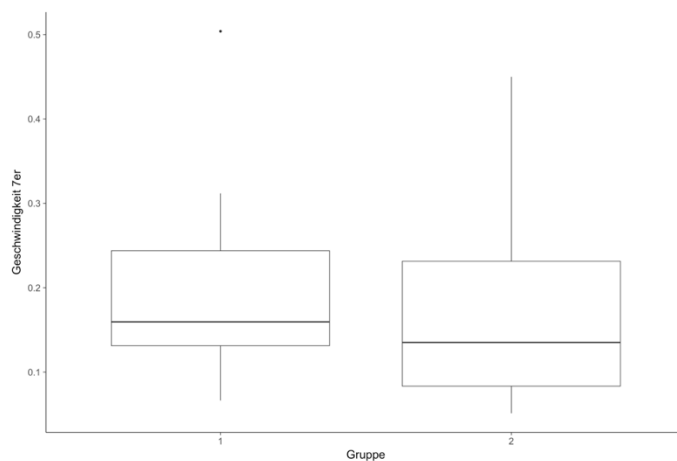


Abbildung 24: Boxplot Distalisationsgeschwindigkeit 7er (Y-Achse: Distalisationsgeschwindigkeit des zweiten Molaren in mm pro Monat; X-Achse: Gruppe 1 und Gruppe 2)

Der Quotient aus der Distalisationsstrecke des Apex und der des koronalen Punktes, welcher den Typ der Zahnbewegung bestimmt, betrug bei dem zweiten Prämolaren in der ersten Gruppe  $0,70 (\pm 0,55)$  bzw.  $0,22 (\pm 1,14)$ . Im Vergleich konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p=0,4095$ ). Im gesamten Patientenkollektiv betrug dieser  $0,31 (\pm 1,06)$ . Für den ersten oberen Molaren konnte in Gruppe 1 ein Wert von  $1,11 (\pm 0,66)$ , in Gruppe 2 ein Wert von  $1,07$  mm und im gesamten Kollektiv einer von  $1,09 (\pm 0,65)$  ermittelt werden. Es konnte zwischen den zwei Gruppen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Betrachtet man die Ergebnisse für den zweiten Molaren, so fällt auf, dass dieser Quotient in der ersten Gruppe ( $0,18 \pm 2,34$ ) wesentlich kleiner, als der in der zweiten ( $1,14 \pm 1,27$ ) bzw. kleiner, als der des gesamten Kollektivs ( $0,73 \pm 1,84$ ) ist. Bei der statistischen Überprüfung des Unterschieds zwischen der jüngeren und älteren Gruppe, wurde jedoch nicht das Signifikanzniveau erreicht ( $p=0,0677$ ).

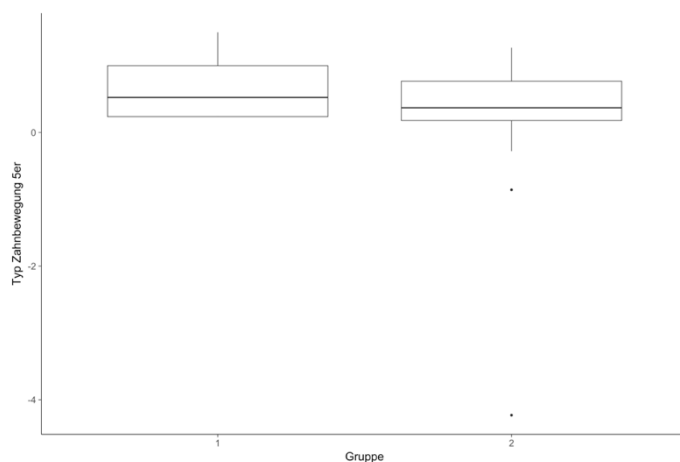


Abbildung 25: Boxplot Typ der Zahnbewegung 5er (Y-Achse: Typ der Zahnbewegung des zweiten Prämolaren: Quotient aus Distalisation des Apex und des koronalen Punktes; X-Achse: Gruppe 1 und Gruppe 2)

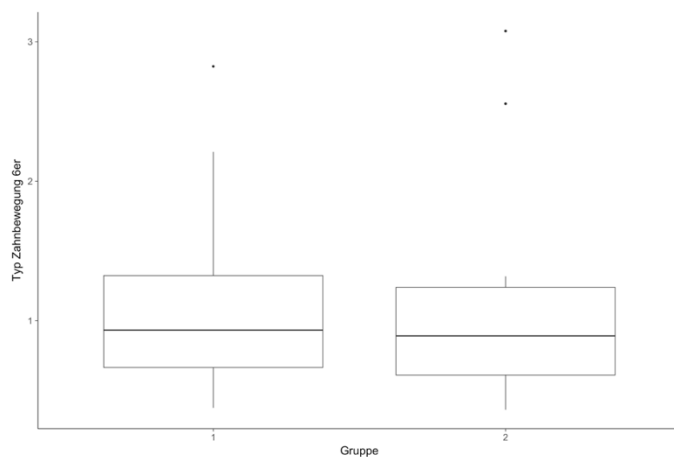


Abbildung 26: Boxplot Typ der Zahnbewegung 6er (Y-Achse: Typ der Zahnbewegung des ersten Molaren: Quotient aus Distalisation des Apex und des koronalen Punktes; X-Achse: Gruppe 1 und Gruppe 2)

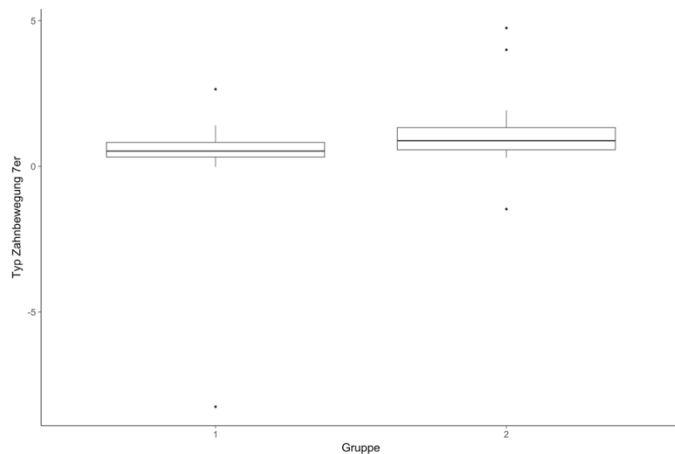


Abbildung 27: Boxplot Typ der Zahnbewegung 7er (Y-Achse: Typ der Zahnbewegung des zweiten Molaren: Quotient aus Distalisation des Apex und des koronalen Punktes; X-Achse: Gruppe 1 und Gruppe 2)

## 5.6 Untersuchung der diskreten Merkmale: der Gesichtstyp und der skelettale vertikale Charakter (anteriorer Gesichtstyp und ML-NL)

### 5.6.1 Untersuchung des Gesichtstyps

Tabelle 14: Einteilung des gesamten Patientenkollektivs nach den Gesichtstypen: retrognath, orthognath und prognath

		T2			
		orthognath	prognath	retrognath	Summe
T1	orthognath	14	0	0	14
	prognath	0	2	0	2
	retrognath	0	0	21	21
	Summe	14	2	21	37

21 Patienten wiesen im untersuchten Kollektiv vor und nach der Behandlung einen retrognathen, 14 einen orthognathen und zwei einen prognathen Gesichtstypen auf.

### 5.6.2 Veränderungen des Winkels ML-NL (der Untergruppen)

Tabelle 15: Einteilung des gesamten Patientenkollektivs nach der vertikalen Relation zu den Zeitpunkten T1 und T2: Untergruppen Typ 1, 2, 3

		T2			
		1	2	3	Summe
T1	1	7	1	0	8
	2	6	16	1	23
	3	0	1	5	6
	Summe	13	18	6	37

Bei der Bestimmung der Untergruppen mit Hilfe des Interbasiswinkels, bzw. NL-NSL und ML-NSL vor und nach der Behandlung konnte festgestellt werden, dass sich 28 Patienten bezüglich dieser Relation nicht veränderten, und sich die Untergruppe somit bei neun Personen umwandelte. Der Hauptteil davon, nämlich sechs Patienten, veränderten ihre Relation von einem Interbasiswinkel im Normbereich auf einen zu großen Winkel (Typ 2 → Typ 1). Bei einem Patienten wandelte sich die Untergruppe von einer Gruppe 3 in eine Gruppe 2 um, womit der Interbasiswinkel von einem zu kleinen Betrag auf einen in der Norm liegenden stieg. Bei insgesamt zwei Personen konnte eine Verkleinerung des Interbasiswinkels beobachtet werden, sodass diese einmal von Gruppe 1 auf Gruppe 2 wechselten sowie von Gruppe 2 auf Gruppe 3. Hier wurde bei der statistischen Auswertung der marginale Homogenitätstest angewandt, wobei sich ein Signifikanzniveau von 0,1677 ergab.

### 5.6.3 Veränderungen des anterioren Gesichtsindezes (der O-/N-/T-Typen)

Tabelle 16: Einteilung des gesamten Patientenkollektivs nach der vertikalen Relation zu den Zeitpunkten T1 und T2: O-/N-/T-Typ

		T2			
		N	O	T	Summe
T1	N	21	0	1	22
	O	0	1	0	1
	T	5	0	9	14
	Summe	26	1	10	37

22 Patienten zeigten bei der Bestimmung der vertikalen Relation zum Zeitpunkt T1 einen neutralen und 14 Patienten einen tiefen vertikalen Typen auf. Ein Patient wurde als O-Typ (offener) bestimmt.

Bei 31 der Behandelten änderte sich diese Relation durch das Gerät nicht. Fünf Patienten erfuhren eine Veränderung von einer tiefen Relation zu einer normalen Relation, wohingegen ein Patient vor der Behandlung einen N-Typ und nach dieser einen T-Typ aufwies. Bei der statistischen Auswertung wurde auch an dieser Stelle der marginale Homogenitätstest verwendet und eine Signifikanz von 0,1025 ermittelt, welche das Signifikanzniveau nicht erreichte.

Es konnten folglich keine signifikanten Änderungen des vertikalen Charakters bezüglich des O-/N-/T-Typs und der Untergruppen festgestellt werden.

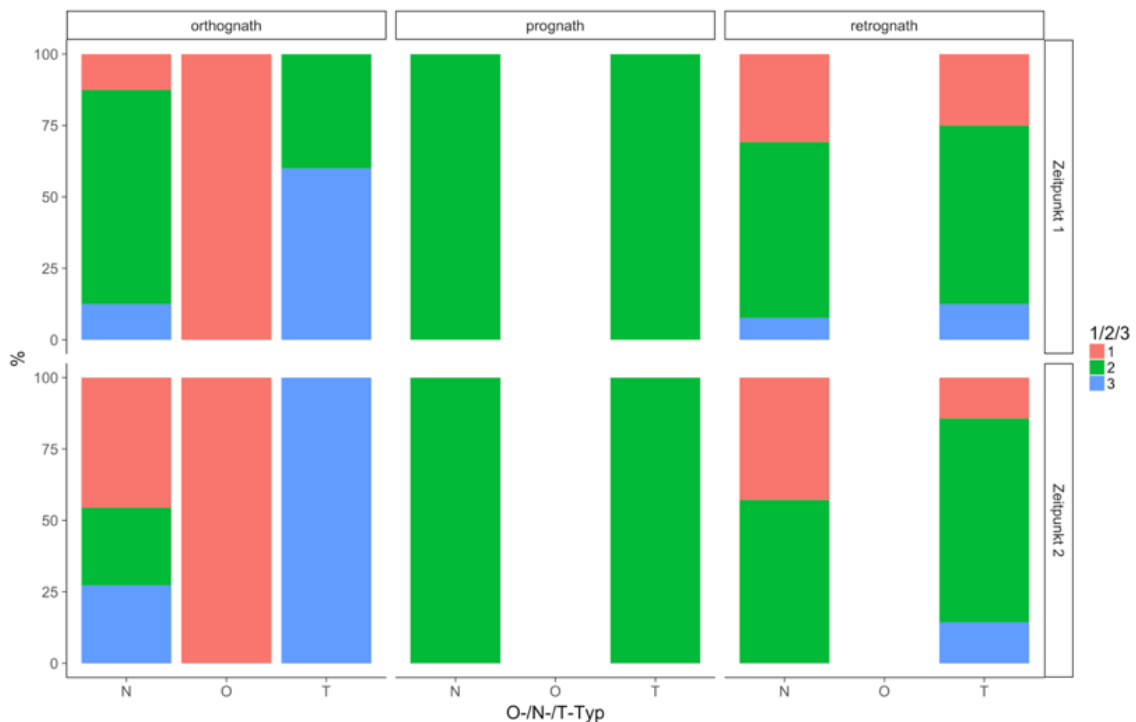


Abbildung 28: Übersicht Patientenkollektiv eingeteilt in Gesichtstyp, Untergruppen und O-/N-/T-Typ zum Zeitpunkt T1 und T2

## 5.7 Lineare Regressionen

### 5.7.1 Abhängigkeit der Zielvariablen WZ5-PtV (mm), WZ6-PtV (mm) und WZ7-PtV (mm) zum Zeitpunkt T2 von anderen Variablen

Bei dieser Untersuchung stellten die Strecken WZ5-PtV (mm), WZ6-PtV (mm) und WZ7-PtV (mm) zum Zeitpunkt T2 jeweils die abhängigen Variablen dar. Als mögliche Einflussvariablen wurden die Abstände WZ5-PtV (mm), WZ6-PtV (mm) und WZ7-PtV (mm) zum Zeitpunkt T1, die Gruppenzugehörigkeit (Gruppe 2 als Referenzkategorie), der SNA-Winkel, der ANB-Winkel, der ML-NL-Winkel und der Index in Betracht gezogen.

Tabelle 17: Lineare Regressionen: Abstand WZ5-PtV zum Zeitpunkt T2

	Beta	Std. Fehler	T- Wert	P-Wert
(Intercept)	4,050	15,134	0,268	0,792
WZ5.PtV.mm_T1	0,910	0,084	10,873	0,000
Gruppe 2	1,757	1,217	1,444	0,165
SNA_T1	-0,042	0,139	-0,303	0,765
ANB_T1	-0,162	0,218	-0,741	0,468
ML-NL_T1	-0,058	0,106	-0,546	0,591
Index_T1	-0,001	0,068	-0,010	0,992

Tabelle 18: Lineare Regressionen: Abstand WZ6-PtV zum Zeitpunkt T2

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	-3,009	7,730	-0,389	0,700
WZ6.PtV.mm_T1	0,984	0,045	21,940	0,000
Gruppe 2	0,247	0,464	0,532	0,598
SNA_T1	0,014	0,069	0,206	0,838
ANB_T1	0,109	0,104	1,047	0,304
ML-NL_T1	-0,002	0,048	-0,046	0,964
Index_T1	-0,020	0,034	-0,584	0,564

Tabelle 19: Lineare Regressionen: Abstand WZ7-PtV zum Zeitpunkt T2

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	-1,073	10,966	-0,098	0,923
WZ7-PtV.mm_T1	1,033	0,072	14,404	0,000
Gruppe 2	0,916	0,633	1,449	0,158
SNA_T1	-0,056	0,099	-0,561	0,579
ANB_T1	0,050	0,144	0,348	0,730
ML-NL_T1	0,000	0,067	-0,007	0,995
Index_T1	0,015	0,048	0,304	0,763

Aus den Tabellen wurde ersichtlich, dass die Abstände der Widerstandszentren von der Pterygoidvertikalen zum Zeitpunkt T2 nur von den Abständen der Widerstandszentren zum Zeitpunkt T1 abhingen und von den anderen Parametern nicht beeinflusst wurden.

Für jeden Millimeter mehr zur Strecke (T1), wurde der Wert zum Zeitpunkt T2 nur um 0,98 mm erhöht (Widerstandszentrum 6er), woran man eine Distalisation erkennen konnte.

Bei Gruppe 2 war der Abstand des Widerstandszentrums des ersten Molaren zum Zeitpunkt T2 um 0,25 mm größer als bei Gruppe 1, der des zweiten Molaren betrug in Gruppe 2 0,92 mm mehr, als in Gruppe 1.

Betrachtet man den zweiten Prämolaren, war festzustellen, dass dieser Abstand zum Zeitpunkt T2 in der zweiten Gruppe um 1.76 mm größer war, als der in der ersten Gruppe. Diese Abhängigkeiten von den Gruppen haben sich jedoch als nicht signifikant erwiesen.

#### 5.7.2 Abhängigkeit der Zielvariablen Diff.WZ5-PtV (mm), Diff.WZ6-PtV (mm) und Diff.WZ7-PtV (mm) (T1-T2) von anderen Variablen

Bei dieser Analyse stellten die Distalisationsstrecken Diff.WZ5-PtV (mm), Diff.WZ6-PtV (mm) und Diff.WZ7-PtV (mm) jeweils die abhängigen Variablen dar. Als mögliche Einflussvariablen wurden die Gruppenzugehörigkeit, der SNA-Winkel, der ANB-Winkel, der ML-NL-Winkel und der Index untersucht.

Tabelle 20: Lineare Regressionen: Diff.WZ5-PtV

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	-0,329	14,939	-0,022	0,983
Gruppe 2	-1,535	1,192	-1,288	0,213
SNA_T1	0,038	0,136	0,277	0,784
ANB_T1	0,122	0,215	0,566	0,578
ML-NL_T1	0,038	0,105	0,361	0,722
Index_T1	-0,002	0,065	-0,025	0,980



Tabelle 21: Lineare Regressionen: Diff.WZ6-PtV

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	6,831	7,675	0,890	0,380
Gruppe 2	-0,199	0,455	-0,437	0,665
SNA_T1	-0,033	0,067	-0,491	0,627
ANB_T1	-0,126	0,103	-1,217	0,233
ML-NL_T1	-0,016	0,048	-0,333	0,742
Index_T1	0,002	0,034	0,059	0,953

Tabelle 22: Lineare Regressionen: Diff.WZ7-PtV

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	3,888	10,610	0,366	0,717
Gruppe 2	-0,816	0,629	-1,299	0,204
SNA_T1	0,017	0,093	0,185	0,855
ANB_T1	-0,024	0,143	-0,170	0,866
ML-NL_T1	0,002	0,066	0,024	0,981
Index_T1	-0,020	0,047	-0,424	0,674

Wie Tabelle 20, Tabelle 21 und Tabelle 22 aufzeigten, konnten bei keinem der untersuchten Zähne im linearen Regressionsmodell signifikante Einflüsse auf die Distalisationsstrecken gefunden werden.

Interessant ist jedoch, dass bei allen drei Zähnen die Streckendifferenzen (Distalisationsstrecken) in Gruppe 2 kleiner waren, als in Gruppe 1. Die Distalisationsstrecke war bei dem zweiten Prämolaren in der zweiten Gruppe um 1,5 mm kleiner als in der, mit noch nicht durchgebrochenen zweiten Molaren, die des 6ers um 0,2 mm und die des zweiten Molaren um 0,8 mm geringer, als in der ersten Gruppe. Diese Gruppenabhängigkeiten sind jedoch als nicht signifikant getestet worden.

## 6 Diskussion

### 6.1 Material- und Methodenkritik

#### 6.1.1 Kritische Betrachtung des Patientenkollektivs

Es wurden 37 Patienten im Alter von 9,5 bis 28,8 Jahren (Mittelwert:  $14,4 \pm 3,8$  Jahre), die mit dem Gerät Beneslider zur Distalisation der Oberkiefermolaren therapiert wurden, von zwei Fachpraxen für Kieferorthopädie (München und Bad Aibling) zur Verfügung gestellt. Das relativ kleine Patientenkollektiv bestand aus 21 Mädchen (56,8 %) und 16 Jungen (43,2 %). Eingeteilt wurden diese Patienten in zwei Gruppen. In Gruppe 1 befanden sich alle jüngeren Patienten, bei denen auf dem Anfangsferröntgenseitenbild und OPG noch keine zweiten Oberkiefermolaren durchgebrochen waren. Diese Gruppe bestand lediglich aus 16 Patienten, wovon 6 (37,5 %) männlich und 10 (62,5 %) weiblich waren. In Gruppe 2 waren alle Patienten zu finden, bei denen bei der Anfangsdiagnostik bereits alle zweiten Molaren im Oberkiefer durchgebrochen waren. Sie bestand aus 10 (47,6 %) Jungen und 11 (52,4 %) Mädchen, also 21 Patienten. Es gab zwar keine signifikanten Unterschiede zwischen der Verteilung der Geschlechter in den beiden Gruppen, jedoch befanden sich in Gruppe 2 fünf Patienten mehr, als in der ersten Gruppe. Durch die geringe Patientenanzahl in Gruppe 1 wurde in dieser Gruppe für mehrere Variablen das Signifikanzniveau nicht erreicht (siehe Ergebnisse, Diskussion). Für eine bessere Aussagekraft wäre ein größeres Kollektiv wünschenswert.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die Uneinheitlichkeit der Patienten bezüglich des Gesichtstyps. Die Harmonie (harmonisch/disharmonisch) wurde bei der Einteilung jedoch nicht berücksichtigt. 21 Patienten (57 %) wiesen einen retrognathen, 14 (38 %) einen orthognathen und zwei (5 %) einen prognathen Gesichtstyp auf. 12 Patienten des retrognathen Gesichtstyps (75 %) waren Gruppe 1 zuzuordnen, wohingegen sich nur vier Patienten mit einem orthognathen Gesichtstyp (25 %) in Gruppe 1 befanden. In der zweiten Gruppe wiesen lediglich neun Patienten den retrognathen Gesichtstyp (42,9 %), zehn den orthognathen Gesichtstyp (47,6 %) und zwei den prognathen Gesichtstyp (9,5 %) auf. Laut Segner et al. lassen sich Patienten mit einer orthognathen und prognathen Konstellation einfacher behandeln (bezüglich der Zahnbewegung und der orthopädischen Behandlung), als welche mit einem

retrognathen Gesichtstyp. Die Ursache dafür ist jedoch noch weitgehend unbekannt, allerdings sollen dabei die Platzverhältnisse in vertikaler und sagittaler Richtung sowie das Wachstumspotential eine große Rolle spielen [Segner et al., 1998]. Ausgehend davon ist ein Einfluss auf die Ergebnisse und auf den Vergleich der Gruppen nicht auszuschließen, jedoch würde diese Untersuchung den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Auch würde dafür ein wesentlich größeres Patientenkollektiv benötigt werden.

Als letzter Kritikpunkt soll noch die Vielfältigkeit der ethnischen Gruppen innerhalb des Kollektivs erwähnt werden. Die Gruppe der Patienten der Fachpraxen wiesen eine multikulturelle Zusammensetzung auf, was in dieser Studie jedoch nicht berücksichtigt werden konnte.

#### 6.1.2 Kritik an den Zeitpunkten der Fernröntgenseitenaufnahmen

Aus ethischen Gründen, aber auch aufgrund der Tatsache, dass für die Aufnahme eines FRS immer eine rechtfertigende Indikation (RöV §23) vorliegen muss, konnten die Aufnahmen nicht immer zu den für die Studie bestmöglichen Zeitpunkten angefertigt werden [RöV, 1987, 2003]. Im Mittel lagen zwischen dem Ausgangsferröntgenseitenbild und dem Tag des Einsetzens des Gerätes 6,0 Monate, zwischen dem Ausgliedern und der Endaufnahme 7,8 Monate. Dies bedeutet, dass die wachstumsbedingten Veränderungen zwischen dem ersten Bild und vor dem Einsetzen, sowie zwischen dem Ausgliedern und der zweiten Aufnahme mit ausgewertet wurden. Diese Tatsache verfälscht die skelettalen Parameter geringfügig.

Eine weitere Beeinflussung, auch der dentalen Messwerte, wurde dadurch bedingt, dass die teilweise parallel durchgeführte, zum Teil aber auch anschließende Behandlung mit einer Multibandapparatur, mitausgewertet wurde. Dies ist zwar kritisch zu sehen, jedoch nicht zu vermeiden.

### 6.1.3 Fehlerquellen bei der Anfertigung und Auswertung des Fernröntgenseitenbildes

Geometrische Abbildungsfehler treten bei jeder Röntgenaufnahme auf, sind also nicht zu vermeiden, sollten jedoch so weit wie möglich eingegrenzt werden. Zu nennen sind hier einmal die Vergrößerung und die Entstehung von Doppelkonturen durch die divergierende Strahlung sowie die Unschärfe [Segner et al., 1998]. Röntgenstrahlen verlassen nach Aufprall der beschleunigten Elektronen auf der Fläche der Anode die Röntgenröhre radial. Die Röntgenstrahlen weisen eine Divergenz auf, da sie sich von einer kleinen Anodenfläche auf eine größere Filmfläche ausbreiten müssen. Um eine maßstäbliche Abbildung ohne Verzerrungen zu erhalten, wird die Bildebene parallel zur Mediansagittalebene des Objekts angeordnet. Der zentrale Strahl der Röntgenstrahlung wird dabei senkrecht auf das Objekt und damit auch senkrecht auf die Bildebene ausgerichtet. Jedoch verläuft lediglich der Zentralstrahl senkrecht zum Objekt und zur Bildebene. Der Rest der Strahlen im seitlichen Bereich trifft den Patienten und den Film nicht genau von lateral. Die Divergenz der Röntgenstrahlen führt dazu, dass das Abbild auf dem Film größer als das Objekt selbst ist [Segner et al., 1998]. Dieser Vergrößerungsfaktor alleine würde kein großes Problem darstellen, da dieser durch eine geeignete Eichung einfach rauszurechnen ist und sowieso nur bei Streckenmessungen einen Einfluss hätte. Problematisch ist allerdings, dass filmnahe Anteile des Originals mit einem kleineren Vergrößerungsfaktor abgebildet werden, als filmferne. Diese Differenz der Vergrößerungsfaktoren der beiden Gesichtshälften führt im Röntgenbild zu Doppelkonturen und Ungenauigkeiten von Strukturen bei Überlagerung [Segner et al., 1998].

Der Vergrößerungsfaktor wird umso kleiner, je größer der Abstand zwischen dem Brennpunkt und der Bildebene ist. Aber nicht nur der allgemeine Vergrößerungsfaktor sinkt bei großem Fokus-Film-Abstand, sondern auch die Differenz der Faktoren der linken und rechten Gesichtshälfte [Segner et al., 1998]. Dieser Abstand lässt sich jedoch nicht nach Belieben vergrößern, denn er ist durch die Technik und dem Platzangebot begrenzt. Somit ist international ein Abstand zwischen 1,5 und 4 Metern üblich [Nötzel et al., 2008]. Viele Kliniken halten aufgrund des größeren Platzangebotes einen Abstand von vier Metern ein, während Praxen ihre Aufnahmen mit einem Abstand von 1,70 Metern tätigen [Segner et al., 1998]. In dieser Studie

wurden die Aufnahmen mit einem Abstand von 1,5 m angefertigt. Der nicht unbedeutende Messfehler bei linearen Messungen bei einem Fokus-Film-Abstand von 1,5 m wurde durch die Eichung jedes einzelnen Fernröntgenseitenbildes versucht auszuschalten. Ob dieser Eichvorgang jedoch fehlerfrei reproduzierbar war, ist fraglich. Lineare Messungen beinhalten also eine hohe Fehlerquote, weshalb es besser ist Winkel- und Verhältnismessungen für die Auswertung eines Fernröntgenseitenbildes heranzuziehen [Steinhäuser et al., 1988].

Auch die Abbildungsschärfe lässt sich durch Einhalten dieser Abstandsregel verbessern. Zusätzlich lässt sich die Bildschärfe durch einen kleinen, punktförmigen Fokus steigern [Schwenzer et al., 2008].

Die Positionierung des Kopfes des Patienten im Kephalostat muss mit einer Genauigkeit erfolgen, damit die Strukturen der rechten und linken Seite des Schädels auf dem FRS zusammenfallen. Nur dann ist es möglich frühere und spätere Aufnahmen vergleichen zu können und Veränderungen festzustellen [Björk, 1966]. Dabei sollte der Kopf nach der Frankfurter Horizontalen (Verbindungsline zwischen Porus acusticus externus und Infraorbitalpunkt) ausgerichtet werden und die Bipupillarlinie in der Horizontalen liegen [Sander et al., 2011]. Der Kopf sollte so positioniert werden, dass die Mediansagittalebene des Schädels möglichst parallel zur Bildebene verläuft. Die Einstellung des Zentralstrahls, welcher durch den Porus acusticus externus geht, sollte immer gleich sein, um Messungen in der Sagittalen vergleichen zu können [Nötzel et al., 2008]. Das FRS wird in der Schlussbissstellung angefertigt. Dazu sollte die Bisslage des Patienten vor der Durchführung kontrolliert werden. Es muss ein sagittaler oder transversaler Zwangsbiss ausgeschlossen werden, bei denen die Kondylenposition der habituellen Interkuspitation von der zentrischen Kondylenposition der zentrischen Okklusion abweicht. Die habituelle Okklusion beschreibt die „gewöhnheitsmäßig eingenommene statische Okklusion“ [DGZMK et al., 2005]. Auch die zentrische Kondylenposition wurde in der wissenschaftlichen Stellungnahme 2005 von der DGZMK (Deutsche Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde) in einer Terminologieliste genauestens definiert: „kranio-ventrale, nicht seitenverschobene Position beider Kondylen bei physiologischer Kondylus-Diskus-Relation und physiologischer Belastung der beteiligten Gewebestrukturen“ [DGZMK et al., 2005]. Jedoch auch im gesunden Kauorgan sind die Positionen der Kondylen in den zwei genannten Okklusionen meist

nicht identisch, wobei der Unterschied der Positionen der Kondylen bei einer Messung in der Nähe des Gelenks im Mittel 0,8 mm beträgt [Böhm et al., 1995a], [Böhm et al., 1995b], [Lentner et al., 1997], [Utz et al., 1990], [Utz et al., 2010]. Nach Steinhäuser und Janson sind bei einer RKP-IKP-Differenz von mehr als ein bis zwei Millimetern zwei Röntgenbilder anzufertigen. Eines entspricht dann dem Situationsmodell, in habitueller Okklusion und eines der zentrischen Okklusion und damit der Okklusion im Planungsmodell [Steinhäuser et al., 1988]. Hilfreich kann bei Letztgenanntem ein vorher angefertigter Wachsbiss sein, der dann kurz vor der Aufnahme eingesetzt wird. Ob dieses Protokoll vor bzw. bei der Aufnahme der Fernröntgenseitenbilder jedoch tatsächlich eingehalten wurde, ist leider nicht nachzuweisen, da die Röntgenbilder für diese Studie lediglich aus den Karteikarten der Patienten selektiert wurden.

Aufgrund der zahlreichen Fehlerquellen bei der Anfertigung der Bilder, muss von einem nicht irrelevanten Messfehler ausgegangen werden, was besonders für die linearen Messungen gilt.

Die Auswertung eines FRS beinhaltet immer einen gewissen Messfehler. Schuld daran ist die Reproduzierbarkeit. Da es nicht möglich ist Messfehler völlig auszuschalten, wird ein gewisser Restfehler akzeptiert [Segner et al., 1998]. Auch in dieser Arbeit wurde der Methodenfehler nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston bestimmt (siehe Punkt 4.2.3).

Eine weitere Fehlerquelle ist die Wahl der Referenzpunkte und Referenzlinien. Um eine gute Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu ermöglichen, wurde die Studie von Nienkemper et al. als Vorbild für diese Arbeit gewählt [Nienkemper et al., 2014]. Björk hält jedoch die Nasallinie als Referenzlinie weder für die Beurteilung des Wachstums des Oberkiefers für geeignet, noch für das Ermitteln der Veränderungen der Maxilla in Bezug auf die anteriore Schädelbasis [Björk, 1966]. Er fordert in seiner Studie stabile Referenzpunkte, wie Metallimplantate, die an Stellen inseriert werden, an denen sie ihre Position weder durch durchbrechende Zähne noch durch kieferorthopädische Behandlung oder resorptive Remodellierungsprozesse verändern. Er empfiehlt die Insertionen am Processus zygomaticus beidseitig, um das transversale Wachstum des Oberkiefers in dem zentralen Anteil der medianen Sutur messen zu können. Bei Kindern, vor Durchbruch der bleibenden Frontzähne, werden sie hinter den

Milchzähne im Bereich des harten Gaumens, in der Nähe der medianen Sutur gesetzt. Nach dem Durchbruch der Inzisiven werden sie unterhalb der Spina nasalis anterior positioniert. Diese Lokalisationen dienen zur Analyse des suturalen Wachstums in der Sagittalen [Björk, 1966]. Die in dieser Studie verwendete Messmethode, in der eine Pterygoidvertikale als Senkrechte auf das Nasalplanum konstruiert wurde, und die dentalen Veränderungen der Abstände gemessen wurden, ist also als ungenau anzusehen, da sich das Nasalplanum während des Wachstums (Durchschnittsalter des Kollektivs: 14,4 Jahre) noch verändern kann. Die Messungen schließen also einen Fehler ein, der auf die mögliche Änderung der Neigung des Nasalplanums zurückzuführen ist. Dies gilt ebenso für die Winkelmessungen zwischen den Zahnachsen und dem Nasalplanum.

#### 6.1.4 Diskussion der Stabilität und Insertionsregion von Miniimplantaten

Temporäre skelettale Verankerungshilfen (TADs) wurden in die Distalisationsgeräte integriert, um einen Verankerungsverlust der anterioren Zähne zu vermeiden. Miniimplantate im Alveolarfortsatz sind jedoch mit einer hohen Verlustrate verbunden und verhindern, durch ihre interradiäre Platzierung, die Bewegung der Zahnwurzeln nach distal [Wilmes et al., 2013]. Aufgrund der geringeren Verlustraten, einer hohen Knochendichte und einer dünnen Weichgewebsschicht, stellt der anteriore Gaumen, posterior der Papilla incisiva, eine geeignete Insertionsstelle dar [Kim et al., 2006], [Nienkemper et al., 2014], [Wilmes et al., 2013]. Auch bei Patienten mit einem geringeren Knochenangebot am Gaumen, bei denen die Implantate mit der Länge von 11 mm die Nasenhöhle penetrierten, ergaben sich bisher keine Komplikationen [Wilmes et al., 2009b].

Kinzinger et al. stellten in ihrer Studie jedoch fest, dass Minischrauben (Durchmesser: 1,6 mm, Länge: 8-9 mm), die paarweise paramedian im anterioren Gaumen angebracht wurden, bei der Verwendung eines parodontal- und minischraubenverankerten Distaljets nicht positionsstabil blieben, und somit keine stationäre Verankerungsqualität aufwiesen [Kinzinger et al., 2008b]. Wilmes et al. rechtfertigten diesen Misserfolg jedoch damit, dass die Miniimplantate nicht in Krafrichtung gekoppelt wurden und einen zu schmalen Durchmesser aufwiesen [Wilmes et al., 2010]. Um eine ausreichende Primärstabilität der Miniimplantate zu

erreichen sollten zwei Miniimplantate in Belastungsrichtung (sagittal) gekoppelt werden, womit die mechanische Stabilität der Implantate verbessert wird, die biomechanische Belastbarkeit zunimmt und ein Kippen der Miniimplantate in Belastungsrichtung vermieden wird [Nienkemper et al., 2014], [Wilmes et al., 2010]. Ebenso wurden auch in dieser Arbeit jeweils zwei median angebrachte Minischrauben (Durchmesser 2 mm) durch eine Beneplate verbunden. Wilmes et al. berichteten von einer sehr hohen Erfolgsprognose der Miniimplantate, platziert im anterioren Gaumen, sowie von einer sehr geringen Lockerungsquote (3,9 % bei 164 Apparaturen) [Wilmes et al., 2012], [Wilmes et al., 2013]. Auch in dieser Studie konnten keine Verluste von Miniimplantaten, aufgrund von einer Lockerung, festgestellt werden.

Mit dem möglichen Problem der Hemmung der Wachstumsvorgänge im Gaumenbereich bei noch wachsenden Patienten durch Einsatz von Gaumenimplantaten haben sich schon mehrere Autoren beschäftigt. Diese Beschränkung des Wachstums kann vom Alter des Patienten, von der Anzahl und dem Implantatdesign sowie der Insertionsstelle abhängen [Gedrange et al., 2001], [Wehrbein et al., 1996a]. Nach Wehrbein et al. sollten die Patienten ein abgeschlossenes skelettales Wachstum aufweisen, also im späten jugendlichen oder erwachsenen Alter sein. Die Autoren hielten eine transversale Wachstumshemmung des Gaumens in diesem Alter für unwahrscheinlich, da mit Abschluss des skelettalen Wachstums bereits über 50 % der Länge der Gaumensutur verschlossen sei [Fishman, 1982], [Revelo et al., 1994], [Wehrbein et al., 1996a].

Gedrange et al. empfahlen für die Insertion von Implantaten in die Gaumensutur ein Alter von 16 Jahren, in dem der Knochen eine gewisse Reife und Festigkeit aufweist und somit einwirkenden Kräften mehr Widerstand leisten kann. Sie begründeten dies damit, dass die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß einer durch diese Kräfte verursachten Deformation des Knochens bei Kindern mit geringer Kalzifikation und Mineralisation (weicherem Knochen) größer, als bei Jugendlichen und Erwachsenen sei [Gedrange et al., 2001].

Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs dieser Studie betrug zum Zeitpunkt des Einsetzens 14,4 Jahre (Gruppe 1: 12,3 Jahre, Gruppe 2: 16,0 Jahre). Nach Nanda et al. und Björk et al. endet das Körperwachstum früher, als das Wachstum des Gesichts. Das suturale Wachstum hingegen ist mit einem Altersdurchschnitt von 17 Jahren (Jungen), also circa zwei Jahre vor dem Körperwachstum und dem kondylären



Wachstum beendet. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die individuellen Abweichungen sehr groß sind [Björk, 1966], [Nanda, 1955]. Somit kann in diesem Kollektiv von einem Restwachstum im Bereich der Suture ausgegangen werden.

Asscherickx et al. überprüften die Auswirkungen auf das transversale Wachstum der Suture in einer Studie, in der zwei Implantate des Orthosystems (Straumann) in die palatinale Suture von noch wachsenden Hunden inseriert wurden. Dabei wurde eine Wachstumshemmung dieser im Eckzahnbereich beobachtet [Asscherickx et al., 2005]. Wilmes et al. zweifelten jedoch an der Aussagekraft dieser Studie, da das Kollektiv aus lediglich vier Hunden und einem Kontrolltier bestand. Auch unterscheiden sich die Implantate des Orthosystems grundlegend von den Miniimplantaten bezüglich der Dimension und Oberflächenbeschaffenheit und es konnte in ihren Studien bisher keine Hemmung des transversalen Wachstums festgestellt werden [Wilmes et al., 2010]. Miniimplantate können sicherheitshalber auch paramedian am Gaumen eingebracht werden, wodurch jedoch keine Kopplung in sagittaler Richtung möglich ist [Wilmes et al., 2010].

In dieser Studie wurden keine Messungen in transversaler Richtung durchgeführt, weshalb eine Wachstumshemmung in dieser Richtung nicht beurteilt werden konnte. Auffällig war jedoch eine Tendenz zu einer anterioren Rotation des Nasalplanums, was einer Bewegung gegen die Wachstumsrichtung entsprach. Damit würden palatinale Minischrauben zusammen mit dem Beneslidergerät eventuell doch das Wachstum des Gaumens beeinflussen. Genaueres dazu folgt im Punkt 6.2.1.

#### 6.1.5 Kritische Betrachtung der auftretenden Reibung bei dem Beneslidergerät

Mit dem Beneslider wird zwar eine körperliche Distalisation der Molaren ermöglicht, jedoch ist die Behandlungszeit, aufgrund der auftretenden Reibung der Mechanik, relativ lange (8-10 Monate für 4-5 mm Distalisation) [Wilmes et al., 2009b], [Wilmes et al., 2010]. Die Friktion entsteht durch eine leichte Mesialrotation der Molaren, aufgrund der exzentrisch durch das Widerstandszentrum verlaufenden Kräfte, und somit auftretenden Kontaktpunkten zwischen dem Führungsbogen und den Benetubes (in diesem Fall den Aktivatorröhrchen) [Longerich et al., 2014]. Die Größe der

Reibungskräfte ist jedoch unklar, weshalb es nahezu unmöglich ist, die exakt wirkende Kraft bei dem Beneslider zu bestimmen.

Auch Gelgor et al. beobachteten in ihrer Studie mehr Friktion bei dem palatinalen Gerät mit einer Gleitmechanik, als bei dem Gerät mit auf Teilbögen vestibulär angebrachten offenen Schraubenfedern [Gelgor et al., 2007]. Dadurch ergab sich bei den Patienten mit palatinaler Gleitmechanik eine längere Behandlungszeit von 0,8 Monaten [Gelgor et al., 2007].

Da jede Gleitmechanik mit dieser Reibung behaftet ist, kann dieser Effekt nach Longerich et al. nur durch höhere applizierte Kräfte (350 g) überwunden werden, nämlich mit Hilfe des Longsliders, einem auf einer Zugmechanik basierendem Gerät [Longerich et al., 2014]. Diese Apparatur scheint aufgrund seiner Größe jedoch wesentlich unkomfortabler für den Patienten zu sein, als der Beneslider [Nienkemper et al., 2014]. Da heutzutage starke Ni-Ti-Druckfedern zur Verfügung stehen, ist der Beneslider dem Longslider deshalb vorzuziehen [Nienkemper et al., 2014]. Bei höheren Kräften (z.B.: 500 g Federn), sollte die volle Aktivierung jedoch erst frühestens nach zwei Monaten (nach dem Einsetzen) erfolgen [Wilmes et al., 2013]. Die damit eingehende Gefahr von Wurzelresorptionen sollte dabei jedoch nicht in Vergessenheit geraten, weshalb abzuwägen ist, ob nicht die vielen Vorteile des Beneslider mit mäßigen Kräften die gering längere Behandlungszeit wettmachen.

## 6.2 Interpretation der Ergebnisse und Ergebniskritik

### 6.2.1 Bewertung der skelettalen Variablen

#### **Der SNA-Winkel:**

Der SNA-Winkel beschreibt die sagittale Relation der Maxilla zur vorderen Schädelbasis und gibt den Prognathie-Grad des Oberkiefers wieder [Segner et al., 1998]. Zum Zeitpunkt T1 wies das Patientenkollektiv im Mittel einen SNA-Winkel von 79,4° auf, was einer orthognathen sagittalen Position der Maxilla entsprach. Der Winkel lag jedoch an der Grenze zum retrognathen Bereich ( $SNA < 79^\circ$ ) [Segner et al., 1998].

In Gruppe 1 betrug dieser  $77,9^\circ$  und ließ somit den Schluss auf eine retrognathe Position der Maxilla zu, wohingegen in der zweiten Gruppe der Ausgangswert im Mittel  $80,6^\circ$  betrug und somit eine Orthognathie vorlag. Diese Unterschiede in den Anfangswerten zwischen dem gesamten Kollektiv und den zwei untersuchten Gruppen lagen darin, dass nicht alle Patienten des Kollektivs beispielsweise ausschließlich dem orthognathen Gesichtstyp zuzuordnen waren. 21 Patienten (57 %) wiesen einen retrognathen, 14 (38 %) einen orthognathen und zwei (5 %) einen prognathen Gesichtstyp auf. 12 Patienten des retrognathen Gesichtstyps (75 %) waren Gruppe 1 zuzuordnen, wohingegen sich nur vier Patienten mit einem orthognathen Gesichtstyp (25 %) in Gruppe 1 befanden.

In der zweiten Gruppe hingegen sind lediglich neun Patienten dem retrognathen Gesichtstypen (42,9 %), zehn dem orthognathen Gesichtstypen (47,6 %) und zwei dem prognathen Gesichtstypen (9,5 %) zugeordnet gewesen. Somit ließ sich der kleinere Ausgangs-SNA-Wert in Gruppe 1 erklären.

Der SNA-Winkel nahm während der Behandlung im gesamten Patientenkollektiv signifikant auf  $80,1^\circ$  zu. Zum einen kann die Vergrößerung, allerdings nur eingeschränkt, durch ein suturales Restwachstum der Maxilla erklärt werden. Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs betrug zum Zeitpunkt des Einsetzens 14,4 Jahre. Ein gewisses Restwachstum ist also noch zu erwarten. Genauer wird darauf bei der Beschreibung der Veränderung des NL-NSL-Winkels eingegangen. Das Längenwachstum der Maxilla erfolgt sutural auf den palatinalen Knochen zu und wird von einem periostalen Wachstum der Tuber maxillae begleitet. Somit erfolgt eine Vorwärtsbewegung des Oberkiefers bedingt durch posteriore Wachstumsvorgänge [Björk, 1955]. Abgesehen vom Alveolarknochen, findet kein Wachstum der Maxilla anterior statt [Björk, 1966]. Eine Indikation für den Einsatz des Benesliders ist ein vergrößerter Overjet durch eine Protrusion der Oberkieferfrontzähne [Wilmes et al., 2010]. In den Praxen wurde parallel zur Distalisation nach einigen Monaten eine Multibandapparatur eingesetzt, um das anteriore Segment nach posterior zu bewegen und die Behandlungszeit zu verkürzen. Die Multibandapparatur kann zu einer Retrusion und Retroinklination der oberen Frontzähne geführt haben. Die Größe des Winkels OK1-NA nahm signifikant ab (um  $2,55^\circ$ ), und der Abstand der Inzisalkante des oberen Schneidezahnes zur NA-Linie ebenfalls (um 0,45 mm), jedoch nicht signifikant. Beide Messungen deuten folglich auf eine solche Zahnbewegung hin. Um dies jedoch

sicher zu klären, würden vom A-Punkt unabhängige Strecken- und Winkelmessungen benötigt werden. In Gruppe 1 erreichten die Veränderungen des SNA-Winkels und des OK1-NA-Winkels das Signifikanzniveau nicht, während es in Gruppe 2 für den SNA-Winkel erreicht wurde. Vergleicht man die beiden Gruppen jeweils anhand dieser drei Variablen, so konnten keine klinisch relevanten Unterschiede festgestellt werden. Es gibt keine Hinweise darauf, dass dieser Winkel durch das Distalisationsgerät verändert wurde.

### **Der SNB-Winkel:**

Der SNB-Winkel, der die sagittale Position der Mandibula in Relation zur anterioren Schädelbasis beschreibt, betrug im gesamten Patientenkollektiv im Mittel  $76,1^\circ$  und nahm während der Behandlung wachstumsbedingt nicht signifikant auf  $76,5^\circ$  zu und wurde somit nicht durch das eingesetzte Gerät beeinflusst. In Gruppe 1 erfolgte ebenfalls eine leichte Zunahme des Winkels von  $75,0^\circ$  auf  $75,3^\circ$  und in Gruppe 2 eine von  $77,0^\circ$  auf  $77,3^\circ$ . Der SNB-Winkel zum Zeitpunkt T1 im gesamten Patientenkollektiv befand sich somit im leicht retrognathen Bereich ( $< 77^\circ$ ), nahe an der Grenze zum orthognathen. Dieser Ausgangswert entsprach in Gruppe 1 einer retrognathen sagittalen Lage der Mandibula, während in Gruppe 2 eine eher orthognathe sagittale Position des Unterkiefers vorherrschte [Segner et al., 1998]. Diese Unterschiede lassen sich erneut durch die Gesichtstypen der Patienten und deren ungleiche Aufteilung erklären. 57 % aller Patienten waren dem retrognathen Gesichtstyp zuzuordnen, wobei sie 75 % der Patienten in Gruppe 1 und lediglich 42,9 % der in Gruppe 2 ausmachten.

### **Der ANB-Winkel:**

Betrachtet man die anterior-posteriore Relation der Maxilla zur Mandibula, fiel auf, dass der ANB-Winkel allgemein von einem Wert von  $3,30^\circ$  auf  $3,68^\circ$  nicht signifikant zunahm. Diese leichte Vergrößerung war der des SNA-Winkels zuzuschreiben. In Gruppe 1 vergrößerte sich der Winkel von  $2,86^\circ$  auf  $3,29^\circ$ , in Gruppe 2 von  $3,63^\circ$  auf  $3,98^\circ$ . Diese leichten Zunahmen unterschieden sich im Vergleich nicht, jedoch fiel auf, dass die Ausgangswerte differierten. Der sagittale Interbasiswinkel lässt sich in drei Klassen einteilen:

1.  $ANB < 0^\circ \rightarrow$  Mesialbisslage / Klasse III
2.  $0^\circ \leq ANB \leq 4^\circ \rightarrow$  Neutralbisslage / Klasse I
3.  $ANB > 4^\circ \rightarrow$  Distalbisslage / Klasse II

Diese Einteilung gilt allerdings nur für den orthognathen Gesichtstypen. Nach Hasund dienen uns die Größen, die aus Mittelwerten einer Beispielgruppe, welche in diesem Fall als gemeinsames Kriterium eine Angle-Klasse I Okklusion, auch Ideal-Okklusion genannt, ermittelt wurden, allerdings nur als Diskussionsbasis zur generellen Orientierung. Die Diagnose soll nach individuellen Normen unter Berücksichtigung des jeweiligen Gesichtstyps durchgeführt werden [Hasund et al., 1984]. Auch für den ANB-Winkel sollte eine individuelle Norm, bei vorheriger Bestimmung des gesamten Gesichtstyps, erstellt werden. Der Zusammenhang des Prognathiegrades der Kiefer und der Größe des ANB-Winkels wurde 1975 von Jacobson angeschnitten. Der ANB-Winkel ändert sich bei der sagittalen Vor- oder Rückverlagerung der Kiefer, aber auch bei anterior-posteriorer Verschiebung des Punktes Nasion bei sonst gleicher Kieferbasenrelation. Auch bleibt der ANB-Winkel bei Rotation der Kiefer, ohne die Relation der Kiefer zueinander zu ändern, nicht gleich. Er wird größer bei Rotation der Kiefer in die Clockwise-Richtung und kleiner, wenn Ober- und Unterkiefer in die Counterclockwise-Richtung relativ zur vorderen Schädelbasis rotiert werden [Jacobson, 1975]. Hinzu kommt, dass die Neigungen der Kiefer vom Prognathiegrad abhängen, und somit der ANB-Winkel auch vom Prognathiegrad abhängig ist. Bei einem retrognathen Prognathiegrad von Ober- und Unterkiefer ist ein kleiner ANB-Winkel zu erwarten, wohingegen bei einem prognathen Gesichtstyp ein größerer ANB-Winkel festzustellen ist [Steinhäuser et al., 1988]. Um die Klassifizierung der basalen Relation in der Sagittalen nun grob anzupassen, müssen die Grenzbereiche um  $2^\circ$  nach oben bzw. unten verschoben werden [Segner et al., 1998].

Für den prognathen Gesichtstyp gilt:

1.  $ANB < 2^\circ \rightarrow$  mesial / Klasse III
2.  $2^\circ \leq ANB \leq 6^\circ \rightarrow$  neutral / Klasse I
3.  $ANB > 6^\circ \rightarrow$  distal / Klasse II

Des weiteren gilt für das retrognathe Gesicht:

1.  $ANB < -2^\circ \rightarrow$  mesial / Klasse III
2.  $-2^\circ \leq ANB \leq 2^\circ \rightarrow$  neutral / Klasse I
3.  $ANB > 2^\circ \rightarrow$  distal / Klasse II

Behält man diese Einteilung im Hinterkopf, so lässt sich der kleinere ANB-Ausgangswert in Gruppe 1, die zu 75 % aus Patienten mit retrognathem Gesichtstyp bestand, erklären. Somit lag bei den Patienten im gesamten Patientenkollektiv im Mittel vor und nach der Behandlung eine skelettale Klasse I mit Tendenz zu einer Klasse II vor. Innerhalb der Gruppen galt grob dasselbe, da die restlichen orthognathen und prognathen Patienten den Mittelwert ebenfalls beeinflussen. Diese sagittale interbasale Relation bestätigt die Indikation zur Distalisation der Oberkiefermolaren. Die Bestimmung der individuellen Norm des ANB-Winkels würde eine genauere Einteilung ermöglichen [Segner et al., 1998].

### **Der SNPg-Winkel:**

Der SNPg-Winkel beschreibt die sagittale Lage der Mandibula bzw. der Symphyse und damit die des knöchernen Kinns. Der Mittelwert dieses Winkels liegt laut Literatur bei  $81,0^\circ$  (Streuung:  $73,6^\circ - 90,4^\circ$ ) [Segner et al., 1998]. Im Patientenkollektiv wurde ein Wert von  $77,2^\circ$  zum Zeitpunkt vor der Behandlung und ein Wert von  $77,8^\circ$  zum zweiten Zeitpunkt gemessen. Die leichte wachstumsbedingte Zunahme des Winkels erwies sich als klinisch nicht relevant und war auch in den beiden Gruppen ohne Unterschied zu vermerken. Die Differenz zwischen dem SNB-Winkel und dem SNPg-Winkel betrug bei den Patienten zum ersten gemessenen Zeitpunkt im Mittel  $1,1^\circ$  und zum zweiten  $1,3^\circ$ . Diese Werte stimmen mit der Literatur in etwa ( $1,2^\circ$  im Orthognathen) überein. Bei ausgeprägter alveolärer Retrusion wäre dieser Wert größer, als der Normwert. Da der SNB-Winkel im Kollektiv der Studie jedoch nur im leicht retrognathen Bereich liegt, waren keine Abweichungen festzustellen. Auch dieser Winkel wurde von dem Gerät nicht beeinflusst.

### **Der NSBa-Winkel:**

Der Schädelbasiswinkel beschreibt die Relation des Clivus zur anterioren Schädelbasis und damit die Stärke der Abknickung der Schädelbasis. Der Mittelwert des Winkels beträgt  $131,7^\circ$  (Variationsbreite:  $118,9^\circ - 151,2^\circ$ ) [Segner et al., 1998]. In dieser Studie wurde im Mittel ein Winkel von  $133,0^\circ$  gemessen. Die Position des Kiefergelenks in der Sagittalen und somit die Lage der Mandibula hängen von diesem Wert ab. Kleine Werte charakterisieren den prognathen Befund bei anteriorer Clivuslage, große Werte hingegen den retrognathen Befund bei posteriorer Lage des Clivus. Der in dieser Studie eruierte Wert lag etwas über dem Durchschnitt des Vergleichskollektivs von Segner und Hasund, was durch den großen Anteil an Patienten mit retrognathem Gesichtstyp erklärt werden konnte (57%). Im gesamten Patientenkollektiv sowie in Gruppe 1 und in Gruppe 2 wurde dieser Winkel während der Behandlung mit keiner statistischen Relevanz verändert.

### **Der Gn-tgo-Ar-Winkel:**

Der Kieferwinkel beschreibt die Form des Unterkiefers, indem er die Relation von Corpus und Ramus mandibulae angibt und er trägt einen Teil zur Prognose der Wachstumsrichtung bei. Der Mittelwert im genormten Kollektiv hat den Wert von  $121,8^\circ$  (Streuung:  $101,4^\circ - 144,5^\circ$ ) [Segner et al., 1998]. In dieser Studie wurden Ausgangswerte von  $121^\circ$  (gesamtes Patientenkollektiv),  $123^\circ$  (Gruppe 1) und  $119^\circ$  (Gruppe 2) gemessen.

Größere Werte würden auf eine mehr posteriore Rotation des Unterkiefers und ein eher vertikales Wachstum hindeuten. Kleinere Werte des Winkels würden auf eine anteriore Wachstumsrichtung des Condylus hinweisen und würden auf ein anteriores Wachstum der Mandibula schließen lassen [Segner et al., 1998].

Nach diesen Hinweisen lag somit im gesamten Kollektiv ein „neutrales“ Wachstumsmuster (neutrale Unterkieferschwenkung) vor. Der kleinere Ausgangswert des Winkels in Gruppe 2 ließ sich dadurch erklären, dass zu Beginn der Behandlung 52 % der Patienten in der Vertikalen einen T-Typen (tiefer Typ) aufwiesen, wohingegen in Gruppe 1 75 % der Patienten dem vertikalen Normaltyp entsprachen. Im gesamten Kollektiv machten 59 % den vertikalen Normaltypen und 38 % den tiefen Typen aus, weshalb der Ausgangswert des Winkels Gn-tgo-Ar mit seinem Wert zwischen den

beiden Gruppen lag. Bei Betrachtung der Veränderungen des Winkels, fiel auf, dass dieser durch die Behandlung nicht beeinflusst wurde, und somit angenommen werden kann, dass auch die Wachstumsrichtung durch den Einsatz des Gerätes unverändert blieb.

### **Der ML-NSL-Winkel:**

Durch den Winkel ML-NSL wird der Inklinationsgrad der Mandibula, das heißt die vertikale Relation der Mandibula, in Relation zur anterioren Schädelbasis beschrieben. In der Beispielgruppe von Hasund und Segner beträgt der Mittelwert des Winkels  $28,0^\circ$  ( $13,3^\circ - 41,6^\circ$ ). Um eine posteriore Neigung handelt es sich, wenn die Werte des Winkels über dem Mittelwert liegen, um eine anteriore Neigung handelt es sich bei kleineren Werten [Segner et al., 1998]. In der Literatur wurde eine negative Korrelation zwischen Prognathiegrad und Inklinationsgrad aufgezeigt. In gleicher Weise hat auch der Schädelbasiswinkel eine negative Abhängigkeit, wie weiter oben bereits beschrieben. Kleine Werte charakterisieren das prognathe, große Werte das retrognathe Feld. Werte in der Mitte deuten auf den orthognathen Gesichtstyp hin [Steinhäuser et al., 1988]. Bei den Messungen dieser Studie konnte ein Ausgangsmittelwert von  $30,5^\circ$  im gesamten Patientenkollektiv, einer von  $32,4^\circ$  in Gruppe 1 und einer von  $29,1^\circ$  in Gruppe 2 festgestellt werden, was im Allgemeinen einer eher neutralen Unterkieferschwenkung entsprach. Die Größen der Messwerte des Winkels vom gesamten Patientenkollektiv und der von Gruppe 1 ließen sich erneut durch die hohen Anteile von Personen des retrognathen Gesichtstyps erklären. Der Messwert von Gruppe 2 entsprach hingegen in etwa dem orthognathen Bereich, konnte aber auch dadurch nachvollzogen werden, dass 52 % der Patienten von Gruppe 2 in der Vertikalen einen T-Typen (tiefer Typ) und 61,9 % der Untergruppe 2 zuzuordnen waren. Dieser Winkel blieb im gesamten Kollektiv während der Behandlung gleich. In Gruppe 1 nahm der ML-NSL-Winkel um  $0,58^\circ$  zu, wohingegen er in Gruppe 2 leicht um  $0,38^\circ$  abnahm. Diese Veränderungen wurden jedoch als nicht signifikant getestet und ergaben keinen mathematisch relevanten Unterschied.

Interessant war trotzdem, dass der Winkel in der einen Gruppe etwas zunahm, wohingegen er in der anderen etwas abnahm. Ein Erklärungsansatz dafür wäre, dass die zweiten Molaren in Gruppe 1 in 75 % der Fälle nur bei dem Anfangsröntgenbild



noch nicht durchgebrochen waren, während bei der Endaufnahme, nach der Behandlung mit dem Beneslider oder auch nach der endgültigen kieferorthopädischen Behandlung, bereits der Durchbruch erfolgt war. Nur bei vier Patienten blieben die zweiten Molaren während der Zeit der Behandlung völlig im Knochen. Diese dritte Bisshebung könnte zu einer leichten Zunahme des ML-NSL-Winkels geführt haben. Versucht man nun die minimale Abnahme des Winkels in Gruppe 2 zu erklären, kann man folgenden Ansatz nutzen. Die Tatsache, dass 52 % der Patienten von Gruppe 2 in der Vertikalen einen T-Typen (tiefer Typ) aufwiesen und der Kieferwinkel mit  $119^\circ$  eher im kleineren Bereich lag, wiesen auf eine anteriore Wachstumsrichtung der Kondylen und der Mandibula hin, woraus sich ein wachstumsbedingter kleinerer ML-NSL-Winkel ergäbe. Allgemein wird das horizontale und vertikale Wachstum von der Wachstumsrichtung der Kondylen bestimmt [Björk, 1955].

#### **Der NL-NSL-Winkel:**

Der Inklinationswinkel der Maxilla (NL-NSL-Winkel) drückt die Neigung des Oberkiefers in der Vertikalen in Bezug auf die anteriore Schädelbasis aus. Der Mittelwert des Winkels beträgt  $8,1^\circ$  (Variationsbereich:  $1,3^\circ - 16,5^\circ$ ). Auch hier erfolgt die Einteilung in posteriore und anteriore Neigung wie bei dem ML-NSL-Winkel. Mittlere Werte charakterisieren wieder den orthognathen Befund, große den retrognathen und kleine den prognathen Befund [Segner et al., 1998]. Bei den Messungen dieser Studie konnte ein Ausgangsmittelwert von  $7,86^\circ$  im gesamten Patientenkollektiv, einer von  $7,24^\circ$  in Gruppe 1 und einer von  $8,33^\circ$  in Gruppe 2 festgestellt werden. Die Größen der Messwerte des Winkels von Gruppe 1 und 2 ließen sich an dieser Stelle nicht durch die hohen Anteile von Personen des retrognathen Gesichtstyps in Gruppe 1 erklären, da der Winkel in dieser Gruppe einen größeren Wert, als der in der zweiten Gruppe einnehmen müsste. Dieser Widerspruch führte zu dem Schluss, dass das Nasalplanum in Gruppe 1 eine leicht anteriore Neigung, also eine Anteinklination, aufwies.

Betrachtet man die Veränderungen der Winkel im Kollektiv, sowie in den Gruppen, so ließen sich keine signifikanten klinisch relevanten Veränderungen feststellen. Lediglich eine Tendenz zur Abnahme des Winkels im gesamten Patientenkollektiv (um  $0,59^\circ$ ), innerhalb von Gruppe 1 (um  $0,44^\circ$ ) und Gruppe 2 (um  $0,70^\circ$ ) war festzustellen. Diese

leichten Variationen wiesen bei der Testung keine Unterschiede auf. Mit dem möglichen Problem der Hemmung der Wachstumsvorgänge im Gaumenbereich bei noch wachsenden Patienten durch Einsatz von Gaumenimplantaten beschäftigten sich schon mehrere Autoren. Diese Beschränkung des Wachstums kann vom Alter des Patienten, von der Anzahl und dem Implantat Design sowie der Insertionsstelle abhängen [Gedrange et al., 2001], [Wehrbein et al., 1996a]. Nach Wehrbein et al. sollten die Patienten ein abgeschlossenes skelettales Wachstum aufweisen, also im späten jugendlichen oder erwachsenen Alter sein. Die Autoren hielten eine transversale Wachstumshemmung des Gaumens in diesem Alter für unwahrscheinlich, da, mit Abschluss des skelettalen Wachstums (SMI 11 = System of Skeletal Maturation Assessment), schon über 50 % der Länge der Gaumensutur verschlossen sei [Fishman, 1982], [Revelo et al., 1994], [Wehrbein et al., 1996a]. Dies wurde in Studien von Revelo und Fishman aufgezeigt. Weiterhin beobachteten diese, dass die Fusion im posterioren Bereich des Gaumens (zwischen dem am weitesten posterior gelegenen Punkt der Wand des Foramen Incisivum und dem Berührungspunkt der Sutur mit einer Linie zwischen den Foramina palatinae majora) prozentuell bereits weiter fortgeschritten ist, als im anterioren Bereich und es bei den Fusionsvorgängen keine Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Patienten gibt [Revelo et al., 1994]. Zusätzlich können vom Implantat ausgehende Kräfte den palatinalen Knochen deformieren [Gedrange et al., 2001]. Kaukräfte im Molarenbereich haben einen Wert von circa 150 N - 250 N, wobei sie bei knirschenden und pressenden Patienten auch Kräfte von 500 N - 750 N erreichen können [Schwenzer et al., 2006]. Die maximal erreichbare Kaukraft ist dabei im Molarenbereich größer, als im Frontzahnbereich [Schwenzer et al., 2006]. Paphangkorakit und Osborn stellten fest, dass die maximale Beißkraft auch von der Festigkeit des Objektes abhängt, wobei diese im Inzisalbereich bei circa 200 N liegt, 213 N für das Beißen auf ein Gummistück, 190 N für das auf eines aus Acryl [Paphangkorakit et al., 1998]. Diese Kaukräfte werden zusammen mit den auf die Verankerung wirkenden reziproken Kräften durch die rigide Verbindung von den Zähnen auf die Implantate übertragen, wobei diese von den Implantaten auf das Knochengewebe und den Gaumen weitergeleitet werden [Gedrange et al., 2001], [Rieger et al., 1990]. Diese rigide Verbindung stellte in der Argumentation zwar einen Transpalatinalbogen dar, jedoch unterscheidet sich der bei dem Beneslidergerät verwendete starre Führungsbogen vom Prinzip her nicht von diesem. Allerdings wird

nicht die gesamte Kaukraft auf das Implantat übertragen, da die Stärke, der auf das Implantat einwirkenden Kraft, von dem Durchmesser der Verbindung abhängt und diese bei der Kraftübertragung leicht deformiert wird [Gedrange et al., 2001]. Des Weiteren wirken noch von der Zunge aus Kräfte und wegen der Verankerung nach mesial gerichtete Kräfte auf das Implantat ein. Die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß einer durch diese Kräfte verursachten Deformation des Knochens ist bei Kindern mit geringer Kalzifikation und Mineralisation (weicherem Knochen) größer, als bei Jugendlichen und Erwachsenen [Gedrange et al., 2001].

Das Durchschnittsalter des Patientenkollektivs der Studie betrug zum Zeitpunkt des Einsetzens 14,4 Jahre (Gruppe 1: 12,3 Jahre, Gruppe 2: 16,0 Jahre). 43,2 % der Behandelten waren männlichen und 56,8 % weiblichen Geschlechts, womit sich eine im Allgemeinen ausgewogene Patientengruppe ergab. Da das chronologische Alter oft von dem skelettalen abweicht, ist es besser, Handröntgenbilder als Indikator für das Entwicklungsstadium eines Patienten bezüglich des Wachstums und der skelettalen Reife, zu verwenden [Revelo et al., 1994]. Fishman untersuchte in seiner Studie die skelettale Reife und Reifung anhand von Handröntgenaufnahmen bezüglich des Wachstums der Maxilla, Mandibula und des Körperwachstums. Er verglich dabei auch die beiden Geschlechter miteinander. Er stellte fest, dass es große Unterschiede bezüglich des chronologischen Alters zwischen männlichen und weiblichen Patienten und deren Reifestadien gibt. [Fishman, 1982]. Das weibliche Geschlecht zeigte eine frühere Reife und eine größere Wachstumsgeschwindigkeit im Körperwachstum und Wachstum der Maxilla auf, als das männliche. Die Wachstumsgeschwindigkeit der Mandibula hingegen war bei den männlichen Patienten am größten. Weiterhin zeigte er auf, dass der Ober- und Unterkiefer ihre maximale Wachstumsrate später erreichen, als der Körper [Fishman, 1982]. Somit findet das puberale Wachstum des Gesichts etwas später, als das Körperwachstum statt [Nanda, 1955]. Da in dieser Studie jedoch keine Handröntgenbilder von den Patienten zur Auswertung zur Verfügung standen, wird im Folgenden die Kurve der Wachstumsintensität in Abhängigkeit vom Alter für Mädchen und Jungen für den für diese Arbeit interessanten Bereich betrachtet [Segner et al., 1998]. Allgemein hat der puberale Wachstumsschub bei dem weiblichen Geschlecht eine weniger große Ausprägung, als bei dem männlichen. Auch erfolgt dieser ein bis zwei Jahre früher, als bei Jungen, nämlich bei Mädchen im Alter von circa 13 Jahren, bei den letztgenannten hingegen im Alter von 15 Jahren. In der Zeit

des präpuberalen Wachstumsminimums (Mädchen: circa mit 10,5 Jahren, Jungen: mit circa 11 Jahren) beträgt das Wachstum immerhin 40 % - 60 % des Maximums. Nach dem puberalen Wachstumsschub sinkt das Wachstum wieder bis es in dem Alter von circa 17 Jahren für Mädchen und 20 Jahren für Jungen (SMI 11) abgeschlossen ist [Segner et al., 1998]. Das Körperwachstum endet früher, als das Wachstum des Gesichts [Nanda, 1955]. Das suturale Wachstum hingegen ist mit einem Altersdurchschnitt von 17 Jahren (Jungen), also circa zwei Jahre vor dem Körperwachstum und dem kondylären Wachstum beendet. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die individuellen Abweichungen sehr groß sind [Björk, 1966]. Speziell für das suturale Wachstum wurde ein präpuberales Minimum bei elfeinhalb Jahren (Jungen) und ein Wachstumsmaximum bei vierzehn Jahren festgestellt. Diese Angaben entsprechen denen der Kondylen, und sind im Vergleich zu dem Körperwachstum etwas später anzusehen [Björk, 1966].

Obwohl das chronologische Alter zur Bestimmung des Restwachstums eher ungeeignet erscheint, da dieses große Varianzen aufweist, lassen die Informationen darauf schließen, dass ein Restwachstum der Maxilla in dem hier beschriebenen Patientenkollektiv während der Behandlung zu erwarten gewesen ist. Dass der NL-NSL-Winkel sich somit hätte vergrößern oder gleichbleiben müssen, wird durch die Studien von Björk deutlich [Björk, 1955], [Björk, 1966]. Im Groben ist das Wachstum der Maxilla nach vorne und unten gerichtet, mit oder ohne Rotation dieser. Allgemein ist die Senkung und Extension des Oberkiefers durch ein suturales Wachstum und einem zeitgleichen periostalen Wachstum des Alveolarknochens in Höhe, Breite und Länge bedingt [Björk, 1955]. Das Längenwachstum der Maxilla erfolgt sutural auf den palatinalen Knochen zu und wird von einem periostalen Wachstum der Tuber maxillae begleitet. Abgesehen vom Alveolarknochen, findet kein Wachstum der Maxilla anterior statt. Der Nasenboden erfährt eine Senkung durch Resorptionsvorgänge, wohingegen periostale Appositionsvorgänge am harten Gaumen stattfinden. Die Spina nasalis anterior wird ebenfalls durch Resorption und Remodellierung herabgesenkt [Björk, 1966]. Überwiegt beispielsweise die Resorption anterior am Nasenboden, im Vergleich zu posterior, so erfährt das Nasalplanum eine andere Neigung, als vorher. Ist diese Resorption am Nasenboden und Apposition am harten Gaumen jedoch gleichmäßig, so erfolgt eine Absenkung der Maxilla ohne Rotation, bzw. Veränderung des NL-NSL-Winkels [Björk, 1955]. Die Senkung der Maxilla kann durch überwiegendes suturales

Wachstum, oder durch ein vorherrschendes periostales Wachstum und damit einer Zunahme der Höhe des Alveolarknochens bedingt sein. Des Weiteren kann das suturale Wachstum (Absenkung) der Maxilla oder das Absinken des Nasenbodens durch Resorption überwiegen [Björk, 1955].

Implantate sollten nicht vor dem Abschluss des skelettalen Wachstums verwendet werden [Wehrbein, 1994]. Eine Wachstums- und Entwicklungshemmung des Alveolarknochens durch den Einsatz von osseointegrierten Implantaten in diesem Bereich bei einem noch wachsenden Individuum (Schwein) konnte von Sennerby et al. 1993 festgestellt werden [Sennerby et al., 1993]. Zusätzlich verhalten sich diese nicht wie normale Zähne, die während des Wachstums des Alveolarfortsatzes in der Sagittalen und Transversalen verschoben werden, sondern bleiben in ihrer Position stabil [Thilander et al., 1992]. Auch Borsos et al. überprüften, ob Implantate in der Gaumensutur das Wachstum von Heranwachsenden beeinflussen, indem sie die Veränderung der Gesichtssachse überprüften. Sie stellten fest, dass die Behandlung keinen Einfluss auf die Wachstumsrichtung der Patienten hatten [Borsos et al., 2012]. Dieser Winkel beschreibt allerdings nur die Beeinflussung der Mandibula und macht keine Aussage über das Wachstum der Maxilla bzw. dem Nasalplanum. Auch sonst sind in der Literatur keine Messungen des NL-NSLWinkels bei Verwendung von Gaumenimplantaten bzw. Miniimplantaten zu finden.

Gedrange et al. empfehlen für die Insertion von Implantaten in die Gaumensutur ein Alter von 16 Jahren, in dem der Knochen eine gewisse Reife und Festigkeit aufweist und somit einwirkenden Kräften mehr Widerstand leisten kann. Auch kann durch die Verwendung von zwei Implantaten eine Stressverteilung in der palatinalen Sutur erfolgen [Gedrange et al., 2001].

Bereits Wehrbein stellte 1994 fest, dass orthodontische Kräfte den Knochen deformieren können, wobei diese Deformation als adäquater Reiz für remodellierende und modellierene Vorgänge (An- und Abbauvorgänge) im Knochen führen [Wehrbein, 1994]. Hierzu sollen unter anderem Potentialdifferenzen und piezoelektrische Effekte beitragen [Bassett et al., 1964], [Fukada et al., 1957]. Aus den weiter obenstehenden Ausführungen geht jedoch hervor, dass nicht nur orthodontische Kräfte, sondern auch Anteile der Kaukräfte auf den Knochen übertragen werden und diese besonders bei

nicht abgeschlossenem skeletalen Wachstum das weitere Wachstum im Implantatbereich hemmen und zu An- und Abbauvorgängen im Gaumenbereich führen.

Die Tatsache, dass sich der NL-NSL-Winkel leicht verkleinerte, spricht somit für Knochenapposition bzw. weniger Resorption am Nasenboden und Knochenresorption bzw. weniger Knochenapposition im anterioren Gaumenbereich, als posterior.

Ein Vergleich der Veränderung des Winkels NL-NSL zwischen zwei Patientengruppen mit abgeschlossenem und nicht abgeschlossenem skeletalen Wachstum sowie Untersuchungen der Zahnbogenbreiten im Oberkiefer und einer möglichen transversalen Wachstumshemmung wären weitere interessante Ansätze für zukünftige Studien und sind nötig, um eine eindeutige Aussage über den Zusammenhang von Implantaten und der Wachstumshemmung machen zu können.

Jedoch muss auch darauf hingewiesen werden, dass in den oben genannten Studien wesentlich größer dimensionierte und meist osseointegrierte Implantate verwendet wurden. In der Veröffentlichung von Gedrange et al. basieren die Schlussfolgerungen beispielsweise auf Onplants (subperiostale Implantate) mit einem Durchmesser von 3 mm bzw. 5 mm, in Wehrbeins Studien auf Implantaten mit den Maßen 10 mm x 3,75 mm bzw. 4 mm/6 mm x 3,3 mm [Gedrange et al., 2001], [Wehrbein, 1994], [Wehrbein et al., 1996a]. Um jedoch eine sichere Aussage über die Deformation des Knochens, die Weiterleitung von Kräften und die Beeinflussung von Knochenapposition und Resorption durch Miniimplantate machen zu können, werden weitere Studien unter Verwendung von diesen benötigt.

Da es sich bei der Verringerung des NL-NSL-Winkels jedoch um keine signifikante Abnahme handelte, ist ein einfacher Messfehler als Ursache dieser nicht auszuschließen. Um genauere Aussagen diesbezüglich treffen zu können, werden weitere Studien mit Betrachtung dieses Winkels benötigt.

### **Der ML-NL-Winkel:**

Der Interbasiswinkel beschreibt die Neigung der Mandibula relativ zur Oberkieferbasis in der Vertikalen, und somit die Relation der beiden Kiefer zueinander. Sein Mittelwert

liegt bei  $19,8^\circ$  ( $7,1^\circ - 34,3^\circ$ ) [Segner et al., 1998]. Nach Steinhäuser und Janson liegt er bei einem orthognathen Gesicht im Mittel bei  $20,5^\circ \pm 8^\circ$ . Wie bereits bei den anderen beiden Winkeln (NL-NSL, ML-NSL) erwähnt wurde, hängt auch dieser Winkel vom Gesichtstyp ab. Er ist bei harmonisch prognathem Prognathiegrad von Ober- und Unterkiefer in der Regel klein, im Gegensatz dazu, bei einem harmonischen retrognathen Prognathiegrad groß [Steinhäuser et al., 1988]. In dieser Studie wurden für diesen Winkel die Ausgangsmittelwerte von  $22,7^\circ$  für das gesamte Patientenkollektiv, von  $25,1^\circ$  für Gruppe 1 und von  $20,8^\circ$  für Gruppe 2 bestimmt. Die unterschiedlichen Größen des Winkels zwischen den zwei Untergruppen konnten wieder dadurch erklärt werden, dass sich in Gruppe 1 zwölf Patienten des retrognathen Gesichtstyps (75 %) befanden, während in Gruppe 2 lediglich 42,9 % einen retrognathen Prognathiegrad aufwiesen. Somit fiel dieser Winkel in Gruppe 1 kleiner aus, als in Gruppe 2.

Der Winkel nahm während der Behandlung im gesamten Patientenkollektiv (um  $0,62^\circ$ ), in Gruppe 1 (um  $1,04^\circ$ ) und in Gruppe 2 (um  $0,30^\circ$ ) leicht, aber nicht signifikant, zu. In Gruppe 1 war diese Zunahme des Winkels größer, als in Gruppe 2. Jedoch unterschieden sich diese nach Testung nicht. Dieser Unterschied wurde bereits durch die Veränderungen der einzelnen Winkel (ML-NSL, NL-NSL) weiter oben erklärt, wobei seine Veränderung in Gruppe 1 wahrscheinlich durch eine Bisshebung (Durchbruch der zweiten Molaren) mitverursacht wurde. Aufgrund der fehlenden Signifikanz, könnte die Ursache jedoch auch in Messungenauigkeiten liegen.

Der Interbasiswinkel ist jedoch bei der Beurteilung von dentalen Anomalien mit vertikalen skelettalen Abweichungen wichtig, wie beispielsweise bei dem offenen und tiefen Biss [Segner et al., 1998]. Auch hat dieser Winkel bei der Indikationsstellung für das Einsetzen eines Distalisierungsgerätes von Molaren eine große Bedeutung. Bei großen Werten des ML-NL-Winkels sollte die Indikation vorsichtig gestellt werden, da das Distalisieren von Molaren zu einer posterioren Rotation des Unterkiefers führen und eine Bissöffnung zur Folge haben kann [Segner et al., 1998]. Diese Bissöffnung ist einmal durch das Distalisieren, aber auch durch die Kippung der Molaren bedingt [Byloff et al., 1997a]. Es wird angenommen, dass die Distalisierung „into the wedge of the occlusion“ (Keilwirkung) den Biss öffnet und zusammen mit einer posterioren Rotation des Unterkiefers die vertikale Relation vergrößert [Bolla et al., 2002]. Bei

kleinen Werten kann man diesen Effekt nutzen [Segner et al., 1998]. Auch Lai warnte vor einer Distalisation ohne zeitgleiche Intrusion der Molaren bei Patienten mit hyperdivergierender Wachstumsrichtung, da es zu einer Clockwise-Rotation des Unterkiefers kommen kann [Lai, 2000]. Bei dem doliofazialen Gesicht beispielsweise könnte das Distalisieren somit zu einem Problem führen, während im brachiofazialen Gesicht eine durch die Distalisation bedingte anteriore Bissöffnung meist durch das Wachstum von selbst korrigiert wird. Somit stellen hyperdivergierende Basen (z.B.: ein offener Biss) bei einem Patienten eine Kontraindikation für die Distalisierung von Molaren dar [Bowman, 1998]. Bei Patienten mit vertikalem Wachstumstyp sollte deshalb über Behandlungsalternativen, wie die Extraktion, nachgedacht werden [Hilgers, 1992].

Trotz dieser Befürchtung, blieb in vielen Studien, bei denen ein Distalisationsgerät verwendet wurde, die vertikale Relation stabil [Bolla et al., 2002], [Bondemark et al., 1992], [Byloff et al., 1997a], [Joseph et al., 2000]. Dies konnte jedoch auch an einer Intrusion der Molaren, bedingt durch die stabile Fixierung und Führung der Apparatur oder durch die intrusiven Kräfte der Zunge, liegen [Byloff et al., 1997a].

Gelgor et al. konnten in ihrer Studie, mit einer palatinal angebrachten Gleitmechanik, ebenfalls keine Öffnung der Mandibula beobachten. Sie begründeten dies mit einer parallelen und einer relativ nach oben gerichteten Bewegung der Molaren, bedingt durch eine Kräfteapplikation nahe der Widerstandszentren der Molaren und Implantate [Gelgor et al., 2007].

Über das Ausmaß der Intrusion der oberen Molaren während der Behandlung in dieser Studie, konnte jedoch keine Auskunft gegeben werden, da keine dentalen vertikalen Messungen gemacht wurden. Die Möglichkeit einer durch das Gerät bedingten Intrusion der Backenzähne ist jedoch bei dem Beneslider durch Änderung der Angulation des Führungsbogens gegeben, allerdings liegt kein Wissen darüber vor, ob bei den Patienten eine leicht intrusive Angulation eingestellt wurde [Wilmes et al., 2012].

Auch in dieser Studie blieb der ML-NSL-Winkel im gesamten Kollektiv gleich (Zunahme  $0,04^\circ$ ). Nienkemper et al. konnten in ihrer Studie über den Beneslider 2014



ebenso keine Veränderung bezüglich des Winkels ML-NSL und des Overbites finden [Nienkemper et al., 2014].

Im Gegensatz dazu stellten Ghosh und Nanda in ihrer Pendulumstudie eine Clockwise-Rotation des Unterkiefers fest (um  $1,09^\circ$ ), wodurch sich die untere Gesichtshöhe signifikant vergrößerte (um 2,79 mm) und der Overbite zunahm [Ghosh et al., 1996]. Dies führten sie auf eine Distalisation der Molaren „into the wedge“ (Keilwirkung) zurück, da keine Extrusion der Molaren vorlag. Außerdem wiesen sie darauf hin, dass in der Gruppe ihres Kollektivs, mit einem FMA-Winkel (Winkel zwischen der Frankfurter Horizontalen und der Mandibularlinie) von mehr als  $24^\circ$  (Gruppe mit größten Winkel) die untere vordere Gesichtsteilhöhe um mehr als doppelt so viel zunahm, wie in der Gruppe mit einem FMA-Winkel von weniger als  $20^\circ$ . Auch der FMA-Winkel vergrößerte sich in dieser Gruppe mehr [Ghosh et al., 1996].

Fortini et al. untersuchten bei der Verwendung ihres Distalisationsgerätes, der „First Class Appliance“, die Veränderung des ML-NL-Winkels, in Abhängigkeit von dem ML-NSL-Ausgangswinkel [Fortini et al., 2004]. Dazu teilten sie ihre Patientengruppe in drei Subgruppen ein: Die High-Angle-Gruppe ( $ML-NSL > 37^\circ$ ), die neutrale Gruppe ( $27^\circ < ML-NSL < 37^\circ$ ) und die Low-Angle-Gruppe ( $ML-NSL < 27^\circ$ ). In keiner der drei Gruppen verursachte die Distalisierung eine, sich von den anderen Gruppen signifikant unterscheidende Veränderung des ML-NL-Winkels [Fortini et al., 2004].

### **Die vordere untere Gesichtsteilhöhe:**

Die Tatsache jedoch, dass die untere Gesichtsteilhöhe im gesamten Patientenkollektiv (um 3,69 mm), in Gruppe 1 (3,72 mm) und in Gruppe 2 (3,66 mm) signifikant zunahm, obwohl der ML-NSL-Winkel im Kollektiv gleichblieb, ließ eine dentale Bissöffnung, bedingt durch eine Änderung der dentoalveolären Höhe im OK und UK oder der Distalisation vermuten, die durch ein Wachstum der Mandibula verschleiert wurde. Einmal kann dies durch eine anteriore Rotation der Mandibula, also einem horizontalen Wachstumsmuster, geschehen, jedoch kann die Mandibularlinie auch bei einer posterioren Rotation des Unterkiefers in ihrer Neigung nahezu unverändert bleiben. Dies wird durch eine größere Absenkung der Mandibula dorsal als frontal mit einer

begleitenden Resorption am unteren Rand der Angulusregion der Mandibula umgesetzt [Björk, 1955].

Auch trug zu der deutlichen Längenzunahme der unteren Gesichtshöhe die bereits oben beschriebene anteriore Rotation der Maxilla (Verkleinerung des Winkels NL-NSL) bei.

Zusätzlich erfuhren die Patienten während der Behandlung noch ein vertikales Restwachstum, was in der Studie von Björk deutlich wurde. Die vertikale Komponente des mandibulären Kondylenwachstums und die Absenkung der medialen Schädelgrube bestimmen, in wie weit die Mandibula nach unten wächst und somit die untere Gesichtsteilhöhe [Björk, 1955].

Auch kann eine Kippung der Molaren zu einer Vergrößerung der unteren Gesichtsteilhöhe beitragen [Bolla et al., 2002]. Kippungen konnten in dieser Studie nur bei dem zweiten Prämolaren ( $6,5^\circ$ ) und bei dem zweiten Molaren ( $2,01^\circ$ ) festgestellt werden, wohingegen der erste Molar durch die stabile Führung des Gerätes eine reine Translation erfuhr. Diese gemessenen Kippungen stellen eine weitere Erklärung für die Vergrößerung der unteren Gesichtsteilhöhe dar.

Pancherz stellte in seiner Studie, über das Herbst-Scharnier, 1979 ebenfalls keine Veränderung der Inklination der Mandibula in Kombination mit einer Zunahme der unteren Gesichtsteilhöhe um 1,8 mm fest [Pancherz, 1979]. Er erklärte diese Vergrößerung dadurch, dass sich die Molaren außer Okklusion befanden und nur die Inzisiven Kontakt hatten. Das posteriore Segment hatte somit zusammen mit den Zähnen die Möglichkeit frei in vertikaler Richtung zu wachsen. Dieser Ansatz, die anteriore Höhenzunahme zu erklären, konnte für diese Studie jedoch weniger verwendet werden, da sich die Zähne während der Behandlung in normaler Okklusion befanden. Die Behandlungszeit betrug in seiner Arbeit sechs Monate, welche somit sehr viel kürzer, als die in dieser Arbeit (19,4 Monate) war. Die größere Zunahme in dieser Studie (3,69 mm) kann somit durch die längere Einwirkdauer des Gerätes sowie des natürlichen Wachstums erklärt werden. Auch änderte sich in Pancherz Studie die Inklination der Maxilla nicht, welche in dieser um  $0,59^\circ$  zunahm und somit auch zu diesem großen Wert beitrug.

Ob und wie weit eine durch die Distalisation bedingte Bissöffnung wirklich verantwortlich für diese Zunahme war, kann in dieser Studie jedoch nicht belegt werden, da bei den Patienten noch ein restliches Wachstum vorhanden war.

#### **Die vordere mittlere Gesichtsteilhöhe:**

Die mittlere Gesichtsteilhöhe erfuhr ebenfalls eine Zunahme im gesamten Kollektiv (um 1,47 mm), in Gruppe 1 (um 1,52 mm) und in Gruppe 2 (1,44 mm). Das Signifikanzniveau wurde dabei im Kollektiv und in Gruppe 2 erreicht, in Gruppe 1 hingegen, aufgrund der geringen Patientenzahl, nicht. Die Zunahmen unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Vergrößerung der mittleren Gesichtsteilhöhe war wegen der Verringerung des NL-NSL-Winkels zwar deutlich geringer, als die der unteren Gesichtsteilhöhe, jedoch war sie trotzdem von statistischer Relevanz. Dies konnte nur durch das Wachstum erklärt werden. Das Wachstum des oberen Gesichtsanteils findet in der kindlichen Phase (bis zum vorpuberalen Minimum) hauptsächlich in der Sagittalen statt, während es in der jugendlichen Phase in ein vertikales Wachstum übergeht [Björk, 1966]. Somit erfuhr das Patientenkollektiv während der Behandlungsphase (im Zeitraum zwischen dem ersten und zweiten FRS) eine Veränderung der Gesichtsproportionen. Durch die suturale Absenkung der Maxilla nimmt die Höhe des Processus frontalis maxillae zu, was an der nasofrontalen Suture deutlich wird [Björk, 1955]. Allgemein findet das Höhenwachstum an den Suturen des Processus frontalis und Processus zygomaticus sowie durch periostale Knochenapposition am Alveolarkamm statt [Björk, 1966].

Pancherz stellte in einer Studie, in der 10 Jungen, die das puberale Wachstumsmaximum noch nicht erreicht hatten, und über sechs Monate ein Herbst-Scharnier trugen und in der 10 weitere Jungen als Vergleichsgruppe dienten, eine Zunahme der oberen Gesichtsteilhöhe von 0,8 mm in beiden Gruppen fest [Pancherz, 1979]. Die Inklinationwinkel von Maxilla und Mandibula blieben unverändert. Somit waren die 0,8 mm ausschließlich wachstumsbedingt. In dieser Arbeit betrug die durchschnittliche Tragedauer des Gerätes 19,4 Monate. Geht man von einem ähnlichen Wachstum aus, wie in Pancherzs Studie, müsste die obere Gesichtsteilhöhe um 2,57 mm zugenommen haben. Der tatsächliche Messwert im gesamten Patientenkollektiv betrug allerdings nur 1,47 mm. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der NL-NSL-Winkel um  $0,59^\circ$  abnahm und die Patienten ein Durchschnittsalter von

14,4 Jahren aufwiesen, und somit noch nicht alle Patienten das puberale Wachstumsmaximum erreicht hatten.

Eindeutig war jedoch, dass das Gerät in dieser Studie keine posteriore Rotation der Mandibula verursachte (ML-NSL unverändert im gesamten Kollektiv). Eine Tendenz zu einer anterioren Wachstumsrichtung der Maxilla war jedoch festzustellen, allerdings ohne Signifikanz. Eine Vergrößerung der vorderen Gesichtsteilhöhen musste somit dentaler Natur und wachstumsbedingt sein. Für eine aussagekräftige Studie bezüglich des Zusammenhangs der Wirkung des Gerätes und einer anterioren Bissöffnung bzw. skelettaler Veränderungen wird ein Patientenkollektiv ohne vorhandenes Restwachstum sowie eine Einheitlichkeit in der vertikalen Relation, bzw. der Wachstumsrichtung benötigt. Auch wäre ein Vergleich zwischen den vertikalen Gruppen (O-/N-/T-Typ) diesbezüglich interessant.

Der nicht unbedeutende Messfehler bei linearen Messungen bei einem Fokus-Film-Abstand von 1,5 m, wurde durch die Eichung jedes einzelnen Fernröntgenseitenbildes versucht auszuschalten. Ob dieser Eichvorgang jedoch fehlerfrei reproduzierbar war, ist fraglich. Auch eine geringe Abweichung bei der Kopfhaltung der Patienten spielt bei der Bestimmung des Punktes Gnathion eine große Rolle. Oft erwies sich die Bestimmung dieses Referenzpunktes auch als äußerst schwierig, da es im Bereich der Symphyse oft zu Doppelkonturen kam. Lineare Messungen beinhalten also eine hohe Fehlerquote, weshalb es besser ist Winkel- und Verhältnismessungen für die Auswertung eines Fernröntgenseitenbildes heranzuziehen [Steinhäuser et al., 1988]. Deshalb wurde in dieser Studie aus der mittleren und unteren Gesichtsteilhöhe der Index ermittelt.

#### 6.2.2 Bewertung der Veränderungen der Indices und diskreten Merkmale: der O-/N-/T-Typ und die Untergruppen

Der Index sank im gesamten Patientenkollektiv signifikant von 87,4 % auf 84,7 %. In Gruppe 1 nahm er von einem Ausgangswert von 83,7 % auf 81,6 % ab. In Gruppe 2 von 90,1 % auf 87,2 %. Alle Abnahmen erreichten das Signifikanzniveau. Diese Verringerungen der Indices konnten durch die oben beschriebenen Veränderungen

der Gesichtsteilhöhen erklärt werden. Um eine genauere Aussage über den vertikalen Aufbau (vertikale Interbasenrelation) der Patienten vor und nach der Behandlung machen zu können, wurden die Indices ihrer Größe nach dem vertikalen Charakter zugeordnet (O-/N-/T-Typ).

Bei einem kleinen Index (Index < 71%) spricht man von einem O-Typ, der offenen Kieferbasenrelation. Ist die untere Gesichtshöhe jedoch kleiner, als die mittlere (Index > 89%), liegt eine Konfiguration des T-Typs (tiefe Konfiguration) vor. Ist das Verhältnis von Mittel- und Untergesichtshöhe in etwa gleich (Index liegt zwischen den Grenzen), handelt es sich um eine basal neutrale Konfiguration, dem N-Typ [Segner et al., 1998]. 22 Patienten zeigten bei der Bestimmung der vertikalen Interbasenrelation einen neutralen und 14 Patienten einen tiefen vertikalen Charakter. Ein Patient wies eine offene Konfiguration auf.

Von den 37 untersuchten Patienten wurde bei 31 diese vertikale Relation nicht verändert. Bei fünf Patienten veränderte sich der tiefe vertikale Charakter zu einem normalen (T-Typ → N-Typ), wohingegen ein Patient vor der Behandlung einen N-Typ und nach dieser einen T-Typ aufwies (N-Typ → T-Typ). Diese Veränderungen im gesamten Kollektiv wurden als nicht signifikant getestet (Marginal Homogeneity Test:  $p=0,1025$ ).

Diese vertikalen Typen wurden in die Untergruppen 1, 2, 3 unterteilt. In Untergruppe 1 ist der ML-NL-Winkel groß und dieser Fall wird auch als „high-angle“ bezeichnet, in Untergruppe 3 ist der ML-NL-Winkel klein, in der Gruppe 2, die harmonisch skelettale Kombination, liegt er mit seinem Wert dazwischen (ausgewogener ML-NL-Winkel).

Von den insgesamt 37 Patienten veränderten sich 28 Patienten bezüglich ihrer Untergruppe nicht. Bei sechs fand ein Wechsel von Untergruppe 2 auf Untergruppe 1 (2 → 1) statt, bei einem von der Untergruppe 3 auf 2 (3 → 2). Dies konnte durch einen in der Mehrheit zunehmenden ML-NL-Winkel (Durchschnitt.  $0,62^\circ$  im gesamten Kollektiv) erklärt werden. Bei einem Patienten wechselte die Untergruppe von einem großen ML-NL-Winkel, auf einen harmonischen skelettalen (1 → 2). Dieser Patient (12,8 Jahre alt) wies mit einem Kieferbasiswinkel von  $117,0^\circ$  auch ein ausgeprägtes horizontales Wachstumsmuster auf, was an einer Inklinationsabnahme der Mandibula von  $1,7^\circ$  zu sehen war. Die Maxilla erfuhr zusätzlich eine posteriore Rotation von  $3,7^\circ$ .

Aufgrund der hypodivergierenden Basen, sank der ML-NL-Winkel um  $5,4^\circ$  (T1 → T2). Weiterhin veränderte ein anderer Patient (15,8 Jahre) ebenso seinen basalen Trend bezüglich der Untergruppen (T2 → N3). Der Inklinationswinkel der Mandibula sank bei diesem um  $1,7^\circ$ , während der der Maxilla um  $1,4^\circ$  stieg. Der Kieferwinkel von  $112,4^\circ$  sprach ebenfalls für ein horizontales Wachstumsmuster. Somit nahm der ML-NL-Winkel, aufgrund der hypodivergierenden Basen, um  $3,1^\circ$  ab. Die Veränderung des vertikalen Charakters des Patienten (T → N) wird weiter unten erklärt.

Allgemein änderten sich die Untergruppen bei statistischer Testung (Marginal Homogeneity Test) nicht signifikant ( $p=0,1677$ ).

Werden der Gesichtsinde und der Interbasiswinkel gemeinsam betrachtet, nennt man dies den basalen Trend und es lässt sich auf die Gesichtstiefe mit posteriorer unterer Gesichtshöhe schließen [Steinhäuser et al., 1988].

Eine Übersicht bezüglich der Änderungen des basalen Trends gibt die folgende Tabelle.

Tabelle 23: Änderungen innerhalb des basalen Trends

Basaler Trend	Anzahl Zeitpunkt T1	Anzahl Zeitpunkt T2
N1	5	11
N2	15	12
N3	2	3
T1	2	1
T2	8	6
T3	4	3
O1	1	1

Die Fälle mit abgeändertem vertikalen Charakter werden im Folgenden nun genauer betrachtet.

### **N-Typ → T-Typ:**

Bei diesem männlichen Patienten (11,4 Jahre beim Einsetzen) nahm der Index von  $86,7\%$  auf  $89,4\%$  zu, womit der Index nach der Behandlung nur sehr knapp dem T-Typ ( $> 89\%$ ) zuzuordnen war (N2 → T2). Der Winkel NL-NSL vergrößerte sich um  $0,9^\circ$ , wohingegen sich der ML-NSL um  $0,4^\circ$  verkleinerte. Das Wachstum des Nasalplanums bzw. der Maxilla wurde bei diesem Patientenfall folglich nicht

umgekehrt. Darüber, ob und wie weit es jedoch beeinflusst wurde, kann keine Aussage gemacht werden. Somit erfuhr die mittlere Gesichtsteilhöhe eine größere Zunahme, als die untere. Insgesamt nahm der ML-NL-Winkel um  $1,3^\circ$  ab, die Untergruppe 2 blieb jedoch unverändert.

### **T-Typ → N-Typ:**

#### **1. Fall:**

**T2 → N2:** Der GesichtsindeX der weiblichen Patientin (12,3 Jahre alt) nahm von 92,5 % auf 88,7 % ab. Der ML-NSL-Winkel nahm um  $2,9^\circ$  zu, wohingegen der NL-NSL-Winkel um  $0,5^\circ$  größer wurde. Somit war die Zunahme an Länge bei der unteren Gesichtsteilhöhe größer, als die der mittleren und der ML-NL-Winkel nahm um  $2,4^\circ$  zu. Der Kieferwinkel von  $119,2^\circ$  ließ auf eine eher anteriore Rotation der Mandibula schließen, weshalb die hier gemessene posteriore Rotation, eventuell auf die Distalisation der Molaren zurückgeführt werden könnte.

#### **2. Fall:**

**T2 → N1:** Der Index nahm bei der weiblichen Patientin (10,7 Jahre) 92,0 % auf 87,5 % ab. Der Inklinationswinkel der Mandibula nahm um  $0,5^\circ$  ab, während der der Maxilla um  $3,6^\circ$  abnahm. Das Wachstum des harten Gaumens, nämlich nach unten, wurde bei der sehr jungen Patientin wahrscheinlich in Richtung nach oben beeinflusst. Somit stieg der ML-NL-Winkel um  $3,0^\circ$ , wodurch sich eine Veränderung in der Untergruppe von 2 auf 1 ergab. Die untere Gesichtsteilhöhe nahm durch die anteriore Rotation der Maxilla mehr zu, als die mittlere. Der Kieferwinkel betrug  $121,3^\circ$  und ließ damit auf ein neutrales Wachstum schließen. Es fand folglich keine Bissöffnung durch eine posteriore Rotation der Mandibula statt.

#### **3. Fall:**

**T2 → N1:** Bei dem 15,5 Jahre alten männlichen Patienten erfolgte eine Abnahme des Index von 94,6 % auf 86,8 %. Der gemessene ML-NSL-Winkel nahm um  $2,0^\circ$  ab, wohingegen der NL-NSL-Winkel um  $3,5^\circ$  kleiner wurde, womit der ML-NL-Winkel eine Vergrößerung von  $1,5^\circ$  erfuhr, wodurch sich eine Veränderung in der Untergruppe von 2 auf 1 ergab. Damit nahm die untere Gesichtsteilhöhe um 3,5 mm zu, während die mittlere nach der Behandlung sogar kleiner, als vor der Behandlung gemessen wurde. Der Einfluss des Gerätes auf die Wachstumsrichtung der Maxilla (während des

puberalen Wachstums) wurde auch hier deutlich. Der Kieferwinkel betrug  $121,5^\circ$  und ließ damit auf ein neutrales Wachstum schließen. Es fand auch hier keine Bissöffnung durch eine Clockwise-Rotation der Mandibula statt.

#### **4.Fall:**

**T3 → N3:** Der 14,4 Jahre alte männliche Patient hatte einen Anfangsindex von 95,5 %, der auf einen von 87,5 % sank. Der Messwert des ML-NSL-Winkels betrug zu Beginn der Behandlung  $26,4^\circ$  und nahm auf  $23,0^\circ$  (um  $3,4^\circ$ ) ab. Der Kieferwinkel betrug lediglich  $113,8^\circ$  (T1) und ließ auf eine anteriore Wachstumsrichtung des Unterkiefers schließen. Der NL-NSL-Winkel nahm um lediglich  $1,2^\circ$  ab. Trotz dieser Veränderungen der Winkel wurde eine Vergrößerung der unteren Gesichtshöhe von 9,7 mm gemessen. Dieser Messwert erschien sehr unrealistisch und ist wahrscheinlich auf einen Messfehler, bedingt durch eine ausgeprägte Doppelkontur zum Zeitpunkt T2 an der Symphyse, zurückzuführen.

#### **5.Fall:**

**T2 → N3:** Bei dem männlichen Patienten (15,8 Jahre alt) nahm der Gesichtsinde von 96,8 % auf 88,2 % ab. Der Inklinationswinkel der Mandibula verkleinerte sich von  $25,9^\circ$  auf  $24,2^\circ$  (um  $1,7^\circ$ ), wohingegen sich der der Maxilla um  $1,4^\circ$  vergrößerte. Somit sank der ML-NL-Winkel um  $3,1^\circ$ , wodurch sich die Untergruppe von 2 auf 3 änderte. Der Kieferwinkel betrug zum Zeitpunkt T1  $112,4^\circ$ , was ein horizontales Wachstumsmuster bestätigte. Die Tatsache, dass eine Zunahme der unteren Gesichtshöhe von 10,0 mm gemessen wurde, obwohl die Mandibula nach anterior rotierte, ließ auf einen Messfehler, bedingt durch eine Doppelkontur im Bereich der Symphyse zum Zeitpunkt T1 und T2, schließen.

Dieser basale Trend spielt in der kieferorthopädischen Therapie und Prognostik eine große Rolle. Steinhäuser et al. berichten beispielsweise, dass bei den O1(mand.) und T1(mand.) große Probleme bei Behandlungsmaßnahmen (Entscheidung Ex-Fall oder Non-Ex-Fall), sowie deren Stabilität danach, auftreten können [Steinhäuser et al., 1988].



Da eine offene vertikale Kieferbasenrelation normalerweise eine Kontraindikation für das Einsetzen eines Distalisierungsgerätes darstellt, soll nun dieser Patientenfall genauer betrachtet werden [Bowman, 1998].

### **O1 → O1:**

Der zum Beginn der Behandlung 13 Jahre alte männliche Patient hatte einen Ausgangsindex von 68,2 %, der auf einen Index von 66,3 % nach der Behandlung sank. Der ML-NSL-Winkel vergrößerte sich um 3,9°, der NL-NSL-Winkel verkleinerte sich um 2,5°, womit der ML-NL-Winkel um 6,4° zunahm. Die vordere untere Gesichtsteilhöhe nahm somit stärker zu, als die vordere mittlere. In diesem Fall wurde deutlich, dass eine Distalisation der oberen Molaren zu einer weiteren Bissöffnung (6,3°) führen kann. Die Untergruppe 1 änderte sich nicht, da der Winkel ML-NL aufgrund der hyperdivergierenden Basen nach der Behandlung noch größer war, als zuvor. Vergleicht man die Zunahme des Winkels ML-NSL mit dem unveränderten Winkel im Patientenkollektiv, fiel auf, dass bei diesem Fall die Zunahme des Winkels, bzw. die posteriore Rotation der Mandibula sehr ausgeprägt war. Zum einen ist dies durch die vertikale Wachstumsrichtung verursacht, zum anderen kann dazu auch die Distalisation beigetragen haben (Keilwirkung). Der Ausgangswert des Kieferwinkels (Normwert: 121,8°) von 128,4° sprach für eine neutrale bis vertikale Wachstumsrichtung. Die vordere untere Gesichtsteilhöhe nahm um 8,9 mm zu, also um mehr als doppelt so viel, wie im Durchschnitt im Patientenkollektiv (3,69 mm). Ghosh et al. fanden ähnliche Ergebnisse bei einer Studie, in der sie ihr Kollektiv, je nach Größe des FMA-Winkels, in Gruppen einteilten. Sie stellten fest, dass in der Gruppe ihres Kollektivs, mit den größten FMA-Winkeln, die untere vordere Gesichtsteilhöhe um mehr als doppelt so viel zunahm, als in der Gruppe mit den kleinsten FMA-Winkeln. Auch der FMA-Winkel vergrößerte sich mehr in dieser Gruppe [Ghosh et al., 1996]. Im Gegensatz dazu beobachteten Bussick und Mc Namara sowie Bolla et al. in ihren Studien keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Zunahme der unteren Gesichtshöhe unter den drei eingeteilten Subgruppen des Kollektivs (eingeteilt nach Größe des FMA-Winkels) [Bolla et al., 2002], [Bussick et al., 2000].

Wie viel nun eine Bissöffnung durch die Molarendistalisation zu der Vergrößerung der anterioren Gesichtshöhe bzw. der Rotation der Maxilla beiträgt, oder ob eine stark ausgeprägte vertikale Wachstumsrichtung in einem vorpuberalen Alter alleine dafür

verantwortlich ist, kann in dieser Studie nicht beantwortet werden. Betrachtet man die Gesichtstiefe von solchen extremen Fällen (O1), fällt auf, dass es nach posterior gar keinen Platz gibt, Zähne zu distalisieren. Eine Verschlimmerung des offenen Bisses war eindeutig zu beobachten, weshalb in solchen Fällen über eine Extraktionstherapie und Behandlungsalternativen nachgedacht werden sollte [Hilgers, 1992].

Ebenso soll im Folgenden auf die schwierigen **T1-Fälle** eingegangen werden. Zu Beginn der Behandlung wurde bei zwei Patienten eine T1-Konstellation festgestellt:

Der erste Patient (männlich, 12,8 Jahre (T1)) wurde bereits bei den Veränderungen der Untergruppen erwähnt (**T1 → T2**). Das horizontale Wachstumsmuster (Kieferwinkel T1:  $117,0^\circ$ ) des Patienten ließ die Inklinationsabnahme des Unterkiefers um  $1,7^\circ$  erklären. Die Maxilla erfuhr eine posteriore Rotation von  $3,7^\circ$ . Aufgrund der hypodivergierenden Basen, sank der ML-NL-Winkel somit um  $5,4^\circ$  (T1 → T2). Es war somit keine Bissöffnung zu beobachten. Auch der Index stieg von 94,1 % auf 99,2 %, da die mittlere Gesichtshöhe mehr zunahm, als die untere. Der Tiefbiss verschlechterte sich somit weiter wachstumsbedingt. Die Distalisation wirkte dem also nicht entgegen. Eine Vergrößerung bezüglich der Gesichtstiefe konnte jedoch erreicht werden.

Der zweite Patient (männlich, 14,6 Jahre (T1)) mit einem basalen Trend von T1 zu Beginn der Behandlung behielt diesen während der Behandlung bei (**T1 → T1**). Die Inklinationen der Mandibula und der Maxilla blieben auch weitestgehend unverändert. Der ML-NSL-Winkel erfuhr eine leichte Zunahme von  $0,9^\circ$ , der NL-NSL-Winkel eine von  $0,2^\circ$ , womit sich der Interbasiswinkel lediglich um  $0,7^\circ$  vergrößerte. Der Kieferbasiswinkel von  $129,8^\circ$  zeigte eine eher neutrale bis vertikale Wachstumstendenz auf. Auch der Gesichtsindeks veränderte sich kaum, er nahm nämlich von 91,5 % auf 90,8 % ab. Diese geringe Abnahme zeigte eine Tendenz zur Verbesserung der vertikalen Situation. Der Tiefbiss verschlimmerte sich nicht und die Gesichtstiefe blieb bei diesem Patienten gleich.

Bei Betrachtung dieser T1-Fälle (Extremfälle) fiel auf, dass das Distalisierungsgerät fast keinen Einfluss auf die Wachstumsrichtung hatte. Ein positiver Nutzen durch eine

durch die Distalisation verursachte posteriore Rotation der Mandibula konnte hier nicht festgestellt werden.

### 6.2.3 Bewertung der Distalisationsstrecken

#### 6.2.3.1 *Bewertung der Distalisationsstrecken des zweiten Prämolaren*

Die durchschnittliche Distalisation des Widerstandszentrums des zweiten Prämolaren betrug in dieser Studie  $2,51 \text{ mm} \pm 1,81 \text{ mm}$ . Die Mittelwerte in den Gruppen wiesen keine signifikanten Unterschiede auf und betrugen in Gruppe 1  $3,55 \text{ mm} \pm 1,44 \text{ mm}$  sowie in Gruppe 2  $2,26 \text{ mm} \pm 1,83 \text{ mm}$  (siehe Tabelle 24). Die Werte des Zentroidpunktes machten im gesamten Kollektiv  $3,35 \text{ mm} \pm 1,83 \text{ mm}$ , in Gruppe 1  $3,95 \text{ mm} \pm 2,10 \text{ mm}$  und in Gruppe 2  $3,20 \text{ mm} \pm 1,79 \text{ mm}$  aus. Hierbei fiel auf, dass der Zentroidpunkt weiter distalisiert wurde als das Widerstandszentrum des Prämolaren, was eine Distalkippung der zweiten Prämolaren aufzeigte. Dies wird deutlicher, wenn man Tabelle 24 betrachtet, die eine Zunahme der Strecken von der Wurzel zur Krone hin demonstriert. Auch die Veränderung des Winkel ZA5-NL verdeutlichte die Kippung des Zahnes nach distal (siehe 6.2.4).

Der zweite Prämolare wurde also im gesamten Patientenkollektiv hochsignifikant, zunächst durch die Dehnung der interdentalen Fasern und anschließend auch durch die En-Masse-Retraktion nach distal bewegt (Tabelle 25) [Cornelis et al., 2007a]. In Gruppe 2 wurde das Signifikanzniveau von 0,01 ebenfalls für nahezu alle Referenzpunkte erreicht, wohingegen die Distalisationsstrecken in Gruppe 1, aufgrund der geringen Patientenzahl, nur als signifikant bzw. als nicht signifikant beurteilt werden konnten (Tabelle 26). Allgemein ließ sich feststellen, dass die Distalbewegungen der Widerstandszentren der zweiten Prämolaren, welche einer körperlichen Distalisation entsprechen, geringer waren, als die der Sechsjahresmolaren [Nienkemper et al., 2014]. Dies erscheint nur als logisch, denn die applizierte Kraft konnte am Fünfer nur indirekt durch die transseptalen Fasern wirken, wohingegen der Sechser durch ein Molarenband direkt umfasst war. Auch dauert es circa drei Monate, bis eine Bewegung des zweiten Prämolaren zu sehen ist,

da die transseptalen Fasern zwischen dem Molaren und Prämolaren erst einmal gedehnt werden müssen [Wilmes et al., 2010]. Cornelis et al. stellten in ihrer Studie eine spontane Distalwanderung der Prämolaren in 84,4% der Fälle fest, 100% wurden dabei nicht erreicht, denn bei Patienten mit strenger Verzahnung, oder okklusalen Störkontakten mit Zähnen des Unterkiefers, kann diese Verlagerung eingeschränkt sein [Cornelis et al., 2007a]. Diese spontane Wanderung der Prämolaren und ebenso der Eckzähne, führen zu einer Verkürzung der Behandlungszeit nach der Distalisation der Molaren, nämlich in der Phase der Distalisierung des anterioren Segments [Cornelis et al., 2007a].

Auch wenn ein Vergleich mit anderen Studien bezüglich des zweite Prämolaren aufgrund der Vollbebänderung nicht sehr aussagekräftig ist, sollen an dieser Stelle einige Studien genannt werden.

Cornelis et al. konnten eine durchschnittliche spontane Verlagerung des Fünfers von  $1,4 \text{ mm} \pm 1,2 \text{ mm}$  an einem Modell messen [Cornelis et al., 2007a]. Kinzinger et al. beobachteten eine Verlagerung von  $1,87 \text{ mm} \pm 0,74 \text{ mm}$  mit einer Kippung nach distal von  $3,00^\circ \pm 2,69^\circ$  [Kinzinger et al., 2009]. Auch Kircelli et al, Longerich et al. und Wilmes et al. beobachteten eine Distalwanderung der zweiten Prämolaren und der anderen Zähne, ohne eine Mechanik angewendet zu haben [Kircelli et al., 2006], [Longerich et al., 2014], [Wilmes et al., 2010].

Es wurde deutlich, dass die Messwerte dieser Arbeit größer ausfielen, als die der genannten Studien, was auf den Einsatz einer Multibandapparatur zurückgeführt werden kann, was aber auch an den unterschiedlichen Messmethoden liegen kann.

Tabelle 24: Vergleich der Distalisationsstrecken für den Prämolaren (PtV: Pterygoidvertikale; Diff.A5-PtV.mm: Distalisationsstrecke der Zahnwurzel in mm; Diff.WZ5-PtV.mm: Distalisationsstrecke des Widerstandszentrums des Zahnes; Diff.SZG5-PtV.mm: Distalisationsstrecke der Schmelz-Zement-Grenze, Diff.Z5-PtV.mm: Distalisationsstrecke des Zentroidpunktes; Diff.kP5-PtV.mm: Distalisationsstrecke des koronalen Punktes; Diff.dP5-PtV.mm: Distalisationsstrecke des distalsten Punktes; Diff.ZA5-NL.°: Winkelveränderung zwischen der Zahnachse des 5ers und dem Nasalplanum)

	Alle	Gruppe 1	Gruppe 2	P-Wert
Diff.A5-PtV.mm	1.53 (1.97)	2.14 (1.36)	1.38 (2.10)	0.6255
Diff.WZ5-PtV.mm	2.51 (1.81)	3.55 (1.44)	2.26 (1.83)	0.1312
Diff.SZG5-PtV.mm	3.00 (1.80)	3.77 (1.89)	2.81 (1.77)	0.3448
Diff.Z5-PtV.mm	3.35 (1.83)	3.95 (2.10)	3.20 (1.79)	0.4943
Diff.kP5-PtV.mm	3.58 (1.86)	4.05 (2.15)	3.47 (1.82)	0.6013
Diff.dP5-PtV.mm	3.29 (1.49)	3.75 (1.63)	3.18 (1.48)	0.5046
Diff.ZA5-NL	6.50 (5.09)	4.13 (6.60)	7.07 (4.68)	0.3906

Tabelle 25: Distalisationsstrecken des Prämolaren im gesamten Kollektiv (PtV: Pterygoidvertikale; A5-PtV.mm: Abstand der Zahnwurzel zur PtV in mm; WZ5-PtV.mm: Abstand des Widerstandszentrums des Zahnes zur PtV; SZG5-PtV.mm: Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zur PtV, Z5-PtV.mm: Abstand des Zentroidpunktes zur PtV; kP5-PtV.mm: Abstand koronaler Punkt zur PtV; dP5-PtV.mm: Abstand distalster Punkt der Zahnkrone zur PtV; ZA5-NL.°: Winkel zwischen der Zahnachse des 5ers und dem Nasalplanum; T1: Zeitpunkt vor dem Einsetzen; T2: Zeitpunkt nach dem Behandlungsende)

Patientenkollektiv	T1	T2	Differenz	P-Wert
A5-PtV.mm	31.7 (5.34)	30.3 (5.51)	1.53 (1.97)	<0.0001
WZ5-PtV.mm	31.2 (5.25)	28.8 (5.31)	2.51 (1.81)	<0.0001
SZG5-PtV.mm	30.9 (5.26)	28.0 (5.35)	3.00 (1.80)	<0.0001
Z5-PtV.mm	30.6 (5.32)	27.4 (5.31)	3.35 (1.83)	<0.0001
kP5-PtV.mm	30.4 (5.39)	26.9 (5.30)	3.58 (1.86)	<0.0001
dP5-PtV.mm	27.4 (5.17)	24.2 (5.07)	3.29 (1.49)	<0.0001
ZA5-NL	85.7 (6.31)	79.1 (5.59)	6.50 (5.09)	<0.0001

Tabelle 26: Distalisationsstrecken des Prämolaren in Gruppe 1

Gruppe 1	T1	T2	Differenz	P-Wert
A5-PtV.mm	28.4 (3.38)	27.7 (4.94)	2.14 (1.36)	0.009
WZ5-PtV.mm	27.6 (3.93)	25.7 (4.56)	3.55 (1.44)	0.010
SZG5-PtV.mm	27.0 (4.19)	24.9 (4.57)	3.77 (1.89)	0.019
Z5-PtV.mm	26.6 (4.38)	24.2 (4.63)	3.95 (2.10)	0.062
kP5-PtV.mm	26.1 (4.45)	23.6 (4.66)	4.05 (2.15)	0.020
dP5-PtV.mm	23.6 (4.25)	21.1 (4.35)	3.75 (1.63)	0.011
ZA5-NL	81.8 (3.57)	77.5 (2.48)	4.13 (6.60)	0.169

Tabelle 27: Distalisationsstrecken des Prämolaren in Gruppe 2

Gruppe 2	T1	T2	Differenz	P-Wert
A5-PtV.mm	32.5 (5.48)	31.0 (5.55)	1.38 (2.10)	0.003
WZ5-PtV.mm	32.0 (5.24)	29.7 (5.27)	2.26 (1.83)	<0.0001
SZG5-PtV.mm	31.8 (5.14)	28.9 (5.30)	2.81 (1.77)	<0.0001
Z5-PtV.mm	31.6 (5.13)	28.3 (5.23)	3.20 (1.79)	<0.0001
kP5-PtV.mm	31.5 (5.16)	27.9 (5.18)	3.47 (1.82)	<0.0001
dP5-PtV.mm	28.3 (5.02)	25.1 (4.99)	3.18 (1.48)	<0.0001
ZA5-NL	86.6 (6.53)	79.5 (6.18)	7.07 (4.68)	<0.0001

### 6.2.3.2 Bewertung der Distalisationsstrecken des ersten Molaren

Die Verlagerung des Widerstandszentrums entspricht einer körperlichen Distalisation, wohingegen koronale Referenzpunkte zur Messung der Distalisation zu einer Überbewertung der Zahnbewegung führen [Nienkemper et al., 2014]. Die durchschnittliche Distalisation des Widerstandszentrums bzw. der Trifurkation des ersten Molaren betrug in dieser Studie  $3,49 \text{ mm} \pm 1,10 \text{ mm}$ . Die Mittelwerte in den Gruppen wiesen keine signifikanten Unterschiede auf und betrugen in Gruppe 1  $3,67$

mm  $\pm$  1,30 mm sowie in Gruppe 2 3,36 mm  $\pm$  0,93 mm. Werden diese Werte mit denen des Zentroidpunktes des ersten Molaren (Allg.: 3,60 mm  $\pm$  1,27 mm, Gruppe 1: 3,67 mm  $\pm$  1,55 mm, Gruppe 2: 3,55 mm  $\pm$  1,04 mm) verglichen, so ergaben sich nahezu keine Unterschiede, was für eine translatorische Zahnbewegung spricht. Auch bei Betrachtung der anderen Distalisationsstrecken, die sich durch weitere Referenzpunkte entlang der Zahnachse ergaben, ließen sich keine großen Abweichungen feststellen.

Alle dentalen Referenzpunkte des Sechlers wurden hochsignifikant distalisiert. Die Sechsjahresmolaren wurden also effektiv und rein körperlich (Kippung:  $0,73^\circ \pm 5,04^\circ$ ) distalisiert. Genaueres zu der Zahnbewegung und der Kippung folgt unter dem Punkt 6.2.4.

Der Vergleich der Distalisationsstrecken mit anderen Studien muss kritisch gesehen werden, da unterschiedliche Referenzpunkte zu unterschiedlichen linearen Ergebnissen und somit zu einem erschwerten Vergleich untereinander führen [Byloff et al., 1997a]. Da in dieser Studie die Messmethode von Nienkemper et al. als Vorbild genutzt wurde, ist ein Vergleich mit dieser sehr aussagekräftig [Nienkemper et al., 2014]. In der Benesliderstudie von Nienkemper et al. wurde eine durchschnittliche Distalisation der ersten Molaren von 3,6 mm  $\pm$  1,9 mm (Kippung  $1,5^\circ \pm 6,7^\circ$ ) beobachtet [Nienkemper et al., 2014]. Die durchschnittliche Verlagerung des Widerstandszentrums entsprach in etwa derer dieser Studie. Für die Gruppe vor Durchbruch des zweiten Molaren ergab sich ein Wert von 3,6 mm  $\pm$  1,4 mm, welcher ziemlich exakt dem in dieser Arbeit gemessenen Wert gleicht. Der Durchschnittswert der Jugendlichen nach Durchbruch des zweiten Molaren betrug 3,7 mm  $\pm$  2,3 mm, der der Erwachsenen 3,3 mm  $\pm$  1,6 mm, welche in dieser Arbeit zu einer Gruppe, nämlich Gruppe 2, zusammengefasst wurden. Auch hier kommen die Ergebnisse in etwa auf das Gleiche. Nienkemper et al. konnten ebenfalls keine Unterschiede bezüglich des Ausmaßes der Distalisation unter den Gruppen feststellen.

Auch Fortini et al. (First-Class-Apparatur) konnten keinen Unterschied bezüglich des Umfangs der Distalisation der ersten Molaren zwischen Patienten mit durchgebrochenen und noch nicht durchgebrochenen zweiten Molaren feststellen [Fortini et al., 2004].

In der Studie von Wilmes et al., in der ebenfalls als Distalisationsgerät der Beneslider verwendet wurde, die Messungen der Verlagerungen der Referenzpunkte jedoch an einem Gipsmodell durchgeführt wurden, ergab sich eine Distalisation von  $4,6 \text{ mm} \pm 1,5 \text{ mm}$  (Kippung:  $1,9^\circ \pm 1,3^\circ$ ) [Wilmes et al., 2010]. Die kleine Abweichung zwischen diesem Wert und der dieser Arbeit, lässt sich jedoch auf die grundlegend unterschiedlichen Messmethoden zurückführen.

Durch den Einsatz einer skelettierten Distal-Jet-Apparatur in einer anderen Studie wurde eine translatorische Distalisation der Molaren um  $3,92 \text{ mm} \pm 0,53 \text{ mm}$  (Kippung:  $2,79^\circ \pm 2,51^\circ$ ) erreicht, die ebenfalls mit Hilfe von Fernröntgenseitenbildern gemessen wurde [Kinzinger et al., 2009]. Jedoch wurden auch hier andere Referenzpunkte bestimmt. Zum Vergleich mit dieser Studie musste die Distalisationsstrecke der Schmelz-Zement-Grenze betrachtet werden. Diese betrug hier  $3,63 \text{ mm} \pm 1,17 \text{ mm}$  und entsprach somit in etwa dem Wert der Studie von Kinzinger et al. [Kinzinger et al., 2009].

Keles et al. nutzten ein osseointegriertes palatinales paramedian angebrachtes Implantat (direkte Verankerung), an Stelle der Nance-Apparatur und anstatt der ersten Prämolaren als Verankerung, in dem Keles-Slider-Gerät. Ihm gelang dabei eine körperliche Distalisation der Molaren (3 mm) [Keles et al., 2003].

Bezieht man noch weitere andere skelettal verankerte Geräte in den Vergleich mit ein, lassen sich in der Literatur Werte für die Distalbewegung zwischen 3,3 mm und 6,4 mm finden, die jedoch zum Teil mit massiver Distalkippung des Molaren verbunden waren (Kippungen zwischen  $0,80^\circ$  und  $12,20^\circ$ ) [Fudalej et al., 2011], [Nienkemper et al., 2014]. Nur Geräte mit stabiler Führung, wie beispielsweise der Distal-Jet oder Apparaturen mit einer vestibulären Gleitmechanik erlauben eine translatorische Distalisation (Kippung zwischen  $0,8^\circ$  und  $3,0^\circ$ ) [Cornelis et al., 2007a], [Gelgor et al., 2007], [Keles et al., 2003], [Kinzinger et al., 2009], [Nienkemper et al., 2014]. Auch kann eine körperliche Distalisation nur dadurch erreicht werden, indem der Kraftvektor durch das Widerstandszentrum der Molaren geht bzw. in der Nähe des Widerstandszentrums liegt [Wilmes et al., 2010]. Mehr über die negativen Auswirkungen von gekippten Molaren folgt unter dem Punkt 6.2.4.

Tabelle 28: Distalisationsstrecken für den ersten Molaren (PtV: Pterygoidvertikale; Diff.A6-PtV.mm: Distalisationsstrecke der Zahnwurzel in mm; Diff.WZ6-PtV.mm: Distalisationsstrecke des Widerstandszentrums des Zahnes; Diff.SZG6-PtV.mm: Distalisationsstrecke der Schmelz-Zement-Grenze, Diff.Z6-PtV.mm: Distalisationsstrecke des Zentroidpunktes; Diff.kP6-PtV.mm: Distalisationsstrecke des koronalen Punktes; Diff.dP6-PtV.mm: Distalisationsstrecke des distalsten Punktes; Diff.ZA6-NL.°: Winkelveränderung zwischen der Zahnachse des 6ers und dem Nasalplanum)

	Alle	Gruppe 1	Gruppe 2	P-Wert
Diff A6-PtV.mm	3.55 (1.35)	3.81 (1.54)	3.34 (1.18)	0.3201
Diff WZ6-PtV.mm	3.49 (1.10)	3.67 (1.30)	3.36 (0.93)	0.432
Diff SZG6-PtV.mm	3.63 (1.17)	3.93 (1.39)	3.41 (0.95)	0.2134
Diff Z6-PtV.mm	3.60 (1.27)	3.67 (1.55)	3.55 (1.04)	0.7978
Diff kP6-PtV.mm	3.65 (1.35)	3.64 (1.61)	3.65 (1.15)	0.9804
Diff dP6-PtV.mm	3.15 (1.64)	3.08 (2.15)	3.20 (1.17)	0.8358
Diff ZA6-NL	0.73 (5.04)	-0.64 (5.12)	1.78 (4.84)	0.1554

### 6.2.3.3 Bewertung der Distalisationsstrecken des zweiten Molaren

Alle dentalen Referenzpunkte des zweiten Molaren wurden im gesamten Kollektiv sowie in Gruppe 1 und 2 hochsignifikant distalisiert. Die Widerstandszentren der zweiten Molaren wurden dabei durchschnittlich um  $3,01 \text{ mm} \pm 1,52 \text{ mm}$  im gesamten Patientenkollektiv, um  $3,53 \text{ mm} \pm 1,70 \text{ mm}$  in Gruppe 1 und um  $2,61 \text{ mm} \pm 1,26 \text{ mm}$  in Gruppe 2 nach dorsal geschoben. Im Vergleich der beiden Gruppen, fiel auf, dass sich einige Referenzpunkte (Schmelz-Zement-Grenze, Zentroidpunkt, koronalster Punkt) bezüglich der Distalisation signifikant unterschieden. Der Apex und das Widerstandszentrum hingegen wiesen bezüglich ihrer Verlagerung keinen signifikanten Unterschied auf ( $p=0,3494$ , bzw.  $0,0799$ ). Betrachtet man zusätzlich die Kippung der Zähne, konnte eine Distalkippung der zweite Molaren in Gruppe 1 festgestellt werden ( $5,56^\circ$ ), wohingegen die Siebener in Gruppe 2 nahezu keine Zahnkippung erfuhren ( $-0,70^\circ$ ). Diese Tatsachen lassen die Schlussfolgerung zu, dass sich der reine Betrag der Distalisation zwischen den Gruppen klinisch nicht relevant unterscheidet (Widerstandszentrum), die Art der Zahnbewegung jedoch schon. Mehr dazu folgt in Punkt 6.2.4. Dies wurde nochmals bei dem Vergleich der Distalisationsstrecken des Widerstandszentrums und des Zentroidpunktes verdeutlicht. In Gruppe 1 wurde der Zentroidpunkt um  $4,60 \text{ mm} \pm 1,77 \text{ mm}$  nach distal verlagert, also um  $1,07 \text{ mm}$  mehr, als das Widerstandszentrum. In Gruppe 2 hingegen betrug diese Differenz lediglich  $0,02 \text{ mm}$  und im gesamten Kollektiv  $0,47 \text{ mm}$ .



In der Benesliderstudie von Nienkemper et al. wurde eine durchschnittliche Distalisation der zweiten Molaren (Widerstandszentrum) von  $2,4 \text{ mm} \pm 2,1 \text{ mm}$  (Kippung  $5,9^\circ \pm 7,9^\circ$ ) beobachtet. Der Zahnkeim, bzw. der sich im Durchbruch befindende Zahn wurde im Gegensatz zu dieser Studie nicht vermessen. Somit konnten die Werte aus Gruppe 1 nicht mit denen von der Studie von Nienkemper et al. verglichen werden. Auch der Vergleich der Ergebnisse im gesamten Kollektiv hätte somit auch wenig Aussagekraft. In der jugendlichen Gruppe betrug die Verlagerung bei ihnen  $2,7 \text{ mm} \pm 2,0 \text{ mm}$  (Kippung:  $7,5^\circ \pm 8,3^\circ$ ), in der der Erwachsenen  $2,0 \text{ mm} \pm 2,2 \text{ mm}$  (Kippung:  $3,5^\circ \pm 6,8^\circ$ ) [Nienkemper et al., 2014]. Diese Streckenwerte entsprachen in etwa dem Wert der Gruppe 2 in dieser Studie. Die Distalverlagerungen des Zentroidpunktes waren in der Studie von Nienkemper et al. ebenso größer, als die der Trifurkation (Zentroidpunkt: Jugendliche:  $4,1 \text{ mm} \pm 2,1 \text{ mm}$ , Erwachsene:  $2,0 \text{ mm} \pm 1,8 \text{ mm}$ ). Somit fielen die Kippungen höher aus, als die, die in dieser Studie gemessen wurden. Die Kippungsraten erklärten Nienkemper et al. durch die fehlende Führung der Siebener während der Distalisation [Nienkemper et al., 2014]. Dem kann im Allgemeinen zugestimmt werden. In dieser Studie wurden die zweiten Molaren in der Gruppe mit bereits durchgebrochenen zweiten Molaren jedoch wesentlich weniger gekippt, bzw. gar nicht, als in der Gruppe, in denen sie gerade im Durchbruch waren. Um diese Beobachtung jedoch eindeutig belegen zu können, müsste das Patientenkollektiv größer sein und es müssten mehr Daten zur Verfügung stehen. Weitere Studien diesbezüglich wären deshalb von Nöten.

Tabelle 29: Distalisationsstrecken für den zweiten Molaren (PtV: Pterygoidvertikale; Diff.A7-PtV.mm: Distalisationsstrecke der Zahnwurzel in mm; Diff.WZ7-PtV.mm: Distalisationsstrecke des Widerstandszentrums des Zahnes; Diff.SZG7-PtV.mm: Distalisationsstrecke der Schmelz-Zement-Grenze, Diff.Z7-PtV.mm: Distalisationsstrecke des Zentroidpunktes; Diff.kP7-PtV.mm: Distalisationsstrecke des koronalen Punktes; Diff.dP7-PtV.mm: Distalisationsstrecke des distalsten Punktes; Diff.ZA7-NL.°: Winkelveränderung zwischen der Zahnachse des 7ers und dem Nasalplanum)

	Alle	Gruppe 1	Gruppe 2	P-Wert
Diff.A7-PtV.mm	2.86 (1.66)	3.18 (2.06)	2.62 (1.29)	0.3494
Diff.WZ7-PtV.mm	3.01 (1.52)	3.53 (1.70)	2.61 (1.26)	0.0799
Diff.SZG7-PtV.mm	3.32 (1.75)	4.14 (1.57)	2.69 (1.64)	0.0096
Diff.Z7-PtV.mm	3.48 (2.04)	4.60 (1.77)	2.63 (1.84)	0.0024
Diff.kP7-PtV.mm	3.59 (2.31)	4.75 (2.10)	2.71 (2.10)	0.0062
Diff.dP7-PtV.mm	3.37 (2.18)	4.12 (2.03)	2.79 (2.16)	0.1252
Diff.ZA7-NL	2.01 (10.0)	5.56 (12.1)	-0.70 (7.40)	0.0801

#### 6.2.4 Interpretation der Distalisationsgeschwindigkeit und des Typs der Zahnbewegung

Bolla et al. verwendeten in ihrer Studie für den Distal-Jet 240-g Federn für Patienten mit durchgebrochenen Siebenern, wohingegen bei den jüngeren Patienten, mit noch nicht durchgebrochenen zweiten Molaren, schwächere 180-g Federn benutzt wurden. Es wurde angenommen, dass für eine Distalisation mit Siebenern höhere Kräfte benötigt werden [Bolla et al., 2002]. Auch Wilmes et al. empfehlen bei Patienten mit durchgebrochenen zweiten Molaren eine Kraft von 500 g, anstelle einer von 240 g zu nehmen, wobei dann die Aktivierung erst nach zwei Monaten erfolgen sollte [Wilmes et al., 2013].

Nienkemper et al. teilten ihre Patienten für die Studie in drei Gruppen ein: Gruppe 1: Kinder, ohne durchgebrochene obere zweite Molaren, Gruppe 2: Jugendliche mit durchgebrochenen Siebenern und Gruppe 3: Erwachsene. Auch Nienkemper et al. verwendeten in ihrer Arbeit für die jüngeren Patienten vor Durchbruch der zweiten Molaren geringere Kräfte, nämlich 2,4 N (240-g Federn) und für die jugendlichen und erwachsenen Patienten Kräfte von 5 N, wodurch der erhöhte Widerstand durch die Siebener kompensiert werden sollte [Nienkemper et al., 2014]. Sie berichteten somit von keinem signifikanten Unterschied bezüglich der Distalisationsgeschwindigkeiten des ersten Molaren (zwischen 0,5 und 0,6 mm im Monat) zwischen den Gruppen.

In dieser Studie wurden für alle Patienten die gleichen Nickel-Titan-Federn bzw. Kräfte von 240 g bzw. 2,4 N verwendet. Da die Gleitmechanik des Beneslidars jedoch auch Friktion erzeugt, waren die wirkenden Kräfte geringer, als die applizierten (siehe Methodenkritik) [Nienkemper et al., 2014]. Zur Bestimmung der Distalisationsgeschwindigkeit in dieser Arbeit wurde die Studie von Nienkemper et al. als Vorbild genommen und es wurde der Quotient aus der Verlagerung des Widerstandszentrums und der jeweiligen Behandlungsdauer gebildet [Nienkemper et al., 2014].

Diese betragen für den zweiten Prämolaren im gesamten Patientenkollektiv 0,15 mm ( $\pm 0,14$  mm) pro Monat, in der ersten Gruppe 0,20 mm ( $\pm 0,12$  mm) pro Monat und in der zweiten 0,14 mm ( $\pm 0,14$  mm) pro Monat. Bei den Patienten, bei denen die zweiten

Molaren noch nicht durchgebrochen waren, erfolgte die Distalisation der zweiten Prämolaren also etwas schneller, als in der zweiten Gruppe. Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant ( $p=0,3591$ ).

Die Geschwindigkeit der Zahnbewegung des ersten Molaren war größer, als die des Fünfers, da der erste Molar direkt durch das Gerät führend distalisiert wurde, wohingegen der zweite Prämolare nur durch die transseptalen Fasern und später auch mit der Multibandapparatur nach posterior bewegt wurde. Es dauert circa drei Monate, bis eine Bewegung des zweiten Prämolaren zu sehen ist, da die transseptalen Fasern zwischen dem Molaren und Prämolaren erst einmal gedehnt werden müssen [Wilmes et al., 2010]. Auf den ersten Molaren hingegen konnten die applizierten Kräfte direkt wirken, ohne durch einen zwischengeschalteten Zahn an Kraftgröße zu verlieren. Betrachtet man alle Patienten, so betrug sie  $0,21\text{ mm} (\pm 0,10\text{ mm})$  pro Monat, wohingegen sie in der jüngeren Patientengruppe  $0,22\text{ mm} (\pm 0,10\text{ mm})$  pro Monat und in der älteren  $0,20\text{ mm} (\pm 0,09\text{ mm})$  pro Monat ausmachte. Auch hier war eine größere Geschwindigkeit in Gruppe 1 festzustellen, was sich jedoch auch als statistisch nicht signifikant erwies ( $p=0,6842$ ).

Die Distalationsgeschwindigkeit des zweiten oberen Molaren lag zwischen denen von Fünfer und Sechser, da der Siebener bzw. der Zahnkeim des Siebeners durch den ersten Molar nach distal geschoben wurde. Sie beliefen sich allgemein auf  $0,18\text{ mm} (\pm 0,11\text{ mm})$  pro Monat sowie auf  $0,20\text{ mm} (\pm 0,11\text{ mm})$  pro Monat in Gruppe 1 und  $0,17\text{ mm} (\pm 0,11\text{ mm})$  pro Monat in Gruppe 2. Auch hier konnte bei der statistischen Untersuchung des Unterschieds zwischen den Gruppen, trotz einer ersichtlichen Tendenz, dass ein nicht vollausgebildeter Zahn im Knochen einfacher und schneller zu distalisieren ist, als ein durchgebrochener und vollentwickelter Siebener, das Signifikanzniveau nicht erreicht werden ( $p=0,1847$ ). Somit bestätigte sich die Erwartung nicht, dass der Widerstand des zweiten durchgebrochenen Molaren die Distalationsgeschwindigkeit so sehr verringert, dass dies signifikant bzw. klinisch relevant wäre.

Im Gegensatz dazu berichteten Karlsson und Bondemark in ihrer Studie von einer Abnahme der Geschwindigkeit nach Durchbruch der Siebener [Karlsson et al., 2006]. Sie verwendeten dazu einen Bogen, der durch einen Nance-Button am Gaumen

befestigt war, und auf dem jeweils eine Ni-Ti-Feder (200 g) zwischen dem zweiten Prämolaren und ersten Molaren eingespannt wurde. Es ergab sich eine fast doppelt so große Bewegungsrate des ersten Molaren in der Gruppe ohne zweite Molaren, nämlich 0,63 mm pro Monat (im Gegensatz zu 0,34 mm).

Auch Kinzinger et al. stellten in ihrer Pendulum-K-Studie eine längere Behandlungszeit und eine größere Anzahl an Aktivierungen (und damit eine höhere applizierte Kraftgröße) bei Patienten mit durchgebrochenen zweiten Molaren fest [Kinzinger et al., 2004].

Um eine genauere Aussage bezüglich des Einflusses des zweiten Molaren auf die Distalisationsgeschwindigkeiten machen zu können, werden weitere Studien benötigt. Ein Grund dafür, warum sich die Geschwindigkeiten zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 nicht signifikant unterschieden, könnte jedoch das Patientenkollektiv in Gruppe 1 gewesen sein. 75 % der Patienten in Gruppe 1 wiesen nur bei dem Anfangsröntgenbild noch nicht durchgebrochene zweite Molaren auf, während bei der Endaufnahme, nach der Behandlung mit dem Beneslider, oder auch nach der endgültigen kieferorthopädischen Behandlung, bereits der Durchbruch erfolgt war. Somit trugen diese Fälle wahrscheinlicher zu einer niedrigeren Distalisationsgeschwindigkeit bei.

Die durchschnittliche Tragezeit betrug in Karlssons und Bondemarks Studie in der Gruppe ohne Durchbruch der Siebener 5,2 Monate und in der zweiten Gruppe 6,5 Monate [Karlsson et al., 2006]. Diese Behandlungszeit bezog sich ausschließlich auf die Zeit, in der eine normale Molarenrelation erzielt werden konnte. In der Studie von Nienkemper et al. betrug diese 7,5 Monate, in der von Wilmes et al. machte sie 8 Monate aus, woraus sich eine Rate von 0,58 mm pro Monat ergab [Nienkemper et al., 2014], [Wilmes et al., 2010].

Verglichen mit dieser Arbeit (19,4 Monate im gesamten Kollektiv, 18,5 Monate in Gruppe 1, 20,0 Monate in Gruppe 2) waren die Behandlungszeiten der anderen Studien wesentlich kürzer, woraus sich deutlich geringere Distalisationsgeschwindigkeiten ergaben (gesamtes Kollektiv: 0,21 mm, Gruppe 1: 0,22 mm, Gruppe 2: 0,20 mm). In dieser Studie wurde die Zeitspanne zwischen dem Setzen des Gerätes und dem Ausgliedern gemessen. In dieser Zeit erfolgte eine Distalisationsphase, eine Retentionsphase sowie teilweise eine Retraktionsphase, in

der die Backenzähne zur Stabilisierung in ihrer Position gehalten wurden und in denen die restlichen Zähne durch die Multibandapparatur ebenfalls distalisiert wurden.

In der Studie von Fudalej et al., die eine Literaturübersicht über skelettal verankerte Distalisationsgeräte gab, lagen die Behandlungszeiten für die Molarendistalisation zwischen 4,6 und 28,9 Monaten, wobei der Hauptteil der Geräte nicht länger als 8 Monate benötigte. Auch hier wurde bei den Apparaturen, bei denen die Behandlungszeit länger, als acht Monate dauerte, eine En-Masse-Retraktion aller Oberkieferzähne durchgeführt [Fudalej et al., 2011].

Somit war ein aussagekräftiger Vergleich mit den anderen Studien nicht möglich.

In mehreren Studien ist von einer Distalisationsrate von circa 1 mm pro Monat zu lesen [Bondemark et al., 1994],[Byloff et al., 1997b] , [Carano et al., 1996], [Gianelly et al., 1988], [Gianelly et al., 1989] , [Gianelly, 1998], [Gianelly et al., 1991], [Gulati et al., 1998], [Jones et al., 1992]. Die dabei verwendeten Geräte, wie beispielsweise die Pendulum-Apparatur verursachten jedoch eine deutliche Distalkippung der Molaren bei der Distalisation. Eine Studie von Kinzinger et al. gab eine Literaturübersicht und verglich mehrere intraorale Compliance unabhängige Distalisationsgeräte (mit konventioneller Verankerung) miteinander. In dieser waren Distalkippungen von 1° (Magnetsystem) über 7,53° (Jones-Jig-Apparatur) bis hin zu 14,5° (Hilgers-Pendulum) zu finden [Kinzinger et al., 2008a].

Eine Studie von Fudlej et al. lieferte eine weitere Literaturübersicht über skelettal verankerte Distalisationsgeräte, bei denen ebenfalls Kippungen (von 0,8° bis zu 12,20°) auftraten [Fudalej et al., 2011]. Auch hier fiel auf, dass Apparaturen mit hohen monatlichen Distalisationsraten (0,8 mm - 1,2 mm pro Monat) mit großen Kippungen (5,6° - 11,2°) assoziiert waren. Nur Geräte mit stabiler Führung, wie beispielsweise der Distal-Jet oder Apparaturen mit einer vestibulären Gleitmechanik erlauben eine translatorische Distalisation (Kippung zwischen 0,8° und 3,0°) [Cornelis et al., 2007a], [Gelgor et al., 2007] ,[Keles et al., 2003] ,[Kinzinger et al., 2009], [Nienkemper et al., 2014]. Jedoch ist eine Mechanik, mit palatinaler stabiler Führung auf Höhe des Widerstandszentrums, einer mit bukkalen Kräften auf Höhe der Kronen, weitestgehend überlegen [Gelgor et al., 2007], [Nienkemper et al., 2014]. Dies liegt an den hohen Kippmomenten, die durch die okklusal der Widerstandszentren der Molaren

und Schrauben (Miniimplantaten) angreifenden Kräfte bei vestibulär angebrachten Mechaniken, entstehen [Gelgor et al., 2007].

Diese hohen Distalisationsraten wurden sowohl in dieser Studie, als auch in anderen, die eine körperliche Distalisation ermöglichen, nicht erreicht. In der Beneslider-Studie von Nienkemper et al. ergab sich eine Distalisationsgeschwindigkeit von 0,6 mm pro Monat (körperliche Distalisation), in der von Wilmes et al. eine Distalisationsstrecke von 4,6 mm in 8 Monaten, was eine Rate von 0,58 mm pro Monat ergab [Wilmes et al., 2010]. Auch hier erfolgte die Distalisation des ersten Molaren mittels des Benesliders durch eine nahezu körperliche Bewegung (Kippung  $1,9^\circ$ ). Longerich et al. erreichten durch Vergrößerung der applizierten Kräfte (350 g pro Seite) eine Distalisationsrate von 0,81 mm pro Monat mit einer vernachlässigbaren Kippung der Molaren. Keles et al. nutzte ein osseointegriertes palatinales paramedian angebrachtes Implantat in dem Keles-Slider-Gerät. Ihm gelang dabei eine körperliche Distalisation der Molaren von 3 mm in 5 Monaten, was eine Distalisationsrate von 0,6 mm pro Monat ergab [Keles et al., 2003].

Die geringeren Distalisationsgeschwindigkeiten der vorliegenden Arbeit können dadurch erklärt werden, dass eine körperliche Zahnbewegung mehr Zeit braucht und zusätzlich einen höheren Widerstand erzeugt, als eine kippende [Chiu et al., 2005] , [Wilmes et al., 2010]. Dies ist auf die geringer zu resorbierende Knochenfläche bei einer kippenden Bewegung zurückzuführen [Diedrich, 1993]. Somit wurde deutlich, dass ein Distalisierungsgerät, das eine körperliche Zahnbewegung ermöglicht, zusätzlich zu einer stabilen Führung auch eine stabile Verankerung benötigt, was durch eine skelettale Verankerung gegeben ist [Nienkemper et al., 2014].

Auch wenn eine körperliche Distalisation länger dauert, als eine kippende, ist die Stabilität von gekippten Molaren fraglich [Ghosh et al., 1996]. Des weiteren wird anschließend zur Aufrichtung dieser Molaren eine zusätzliche vier- bis sechsmonatige schwierige Behandlungsphase zur Aufrichtung dieser benötigt [Karlsson et al., 2006].

Um den Typ der Zahnbewegung und somit die Quantität dieser bestimmen zu können, wurde der Quotient aus der Distalisationsstrecke des Apex und der des koronalen Punktes aller drei Zähne, nach dem Vorbild der Studie von Kinzinger et al. gebildet [Kinzinger et al., 2005b].

Dieser betrug bei dem zweiten Prämolaren im gesamten Patientenkollektiv  $0,31 (\pm 1,06)$ . In der ersten Gruppe  $0,70 (\pm 0,55)$  bzw. in der zweiten Gruppe  $0,22 (\pm 1,14)$ . Im Vergleich der Untergruppen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p=0,4095$ ). Bei der Interpretation dieser Werte ergab sich eine kontrollierte Kippung, kombiniert mit einer körperlichen Zahnbewegung. Betrachtet man zusätzlich die Veränderung des Winkels zwischen der Zahnachse des zweiten Prämolaren und des Nasalplanums, so konnte eine hochsignifikante Distalkippung der zweiten Prämolaren im Kollektiv ( $6,50^\circ \pm 5,09^\circ$ ) und in Gruppe 2 ( $7,07^\circ \pm 4,68^\circ$ ) festgestellt werden. In Gruppe 1 wurde das Signifikanzniveau bei Testung der Kippung ( $4,13^\circ \pm 6,60^\circ$ ) aufgrund der geringen Anzahl der Patienten nicht erreicht ( $p=0,169$ ). Die Überprüfung des Unterschiedes bezüglich der Kippung zwischen den Untergruppen ergab jedoch keinen Unterschied ( $p=0,3906$ ). Somit ließ sich durch den Beneslider eine kippende Distalisation der zweiten Prämolaren, aufgrund der transeptalen Fasern zwischen dem nach distal geführten Molaren und dem Prämolaren (und hier auch zum Teil aufgrund der Multibandapparatur) erzielen [Wilmes et al., 2010].

Für den ersten oberen Molaren konnte in Gruppe 1 ein Quotient von  $1,11 (\pm 0,66)$ , in Gruppe 2 einer von  $1,07 (\pm 0,66)$  und im gesamten Kollektiv einer von  $1,09 (\pm 0,65)$  ermittelt werden. Auch konnte hier zwischen den zwei Gruppen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Werte sprachen für eine rein körperliche Bewegung, welche durch eine stabile Führung der ersten Molaren und einer applizierten Kraft, die möglichst durch das Widerstandszentrum geht, erreicht wurde [Wilmes et al., 2010].

Im Gegensatz dazu wurde in der Pendulumstudie mit einer konventionellen Verankerung von Kinzinger et al. für den Molaren eine Kombination aus einer kontrollierten Kippung und einer Translation (Quotient:  $0,54 - 0,83$ ) beobachtet [Kinzinger et al., 2005b].

Die Veränderung des Winkels zwischen der Molarenachse und dem Nasalplanum ist zu vernachlässigen und bestätigt somit die translatorische Bewegung der Sechsjahresmolaren. Im gesamten erfuhr der Molar eine Distalkippung um  $0,73^\circ (\pm 5,04^\circ)$  und in Gruppe 2 um  $1,78^\circ (\pm 4,84^\circ)$ , wohingegen er in Gruppe 1 einer minimalen Wurzelkippung um  $0,64^\circ (\pm 5,12^\circ)$  erlag. Bei der Testung, ob sich die Ergebnisse der Untergruppen unterschieden, wurde das Signifikanzniveau nicht erreicht ( $p=0,1554$ ).

Somit konnte in dieser Studie bezüglich der Ausprägung der Kippung keine Abhängigkeit von dem Durchbruch des zweiten Molaren festgestellt werden.

Bolla et al. hingegen beobachteten in ihrer Studie mit der First Class-Apparatur, dass die Kippung der ersten oberen Molaren in der Patientengruppe mit noch nicht durchgebrochenen zweiten Molaren größer war ( $4,4^\circ$ ), als in der mit durchgebrochenen bzw. zum Teil durchgebrochenen ( $2^\circ$ ) Siebenern [Bolla et al., 2002]. Dies wurde durch eine Verlagerung des Widerstandszentrums des ersten Molaren von dem Bereich der Trifurkation nach weiter superior erklärt, da der Zahnkeim des zweiten Molaren für den Sechser ein Hindernis darstellt. Somit wirkt das Distalisierungsgerät nicht mehr in der Weise, dass die ausgeübten Kräfte durch das Widerstandszentrum laufen und es erfolgt eine Kippung der ersten Molaren [Bolla et al., 2002]. Bereits Graber beobachtete 1955 eine Kippung der Sechser bei Distalisation dieser mit einem Headgear vor Durchbruch der Siebener [Graber, 1955]. Auch Kinzinger et al. stellten in ihrer Pendulumstudie (Pendulum K) eine größere Kippung des ersten Molaren, bei noch nicht durchgebrochenem Siebener fest ( $5,89^\circ \pm 3,74^\circ$  und  $5,36^\circ$ ), als mit dem Durchbruch desselbigen ( $0,9^\circ \pm 3,43^\circ$  und  $0,8^\circ \pm 3,4^\circ$ ). Dies wurde damit begründet, dass der Zahnkeim als Drehpunkt für den ersten Molaren dient [Kinzinger et al., 2004].

Fortini et al. hingegen konnten keinen Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Kippung der Molaren ( $4,1^\circ$ ;  $4,8^\circ$ ) in ihrer Studie mit der First-Class-Apparatur (FCA) finden [Fortini et al., 2004]. Ebenso stellten Byloff et al. (Pendulumstudie) keine Beeinflussung der Distalisation und Kippung der ersten Molaren durch das Eruptionsstadium des zweiten Molaren fest [Byloff et al., 1997a]. Auch Nienkemper et al. beobachteten in ihrer Benesliderstudie keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Kippungen unterhalb der Gruppen (Distalkippung ohne durchgebrochenem Siebener um  $2,4^\circ$  vs. Distalkippung um  $2,6^\circ$  nach Durchbruch vs. Wurzelkippung um  $1,2^\circ$  bei den Erwachsenen) [Nienkemper et al., 2014].

Auch in dieser Studie konnte keine klinisch relevante Beeinflussung durch das Eruptionsstadium des zweiten Molaren auf die Zahnbewegung des ersten Molaren festgestellt werden, was durch die starre Konstruktion des Gerätes zurückgeführt werden kann.



Trotz der Uneinigkeit in der Literatur, konnte die Aussage von Bussick et al. und Gianelly, dass eine Distalisation vor Durchbruch der zweiten Molaren zu bevorzugen ist, nicht bestätigt werden [Bolla et al., 2002], [Bussick et al., 2000], [Fortini et al., 2004], [Gianelly, 1998]. Auch eine Studie, die eine Literaturübersicht, sowie einen Vergleich von verschiedenen skelettal verankerten Distalisationsgeräten beinhaltete, machte deutlich, dass die Anwesenheit eines zweiten Molaren eine eher unbedeutende Rolle bei der Distalisation mit skelettaler Verankerung spielt [Fudalej et al., 2011].

Bei Betrachtung der Ergebnisse für den zweiten Molaren, fiel auf, dass dieser Quotient in der ersten Gruppe ( $0,18 \pm 2,34$ ) wesentlich kleiner, als der in der zweiten ( $1,14 \pm 1,27$ ) bzw. kleiner, als der des gesamten Kollektivs ( $0,73 \pm 1,84$ ) war. Bei der statistischen Überprüfung des Unterschieds zwischen der jüngeren und älteren Gruppe, wurde jedoch nicht das Signifikanzniveau erreicht ( $p=0,0677$ ). Bei der Interpretation ergab sich somit für das gesamte Kollektiv eine Zahnbewegung aus einer Kombination von einer Distalkippung und Translation des zweiten Molaren. Es fiel auf, dass es sich in Gruppe 1 um eine mehr kippende Bewegung, wohingegen es sich in Gruppe 2 um eine nahezu reine Translation (mit geringer aber vernachlässigbarer Wurzelkipfung) handelte. Dieser Unterschied wurde jedoch als nicht signifikant getestet, da das Signifikanzniveau knapp nicht erreicht wurde ( $p=0,0677$ ). Betrachtet man die Messwerte der Kippung, stellte sich im Kollektiv ein Wert von  $2,01^\circ (\pm 10,0^\circ)$  heraus, was eine leichte nicht signifikante Kippung ( $p=0,238$ ) nach distal darstellte. Für Gruppe 1 ergab sich ein Wert von  $5,56^\circ (\pm 12,1^\circ)$ , welcher ebenfalls auf eine nicht signifikante Kippung ( $p=0,097$ ) schließen ließ. Für Gruppe 2 hingegen wurde eine nahezu körperliche Zahnbewegung mit einer leichten nicht signifikanten Wurzelkipfung von  $0,70^\circ$  ( $p=0,705$ ) beobachtet. Auch an dieser Stelle wurde bei der Überprüfung des Unterschieds das Signifikanzniveau nicht ganz erreicht ( $p=0,0801$ ).

Trotz der nichtsignifikanten Testung ließ die ersichtliche Tendenz die Annahme zu, dass ein durchgebrochener zweiter Molar gleichmäßiger nach distal geschoben wird, als ein Zahnkeim, bzw. ein sich im Durchbruch befindender Siebener. Diesbezüglich werden jedoch noch weitere Studien benötigt.

Nienkemper et al. stellten in der Benesliderstudie ebenfalls im Vergleich der beiden Molaren eine größere Kippung bei den zweiten bleibenden Backenzähnen ( $5,9^\circ \pm 7,9^\circ$ ) fest, als bei den ersten ( $1,5^\circ \pm 6,7^\circ$ ). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die zweiten Molaren ohne Führung nach hinten geschoben werden [Nienkemper et al., 2014].

Bei nicht skelettal verankerten Distalisationsgeräten tritt fast immer ein gewisser Verankerungsverlust auf, der sich durch eine Mesialwanderung und Mesialkipfung der Prämolaren und anterioren Zähne zeigt. In der Studie von Ghosh und Nanda, die 41 Patienten mit einer Pendulumapparatur behandelten, stellte sich heraus, dass nur 57 % des gewonnenen Platzes im oberen Molarenbereich von der Molarendistalisation geschaffen wurde, und 43 % des Platzes durch den Verankerungsverlust gewonnen wurde [Ghosh et al., 1996]. Zusätzlich wurde der erste Molar um  $8,4^\circ$  nach distal gekippt. Bolla et al. fassten mehrere Pendulumstudien zusammen und sprachen von einer Molarenkipfung zwischen  $8^\circ$  und  $16^\circ$  und von einem Verankerungsverlust von 19 % bis 43 %, verursacht durch die Distalisierung mit einem Pendulumgerät.

Für das Jones-Jig-Gerät fanden Brickman et al. ähnliche Ergebnisse, wie Ghosh und Nanda für das Pendulumgerät. 55 % des erschaffenen Platzes zwischen Molar und Prämolare sind auf die Distalbewegung der Zahnkrone des Sechszers zurückzuführen [Brickman et al., 2000]. Gulati et al. hingegen stellten für das Jones-Jig-Gerät nur einen Verankerungsverlust von 26 % fest [Gulati et al., 1998].

Patel untersuchte die Wirkung des Distal-Jets und beobachtete eine Distalisation der ersten Molaren von 2 mm pro Seite mit einer Distalkippung von  $3,8^\circ$  [Patel, 1999]. Bei der Untersuchung des Distal-Jet-Gerätes von Bolla et al. wurden 29 % des gewonnenen Platzes dem Verankerungsverlust zugeschrieben. Die oberen ersten Molaren wurden um 3,2 mm pro Seite distalisiert mit einer Distalkippung von  $3,2^\circ$  [Bolla et al., 2002].

Durch eine Modifikation der Pendulum-Apparatur (BAPA), bei der die Acryplatte direkt an einer intraossären Schraube, und nicht an den Prämolaren, befestigt ist, gelang es Kircelli et al. eine distale Molarenbewegung ohne Verankerungsverlust, aber mit signifikanter Kippung der Zähne durchzuführen [Kircelli et al., 2006]. Die Autoren konnten eine Distalisationsstrecke des ersten Molaren von  $6,4 \text{ mm} \pm 1,3 \text{ mm}$  (nach 7 Monaten), die jedoch mit einer Kippung von  $10,9^\circ \pm 2,8^\circ$  assoziiert war, feststellen.

Diese Kippungen stellen einmal eine Ursache für eine unerwünschte Bissöffnung dar, zum zweiten verfälschen sie auch den Distalisationserfolg [Bolla et al., 2002]. Auch ist

es durch den Verankerungsverlust und die Distalkippung des Molaren, bzw. die Mesialkipfung des Prämolaren schwierig, solche Geräte untereinander und mit skelettal verankerten zu vergleichen. Korrigiert man die Kippungen, indem man die Prämolaren und Molaren so aufrichtet, dass sie ihre ursprüngliche Achsenneigung wieder haben, also eine reine Translation stattgefunden hätte, wird man einiges von dem durch die Distalisation gewonnenen Platz wieder verlieren [Bolla et al., 2002]. Der effektiv gewonnene Platz ergibt sich dann aus der Subtraktion des Platzverlustes durch Aufrichtung der Zähne von dem gesamten gewonnenen Platz. Nach dieser Rechnung ergab sich, dass durch das Pendulumgerät und das Distal-Jet-Gerät ein effektiver Platzgewinn von 4 mm pro Seite erreicht werden konnte, während die Jones-Jig-Apparatur nur zu einem Gewinn von 1,6 mm pro Seite führte [Bolla et al., 2002]. Der effektive Platzgewinn beinhaltet somit jedoch noch die Strecke des Verankerungsverlustes. Die Aufrichtung von stark gekippten Zähnen kann jedoch zu einer weiteren Zunahme des Verankerungsverlustes führen. Somit sind Geräte, die die Molaren bei der Distalisation mehr kippen, auch wesentlich ineffektiver, als solche die eine rein körperliche Distalbewegung ermöglichen [Bolla et al., 2002].

Eine körperliche Distalisation kann dadurch erreicht werden, indem der Kraftvektor durch das Widerstandszentrum geht bzw. in der Nähe des Widerstandszentrums liegt und die ersten Molaren durch einen stabilen Bogen geführt werden. Oft wird dies jedoch durch die Anatomie des Gaumens erschwert [Wilmes et al., 2010]. In dieser Studie wurde eine rein körperliche Distalisation des ersten Molaren mit dem Beneslider ermöglicht, was für eine hohe Effektivität des Gerätes spricht.

## 6.2.5 Interpretation der linearen Regressionsmodelle

### 6.2.5.1 *Diskussion möglicher Einflussvariablen auf die Abstände der Widerstandszentren zur Pterygoidvertikalen zum Zeitpunkt T2*

Bei dieser Untersuchung stellten die Strecken WZ5-PtV (mm), WZ6-PtV (mm) und WZ7-PtV (mm) zum Zeitpunkt T2 jeweils die abhängigen Variablen dar. Als mögliche Einflussvariablen wurden die Abstände WZ5-PtV (mm), WZ6-PtV (mm) und WZ7-PtV (mm) zum Zeitpunkt T1, die Gruppenzugehörigkeit (Gruppe 2 als Referenzkategorie),

der SNA-Winkel, der ANB-Winkel, der ML-NL-Winkel und der Index in Betracht gezogen.

Es wurde ersichtlich, dass die Abstände der Widerstandszentren von der Pterygoidvertikalen zum Zeitpunkt T2 nur von den Abständen der Widerstandszentren zum Zeitpunkt T1 abhängen. Es gab keine Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit, den Gesichtstypen (SNA-Winkel), der skelettalen Konstellation der Kiefer in der Sagittalen (ANB-Winkel), der skelettalen Konstellation in der Vertikalen (ML-NL-Winkel) und von dem vertikalen Aufbau des vorderen Gesichts (Index) (siehe Tabelle 17, Tabelle 18 und Tabelle 19).

Für jeden Millimeter mehr zur Strecke (T1), wurde der Wert zum Zeitpunkt T2 nur um 0,98 mm erhöht (Widerstandszentrum 6er), woran man eine Distalisation erkennen konnte.

Bei der Betrachtung der Strecken, abhängig von der Gruppenzugehörigkeit, konnte folgendes festgestellt werden. Bei Gruppe 2 war der Abstand des Widerstandszentrums des ersten Molaren zum Zeitpunkt T2 um 0,25 mm größer als bei Gruppe 1, der des zweiten Molaren betrug in Gruppe 2 0,92 mm mehr, als in Gruppe 1. Auch war dieser Abstand zum zweiten Zeitpunkt für den Prämolaren in Gruppe 2 um 1,76 mm größer, als in der ersten Gruppe. Diese Abhängigkeiten von den Gruppen haben sich jedoch als nicht signifikant erwiesen. Auch sind diese Differenzen auf das fortgeschrittene sagittale Kieferwachstum in der zweiten Gruppe zurückzuführen. Ob sich die Distalisationsstrecken im Vergleich der Gruppen ebenfalls unterscheiden, konnte im folgenden Modell festgestellt werden.

#### *6.2.5.2 Diskussion möglicher Einflussvariablen auf die Distalisationsstrecken der Widerstandszentren*

Bei dieser Analyse stellten die Distalisationsstrecken Diff.WZ5-PtV (mm), Diff.WZ6-PtV (mm) und Diff.WZ7-PtV (mm) jeweils die abhängigen Variablen dar. Als mögliche Einflussvariablen wurden die Gruppenzugehörigkeit, der SNA-Winkel, der ANB-Winkel, der ML-NL-Winkel und der Index untersucht.

Wie die Tabellen 20, 21 und 22 aufzeigen, konnten bei keinem der Zähne im linearen Regressionsmodell signifikante Einflüsse auf die Distalisationsstrecken gefunden werden. Die Distalisationsstrecken hängen also nicht von der Gruppenzugehörigkeit, vom Gesichtstyp (SNA-Winkel), von der sagittalen skelettalen Relation der Kiefer (ANB-Winkel), von dem vertikalen Aufbau (ML-NL) und dem Verhältnis der vorderen Gesichtsteilhöhen (Index) ab.

Betrachtet man die Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit, ließ sich, obwohl das Signifikanzniveau bei allen drei Zähnen nicht erreicht wurde, jedoch folgende Tendenz feststellen. Die Distalisationsstrecken des Prämolaren, des ersten und des zweiten Molaren waren in Gruppe 2 um 1,5 mm (5er), bzw. um 0,2 mm (6er) bzw. um 0,8 mm (7er) kürzer, als in Gruppe 1. Somit könnten durchgebrochene zweite Molaren einen geringen Einfluss auf die Distalisation haben, welcher jedoch klinisch nicht relevant ist.

In der Literatur ließen sich keine vergleichbaren aufgestellten Modelle finden. Somit war eine ausführliche Diskussion dieser Ergebnisse nicht möglich.

Das Modell dieser Studie ließ jedoch darauf schließen, dass der Beneslider ein vielfältig einsetzbares Gerät ist, das bei Stellung der richtigen Indikation, bei allen möglichen Patienten zu einer Distalisation der Molaren führt. Die Wirkung bei Patienten mit einem prognathen Gesichtstyp konnte hier jedoch nicht aussagekräftig nachgewiesen werden, da sich indikationsbedingt in diesem Kollektiv nur zwei Patienten mit dieser Konstellation befanden.

## 7 Schlussfolgerung

Mit dem Beneslider ist eine körperliche Distalisierung der Seitenzähne sowie eine anschließende Retraktion der Front, durch eine stabile Verankerung, möglich [Wilmes et al., 2013]. Der unerwünschte Verankerungsverlust, wie er bei konventionell verankerten Distalisationsgeräten auftritt, kann mit dieser Apparatur vermieden werden [Nienkemper et al., 2014]. Trotz der gleichen Kräfteapplikation nach bzw. vor Durchbruch der zweiten Molaren, konnte keine signifikante Verringerung der Distalisationsgeschwindigkeit oder eine Veränderung des Ausmaßes der Distalisation festgestellt werden. Die Tendenzen zeigen zwar einen Einfluss der zweiten Molaren auf die Art der Zahnbewegungen und auf die Geschwindigkeiten der Molaren, eine klinische Relevanz konnte jedoch nicht beobachtet werden.

Bei der Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Distalisationsstrecken konnten keine Abhängigkeiten von der Gruppenzugehörigkeit, vom Gesichtstyp (SNA-Winkel), von der sagittalen skelettalen Relation der Kiefer (ANB-Winkel), vom vertikalen Aufbau (ML-NL) und dem Verhältnis der vorderen Gesichtsteilhöhen (Index) gefunden werden. Somit ist der Beneslider ein vielfältig einsetzbares Gerät, das bei gegebener Indikation zu einer Distalisation der Molaren führt. Mit dieser Apparatur lässt sich folglich ein zuverlässiges und stabiles Ergebnis erreichen.

Weitere Studien sind jedoch nötig, um genauere Aussagen über den skelettalen Einfluss der Apparatur, machen zu können. Interessant bleibt, dass eine Tendenz zur anterioren Rotation des Nasalplanums, die NL- Linie, auffällt. Dies konnte jedoch nicht signifikant bestätigt werden.

Auch wären vertikale dentale Messungen interessant, um die Ursachen der signifikanten Vergrößerung der vorderen unteren Gesichtshöhe, und somit die Veränderung des Index verifizieren zu können.

Des Weiteren wäre für eine folgende Studie die Betrachtung des alleinigen Einsatzes des Gerätes, unabhängig vom zusätzlichen Einsatz einer Multibandapparatur, nötig, um den Einfluss des Benesliders auf den SNA-Winkel, die Distalisation der Prämolaren und einen Vergleich der Geschwindigkeiten aussagekräftiger bestimmen zu können.

## 8 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Effektivität des Beneslidergerätes bezüglich der Distalisation der ersten und zweiten Molaren, ebenso wie der zweiten Prämolaren, unter Berücksichtigung von Art und Umfang der Zahnbewegung, als auch der Distalisationsgeschwindigkeit zu untersuchen. Des Weiteren sollten mögliche Einflussfaktoren auf die erzielten Distalisationsstrecken sowie Veränderungen der vertikalen und sagittalen skelettalen Parameter des Viszerokraniums eruiert werden. Der Gesichtstyp der Patienten und die interbasale Relation von Maxilla und Mandibula waren hier ausschlaggebend.

Für diese Arbeit wurde ein homogenes Patientenkollektiv, das aus 37 Patienten (21 weiblich, 16 männlich) im Alter von 9,5 bis 28,8 Jahren (Mittelwert:  $14,4 \pm 3,8$  Jahre) besteht, von zwei Fachpraxen für Kieferorthopädie zur Verfügung gestellt. Die Nachuntersuchung bzw. Auswertung erfolgte in der Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer- Gesichtschirurgie der Technischen Universität München, Klinikum rechts der Isar. Alle Patienten sind mit dem Gerät Beneslider zur Distalisation der Oberkiefermolaren therapiert worden.

Das Kollektiv wurde in zwei Gruppen eingeteilt, um mögliche Abhängigkeiten der Zahnbewegung vom Durchbruchstand des zweiten Molaren darstellen zu können.

- In Gruppe 1 befanden sich alle Anfangsfernrontgenseitenbilder und Orthopantomogramme auf denen sich die zweiten Oberkiefermolaren noch vor dem Durchbruch zeigten (Durchschnittsalter:  $12,3 \pm 1,7$  Jahre).
- In Gruppe 2 hingegen waren die zweiten Molaren im Oberkiefer bereits durchgebrochen (Durchschnittsalter:  $16,0 \pm 4,2$  Jahre).

In der kephalometrischen Auswertung fiel 21 Mal (57 %) ein retrognather, 14 Mal (38 %) ein orthognather und zwei Mal (5 %) ein prognather Gesichtstyp auf.

Die Auswahl der zur Auswertung anstehenden kieferorthopädischen Dokumentationen erfolgte unabhängig vom klinischen Befund (Typ der Dysgnathie oder Malokklusion, mit oder ohne Engstand) und von technischen Analysen, die das KFO-Modell und das Gesichtsprofil betreffen.

Der von Benedict Wilmes [Wilmes et al., 2010] eingeführte Beneslider, wurde für diese Studie zur Molarendistalisation benutzt, ein Gerät, das direkt durch zwei mit einer Beneplate verbundene Miniimplantate (Durchmesser: 2 mm, Länge: 9 und 11 mm) im Bereich des anterioren Gaumens verankert ist und als Distalisationsmechanik eine 240-g Ni-Ti-Druckfeder (2,4 N) pro Seite benutzt.

Um aussagefähige und objektive Ergebnisse zu erhalten, wurde eine kephalometrische Studie an klinisch notwendigerweise zur Therapieplanung und Therapieüberwachung angefertigten Fernröntgenseitenbildern durchgeführt, die routinemäßig ohnehin vor Behandlungsbeginn sowie bei Behandlungsabschluss erstellt wurden. Im Mittel betrug die Tragedauer des Benesliders vom Tag des Einsetzens bis zum Zeitpunkt des Ausgliederns im gesamten Kollektiv 19,4 Monate ( $\pm$  9,4 Monate). Wichtig ist, darauf hinzuweisen, dass zwischen dem Ausgangsferröntgenseitenbild und dem Tag des Einsetzens des Gerätes durchschnittlich 6,0 Monate lagen, sowie zwischen dem Ausgliedern und der Endaufnahme 7,8 Monate. Diese wurden dann aus den digitalen Karteikarten (Ivoris) in das Computerprogramm DiagnoseFix Version 1.1.2014-5 der Diagnostik Wingberg GmbH übergestellt und vor der kephalometrischen Auswertung jeweils geeicht. Die eingestellte Fernröntgenseitenanalyse Bergen-Classic wurde zuvor umprogrammiert, indem zusätzlich benötigte Punkte und Hilfslinien sowie Streckenmessungen eingefügt und unnötige Parameter entfernt wurden. Anschließend erfolgte eine statistische Analyse der pseudonymisierten Daten.

Folgende Ergebnisse konnten für die drei oberen Seitenzähne aus der vorliegenden Untersuchung gewonnen werden:

### **1. Zum Distalisationsausmaß:**

- Für den zweiten Prämolaren betrug das Ausmaß der Distalisation, gemessen an dem Widerstandszentrum, 2,51 mm ( $\pm$  1,81 mm), was als hochsignifikant getestet werden konnte, gleichzeitig erfolgte eine hochsignifikante Distalkippung von 6,50° ( $\pm$  5,09°). Es ergab sich also eine Kombination aus kontrollierter Kippung und körperlicher Zahnbewegung (Quotient 0,31). Beim Vergleich dieser Variablen unter den Gruppen trat jedoch kein Unterschied auf.



- Für den ersten Molaren konnte ebenfalls eine hochsignifikante Distalisation von 3,49 mm ( $\pm 1,10$  mm) festgestellt werden, wobei die Molaren lediglich eine nicht signifikante geringe Kippung von  $0,73^\circ$  ( $\pm 5,04^\circ$ ) erfuhren. Damit kann von einer rein körperlichen Distalbewegung des ersten Molaren (Quotient 1,09) ausgegangen werden. Auch hier war kein Unterschied bezüglich der Kippung, der Art der Zahnbewegung und des Ausmaßes der Distalisation mit bzw. ohne Durchbruch des zweiten Molaren zu finden.

- Für den zweiten Molaren wurden alle dentalen Referenzpunkte im gesamten Kollektiv sowie in Gruppe 1 und 2 hochsignifikant distalisiert. Die Widerstandszentren der zweiten Molaren wurden dabei durchschnittlich um  $3,01$  mm  $\pm 1,52$  mm im gesamten Patientenkollektiv, um  $3,53$  mm  $\pm 1,70$  mm in Gruppe 1 und um  $2,61$  mm  $\pm 1,26$  mm in Gruppe 2 nach dorsal bewegt, wobei sich bei der Testung kein Unterschied unter den Gruppen ergab. Im Vergleich der beiden Gruppen, fiel auf, dass sich einige Referenzpunkte (Schmelz-Zement-Grenze, Zentroidpunkt, koronaler Punkt) bezüglich der Distalisation signifikant unterschieden. Der Apex und das Widerstandszentrum hingegen wiesen bezüglich ihrer Verlagerung keinen signifikanten Unterschied auf. Zusätzlich konnte eine Distalkippung der zweiten Molaren in Gruppe 1 um  $5,56^\circ$  ( $\pm 12,1^\circ$ ) festgestellt werden, wohingegen die Siebener in Gruppe 2 nahezu keine Zahnkipfung erfuhren ( $-0,70^\circ \pm 7,40^\circ$ ). Im gesamten Kollektiv ergab sich somit insgesamt eine nicht signifikante Kippung von  $2,01^\circ$  ( $\pm 10,0^\circ$ ) der zweiten Molaren. Diese Tatsachen lassen die Folgerung zu, dass sich der reine Betrag der Distalisation zwischen den Gruppen klinisch nicht relevant unterscheidet (Widerstandszentrum), die Art der Zahnbewegung jedoch schon. Ebenso fiel deshalb der Quotient, der die Zahnbewegung beschreibt, in der ersten Gruppe wesentlich kleiner aus ( $0,18 \pm 2,34$ ), als in der zweiten Gruppe ( $1,14 \pm 1,27$ ), bzw. als der des gesamten Kollektivs ( $0,73 \pm 1,84$ ). Bei der statistischen Überprüfung des Unterschieds zwischen der jüngeren und älteren Gruppe bezüglich des Quotienten, wurde jedoch nicht ganz das Signifikanzniveau erreicht ( $p=0,0677$ ). Es fiel auf, dass es sich in Gruppe 1 um eine mehr kippende Bewegung, wohingegen es sich in Gruppe 2 um eine nahezu reine Translation handelte.

Trotz der nichtsignifikanten Testung ließ die ersichtliche Tendenz die Annahme zu, dass ein durchgebrochener zweiter Molar gleichmäßiger nach distal bewegt wird, als ein Zahnkeim, bzw. ein sich im Durchbruch befindender Siebener.

## 2. Zur Distalisationsgeschwindigkeit:

- Für den zweiten Prämolaren betrug die Distalisationsgeschwindigkeit im gesamten Kollektiv 0,15 mm ( $\pm 0,14$  mm) pro Monat;
- für den ersten Molaren 0,21 mm ( $\pm 0,10$  mm);
- für den zweiten Molaren 0,18 mm ( $\pm 0,11$  mm).

Trotz einer ersichtlichen Tendenz, dass die Geschwindigkeiten für jeden Zahn in Gruppe 1 größer waren, als in Gruppe 2, konnte kein signifikanter Unterschied bei dem Vergleich der Gruppen festgestellt werden, womit die Erwartung einer klinisch relevanten Verringerung der Geschwindigkeit nach Durchbruch der zweiten Molaren, nicht bestätigt werden konnte.

Ein Vergleich mit anderen Studien war nicht möglich, da die gemessene Zeitspanne zwischen dem Einsetzen des Gerätes und dem Ausgliedern die Retentions- und Retraktionsphase, zumindest teilweise beinhaltete und sich somit eine durchschnittliche Behandlungszeit von 19,4 Monaten ergab. In anderen Studien wurde hingegen die reine Zeit der Distalisation (7-8 Monate) gemessen [Nienkemper et al., 2014], [Wilmes et al., 2010].

Bei der Untersuchung von möglichen Einflussfaktoren auf die Distalisationsstrecken, mit Hilfe eines linearen Regressionsmodells, konnten keine Abhängigkeiten bezüglich der Gruppenzugehörigkeit, des Gesichtstyps (SNA-Winkel), der sagittalen skelettalen Relation der Kiefer (ANB-Winkel), des vertikalen Aufbaus (ML-NL) und des Verhältnisses der vorderen Gesichtsteilhöhen (Index) gefunden werden.

Bei der Analyse der skelettalen Variablen in der Sagittalen fiel eine signifikante Vergrößerung des SNA-Winkels (um  $0,74^\circ$ ) im gesamten Kollektiv auf, welche jedoch klinisch nicht relevant war und einem Restwachstum sowie einer kontrollierten Kippung der Frontzähne (Multibandapparat) zuzuschreiben war.

Die Untersuchung der anderen skelettalen Parameter, wie SNB-Winkel, ANB-Winkel, SNPg-Winkel, Schädelbasiswinkel sowie Kieferwinkel ergab ebenso keine klinische Relevanz.

In der Vertikalen war eine signifikante Zunahme der vorderen Gesichtsteilhöhen sowie eine hochsignifikante Abnahme des daraus errechneten Index (Verkleinerung um 2,59 %) zu beobachten. 22 Patienten zeigten bei der Bestimmung der vertikalen

Interbasenrelation zum Zeitpunkt T1 einen neutralen, 14 einen tiefen und einer einen offenen Charakter auf. Bei lediglich sechs Patienten wurde durch die Behandlung die vertikale Relation verändert, was jedoch als nicht signifikant getestet wurde. Um den basalen Trend bestimmen zu können, wurde der Interbasiswinkel betrachtet und die Patienten in die Untergruppen eingeteilt. Von den insgesamt 37 Patienten veränderten sich 28 Patienten bezüglich ihrer Untergruppe nicht, weshalb auch hier keine signifikante Veränderung zu verzeichnen war.

Das Gerät verursachte in dieser Studie keine posteriore Rotation der Mandibula (ML-NSL unverändert im gesamten Kollektiv). Eine Tendenz zu einer anterioren Wachstumsrichtung der Maxilla war jedoch festzustellen (Abnahme NL-NSL um  $0,59^\circ$ ), allerdings ohne Signifikanz. Eine Vergrößerung der vorderen Gesichtsteilhöhen müsste somit dentoalveolärer Natur und wachstumsbedingt sein.

Für eine aussagekräftige Studie bezüglich des Zusammenhangs der Wirkung des Gerätes und einer anterioren Bissöffnung bzw. skelettaler Veränderungen wird ein Patientenkollektiv ohne vorhandenes Restwachstum sowie eine Einheitlichkeit in der vertikalen Relation bzw. der Wachstumsrichtung benötigt. Die Tatsache, dass sich die Wachstumsrichtung der Maxilla tendenziell nach anterior veränderte, ließ eine Hemmung des Wachstums durch das skelettal verankerte Gerät im Bereich des Gaumens vermuten. Jedoch werden auch an dieser Stelle weitere Studien mit Betrachtung dieses Winkels für eine kräftigere Aussage benötigt. Bei dem Vergleich der Veränderungen der skelettalen Messwerte konnten unterhalb der Gruppen keine Unterschiede beobachtet werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit dem Beneslider eine kippende Distalisation der zweiten Prämolaren erreicht werden kann. Die Sechsjahresmolaren werden durch eine stabile Führung und durch das Widerstandszentrum verlaufende applizierte Kräfte rein translatorisch nach distal bewegt. Die zweiten Molaren erfahren je nach Durchbruchsstadium eine mehr oder minder ausgeprägte Kippung. Das Regressionsmodell dieser Studie lässt außerdem darauf schließen, dass der Beneslider ein vielfältig einsetzbares Gerät ist, das bei Stellung der richtigen Indikation, zu einer Distalisation der Molaren führt. Um diese Beobachtungen jedoch eindeutig belegen zu können, müsste das Untersuchungskollektiv größer sein und mehr Daten zur Verfügung stehen. Der Beneslider hat im Wesentlichen keine klinisch relevanten Einflüsse auf die skelettalen Parameter. Weitere Studien sind jedoch von Nöten, um

eine Beeinflussung der Wachstumsvorgänge im Bereich des Nasalplanums vollständig ausschließen zu können.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Angle-Klassifikation; Quelle: [Angle, 1908].....	1
Abbildung 2: Aktivatorröhrchen .....	59
Abbildung 3: Der Beneslider, fertiggestellt am Modell.....	59
Abbildung 4: Im Mund des Patienten eingesetzter und aktivierter Beneslider .....	59
Abbildung 5: Die zusätzlich benötigten Referenzpunkte .....	66
Abbildung 6: Alle verwendeten Referenzpunkte.....	66
Abbildung 7: Der GesichtsindeX .....	70
Abbildung 8: Übersicht der Winkel- und Streckenmessungen .....	71
Abbildung 9: Messungen der Abstände der dentalen Referenzpunkte zur Pterygoidvertikalen .....	72
Abbildung 10: Messungen der Winkel zwischen den Zahnachsen und dem Nasalplanum.....	73
Abbildung 11: O-/N-/T-Typ .....	74
Abbildung 12: CEPH Template.....	75
Abbildung 13: Boxplot SNA-Winkel .....	86
Abbildung 14: Boxplot SNB-Winkel .....	87
Abbildung 15: Boxplot ANB-Winkel .....	87
Abbildung 16: Boxplot ML-NL-Winkel.....	88
Abbildung 17: Boxplot Index.....	88
Abbildung 18: Boxplot Distalisation WZ5.....	90
Abbildung 19: Boxplot Distalisation WZ6.....	91
Abbildung 20: Boxplot Distalisation Z6 .....	91
Abbildung 21: Boxplot Distalisation WZ7.....	92
Abbildung 22: Boxplot Distalationsgeschwindigkeit 5er .....	94
Abbildung 23: Boxplot Distalationsgeschwindigkeit 6er .....	94
Abbildung 24: Boxplot Distalationsgeschwindigkeit 7er .....	94
Abbildung 25: Boxplot Typ der Zahnbewegung 5er .....	95
Abbildung 26: Boxplot Typ der Zahnbewegung 6er .....	95
Abbildung 27: Boxplot Typ der Zahnbewegung 7er .....	96
Abbildung 28: Übersicht Patientenkollektiv eingeteilt in Gesichtstyp, Untergruppen und O-/N-/T-Typ zum Zeitpunkt T1 und T2 .....	98

## 10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht: Konventionell verankerte Distalisationsgeräte.....	52
Tabelle 2: Übersicht: Skelettal verankerte Distalisationsgeräte .....	54
Tabelle 3: Die Definitionen der verwendeten Referenzpunkte .....	63
Tabelle 4: Die Definitionen der zusätzlich benötigten Punkte .....	65
Tabelle 5: Horizontale Referenzlinien.....	67
Tabelle 6: Vertikale Referenzlinien.....	67
Tabelle 7: Weitere Hilfslinien .....	68
Tabelle 8: Auswertungsparameter Teil 1 .....	68
Tabelle 9: Auswertungsparameter Teil 2.....	71
Tabelle 10: Übersicht über die Patientencharakteristika .....	77
Tabelle 11: Gesamtes Patientenkollektiv: Abstände der dentalen Punkte zur Pterygoidvertikalen, deren Differenzen und Achsenneigungen der Zähne .....	81
Tabelle 12: Gruppe 1: Abstände der dentalen Punkte zur Pterygoidvertikalen, deren Differenzen und Achsenneigungen der Zähne .....	83
Tabelle 13: Gruppe 2: Abstände der dentalen Punkte zur Pterygoidvertikalen, deren Differenzen und Achsenneigungen der Zähne .....	85
Tabelle 14: Einteilung des gesamten Patientenkollektivs nach den Gesichtstypen: retrognath, orthognath und prognath.....	96
Tabelle 15: Einteilung des gesamten Patientenkollektivs nach der vertikalen Relation zu den Zeitpunkten T1 und T2: Untergruppen Typ 1, 2, 3.....	96
Tabelle 16: Einteilung des gesamten Patientenkollektivs nach der vertikalen Relation zu den Zeitpunkten T1 und T2: O-/N-/T-Typ .....	97
Tabelle 17: Lineare Regressionen: Abstand WZ5-PtV zum Zeitpunkt T2 .....	99
Tabelle 18: Lineare Regressionen: Abstand WZ6-PtV zum Zeitpunkt T2 .....	99
Tabelle 19: Lineare Regressionen: Abstand WZ7-PtV zum Zeitpunkt T2 .....	99
Tabelle 20: Lineare Regressionen: Diff.WZ5-PtV.....	100
Tabelle 21: Lineare Regressionen: Diff.WZ6-PtV.....	101
Tabelle 22: Lineare Regressionen: Diff.WZ7-PtV.....	101
Tabelle 23: Änderungen innerhalb des basalen Trends .....	130
Tabelle 24: Vergleich der Distalisationsstrecken für den Prämolaren .....	136
Tabelle 25: Distalisationsstrecken des Prämolaren im gesamten Kollektiv.....	137
Tabelle 26: Distalisationsstrecken des Prämolaren in Gruppe 1.....	137
Tabelle 27: Distalisationsstrecken des Prämolaren in Gruppe 2.....	137
Tabelle 28: Distalisationsstrecken für den ersten Molaren.....	140
Tabelle 29: Distalisationsstrecken für den zweiten Molaren.....	141

## 11 Literaturverzeichnis

Editorial: AAO issues special bulletin on extraoral appliance care.  
Am J Orthod. 68 (1975) 457

Al-Awadhi, E.A., Garvey, T.M., Alhag, M., Claffey, N.M., O'Connell, B.  
Efficacy of the Nance appliance as an anchorage-reinforcement method.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of  
Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 147 (2015) 330-338

Angle, E.H.  
Classification of malocclusion.  
Dental Cosmos. 41 (1899) 148-264; 350-157

Angle, E.H.  
Treatment of malocclusion of the teeth and fractures of the maxillae: Angle's system.  
SS White Dental Manufacturing Company. (1900)

Angle, E.H.  
"Behandlung der Okklusionsanomalien der Zähne: Angle's System, 7. Auflage, deutsche Übersetzung von J.  
Grünberg redigiert von A. Oppenheim, H. Meusser"  
Hermann Meusser, Berlin, 1908

Angle, E.H.  
"Die Okklusionsanomalien der Zähne. 2. deutsche umgearbeitete und vermehrte Auflage. "  
H. Meusser, Grünberg J, Berlin, OppenheimA, Wien, 1913

Asscherickx, K., Hanssens, J.-L., Wehrbein, H., Sabzevar, M.M.  
Orthodontic anchorage implants inserted in the median palatal suture and normal transverse maxillary growth in  
growing dogs: a biometric and radiographic study.  
The Angle orthodontist. 75 (2005) 826-831

Balters, W.  
Die Technik und Übung der allgemeinen und speziellen Bionatortherapie.  
Quintessenz. 1 (1964) 77

Barros, S.E., Chiqueto, K., Janson, G., Ferreira, E.  
Factors influencing molar relationship behavior in the mixed dentition.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of  
Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 148 (2015) 782-792

Bassett, C.A.L., Pawluk, R.J.  
Effects of electric currents on bone in vivo.  
Nature. 204 (1964) 652-654

Behrents, R.G.  
Iatrogenic problems associated with the clinical practice of orthodontics.  
CRANIOFACIAL GROWTH SERIES. 31 (1996) 1-28

Björk, A.  
The face in profile.  
Svensk Tandsk. Tidsk. 40 (1947)

Björk, A.  
Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants.  
Acta Odontologica Scandinavica. 13 (1955) 9-34

Björk, A.  
Sutural growth of the upper face studied by the implant method.  
Acta Odontologica Scandinavica. 24 (1966) 109-127

Block, M.S., Hoffman, D.R.  
A new device for absolute anchorage for orthodontics.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of  
Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 107 (1995) 251-258

- Böhm, A., Rammelsberg, P., May, H., Pho Duc, J., Pospiech, P., Gernet, W.  
Direkte dreidimensionale elektronische Kondylenpositionsanalysen zur Bestimmung von RKP-IKP-Diskrepanzen.  
Dtsch Zahnärztl. (1995a) 50
- Böhm, A., Rammelsberg, P., Pho Duc, J., May, H., Pospiech, P., Gernet, W.  
Elektronische Kondylenpositionsanalyse bei Gesunden und Patienten mit anteriorer Diskusverlagerung im Kiefergelenk.  
Dtsch Zahnärztl. (1995b) 50
- Bolla, E., Muratore, F., Carano, A., Bowman, S.J.  
Evaluation of maxillary molar distalization with the distal jet: a comparison with other contemporary methods.  
The Angle orthodontist. 72 (2002) 481-494
- Bondemark, L., Kurol, J.  
Distalization of maxillary first and second molars simultaneously with repelling magnets.  
The European Journal of Orthodontics. 14 (1992) 264-272
- Bondemark, L., Kurol, J., Bernhold, M.  
Repelling magnets versus superelastic nickel-titanium coils in simultaneous distal movement of maxillary first and second molars.  
The Angle orthodontist. 64 (1994) 189-198
- Borsos, G., Voko, Z., Gredes, T., Kunert-Keil, C., Vegh, A.  
Tooth movement using palatal implant supported anchorage compared to conventional dental anchorage.  
Annals of anatomy = Anatomischer Anzeiger : official organ of the Anatomische Gesellschaft. 194 (2012) 556-560
- Bowman, S.J.  
Class II combination therapy.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 32 (1998) 611-620
- Branemark, P.I., Adell, R., Breine, U., Hansson, B.O., Lindstrom, J., Ohlsson, A.  
Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies.  
Scandinavian journal of plastic and reconstructive surgery. 3 (1969) 81-100
- Brickman, C.D.  
"Evaluation of the Jones jig as a non-extraction treatment modality for angle's class II molar correction"  
publisher not identified, 1998
- Brickman, C.D., Sinha, P.K., Nanda, R.S.  
Evaluation of the Jones jig appliance for distal molar movement.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 118 (2000) 526-534
- Brunski, J.B., Moccia, A.F., Jr., Pollack, S.R., Korostoff, E., Trachtenberg, D.I.  
The influence of functional use of endosseous dental implants on the tissue-implant interface. I. Histological aspects.  
Journal of dental research. 58 (1979) 1953-1969
- Bussick, T.J., McNamara, J.A.  
Dentoalveolar and skeletal changes associated with the pendulum appliance.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 117 (2000) 333-343
- Byloff, F.K., Darendeliler, M.A.  
Distal molar movement using the pendulum appliance. Part 1: clinical and radiological evaluation.  
The Angle orthodontist. 67 (1997a) 249-260
- Byloff, F.K., Darendeliler, M.A., Clar, E., Darendeliler, A.  
Distal molar movement using the pendulum appliance. Part 2: the effects of maxillary molar root uprighting bends.  
The Angle orthodontist. 67 (1997b) 261-270
- Byloff, F.K., Karcher, H., Clar, E., Stoff, F.  
An implant to eliminate anchorage loss during molar distalization: a case report involving the Graz implant-supported pendulum.  
The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery. 15 (2000) 129-137



- Carano, A., Testa, M.  
The distal jet for upper molar distalization.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 30 (1996) 374-380
- Cetlin, N.M., Ten Hove, A.  
Nonextraction treatment.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 17 (1983) 396-413
- Chiu, P.P., McNamara, J.A., Franchi, L.  
A comparison of two intraoral molar distalization appliances: distal jet versus pendulum.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 128 (2005) 353-365
- Chung, K.R., Kim, Y.S., Linton, J.L., Lee, Y.J.  
The miniplate with tube for skeletal anchorage.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 36 (2002) 407-412
- Cope, J.B. Temporary anchorage devices in orthodontics: a paradigm shift. Seminars in Orthodontics, 2005. Elsevier, 3-9.
- Cope, J.B., Buschang, P.H., Cope, D.D., Parker, J., Blackwood III, H.  
Quantitative evaluation of craniofacial changes with Jasper Jumper therapy.  
The Angle orthodontist. 64 (1994) 113-122
- Cornelis, M.A., De Clerck, H.J.  
Maxillary molar distalization with miniplates assessed on digital models: a prospective clinical trial.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 132 (2007a) 373-377
- Cornelis, M.A., Scheffler, N.R., De Clerck, H.J., Tulloch, J.C., Behets, C.N.  
Systematic review of the experimental use of temporary skeletal anchorage devices in orthodontics.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 131 (2007b) S52-S58
- Cornelis, M.A., Scheffler, N.R., Mahy, P., Siciliano, S., De Clerck, H.J., Tulloch, J.C.  
Modified miniplates for temporary skeletal anchorage in orthodontics: placement and removal surgeries.  
Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 66 (2008a) 1439-1445
- Cornelis, M.A., Scheffler, N.R., Nyssen-Behets, C., De Clerck, H.J., Tulloch, J.C.  
Patients' and orthodontists' perceptions of miniplates used for temporary skeletal anchorage: a prospective study.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 133 (2008b) 18-24
- Costa, A., Raffaini, M., Melsen, B.  
Miniscrews as orthodontic anchorage: a preliminary report.  
The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery. 13 (1997) 201-209
- Covell Jr, D.A., Trammell, D.W., Boero, R.P., West, R.  
A cephalometric study of Class II Division 1 malocclusions treated with the Jasper Jumper appliance.  
The Angle orthodontist. 69 (1999) 311-320
- De Clerck, H., Geerinckx, V., Siciliano, S.  
The Zygoma Anchorage System.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 36 (2002) 455-459
- DGZMK, DGFDT, DGzPW (2005)  
Terminologieliste der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und Therapie (DGFDT) und der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGzPW)
- Diedrich, P.  
Verschiedene orthodontische Verankerungssysteme.  
Fortschritte der Kieferorthopädie. 54 (1993) 156-171
- Diedrich, P.H.  
"Praxis der Zahnheilkunde,  
Kieferorthopädie I, Orofaziale Entwicklung und Diagnostik"  
Urban & Fischer, München, Jena, 2000
- Dietz, V.S., Gianelly, A.A. Molar distalization with the acrylic cervical occipital appliance. Seminars in Orthodontics, 2000. Elsevier, 91-97.

- Erverdi, N., Koyutürk, O., Kūçūkkeles, N.  
Nickel-titanium coil springs and repelling magnets: a comparison of two different intra-oral molar distalization techniques.  
British Journal of orthodontics. 24 (1997) 47-54
- Escobar, S.A., Tellez, P.A., Moncada, C.A., Villegas, C.A., Latorre, C.M., Oberti, G.  
Distalization of maxillary molars with the bone-supported pendulum: a clinical study.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 131 (2007) 545-549
- Ferro, F., Monsurró, A., Perillo, L.  
Sagittal and vertical changes after treatment of Class II Division 1 malocclusion according to the Cetlin method.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 118 (2000) 150-158
- Fishman, L.S.  
Radiographic evaluation of skeletal maturation: a clinically oriented method based on hand-wrist films.  
The Angle orthodontist. 52 (1982) 88-112
- Fortini, A., Lupoli, M., Giuntoli, F., Franchi, L.  
Dentoskeletal effects induced by rapid molar distalization with the first class appliance.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 125 (2004) 697-704
- Fortini, A., Lupoli, M., Parri, M.  
The First Class Appliance for rapid molar distalization.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 33 (1999) 322-328
- Franchi, L., Baccetti, T., McNamara, J.A.  
Treatment and posttreatment effects of acrylic splint Herbst appliance therapy.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 115 (1999) 429-438
- Fränkel, C., Fränkel, R.  
"Der Funktionsregler in der orofazialen Orthopädie"  
Hüthig, 1992
- Fränkel, R.  
"Funktionskieferorthopädie und der Mundvorhof als apparative Basis"  
Verlag Volk und Gesundheit, 1967
- Freudenthaler, J.W., Bantleon, H.P., Haas, R.  
Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible: a preliminary report on clinical applications.  
Clinical oral implants research. 12 (2001) 358-363
- Fritz, U., Ehmer, A., Diedrich, P.  
Clinical suitability of titanium microscrews for orthodontic anchorage—preliminary experiences.  
Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie. 65 (2004) 410-418
- Fudalej, P., Antoszewska, J.  
Are orthodontic distalizers reinforced with the temporary skeletal anchorage devices effective?  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 139 (2011) 722-729
- Fuhrmann, R., Wehrbein, H., Diedrich, P.  
Anteriore Verankerungsqualität der modifizierten Nance Apparatur bei der Molarendistalisierung.  
Kieferorthopädie. 8 (1994) 45-52
- Fukada, E., Yasuda, I.  
On the piezoelectric effect of bone.  
Journal of the physical society of Japan. 12 (1957) 1158-1162
- Gedrange, T., Gredes, T., Gredes, M., Allegrini, M., Borsos, G., Vegh, A., Salles, M., Heinemann, F., Dominiak, M., Allegrini Jr, S.  
Comparative animal study on hard tissue integration and bone formation of different Nobel Biocare implants.  
Journal of physiology and pharmacology. 60 (2009) 117-121

- Gedrange, T., Köbel, C., Harzer, W.  
Hard palate deformation in an animal model following quasi-static loading to stimulate that of orthodontic anchorage implants.  
The European Journal of Orthodontics. 23 (2001) 349-354
- Gelgor, I.E., Buyukyilmaz, T., Karaman, A.I., Dolanmaz, D., Kalayci, A.  
Intraosseous screw-supported upper molar distalization.  
The Angle orthodontist. 74 (2004) 838-850
- Gelgor, I.E., Karaman, A.I., Buyukyilmaz, T.  
Comparison of 2 distalization systems supported by intraosseous screws.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 131 (2007) 161. e161-161. e168
- Ghosh, J., Nanda, R.S.  
Evaluation of an intraoral maxillary molar distalization technique.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 110 (1996) 639-646
- Gianelly, A.A.  
Distal movement of the maxillary molars.  
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) 66-72
- Gianelly, A.A., Bednar, J., Dietz, V.S.  
Japanese NiTi coils used to move molars distally.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 99 (1991) 564-566
- Gianelly, A.A., Goldman, H.M.  
"Biologic Basis of Orthodontics"  
Lea & Febiger, Philadelphia, 1971
- Gianelly, A.A., Vaitaa, A.S., Thomas, W.M.  
The use of magnets to move molars distally.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 96 (1989) 161-167
- Gianelly, A.A., Vaitas, A., Thomas, W., Berger, D.  
Distalization of molars with repelling magnets.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 22 (1988) 40-44
- Glatzmaier, J., Wehrbein, H., Diedrich, P.  
Die Entwicklung eines resorbierbaren Implantatsystems zur orthodontischen Verankerung.  
Fortschritte der Kieferorthopädie. 56 (1995) 175-181
- Graber, L.W., Vanarsdall, R.L., Vig, K.W., Huang, G.J.  
"Orthodontics, Current Principles and Techniques"  
Elsevier Mosby Comp, 2005
- Graber, T.  
Extraoral force—facts and fallacies.  
American Journal of Orthodontics. 41 (1955) 490-505
- Gracco, A., Tracey, S., Baciliero, U.  
Miniscrew insertion and the maxillary sinus: an endoscopic evaluation.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 44 (2010) 439-443
- Greenfield, R.L.  
Fixed piston appliance for rapid Class II correction.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 29 (1995) 174
- Gulati, S., Kharbanda, O., Parkash, H.  
Dental and skeletal changes after intraoral molar distalization with sectional jig assembly.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 114 (1998) 319-327
- Günay, H., Lührs, A.  
Konservative Therapie parodontaler Rezessionen mit Zahnhartsubstanzdefekten mittels zahnfleischfarbener Kompomere—klinisches Vorgehen.  
Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift. 61 (2006) 11

- Haas, S.E., Cisneros, G.J. The goshgarian transpalatal bar: A clinical and an experimental investigation. *Seminars in Orthodontics*, 2000. Elsevier, 98-105.
- Hasund, A., Bøe, O.E.  
"Klinische Kephalemetrie für die Bergen-Technik"  
Kieferorthopädische Abt. des Zahnärztlichen Inst. der Univ. Bergen, Bergen, Norwegen, 1984
- Häupl, K., Andresen, V., Petrik, L.  
"Funktions-Kieferorthopädie"  
Barth, 1957
- Heidemann, W., Gerlach, K.L., Gröbel, K.-H., Köllner, H.-G.  
Influence of different pilot hole sizes on torque measurements and pullout analysis of osteosynthesis screws. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 26 (1998) 50-55
- Heymann, G.C., Cevidanes, L., Cornelis, M., De Clerck, H.J., Tulloch, J.F.  
Three-dimensional analysis of maxillary protraction with intermaxillary elastics to miniplates. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 137 (2010) 274-284
- Higuchi, K.W., Slack, J.M.  
The use of titanium fixtures for intraoral anchorage to facilitate orthodontic tooth movement. *The International journal of oral & maxillofacial implants*. 6 (1991) 338-344
- Hilgers, J.J.  
The pendulum appliance for Class II non-compliance therapy. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 26 (1992) 706-714
- Huerter, G.W.  
"A retrospective evaluation of maxillary molar distalization with the Distal Jet appliance", 2000
- Ihlow, D., Rudzki, I.  
"Kieferorthopädische Retention: Kriterien, Regeln und Maßnahmen der Rezidivprophylaxe"  
Georg Thieme Verlag, 2017
- Itoh, T., Tokuda, T., Kiyosue, S., Hirose, T., Matsumoto, M., Chaconas, S.J.  
Molar distalization with repelling magnets. *Journal of clinical orthodontics : JCO*. 25 (1991) 611-617
- Jacobson, A.  
The "Wits" appraisal of jaw disharmony. *Am J Orthod*. 67 (1975) 125-138
- Janson, I.  
Eine Untersuchung zur mittleren Durchbruchzeit der bleibenden Zähne des Menschen. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*. 32 (1971) 387-397
- Jasper, J.  
The Jasper Jumper: a fixed functional appliance. *Sheboygan, Wis: American Orthodontics*. (1987) 5-27
- Jones, R., White, J.  
Rapid Class II molar correction with an open-coil jig. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 26 (1992) 661
- Joseph, A.A., Butchart, C.J. An evaluation of the pendulum distalizing appliance. *Seminars in Orthodontics*, 2000. Elsevier, 129-135.
- Kahl-Nieke, B.  
Einführung in die Kieferorthopädie: Diagnostik, Behandlungsplanung. Therapie. Köln, Deutschland: Deutscher Zahnärzte Verlag. (2009)
- Kalra, V.  
The K-loop molar distalizing appliance. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 29 (1995) 298

- Kanomi, R.  
Mini-implant for orthodontic anchorage.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 31 (1997) 763-767
- Kantorowicz, A.  
Von der Frühbehandlung zur Vorbeugung der erworbenen kieferorthopädischen Anomalien.  
Dtsch Zahnärztl Z. 14 (1959) 227-238
- Kantorowicz, A., Korkhaus, G.  
Ätiologie der orthodontischen Anomalien.  
Fortschr. Zahnheilk. 9 (1926) 773-805
- Karaman, A.I., Basciftci, F., Polat, O.  
Unilateral distal molar movement with an implant-supported distal jet appliance.  
The Angle orthodontist. 72 (2002) 167-174
- Karlsson, I., Bondemark, L.  
Intraoral maxillary molar distalization: movement before and after eruption of second molars.  
The Angle orthodontist. 76 (2006) 923-929
- Keles, A.  
Maxillary unilateral molar distalization with sliding mechanics: a preliminary investigation.  
The European Journal of Orthodontics. 23 (2001) 507-515
- Keles, A., Erverdi, N., Sezen, S.  
Bodily distalization of molars with absolute anchorage.  
The Angle orthodontist. 73 (2003) 471-482
- Keles, A., Pamukcu B., Tokmak E. C.  
Bilateral maxillary molar distalization with sliding mechanics.  
(2002)
- Keles, A., Sayinsu, K.  
A new approach in maxillary molar distalization: intraoral bodily molar distalizer.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 117 (2000) 39-48
- Kim, H.-J., Yun, H.-S., Park, H.-D., Kim, D.-H., Park, Y.-C.  
Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 130 (2006) 177-182
- Kim, J.-W., Ahn, S.-J., Chang, Y.-I.  
Histomorphometric and mechanical analyses of the drill-free screw as orthodontic anchorage.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 128 (2005) 190-194
- Kinzinger, G., Diedrich, P.R., Bowman, S.J.  
Upper molar distalization with a miniscrew-supported Distal Jet.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 40 (2006) 672
- Kinzinger, G., Wehrbein, H., Byloff, F.K., Yildizhan, F., Diedrich, P.  
Innovative anchorage alternatives for molar distalization--an overview.  
Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie. 66 (2005a) 397-413
- Kinzinger, G.S., Eren, M., Diedrich, P.R.  
Treatment effects of intraoral appliances with conventional anchorage designs for non-compliance maxillary molar distalization. A literature review.  
The European Journal of Orthodontics. 30 (2008a) 558-571
- Kinzinger, G.S., Fritz, U.B., Sander, F.G., Diedrich, P.R.  
Efficiency of a pendulum appliance for molar distalization related to second and third molar eruption stage.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 125 (2004) 8-23

- Kinzinger, G.S., Gross, U., Fritz, U.B., Diedrich, P.R.  
Anchorage quality of deciduous molars versus premolars for molar distalization with a pendulum appliance.  
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 (2005b) 314-323
- Kinzinger, G.S., Gülден, N., Yildizhan, F., Diedrich, P.R.  
Efficiency of a skeletonized distal jet appliance supported by miniscrew anchorage for noncompliance maxillary molar distalization.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 136 (2009) 578-586
- Kinzinger, P.-D.D.G., Gülден, N., Yildizhan, F., Hermanns-Sachweh, B., Diedrich, P.  
Anchorage efficacy of palatally-inserted miniscrews in molar distalization with a periodontally/miniscrew-anchored distal jet.  
Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie. 69 (2008b) 110-120
- Kircelli, B.H., Pektas, Z., Kircelli, C.  
Maxillary molar distalization with a bone-anchored pendulum appliance.  
The Angle orthodontist. 76 (2006) 650-659
- Klein, P.L.  
An evaluation of cervical traction on the maxilla and the upper first permanent molar.  
The Angle orthodontist. 27 (1957) 61-68
- Kloehn, S.J.  
Guiding alveolar growth and eruption of teeth to reduce treatment time and produce a more balanced denture and face.  
The Angle orthodontist. 17 (1947) 10-33
- Kloehn, S.J.  
Orthodontics--force or persuasion\*.  
The Angle orthodontist. 23 (1953) 56-65
- Kravitz, N.D., Kusnoto, B., Tsay, P.T., Hohlt, W.F.  
Intrusion of overerupted upper first molar using two orthodontic miniscrews: A case report.  
The Angle orthodontist. 77 (2007) 915-922
- Kuroda, S., Katayama, A., Takano-Yamamoto, T.  
Severe anterior open-bite case treated using titanium screw anchorage.  
The Angle orthodontist. 74 (2004) 558-567
- Kyung, S.H., Hong, S.G., Park, Y.C.  
Distalization of maxillary molars with a midpalatal miniscrew.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 37 (2003) 22-26
- Lai, M. Molar distalization with the Herbst appliance. Seminars in Orthodontics, 2000. Elsevier, 119-128.
- Lee, J.S., Kim, D.H., Park, Y.C., Kyung, S.H., Kim, T.K.  
The efficient use of midpalatal miniscrew implants.  
The Angle orthodontist. 74 (2004) 711-714
- Lentner, E., Rammelsberg, P., Böhm, A., Pospiech, P., Gernet, W.  
Zum Untersuchereinfluss auf Lage und Reproduzierbarkeit der zentrischen Kondylenposition.  
Dtsch Zahnärztl. (1997) 52
- Locatelli, R., Bednar, J., Dietz, V.S., Gianelly, A.A.  
Molar distalization with superelastic NiTi wire.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 26 (1992) 277-279
- Longerich, U.J., Thureau, M., Kolk, A.  
Development of a new device for maxillary molar distalization with high pseudoelastic forces to overcome slider friction: the Longslider--a modification of the Beneslider.  
Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology. 118 (2014) 22-34
- Ludwig, B., Böhm, B.  
"Mini-Implantate in der Kieferorthopädie: innovative Verankerungskonzepte"  
Quintessenz, 2007

- Ludwig, B., Glasl, B., Bowman, J., Wilmes, B., Kinzinger, G., Lisson, J.  
Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Palatal Sites.  
(2011)
- Melsen, B., Bosch, C.  
Different approaches to anchorage: a survey and an evaluation.  
The Angle orthodontist. 67 (1997) 23-30
- Melsen, B., Costa, A.  
Immediate loading of implants used for orthodontic anchorage.  
Clinical orthodontics and research. 3 (2000) 23-28
- Miura, F., Mogi, M., Ohura, Y., Karibe, M.  
The super-elastic Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics part III. Studies on the Japanese NiTi alloy coil springs.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 94 (1988) 89-96
- Muse, D.S., Fillman, M.J., Mitchell, R.D.  
Molar and incisor changes with Wilson rapid molar distalization.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 104 (1993) 556-565
- Nanda, R.S.  
The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms.  
American Journal of Orthodontics. 41 (1955) 658-673
- Ngantung, V., Nanda, R.S., Bowman, S.J.  
Posttreatment evaluation of the distal jet appliance.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 120 (2001) 178-185
- Nienkemper, M., Wilmes, B., Pauls, A., Yamaguchi, S., Ludwig, B., Drescher, D.  
Treatment efficiency of mini-implant-borne distalization depending on age and second-molar eruption.  
Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie. 75 (2014) 118-132
- Nötzel, F., Schultz, C. 2008. Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis. Köln. Germany: Deutscher Zahnärzte Verlag.
- Pancherz, H.  
Treatment of Class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance: a cephalometric investigation.  
American journal of orthodontics. 76 (1979) 423-442
- Pancherz, H.  
The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment: a cephalometric investigation.  
American journal of orthodontics. 82 (1982) 104-113
- Pancherz, H., Anehus-Pancherz, M.  
The headgear effect of the Herbst appliance: a cephalometric long-term study.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 103 (1993) 510-520
- Paphangkorakit, J., Osborn, J.  
Effects on human maximum bite force of biting on a softer or harder object.  
Archives of Oral Biology. 43 (1998) 833-839
- Patel, A.N.  
"Analysis of the Distal Jet appliance for maxillary molar Distalization"  
publisher not identified, 1999
- Pieringer, M., Droschl, H., Permann, R.  
Distalization with a Nance appliance and coil springs.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 31 (1997) 321-326
- Poggio, P.M., Incorvati, C., Velo, S., Carano, A.  
"Safe zones": a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch.  
The Angle orthodontist. 76 (2006) 191-197

- Poulton, D.R.  
The influence of extraoral traction.  
American journal of orthodontics. 53 (1967) 8-18
- Proff, P., Bayerlein, T., Fanghanel, J., Allegrini, S., Jr., Gedrange, T.  
Morphological and clinical considerations of first and second permanent molar eruption disorders.  
Annals of anatomy = Anatomischer Anzeiger : official organ of the Anatomische Gesellschaft. 188 (2006) 353-361
- Proffit, W.R., Fields Jr, H.W., Sarver, D.M.  
"Contemporary orthodontics"  
Elsevier Health Sciences, 2013
- Rana, R., Becher, M.K. Class II correction using the bimetric distalizing arch. Seminars in Orthodontics, 2000.  
Elsevier, 106-118.
- Rebellato, J. Two-couple orthodontic appliance systems: transpalatal arches. Seminars in orthodontics, 1995.  
Elsevier, 44-54.
- Revelo, B., Fishman, L.S.  
Maturational evaluation of ossification of the midpalatal suture.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 105 (1994) 288-292
- Ricketts, R. The stabilization and guidance of metapositioning. Part I and II. Retention and long-term stability. 8th International conference for orthodontists, Huthig, Heidelberg, 1993. 111-159.
- Ricketts, R.M.  
The influence of orthodontic treatment on facial growth and development.  
The Angle orthodontist. 30 (1960) 103-133
- Rieger, M.R., Mayberry, M., Brose, M.O.  
Finite element analysis of six endosseous implants.  
The Journal of prosthetic dentistry. 63 (1990) 671-676
- RöV  
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen.  
Bundesrechtsverordnung. (1987, 2003) 44
- Samuels, R.H., Jones, M.L.  
Orthodontic facebow injuries and safety equipment.  
The European Journal of Orthodontics. 16 (1994) 385-394
- Sander, F.G., Schwenger, N., Ehrenfeld, M.  
"Kieferorthopädie"  
Georg Thieme Verlag KG, 2011
- Schlegel, K.A., Kinner, F., Schlegel, K.D.  
The anatomic basis for palatal implants in orthodontics.  
The International journal of adult orthodontics and orthognathic surgery. 17 (2002) 133-139
- Schmuth G., V.A.  
"Kieferorthopädie"  
Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1994
- Schweizer, C.M., Schlegel, K.A., Rudzki-Janson, I.  
Endosseous dental implants in orthodontic therapy.  
International dental journal. 46 (1996) 61
- Schwenger, N., Ehrenfeld, M.  
"Chirurgische Grundlagen"  
Georg Thieme Verlag, 2008
- Schwenger, N., Reitemeier, B., Ehrenfeld, M.  
"Einführung in die Zahnmedizin"  
Georg Thieme Verlag, 2006



- Segner, D., Hasund, A.  
"Individualisierte Kephalmetrie"  
Segner, 1998
- Sennerby, L., Ödman, J., Lekholm, U., Thilander, B.  
Tissue reactions towards titanium implants inserted in growing jaws. A histological study in the pig.  
Clinical oral implants research. 4 (1993) 65-75
- Sfondrini, M., Cacciafesta, V., Sfondrini, G.  
Upper molar distalization: a critical analysis.  
Orthodontics & craniofacial research. 5 (2002) 114-126
- Shapiro, P., Kokich, V.  
Uses of implants in orthodontics.  
Dental Clinics of North America. 32 (1988) 539-550
- Snodgrass, D.J.  
A fixed appliance for maxillary expansion, molar rotation, and molar distalization.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 30 (1996) 156-159
- Steeves, M., Stone, C., Mogaard, J., Byrne, S.  
How pilot-hole size affects bone-screw pullout strength in human cadaveric cancellous bone.  
Canadian journal of surgery. 48 (2005) 207
- Steinhäuser, E.W., Rudzki-Janson, I.M.  
"Kieferorthopädische Chirurgie: eine interdisziplinäre Aufgabe. 1. Grundlagen zur Behandlungsplanung und Behandlungsdurchführung"  
Quintessenz-Verlag, 1988
- Steinhäuser, E.W., Rudzki-Janson, I.M.  
"Kieferorthopädische Chirurgie: eine interdisziplinäre Aufgabe. 2. Behandlungsablauf bei typischen Dysgnathieformen"  
Quintessenz-Verlag, 1994
- Sugawara, J., Kanzaki, R., Takahashi, I., Nagasaka, H., Nanda, R.  
Distal movement of maxillary molars in nongrowing patients with the skeletal anchorage system.  
American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics. 129 (2006) 723-733
- Thilander, B., Ödman, J., Gröndahl, K., Lekholm, U.  
Aspects on osseointegrated implants inserted in growing jaws. A biometric and radiographic study in the young pig.  
The European Journal of Orthodontics. 14 (1992) 99-109
- Triaca, A., Antonini, M., Wintermantel, E.  
Ein neues titan-Flachschrauben-Implantat zur orthodontischen Verankerung am anterioren Gaumen.  
Inf Orthod Kieferorthop. 24 (1992) 251-257
- Turley, P., Kean, C., Schur, J., Stefanac, J., Gray, J., Hennes, J., Poon, L.  
Orthodontic force application to titanium endosseous implants.  
The Angle orthodontist. 58 (1988) 151-162
- Tweed, C.H.  
The Application of the Principles of the Edge-wise Arch in the Treatment of Malocclusions: II.  
The Angle orthodontist. 11 (1941) 12-67
- Üçem, T., Yüksel, S., Okay, C., Gülsen, A.  
Effects of a three-dimensional bimetric maxillary distalizing arch.  
The European Journal of Orthodontics. 22 (2000) 293-298
- Umemori, M., Sugawara, J., Mitani, H., Nagasaka, H., Kawamura, H.  
Skeletal anchorage system for open-bite correction.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 115 (1999) 166-174
- Utz, K., Duvenbeck, H., Oettershagen, K.  
Distanz zwischen terminaler Scharnierachsenposition und Interkuspidationsposition im Kiefergelenkbereich.  
Schweiz Monatsschr Zahnmed. 100 (1990) 42-49

- Utz, K., Schmitter, M., Freesmeyer, W.  
Kieferrelationsbestimmung. Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Prothetische Zahnmedizin und Biomaterialien.  
Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift. 65 (2010) 766-775
- Velo, S., Rotunno, E., Cozzani, M.  
The Implant Distal Jet.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 41 (2007) 88
- Wehrbein, H.  
Enossale titanimplantate als orthodontische verankerungselemente.  
Fortschritte der Kieferorthopädie. 55 (1994) 236-250
- Wehrbein, H.  
Bone quality in the midpalate for temporary anchorage devices.  
Clinical oral implants research. 20 (2009) 45-49
- Wehrbein, H., Glatzmaier, J., Mundwiller, U., Diedrich, P.  
The Orthosystem--a new implant system for orthodontic anchorage in the palate.  
Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie. 57 (1996a) 142-153
- Wehrbein, H., Merz, B.R., Diedrich, P.  
Palatal bone support for orthodontic implant anchorage-a clinical and radiological study.  
The European Journal of Orthodontics. 21 (1999) 65-70
- Wehrbein, H., Merz, B.R., Diedrich, P., Glatzmaier, J.  
The use of palatal implants for orthodontic anchorage. Design and clinical application of the orthosystem.  
Clinical oral implants research. 7 (1996b) 410-416
- Wiechmann, D., Meyer, U., Buchter, A.  
Success rate of mini- and micro-implants used for orthodontic anchorage: a prospective clinical study.  
Clinical oral implants research. 18 (2007) 263-267
- Wieslander, L., Tandlärare, L.  
The effect of orthodontic treatment on the concurrent development of the craniofacial complex.  
American Journal of Orthodontics. 49 (1963) 15-27
- Wilmes, B., Bowman, J., Baumgaertel, S.  
Fields of application of mini-implants.  
Mini-Implants in Orthodontics Innovative Anchorage Concepts. (2008a) 91-122
- Wilmes, B., Drescher, D.  
Verankerung mit Miniimplantaten bei präprothetischer kieferorthopädischer Therapie.  
Kieferorthopädie. 20 (2006a) 203-208
- Wilmes, B., Drescher, D.  
A miniscrew system with interchangeable abutments.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 42 (2008b) 574-580; quiz 595
- Wilmes, B., Drescher, D.  
Impact of insertion depth and predrilling diameter on primary stability of orthodontic mini-implants.  
The Angle orthodontist. 79 (2009a) 609-614
- Wilmes, B., Drescher, D.  
Application and effectiveness of the Beneslider: a device to move molars distally.  
World journal of orthodontics. 11 (2010) 331-340
- Wilmes, B., Drescher, D.  
Impact of bone quality, implant type, and implantation site preparation on insertion torques of mini-implants used for orthodontic anchorage.  
International journal of oral and maxillofacial surgery. 40 (2011) 697-703
- Wilmes, B., Drescher, D., Nienkemper, M.  
A miniplate system for improved stability of skeletal anchorage.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 43 (2009b) 494-501

- Wilmes, B., Nienkemper, M., Drescher, D.  
Der Beneslider zur Distalisierung im Oberkiefer.  
Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie. 45 (2013) 42-50
- Wilmes, B., Nienkemper, M., Ludwig, B., Kau, C.H., Pauls, A., Drescher, D.  
Esthetic Class II treatment with the Beneslider and aligners.  
Journal of clinical orthodontics : JCO. 46 (2012) 390-398; quiz 437
- Wilmes, B., Ottenstreuer, S., Su, Y.Y., Drescher, D.  
Impact of implant design on primary stability of orthodontic mini-implants.  
Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie. 69 (2008c) 42-50
- Wilmes, B., Rademacher, C., Olthoff, G., Drescher, D.  
Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants.  
Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopädie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie. 67 (2006b) 162-174
- Wilmes, B., Su, Y.Y., Drescher, D.  
Insertion angle impact on primary stability of orthodontic mini-implants.  
The Angle orthodontist. 78 (2008d) 1065-1070
- Wilson, W.  
Modular orthodontic systems. Part 1.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 12 (1978a) 259
- Wilson, W.  
Modular orthodontic systems. Part 2.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 12 (1978b) 358-375
- Wilson, W., Wilson, R.  
Multi-directional 3D functional Class II treatment.  
Journal of clinical orthodontics: JCO. 21 (1987) 186
- Yildizhan, F. 2004. Strukturparameter des medianen Gaumens und orthodontische Verankerungsimplantate: eine radiologische, histologische und histomorphometrische Studien.
- Zablocki, H.L., McNamara, J.A., Franchi, L., Baccetti, T.  
Effect of the transpalatal arch during extraction treatment.  
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 133 (2008) 852-860

## 12 Anhang

### 12.1 Abkürzungsverzeichnis

FRS	Ferröntgenseitenbild
OPG	Orthopantomogramm
OK	Oberkiefer
UK	Unterkiefer
KFO	Kieferorthopädie
TADs	Temporäre skelettale Verankerungshilfen
ACCO-Apparatur	Acrylic cervical occipital
TPA	Transpalatinalbogen
BDA	Wilson's bimetrischer Distalisierungsbogen
Ni-Ti	Nickel-Titan
FCA	First-Class-Apparatur
IBMB	Das intraorale körperliche Molarendistalisationsgerät
O-Typ	Offener Typ
N-Typ	Neutraler Typ
T-Typ	Tiefer Typ
T1	Zeitpunkt eins
T2	Zeitpunkt zwei
5er	Zweiter Prämolare
6er	Erster Molar
7er	Zweiter Molar
S	Sella
N	Nasion
Ba	Basion
Sp	Spina nasalis anterior
A	A-Punkt
Pm	Pterygomaxillare
Iss	Inzision superius
Ilsa	Apex des Oberkiefer-Schneidezahnes
Pg	Pogonion

B	B-Punkt
Gn	Gnathion
Ar	Artikulare
Sp'	Spina Strich
tgo	Gonion-Tangentenpunkt
Pt	Pterygoidpunkt
Z5	Zentroidpunkt des 5ers im Oberkiefer
Z6	Zentroidpunkt des 6ers im Oberkiefer
Z7	Zentroidpunkt des 7ers im Oberkiefer
WZ5	Widerstandszentrum des 5ers im OK
WZ6	Widerstandszentrum des 6ers im OK
WZ7	Widerstandszentrum des 7ers im OK
A5	Apex des zweiten Prämolaren im OK
A6	Apex des 6ers im OK
A7	Apex des 7ers im OK
SZG5	Schmelz-Zement-Grenze des 5ers im OK
SZG6	Schmelz-Zement-Grenze des 6ers im OK
SZG7	Schmelz-Zement-Grenze des 7ers im OK
kP5	Koronaler Punkt des 5ers im OK
kP6	Koronaler Punkt des 6ers im OK
kP7	Koronaler Punkt des 7ers im OK
dP5	Distalster Punkt des 5ers im OK
dP6	Distalster Punkt des 6ers im OK
dP7	Distalster Punkt des 7ers im OK
NSL	Nasion-Sella-Linie, vordere Schädelbasis
NL	Nasallinie, Nasalplanum, Oberkiefergrundebene
ML	Mandibularlinie
NA-Linie	Nasion-A-Punkt-Linie
NB-Linie	Nasion-B-Punkt-Linie
NPg-Linie	Nasion-Pogonion-Linie
ZA1	Zahnachse 1er

ZA5	Zahnachse 5er
ZA6	Zahnachse 6er
ZA7	Zahnachse 7er
PtV	Pterygoidvertikale
N-Gn-Linie	Nasion-Gnathion-Linie
SNA-Winkel	Winkel zwischen NSL und Nasion-A-Punkt-Linie
SNB-Winkel	Winkel zwischen NSL und Nasion-B-Punkt-Linie
ANB-Winkel	Winkel zwischen Nasion-A-Punkt-Linie und Nasion-B-Punkt-Linie
SNPg-Winkel	Winkel zwischen NSL-Linie und Nasion-Pogonion-Linie
ML-NSL-Winkel	Inklinationsgrad der Mandibula, Winkel zwischen vorderer Schädelbasis und der Mandibularlinie
NL-NSL-Winkel	Inklinationswinkel der Maxilla, Winkel zwischen vorderer Schädelbasis und dem Nasalplanum
ML-NL-Winkel	Interbasiswinkel
NSBa-Winkel	Schädelbasiswinkel
Gn-tgo-Ar	Kieferwinkel
N-Sp' mm,	Strecke Nasion-Spina Strich in mm, vordere mittlere Gesichtsteilhöhe
Sp'-Gn mm	Strecke Spina Strich zu Gnathion in mm, vordere untere Gesichtsteilhöhe
OK1-NA-Winkel	Winkel zwischen ZA1 und Nasion-A-Punkt-Linie
OK1-NA-Strecke:	Abstand von Iss zur Nasion-A-Punkt-Linie
A5-PtV, A6-PtV, A7-PtV	Abstände Apex 5, Apex 6, Apex 7 zur Pterygoidvertikalen
WZ5-PtV, WZ6-PtV, WZ7-PtV	Abstände Widerstandszentrum 5er, 6er, und 7er zur Pterygoidvertikalen
SZG5-PtV, SZG6-PtV, SZG7-PtV	Abstände Schmelz-Zement-Grenze 5er, 6er und 7er zur Pterygoidvertikalen
Z5-PtV, Z6-PtV, Z7-PtV	Abstände Zentroidpunkt 5er, 6er und 7er zur Pterygoidvertikalen
kP5-PtV, kP6-PtV, kP7-PtV	Abstände koronaler Punkt 5er, 6er, 7er zur Pterygoidvertikalen
dP5-PtV, dP6-PtV, dP7-PtV	Abstände distalster Punkt 5er, 6er und 7er zur Pterygoidvertikalen
ZA5-NL-Winkel, ZA6-NL-Winkel, ZA7-NL-Winkel:	Winkel zwischen den Zahnachsen und dem Nasalplanum
m	männlich

w	weiblich
P-Wert	Signifikanzwert
W-Test	Wilcoxon Vorzeichen-Rang-Test
M-Test	Mann Whitney U Test
T-Test	Verbundener bzw. unverbundener T-Test
Std. Fehler	Standardfehler
Diff.	Differenz
Geschw.	Geschwindigkeit
Diff.	Differenz
Geschw.	Geschwindigkeit

## 12.2 Untersuchungsdaten

### 12.2.1 Messwerte

Tabelle 1: Gesamtes Patientenkollektiv: Aus den Karteikarten extrahierte Daten der Patienten

Patient	Geschlecht	Datum Einsetzen Slider	Alter beim Einsetzen	Datum Ende Slider	Tragedauer in Monaten	Datum FRS 1	Datum OPT 1	Datum FRS 2	Datum OPT 2	Datum FRS 3	Datum OPT 3
1	w	28.01.12	10,3	07.11.12	9,3	15.01.10	15.01.10	27.07.11	27.07.11	22.10.14	22.10.14
2	m	10.05.10	16,3	02.04.14	46,8	10.12.09	17.01.12	04.03.13	07.05.14	07.05.14	
3	m	07.06.11	12,8	10.12.12	18,2	28.08.09	20.01.12	10.12.12	10.12.12		
4	m	10.12.13	13,0	26.11.14	11,5	29.01.13	23.01.12	14.09.16	29.01.13		14.09.16
5	w	11.12.13	15,4	21.01.16	25,4	24.11.10	26.01.12	02.07.12	02.07.12	25.04.16	25.04.16
6	w	05.12.12	9,5	08.09.14	21,1	01.08.12	28.01.12	08.04.13	08.04.13	14.09.15	14.09.15
7	w	30.01.14	11,5	06.05.15	15,2	18.06.13	02.02.12	14.07.16	25.02.16		
8	w	14.05.13	17,0	24.05.16	36,4	06.02.13	09.02.12	08.06.16	08.06.16		
9	m	03.07.13	14,4	12.11.15	28,4	17.01.13	10.02.12	11.05.15	21.12.15	21.12.15	
10	m	28.01.12	15,8	24.02.15	36,9	29.07.11	13.02.12	15.03.13	29.07.11	01.06.15	01.06.15
11	w	29.11.08	28,8	03.12.09	12,1	11.06.08	16.02.12	27.03.14	27.03.14		
12	w	27.02.13	13,6	11.03.14	12,4	01.10.12	19.02.12	11.03.14	11.03.14	17.06.15	17.06.15
13	m	28.01.15	15,9	07.07.16	17,3	09.04.13	28.02.12	07.07.16	07.07.16		
14	m	03.02.09	17,3	05.02.10	12,1	02.10.07	01.03.12	05.02.10	12.10.11	12.10.11	
15	m	11.02.09	13,6	01.06.11	27,6	13.12.07	04.03.12	12.09.11	30.06.11		
16	w	20.05.10	12,9	12.04.12	22,8	20.01.10	07.03.12	12.11.12	12.11.12		
17	m	15.06.12	11,4	22.12.15	42,3	24.05.12	11.03.12	12.04.13	12.04.13	08.04.16	08.04.16
18	w	29.01.14	14,2	29.07.15	18,0	20.10.10	12.03.12	24.01.12	24.01.12	02.10.15	02.10.15
19	w	13.12.13	26,3	05.08.14	7,7	25.07.13	25.07.13	03.05.16	26.11.13	03.05.16	03.05.16
20	w	25.04.14	10,0	02.12.15	19,3	31.07.13	31.07.13	11.08.16	11.08.16		
21	w	30.10.14	12,3	29.06.16	20,0	27.05.14	27.05.14	29.06.16			
22	m	16.07.13	15,6	25.02.15	19,4	04.02.13	04.02.13	16.07.13	25.02.15	25.02.15	
23	m	04.06.14	16,0	17.06.15	12,4	05.02.14	05.02.14	04.08.16	04.08.16		
24	w	18.03.13	10,7	26.03.14	12,3	23.10.12	23.10.12	04.12.14	04.12.14		
25	m	30.04.14	12,8	16.03.16	22,6	12.11.13	12.11.13	11.04.14	11.04.14	06.07.16	
26	w	31.07.14	14,2	28.05.15	9,9	17.04.14	17.04.14	31.07.14		26.07.16	
27	m	09.02.15	10,5	18.04.16	14,3	13.08.14	13.08.14	09.02.15	09.02.15	22.06.16	22.06.16
28	m	03.07.13	15,5	05.05.15	22,1	22.11.12	30.10.12	30.07.13	05.05.15	05.05.15	
29	w	20.10.14	14,7	12.11.15	12,8	16.04.14	16.04.14	20.10.14	12.11.15	12.11.15	
30	m	03.12.14	12,8	14.06.16	18,4	07.07.14	07.07.14	03.12.14		03.08.16	
31	w	26.11.14	15,2	04.02.16	14,3	15.09.14	15.09.14	08.12.14	04.02.16	22.06.16	
32	w	02.04.14	15,2	24.05.16	25,8	20.11.13	20.11.13	02.04.14	24.05.16	24.05.16	
33	w	16.04.13	13,5	09.03.15	22,8	18.07.12	18.07.12	09.03.15	09.03.15		
34	w	05.08.13	15,6	29.10.14	14,8	03.04.13	03.04.13	22.07.13	17.02.16	17.02.16	
35	m	28.01.15	12,0	25.01.16	11,9	02.10.14	02.10.14	28.01.15	19.04.16	19.04.16	
36	w	09.07.15	14,0	01.06.16	10,8	07.04.15	07.04.15	23.06.15		15.06.16	
37	w	03.02.15	12,7	03.12.15	10,0	11.08.14	11.08.14	03.02.15	07.06.16	16.06.16	



Tabelle 2: Gesamtes Patientenkollektiv: Zeitspannen zwischen den Röntgenaufnahmen und der Ein- und Ausgliederung des Beneslidars (Mittelwerte)

Patient	Geschl.	Datum Einsetzen Beneslider	FRS-Datum1	FRS-Datum2	Datum Ende Beneslider	Tragedauer (Monate)	Diff. FRS2-FRS1 (Monate)	Diff. FRS2-FRS1 (Jahre)	Diff. Einsetzen-FRS1 (Monate)	Diff. FRS2-Ausgliedern (Monate)
1	w	28.01.12	27.07.11	22.10.14	07.11.12	9,3	38,9	3,2	6,1	23,5
2	m	10.05.10	10.12.09	07.05.14	02.04.14	46,8	52,9	4,4	5,0	1,2
3	m	07.06.11	28.08.09	10.12.12	10.12.12	18,2	39,5	3,3	21,3	0,0
4	m	10.12.13	29.01.13	14.09.16	26.11.14	11,5	43,6	3,6	10,4	21,6
5	w	11.12.13	02.07.12	25.04.16	21.01.16	25,4	45,8	3,8	17,3	3,1
6	w	05.12.12	01.08.12	14.09.15	08.09.14	21,1	37,5	3,1	4,1	12,2
7	w	30.01.14	18.06.13	14.07.16	06.05.15	15,2	36,9	3,1	7,4	14,3
8	w	14.05.13	06.02.13	08.06.16	24.05.16	36,4	40,1	3,3	3,2	0,5
9	m	03.07.13	17.01.13	21.12.15	12.11.15	28,4	35,1	2,9	5,5	1,3
10	m	28.01.12	29.07.11	01.06.15	24.02.15	36,9	46,2	3,8	6,0	3,2
11	w	29.11.08	11.06.08	27.03.14	03.12.09	12,1	69,6	5,8	5,6	51,8
12	w	27.02.13	01.10.12	17.06.15	11.03.14	12,5	32,5	2,7	4,9	15,2
13	m	28.01.15	09.04.13	07.07.16	07.07.16	17,3	39,0	3,2	21,7	0,0
14	m	03.02.09	02.10.07	12.10.11	05.02.10	12,1	48,4	4,0	16,1	20,2
15	m	11.02.09	13.12.07	12.09.11	01.06.11	27,6	45,0	3,8	14,0	3,4
16	w	20.05.10	20.01.10	12.11.12	12.04.12	22,8	33,8	2,8	3,9	7,0
17	m	15.06.12	24.05.12	08.04.16	22.12.15	43,3	46,5	3,9	0,7	3,6
18	w	29.01.14	24.01.12	02.10.15	29.07.15	18	44,3	3,7	24,2	2,1
19	w	13.12.13	25.07.13	03.05.16	05.08.14	7,7	33,3	2,8	4,6	21,0
20	w	25.04.14	31.07.13	11.08.16	02.12.15	19,3	36,4	3,0	8,8	8,3
21	w	30.10.14	27.05.14	29.06.16	29.06.16	20	25,1	2,1	5,1	0,0
22	m	16.07.13	16.07.13	25.02.15	25.02.15	19,4	19,4	1,6	0,0	0,0
23	m	04.06.14	05.02.14	04.08.16	17.06.15	12,4	30,0	2,5	3,9	13,6
24	w	18.03.13	23.10.12	04.12.14	26.03.14	12,3	25,4	2,1	4,8	8,3
25	m	30.04.14	11.04.14	06.07.16	16.03.16	22,6	26,9	2,2	0,6	3,7
26	w	31.07.14	31.07.14	26.07.16	28.05.15	9,9	23,9	2,0	0,0	14,0
27	m	09.02.15	09.02.15	22.06.16	18.04.16	14,3	16,4	1,4	0,0	2,1
28	m	03.07.13	22.11.12	05.05.15	05.05.15	22,1	29,4	2,4	7,3	0,0
29	w	20.10.14	20.10.14	12.11.15	12.11.15	12,8	12,8	1,1	0,0	0,0
30	m	03.12.14	03.12.14	03.08.16	14.06.16	18,4	20,0	1,7	0,0	1,6
31	w	26.11.14	08.12.14	22.06.16	04.02.16	14,3	18,5	1,5	-0,4	4,6
32	w	02.04.14	02.04.14	24.05.16	24.05.16	25,8	25,8	2,1	0,0	0,0
33	w	16.04.13	18.07.12	09.03.15	09.03.15	22,8	31,7	2,6	8,9	0,0
34	w	05.08.13	22.07.13	17.02.16	29.10.14	14,8	30,9	2,6	0,5	15,7
35	m	28.01.15	28.01.15	19.04.16	25.01.16	11,9	14,7	1,2	0,0	2,8
36	w	09.07.15	23.06.15	15.06.16	01.06.16	10,8	11,8	1,0	0,5	0,5
37	w	03.02.15	03.02.15	16.06.16	03.12.15	10	16,4	1,4	0,0	6,4
						<b>19,4</b>	<b>33,1</b>	<b>2,8</b>	<b>6,0</b>	<b>7,8</b>

Tabelle 3: Patientenkollektiv: Betrachtung Durchbruch 7er (gelb und orange = Gruppe 1), Gesichtstyp, O-/N-/T-Typ mit Untergruppen 1/2/3, Gesichtstyp

Patient	FRS vor/nach Beh.	FRS-Datum	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	vor Durchbr. 7er	Erw. 8er?	8er angelegt?	O-/N-/T-Typ	Untergruppen 1/2/3	Gesichtstyp
1	v	27.07.11	w	10,3	9,3	ja	nein	ja	N	1	retrognath
1	n	22.10.14	w	10,3	9,3	nein	nein	ja	N	1	retrognath
2	v	10.12.09	m	16,3	46,8	nein	nein	ja	T	2	retrognath
2	n	07.05.14	m	16,3	46,8	nein	nein	ja	T	2	retrognath
3	v	28.08.09	m	12,8	18,2	ja	nein	ja	N	2	retrognath
3	n	10.12.12	m	12,8	18,2	nein	nein	ja	N	2	retrognath
4	v	29.01.13	m	13	11,5	ja	nein	ja	O	1	orthognath
4	n	14.09.16	m	13	11,5	nein	nein	ja	O	1	orthognath
5	v	02.07.12	w	15,4	25,4	nein	nein	ja	T	3	retrognath
5	v	25.04.16	w	15,4	25,4	nein	nein	ja	T	3	retrognath
6	v	01.08.12	w	9,5	21,1	ja	nein	ja	N	1	retrognath
6	n	14.09.15	w	9,5	21,1	ja	nein	ja	N	1	retrognath
7	v	18.06.13	w	11,5	15,2	ja	nein	ja	N	1	retrognath
7	n	14.07.16	w	11,5	15,2	nein	nein	ja	N	1	retrognath
8	v	06.02.13	w	17	36,4	nein	nein	ja	N	2	orthognath
8	n	08.06.16	w	17	36,4	nein	nein	ja	N	1	orthognath
9	v	17.01.13	m	14,4	28,4	nein	nein	ja	T	3	orthognath
9	n	21.12.15	m	14,4	28,4	nein	nein	ja	N	3	orthognath
10	v	29.07.11	m	15,8	36,9	nein	nein	ja	T	2	orthognath
10	n	01.06.15	m	15,8	36,9	nein	nein	nein EX	N	3	orthognath
11	v	11.06.08	w	28,8	12,1	nein	ja	ja	T	3	orthognath
11	n	27.03.14	w	28,8	12,1	nein	nein	nein EX	T	3	orthognath
12	v	01.10.12	w	13,6	12,5	ja	nein	ja	N	2	retrognath
12	n	17.06.15	w	13,6	12,5	nein	nein	ja	N	2	retrognath
13	v	09.04.13	m	15,9	17,3	nein	nein	ja	N	2	retrognath
13	n	07.07.16	m	15,9	17,3	nein	nein	ja	N	2	retrognath
14	v	02.10.07	m	17,3	12,1	nein	nein	ja	N	2	orthognath
14	n	12.10.11	m	17,3	12,1	nein	nein	nein EX	N	1	orthognath
15	v	13.12.07	m	13,6	27,6	nein	nein	ja	N	2	orthognath
15	n	12.09.11	m	13,6	27,6	nein	nein	ja	N	2	orthognath
16	v	20.01.10	w	12,9	22,8	nein	nein	ja	T	2	retrognath
16	n	12.11.12	w	12,9	22,8	nein	nein	ja	T	2	retrognath
17	v	24.05.12	m	11,4	42,3	ja	nein	ja	N	2	retrognath
17	n	08.04.16	m	11,4	42,3	ja	nein	ja	T	2	retrognath
18	v	24.01.12	w	14,2	18	ja	nein	ja	N	2	orthognath
18	n	02.10.15	w	14,2	18	nein	nein	ja	N	2	orthognath
19	v	25.07.13	w	26,3	7,7	nein	nein	nein EX	N	2	retrognath
19	n	03.05.16	w	26,3	7,7	nein	nein	nein EX	N	2	retrognath
20	v	31.07.13	w	10	19,3	ja	nein	nein EX	N	2	retrognath
20	n	11.08.16	w	10	19,3	ja	nein	ja	N	1	retrognath
21	v	27.05.14	w	12,3	20	ja	nein	ja	T	2	retrognath
21	n	29.06.16	w	12,3	20	ja	nein	ja	N	2	retrognath
22	v	16.07.13	m	15,6	19,4	nein	nein	ja	T	2	prognath
22	n	25.02.15	m	15,6	19,4	nein	ja	ja	T	2	prognath
23	v	05.02.14	m	16	12,4	nein	nein	ja	N	1	orthognath
23	n	04.08.16	m	16	12,4	nein	nein	ja	N	1	orthognath
24	v	23.10.12	w	10,7	12,3	nein	nein	ja	T	2	retrognath
24	n	04.12.14	w	10,7	12,3	nein	nein	ja	N	1	retrognath
25	v	11.04.14	m	12,8	22,6	ja	nein	ja	T	1	retrognath
25	n	06.07.16	m	12,8	22,6	nein	nein	ja	T	2	retrognath
26	v	31.07.14	w	14,2	9,9	ja	nein	ja	T	2	retrognath
26	n	26.07.16	w	14,2	9,9	nein	nein	ja	T	2	retrognath
27	v	09.02.15	m	10,5	14,3	ja	nein	ja	N	2	retrognath
27	n	22.06.16	m	10,5	14,3	nein	nein	ja	N	2	retrognath
28	v	22.11.12	m	15,5	22,1	nein	nein	ja	T	2	orthognath
28	n	05.05.15	m	15,5	22,1	nein	nein	ja	N	1	orthognath
29	v	20.10.14	w	14,7	12,8	nein	nein	ja	N	3	retrognath
29	n	12.11.15	w	14,7	12,8	nein	nein	ja	N	2	retrognath
30	v	03.12.14	m	12,8	18,4	nein	nein	ja	T	1	retrognath
30	n	03.08.16	m	12,8	18,4	nein	nein	ja	T	1	retrognath
31	v	08.12.14	w	15,2	14,3	nein	nein	ja	T	3	orthognath
31	n	22.06.16	w	15,2	14,3	nein	nein	ja	T	3	orthognath
32	v	02.04.14	w	15,2	25,8	ja	nein	ja	N	1	retrognath
32	n	24.05.16	w	15,2	25,8	nein	nein	ja	N	1	retrognath
33	v	18.07.12	w	13,5	22,8	ja	nein	ja	N	2	orthognath
33	n	09.03.15	w	13,5	22,8	nein	nein	ja	N	1	orthognath
34	v	22.07.13	w	15,6	14,8	nein	nein	ja	N	3	orthognath
34	n	17.02.16	w	15,6	14,8	nein	nein	ja	N	3	orthognath
35	v	28.01.15	m	12	11,9	ja	nein	ja	N	2	orthognath
35	n	19.04.16	m	12	11,9	nein	nein	ja	N	2	orthognath
36	v	23.06.15	w	14	10,8	nein	nein	ja	N	2	prognath
36	n	15.06.16	w	14	10,8	nein	nein	ja	N	2	prognath
37	v	03.02.15	w	12,7	10	nein	nein	ja	N	2	retrognath
37	n	16.06.16	w	12,7	10	nein	nein	ja	N	2	retrognath

Tabelle 4: Messrunde 1: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T1 (Teil 1)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter	Einsetzen	Tragedauer	Index %	A5-Piv mm	A6-Piv mm	A7-Piv mm	WZ5-Piv mm	WZ6-Piv mm	WZ7-Piv mm	SZG5-Piv mm	SZG6-Piv mm	SZG7-Piv mm	Z5-Piv mm	Z6-Piv mm	Z7-Piv mm	KP5-Pivmm	KP6-Pivmm	KP7-Piv mm	dP5-Piv mm	dP6-Piv mm	dP7-Piv mm	ZA5-NL	ZA6-NL	ZA7-NL	O-/N-/T-Typ	1/2/3
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	81,9	-	30,3	20,5	-	28,8	18,1	-	-	27,3	17,2	-	26	16,2	-	25,7	15,7	-	18,3	9,9	-	75,5	71,2	N	1
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	96,2	49	39,6	31,4	46,8	38,5	30,5	46	38,2	29,5	45,1	37,9	28,1	45,4	37,1	27,6	41,3	32,8	23,9	76,8	85,3	70,6	T	2	
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	87,2	-	23,7	16	-	22,9	14,5	-	21	13,9	-	20	13,2	-	19,4	11,6	-	13	7,1	-	74,3	76,6	N	2	
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	68,2	-	30,1	22,5	-	27,3	20,2	-	25,9	18,7	-	24,6	16,2	-	23,4	14,4	-	18,1	11,4	-	66,4	55,5	O	1	
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	84	27,5	21,1	13,2	28,9	20,2	11,7	29,3	19,7	10	29,5	19,3	8,5	29,6	19,2	7,3	26,4	13,8	4,4	95,4	84	66,9	T	3	
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	84,4	-	22,6	16,2	-	19,3	13,4	-	17,2	12	-	15,5	10,4	-	13	7,7	-	9	3,9	-	64,5	58,7	N	1	
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	73,9	-	23,9	15,2	-	21,4	11,9	-	19,1	11,9	10,2	-	17,3	8,5	-	15,1	6	-	9,8	2,8	-	65,8	56,5	N	1
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	79,6	30,2	23,2	14,3	28,9	21,6	12,2	28,6	19,2	10,6	28,4	18,3	9,7	28,1	17,7	8,5	24,9	13,9	5,1	86,3	71,7	71,2	N	2	
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	95,5	38,8	32,4	24	39,1	32,1	20,3	39	31,6	19,7	39,2	31,3	19,1	38,7	31	17,7	35,5	23,6	13,5	90,7	82,7	70,1	T	3	
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	96,8	32,9	25	18,1	33	25	15,8	33,1	25,1	14,7	33	24,5	13,2	32,8	24,6	12,2	29,6	18,6	7,2	89,1	86,4	67,2	T	2	
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	97,4	41,4	32	23,2	40,3	31,3	21,3	39,5	30,9	19,5	38,9	30,2	18,2	38,4	30	17,5	35,8	22,5	12,6	80,1	84,2	72,3	T	3	
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	80,5	-	23,1	18,7	-	21,6	16,4	-	21	14	-	20,7	12,7	-	20,6	11,4	-	15,6	6,7	-	83,4	52,9	N	2	
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	83	37,2	29	20,1	36,7	29,1	19,6	36,1	28,5	18,1	36,2	28,2	17,1	35,6	27,6	15,9	33,6	23	10,6	85,8	83,3	69,1	N	2	
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	83	28,9	22	12,8	27,2	20	10,6	26,6	18,9	8,9	25,4	18	7,4	24,6	17,7	6,9	21,9	13,3	2,9	76,5	77,9	68,1	N	2	
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	87,5	33,5	25,3	15,5	32,1	24,5	14,3	31,8	23,7	13	31,5	22,9	11,9	31,3	22,5	11	27,9	17,2	6,2	85,7	80,1	71,1	N	2	
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	99,7	31,9	25,1	18	31	24,3	15,2	30,9	23,4	13,2	30,9	22,5	11,8	30,9	22	10,7	27,5	17,7	8,5	89,6	79,6	63,4	T	2	
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	86,7	-	21,1	14,1	-	20,3	13,1	-	19,9	12,7	-	19,5	11,8	-	19,3	10,6	-	13,7	6,9	-	83,1	72,4	N	2	
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	88,7	-	23,6	16,6	-	22,9	14,6	-	22,1	12,3	-	21,3	11,2	-	20,9	10,6	-	16,8	5,6	-	80,5	70	N	2	
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	86,9	34,4	27,7	20,6	35,1	27,2	20,1	35,5	27,1	19,1	35,8	27,5	17,6	36,4	27,4	16,7	32,2	23,2	12,9	94,6	91,1	77,9	N	2	
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	87,7	24,8	19,5	11,5	23,8	18,7	10,5	23,4	17,8	9,9	22,7	15,7	9,2	22	14,1	8,7	19,7	10,1	5,5	80,8	64,5	75,1	N	2	
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	92,5	-	17,3	13,1	-	16,5	11,6	-	15,3	10,3	-	14,3	9	-	13,1	7,4	-	8,3	3,9	-	75,5	68	T	2	
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	95,9	36,2	28,1	21	35,3	28,2	20,3	34,9	28,6	19,4	34,6	29	18,3	34,3	29,2	17,7	32,3	22	15,4	82,7	94,7	75,4	T	2	
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	80,4	30,8	26,7	17,6	31,3	25,6	16,4	31,7	25,1	15,4	31,9	24,7	14,1	32,2	24,3	13,3	29	19,3	8,8	94	84,6	74,5	N	1	
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	92	29	21,2	13,6	27,1	20,8	12	25,8	20,1	10,8	25,1	19,7	9,2	24,6	19,3	8,2	23,2	15,7	6	75,7	82,9	65,7	T	2	
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	94,1	-	17,8	12,2	-	17	10,6	-	16,5	9	-	16,1	7,8	-	15,7	6	-	10,8	3,6	-	81,3	55,2	T	1	
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	91,1	-	19,5	15	-	18,4	12,4	-	17,6	10,3	-	15,9	7,5	-	14,9	4,8	-	10,9	4,3	-	74,6	51,5	T	2	
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	82,3	28,4	21,8	14,2	28,3	20,9	13,2	28,1	20,5	11,4	27,7	19,7	10,4	27,7	18,9	8,5	24,5	12,2	5,2	83,9	79,8	63,9	N	2	
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	94,6	26,9	21,2	16,1	27,5	20,5	14,2	27,5	20,1	12,8	27,3	19,9	11,2	27,1	19,6	9,8	24,8	16,1	7,3	88,4	84,7	58,6	T	2	
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	88	29,9	22,6	16,9	29,5	22	15,1	29	21,8	13,9	28,9	21,2	11,4	28,7	20,7	10,3	25	15,1	6,5	85,4	81,3	66,7	N	3	
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	91,5	28,1	20,2	13,7	26,9	18,6	11,9	26,3	17,6	10,2	25,6	17	8,6	25,1	16,4	7,5	23,5	12,1	4,4	76,6	75,8	58,2	T	1	
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	105,5	27,6	21,6	14,6	28,3	21,5	13,9	28,9	21,7	12,3	29,2	21,6	11,3	29,4	21,6	10,6	26,3	15,8	6,9	97,2	90,8	70,1	T	3	
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	72,3	26,1	21	13,9	24,4	19,4	12,1	23,3	18,4	11	22,6	17,4	10,1	22,1	16,5	9,4	19,6	11,1	6,2	76,2	74	71,3	N	1	
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	83,1	32,2	24,6	16,4	32,3	24,3	15,8	32,1	24	14,9	31,6	23,7	14,5	31,2	23,6	14,2	28,1	19,8	10,7	84,2	85,3	79,7	N	2	
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	86,4	28,2	22,2	17,6	29,5	22,8	15,9	29,7	23	14,8	30	23,4	13,3	30,4	23,4	12	27,6	18,6	9,4	94,3	94,9	68,3	N	3	
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	85,4	29,7	22	15,3	28,6	21,2	13,1	28,2	20,7	11,6	28,2	20,1	9,4	27,7	19,4	6,7	25	12,5	6	86,5	80,4	52,8	N	2	
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	78,7	28,3	19,2	15	26,8	18,9	13,3	26,2	18,7	11,2	26	18,3	9,4	25,6	17,9	8,4	22,7	13,2	3,7	82,1	86	64,1	N	2	
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	84,2	27,7	22,5	17,5	27,6	21,8	14,8	27,9	20,8	13	27,9	20,4	11	28,2	20,1	9,5	24,2	14,9	7	92,4	81,7	60,2	N	2	

Tabelle 5: Messrunde 1: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T1 (Teil 2)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	SNA	SNB	ANB	SNP <sub>g</sub>	ML-NSL	NL-NSL	ML-NL	NSBa	Gn-tgo-Ar	OK1-NA	OK1-NA mm	N- Sp <sup>i</sup> mm	Sp <sup>i</sup> -Gn mm	Index %	Gesichtstyp
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	78,3	73,5	4,8	74,7	34,3	6,4	27,9	131,1	122,7	15	1,3	59	72,1	81,9	retrognath
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	76,9	76,5	0,4	77,5	29,1	6,5	22,6	127	117,3	27,7	6	65,1	67,6	96,2	retrognath
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	79,2	72,8	6,4	72,8	34,8	11,9	22,9	132,6	119,8	30,6	5,9	60,1	68,8	87,2	retrognath
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	85,3	82,7	2,6	82,7	31,2	-0,7	31,9	120,8	128,4	31,8	4,6	49,1	71,9	68,2	orthognath
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	79,7	74,6	5,1	75,9	28,3	11,5	16,8	134,6	120,3	30,7	4,5	53	56,4	94	retrognath
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	77	75	2	76	34,9	1,8	33,1	129,8	127,4	19,8	3,5	57,2	67,7	84,4	retrognath
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	78,7	74,4	4,3	73,7	36	4,2	31,7	136,9	131,1	22,3	4	54,6	73,9	73,9	retrognath
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	81,1	80,7	0,4	81,5	25,7	4,4	21,3	133,6	112	28	8	51,6	64,8	79,6	orthognath
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	81,6	77,4	4,2	78,6	26,4	10,3	16,1	136,2	113,8	26,4	2,6	57	59,7	95,5	orthognath
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	82,5	77,5	5	78,7	25,9	9	16,9	129,9	112,4	13,4	0,9	58,1	60	96,8	orthognath
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	80,6	76,2	4,4	78,6	23,3	9,6	13,7	130,9	106,3	-3,3	-3,5	64,6	66,3	97,4	orthognath
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	79,2	74,6	4,6	73,9	40,1	10,5	29,6	136,2	118,1	23,3	3,7	59,5	73,9	80,5	retrognath
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	78,6	75,8	2,9	76,5	31,1	9,7	21,4	135,2	115,3	26,3	7,6	60,1	72,4	83	retrognath
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	78,6	77,7	0,9	80	23,7	2,7	21,1	126,9	109,4	11,2	2,9	51,3	61,8	83	orthognath
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	80,1	76,3	3,8	79	20,4	3,8	16,6	132,9	110,6	15,2	0,8	57,3	65,5	87,5	orthognath
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	75	73,4	1,6	75,2	30,7	9,6	21,1	138	121,1	34,3	6	60,6	60,8	99,7	retrognath
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	76,1	71,8	4,4	73,6	36,3	10,4	25,9	132,9	124	17,4	0,8	49	56,5	86,7	retrognath
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	80,1	75,2	4,9	76,6	29,6	8,4	21,2	134,7	126,1	32,1	5,5	58	65,3	88,7	orthognath
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	80,7	76,6	4,1	76,3	39,6	13,9	25,7	141,1	119,8	20,5	3,4	64,8	74,6	86,9	retrognath
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	68,1	64,9	3,2	65,6	44,1	16,2	27,9	142,7	118,4	23,6	0,8	50,5	57,6	87,7	retrognath
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	75,7	76,8	-1,1	79,8	26,1	7,9	18,2	131,4	119,2	15,6	2,2	45,6	49,4	92,5	retrognath
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	85,3	81,5	3,8	81,9	19,2	3,9	15,3	128	117,7	19,6	2,4	52	54,3	95,9	prognath
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	81,8	75,6	6,1	75,2	35,9	7,6	28,3	130,1	123,9	27,7	6,2	52,7	65,5	80,4	orthognath
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	78,8	72,7	6	72,4	38,9	11,6	27,4	144,6	121,3	19,5	2,3	52,7	57,3	92	retrognath
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	76,8	73,2	3,6	74,7	28,1	4,2	23,9	145,5	118,2	13,8	1,6	52,7	56,1	94,1	retrognath
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	76,5	76,4	0,1	78,3	18,4	5,2	13,2	130,2	104,6	27,6	3,2	45,6	50,1	91,1	retrognath
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	75,6	72,4	3,2	74	31,5	10	21,5	131,3	120,8	26,8	5,6	47,8	58,2	82,3	retrognath
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	82,9	80,3	2,6	80,8	31,3	6,4	24,9	126,5	121,5	21,5	1,5	54,8	58	94,6	orthognath
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	78,2	74,2	4,1	74,5	32,8	13,6	19,2	143,1	120,9	22,1	1,1	49,1	55,8	88	retrognath
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	78,9	71,9	7	72	39	9,1	29,9	135,4	129,8	23,1	3,5	49,4	54	91,5	retrognath
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	81,2	79,9	1,2	83,6	24,7	9,8	14,9	132,5	129,3	21,3	-0,3	47,1	44,6	105,5	orthognath
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	73,9	76,5	-2,5	77,6	31,8	5,7	26,1	134,4	117,9	18,9	10,9	45,1	62,3	72,3	retrognath
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	81,7	78,5	3,2	79,3	34,4	7,6	26,8	127,1	135,4	19	1,6	47,5	57,2	83,1	orthognath
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	84,8	81,1	3,7	82,3	21,4	8,1	13,4	131,6	119	20,5	2,2	45,8	53	86,4	orthognath
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	82,6	81,5	1,1	84,1	21,3	3,6	17,6	128,9	116,8	28,3	4,1	48,2	56,4	85,4	orthognath
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	87,8	82,2	5,7	83,7	21,3	4,3	17	131,1	116,6	12,1	-0,8	43,6	55,4	78,7	prognath
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	75,7	73,2	2,5	75,2	39,9	14,7	25,2	129,8	127,5	15,9	2,3	49	58,3	84,2	retrognath

Tabelle 6: Messrunde 1: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T2 (Teil 1)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter	Einsetzen	Tragedauer	Index %	A5-PV mm	A6-PV mm	A7-PV mm	WZ5-PV mm	WZ6-PV mm	WZ7-PV mm	SGZ5-PVmm	SGZ6-PVmm	SGZ7-PVmm	Z5-PV mm	Z6-PV mm	Z7-PV mm	kP5-PVmm	kP6-PVmm	kP7-PVmm	dP5-PVmm	dP6-PVmm	dP7-PVmm	ZAS-NL	ZA6-NL	ZA7-NL	O-/N-/T-Typ	1/2/3
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	80,9	35,4	24,7	17,3	32,9	24,7	15,2	32,2	23,7	13,3	31,6	22,9	11,2	31,4	22,3	9,9	28,2	16,2	6,3	77,6	78,4	59,7	N	1	
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	95,1	45,7	34	28,2	44,8	33,8	27,3	44	33,6	26,7	43	33,1	26	42,8	32,8	25,2	40,2	29,8	20,9	76,7	85	79,3	T	2	
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	82,6	-	22,9	14,4	-	20,3	12,3	-	19,3	10,3	-	18,8	8,5	-	17,8	6,9	-	13,7	3,8	-	77,6	49,5	N	2	
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	66,3	-	26,7	21,7	-	24,7	17	-	23,4	15,7	-	22,3	13,3	-	21,2	11,3	-	18,1	6,9	-	75,4	57,1	O	1	
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	91,9	28,2	17,1	12,4	27,9	17,4	10,4	27,8	17,6	8,7	27,4	18	6,7	27,1	17,9	5,9	24,3	12,4	3,3	86,2	93,8	64,9	T	3	
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	76,6	-	17,2	16,3	-	13,7	12	-	10,4	8,5	-	8,5	5,5	-	4,8	1,6	-	4,7	1,7	-	51,6	38,7	N	1	
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	72,1	-	19,1	9,9	-	17,8	8,9	-	16,3	7,6	-	15,2	5,6	-	13,4	4	-	9,9	0,8	-	76,2	68,4	N	1	
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	82,1	28,3	19,6	10,7	25,7	17,9	8,5	24,5	15,6	6,4	23,5	14,4	4,9	22,6	13,4	3,1	20,7	9,4	-1,1	72,2	69,6	61,5	N	1	
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	87,5	38,2	28,5	19,5	37,1	27,5	16,6	36,7	26,8	15	36,3	26,2	13,8	36	25,7	12,6	31,8	18,5	8,7	84,1	78,7	66,2	N	3	
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	88,2	28	22,5	15,6	25,8	21,9	13,6	25,1	21,4	12,7	24,5	21,2	12,1	24,2	20,5	10,9	22	16,6	5,8	81,3	86,7	78,4	N	3	
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	93,8	38,8	28,5	20	37	28,3	19,6	36,5	27,7	18,6	36,1	27,3	17,7	35,6	26,9	16,7	32,9	20,4	12,3	79,8	83,3	75,2	T	3	
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	78,4	-	19,4	11,8	-	18,6	10,1	-	17,6	8,1	-	17,4	6,5	-	16,9	5	-	12	0,7	-	83,6	64	N	2	
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	82,2	34,5	23,3	17,9	33,4	23,2	17,9	32,8	23,2	17,9	32,2	23,1	17,5	31,9	23	17,4	27,8	18,8	12,3	78,9	88,3	86,3	N	2	
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	78,4	28,7	17,4	9,2	27,4	17,4	7,8	25,7	17,2	6,7	25,1	16,4	5,8	24,4	15,9	4,7	21,6	10,6	0,5	76,8	84,4	74,5	N	1	
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	80,2	32,5	23	13,9	30,6	21,8	12,5	30,1	20,2	11,5	29,4	19,3	10,3	28,6	18,5	8,8	25,8	14,2	4,5	81,2	75	74,1	N	2	
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	95,6	28,3	22,5	16,8	27,7	20,4	13,3	27,5	19,3	11,4	27,5	18,4	9,5	27,6	17,7	6,7	23,2	12,5	2,8	87,9	72,6	57,3	T	2	
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	89,4	-	19,6	8,1	-	18,3	6,5	-	17,1	4,3	-	16,4	2,9	-	15,3	0,9	-	11,3	-3,2	-	77,5	65	T	2	
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	85,8	-	20,4	13,3	-	19,7	11,6	-	18,4	9	-	17,9	7,2	-	17,2	6,1	-	11,8	1,9	-	79,6	68,5	N	2	
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	86,5	32,2	26,6	18,7	31,4	25,9	18,2	30,7	25,9	16,8	30,6	25,6	15,6	30,3	25,1	14,7	28	21,5	10,8	84,2	88,3	75,4	N	2	
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	78,3	23	18,5	10,1	22,3	16,8	7,9	22,1	14,6	5,9	21,2	13,5	3,9	20,8	12,3	1,6	17,5	6,7	-0,2	82,5	67	52	N	1	
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	88,7	-	11,5	11,5	-	10,3	8,8	-	8,5	7,2	-	8,2	5,8	-	7,8	4,2	-	2,1	0,5	-	77,6	57,9	N	2	
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	92,1	37,1	22,6	19,1	34,3	23,3	16,8	32,7	24,2	14,4	31,2	24,5	12,7	30,6	24,9	11,4	28,9	17	8,9	65,4	97,4	61,1	T	2	
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	77,9	29,9	21	15,7	28,2	20,5	15,3	27,9	20,3	14,6	27,5	19,7	13,8	27,2	19,3	12,9	24,8	15,5	8,6	84,7	85,7	80,5	N	1	
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	87,5	29,6	19,5	12,5	26,9	18,1	11	26	17	9,9	24,7	16,1	8,1	23,9	14,6	6,1	21,8	11,7	2,1	68,6	73,4	62,6	N	1	
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	99,2	-	13,6	8,6	-	14	7,3	-	14	5,9	-	14	4,7	-	13,8	3,1	-	8,7	1,1	-	89,9	67	T	2	
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	89,2	-	16,1	11,7	-	14,7	10,1	-	12,9	7,8	-	11,3	6,4	-	9,8	5,2	-	6,9	1,1	-	66,1	49,9	T	2	
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	80,9	25,3	18,5	10,8	23,5	16,9	9,2	22,6	15,5	6,6	22,1	14,9	4,9	21,8	14,4	3,9	19,8	7,5	1,2	78,5	76,6	62,7	N	2	
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	86,8	24,6	18,2	11,5	23,8	17,1	8,9	22,8	15,6	7,6	22,4	14,6	6,3	22,1	14	4,5	19,3	10,5	2,9	78,7	73	64	N	1	
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	86,4	25,6	18,6	12,1	24,9	17,9	10,4	24	16,7	8,5	23,4	15,6	6,7	23,1	15,1	5,8	20,6	10	2	78,9	72,4	60,8	N	2	
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	90,8	27	16,5	10,8	24,2	15,3	8,7	22,2	14,4	6,7	21,3	13,5	5,2	20,5	12,8	3,5	18,9	8,4	0,5	67,2	76,3	61,1	T	1	
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	100,4	27,4	19	12,7	27,7	18,9	11,9	27,6	19,5	10,7	27,8	19,6	9,7	27,7	19,5	9	25,2	14	5,3	91,1	93,8	72,7	T	3	
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	73,2	23,1	15,5	11,3	21,3	14,4	9	20,5	13,5	6,4	20	12,7	4,2	19,1	12,1	3	16,7	5,4	1	79,6	76,9	53,8	N	1	
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	78,2	31,3	21,2	14,8	29	21	13,2	28,2	20,9	12,6	27,8	20,6	11,6	27,4	20,4	10,9	25	14	8,2	74,4	86,6	70,5	N	1	
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	88,3	33,7	19,3	15	31,6	20,2	13,9	30,3	20,6	12,2	29,6	20,9	10,5	29,1	21,2	9,5	25,8	15,6	5,6	76,3	94,3	70,3	N	3	
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	83,3	28,4	20,3	12,9	24,6	19,6	10,7	23,4	18,2	8,6	22,5	17,6	7,1	22,1	17,1	5	20,4	12,1	4,4	75,6	76,6	59,5	N	2	
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	76,7	26,4	17,1	12,4	24,9	16,8	9,7	24,1	16,3	6,9	23,7	15,6	5,1	23,6	15,5	3,5	20,7	10,5	0,7	80,1	81,5	59,9	N	2	
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	85	24,6	18,4	12	24,4	18,3	10,3	23,7	17,5	8,3	23,3	16,6	7	23	15,5	5,7	20,9	11,3	3,6	81,1	77,9	66,5	N	2	

Tabelle 7: Messrunde 1: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T2 (Teil 2)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	SNA	SNB	ANB	SNP <sub>g</sub>	ML-NSL	NL-NSL	ML-NL	NSBa	Gn-tgo-Ar	OK1-NA	OK1-NA mm	N- Sp' mm	Sp'-Gn mm	Index %	Gesichtstyp
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	76,9	71,7	5,2	73	37,7	8,2	29,4	130,8	124,8	20,9	2,5	56,5	69,8	80,9	retrognath
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	80,3	77	3,3	78,3	27,5	7,2	20,3	126,9	117,3	36,4	3,1	59	62,1	95,1	retrognath
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	77,3	70,3	7	70,7	37,3	12,9	24,4	132,4	116,7	21,4	5,7	59,5	72	82,6	retrognath
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	86,2	82	4,3	82,4	35,1	-3,2	38,3	123,7	127,1	22,9	4,1	53,5	80,8	66,3	orthognath
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	77	72,7	4,3	74,3	29	12,9	16,1	135,9	116,1	24,8	1,7	56,3	61,3	91,9	retrognath
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	78,3	77,1	1,2	78,2	33,2	0,1	33,2	127,6	125,3	24,7	5,4	59,6	77,7	76,6	retrognath
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	80,6	75,2	5,4	75	36,3	4,2	32,1	137,1	130,7	22,2	2,9	54,4	75,5	72,1	retrognath
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	80,6	78,4	2,2	78,7	26,6	1	25,6	135,6	117,1	19,4	6,5	56,3	68,6	82,1	orthognath
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	81	77,4	3,6	78,9	23	9,1	13,9	134,5	106,3	17,8	1,8	60,6	69,3	87,5	orthognath
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	83,4	77,4	5,9	78,4	24,2	10,4	13,8	130,8	107,5	1	-2,9	61,7	69,9	88,2	orthognath
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	81	76,9	4,1	79,4	23,5	9,2	14,3	129,9	107,5	9,5	-1,7	60,6	64,6	93,8	orthognath
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	79	73,8	5,2	73,1	40,2	11,2	29	136,4	116	20,3	4,6	61,3	78,2	78,4	retrognath
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	81	76,3	4,7	77,1	31,9	11,2	20,7	135,3	118,7	21,5	1,2	62,4	75,9	82,2	retrognath
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	81,5	80,4	1,1	82,6	25,9	0,8	25	124,4	109,2	17,5	4,7	54,7	69,7	78,4	orthognath
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	80,3	78,5	1,8	81,6	21,4	3,7	17,7	130,7	110,7	17,7	2,5	60	74,9	80,2	orthognath
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	76,4	74,4	2	76,4	28,3	9,3	19	136,9	115,6	25,8	3,4	60	62,7	95,6	retrognath
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	77,7	74,6	3,2	76,5	35,9	11,3	24,6	129	130,2	18,9	3,7	61	68,2	89,4	retrognath
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	79,6	74,2	5,3	75,6	29,3	10,9	18,4	138,3	125,3	16,3	0,1	58,2	67,8	85,8	orthognath
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	82,6	76,7	5,9	76,5	37,6	11,9	25,7	141,5	124,9	12,2	-0,7	61,2	70,8	86,5	retrognath
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	77,9	73,6	4,3	76	37,7	5	32,8	134,1	119,1	15	1,2	54,3	69,4	78,3	retrognath
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	76,9	73,9	3	77,3	29	8,4	20,7	133	121,5	5,7	-0,5	49,5	55,8	88,7	retrognath
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	86,9	82,9	4	83,7	18,9	2,3	16,6	129	119,6	19,4	1,2	52,2	56,7	92,1	prognath
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	81,3	78,3	2,9	77,4	32,9	5,2	27,7	128,2	123,3	30,8	10,3	51,2	65,7	77,9	orthognath
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	79,8	74,4	5,4	74,6	38,4	8	30,4	140,9	122,7	11,9	2,1	54,7	62,5	87,5	retrognath
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	72,6	72,3	0,3	75,1	26,4	7,8	18,6	145,3	117	26,2	8,3	56,5	57	99,2	retrognath
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	77,2	76,9	0,3	79	18,9	5,9	13,1	131	105,4	25,5	4,7	46	51,5	89,2	retrognath
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	77,4	70,8	6,6	73,1	32,2	8,2	24	131,7	119,6	12,2	-0,5	48,8	60,3	80,9	retrognath
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	83,3	81,2	2,1	82,2	29,3	2,9	26,4	125,9	118,9	24	2,7	53,4	61,5	86,8	orthognath
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	78,5	73,4	5	74,1	34,8	10,9	24	144,3	121,3	17,1	3,2	50,9	58,9	86,4	retrognath
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	79,6	71,7	8	71,9	39,9	9,3	30,6	135,6	129,2	20,3	3	52,7	58	90,8	retrognath
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	82,6	79,8	2,8	83,4	25,2	11,6	13,6	133,1	125,2	20,1	-0,5	48,2	48,1	100,4	orthognath
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	74,7	75,9	-1,2	76,8	34,2	6,9	27,3	135	122,1	17,8	9	46,8	63,9	73,2	retrognath
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	82,2	79,4	2,7	80	37,7	7,1	30,6	129	139,2	22	1,3	48	61,5	78,2	orthognath
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	85	80,8	4,3	82,1	22,9	8,8	14,1	131,8	118,2	16,4	0,5	52,9	60	88,3	orthognath
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	83	81,7	1,3	84,8	20,3	2,8	17,5	125,5	116,4	30,3	3,8	48,4	58,1	83,3	orthognath
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	88,2	80,6	7,6	82,1	24,2	5	19,2	132,5	112,4	9,6	-0,3	45	58,7	76,7	prognath
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	76,9	73,8	3,1	76,3	38	9,4	28,6	130	125,8	23,6	2,8	49,3	58	85	retrognath

Tabelle 8: Messrunde 1: Betrachtung der Differenzen der Messwerte (T1-T2), der Distalisationsgeschwindigkeiten und der Typen der Zahnbewegung (Teil 1)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	Diff. Index %	Diff. A5-PtV mm	Diff. A6-PtV mm	Diff. A7-PtV mm	Diff. WZ5-PtV mm	Diff. WZ6-PtV mm	Diff. WZ7-PtV mm	Diff. SZG5-PtVmm	Diff. SZG6-PtVmm	Diff. SZG7-PtVmm	Diff. Z5-PtV mm	Diff. Z6-PtV mm	Diff. Z7-PtV mm
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	1	-	5,6	3,2	-	4,1	2,9	-	3,6	3,9	-	3,1	5
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	1,1	3,3	5,6	3,2	2	4,7	3,2	2	4,6	2,8	2,1	4,8	2,1
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	4,6	-	0,8	1,6	-	2,6	2,2	-	1,7	3,6	-	1,2	4,7
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	1,9	-	3,4	0,8	-	2,6	3,2	-	2,5	3	-	2,3	2,9
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	2,1	-0,7	4	0,8	1	2,8	1,3	1,5	2,1	1,3	2,1	1,3	1,8
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	7,8	-	5,4	-0,1	-	5,6	1,4	-	6,8	3,5	-	7	4,9
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	1,8	-	4,8	5,3	-	3,6	3	-	2,8	2,6	-	2,1	2,9
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	-2,5	1,9	3,6	3,6	3,2	3,7	3,7	4,1	3,6	4,2	4,9	3,9	4,8
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	8	0,6	3,9	4,5	2	4,6	3,7	2,3	5	4,7	2,9	5,1	5,3
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	8,6	4,9	2,5	2,5	7,2	3,1	2,2	8	3,7	2	8,5	3,3	1,1
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	3,6	2,6	3,5	3,2	3,3	3	1,7	3	3,2	0,9	2,8	2,9	0,5
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	2,1	-	3,7	6,9	-	3	6,3	-	3,4	5,9	-	3,3	6,2
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	0,8	2,7	5,7	2,2	3,3	5,9	1,7	3,3	5,3	0,2	4	5,1	-0,4
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	4,6	0,2	4,6	3,6	-0,2	2,6	2,8	0,9	1,7	2,2	0,3	1,6	1,6
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	7,3	1	2,3	1,6	1,5	2,7	1,8	1,7	3,5	1,5	2,1	3,6	1,6
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	4,1	3,6	2,6	1,2	3,3	3,9	1,9	3,4	4,1	1,8	3,4	4,1	2,3
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	-2,7	-	1,5	6	-	2	6,6	-	2,8	8,4	-	3,1	8,9
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	2,9	-	3,2	3,3	-	3,2	3	-	3,7	3,3	-	3,4	4
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	0,4	2,2	1,1	1,9	3,7	1,3	1,9	4,8	1,2	2,3	5,2	1,9	2
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	9,4	1,8	1	1,4	1,5	1,9	2,6	1,3	3,2	4	1,5	2,2	5,3
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	3,8	-	5,8	1,6	-	6,2	2,8	-	6,8	3,1	-	6,1	3,2
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	3,8	-0,9	5,5	1,9	1	4,9	3,5	2,2	4,4	5	3,4	4,5	5,6
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	2,5	0,9	5,7	1,9	3,1	5,1	1,1	3,8	4,8	0,8	4,4	5	0,3
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	4,5	-0,6	1,7	1,1	0,2	2,7	1	-0,2	3,1	0,9	0,4	3,6	1,1
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	-5,1	-	4,2	3,6	-	3	3,3	-	2,5	3,1	-	2,1	3,1
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	1,9	-	3,4	3,3	-	3,7	2,3	-	4,7	2,5	-	4,6	1,1
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	1,4	3,1	3,3	3,4	4,8	4	4	5,5	5	4,8	5,6	4,8	5,5
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	7,8	2,3	3	4,6	3,7	3,4	5,3	4,7	4,5	5,2	4,9	5,3	4,9
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	1,6	4,3	4	4,8	4,6	4,1	4,7	5	5,1	5,4	5,5	5,6	4,7
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	0,7	1,1	3,7	2,9	2,7	3,3	3,2	4,1	3,2	3,5	4,3	3,5	3,4
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	5,1	0,2	2,6	1,9	0,6	2,6	2	1,3	2,2	1,6	1,4	2	1,6
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	-0,9	3	5,5	2,6	3,1	5	3,1	2,8	4,9	4,6	2,6	4,7	5,9
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	4,9	0,9	3,4	1,6	3,3	3,3	2,6	3,9	3,1	2,3	3,8	3,1	2,9
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	-1,9	-5,5	2,9	2,6	-2,1	2,6	2	-0,6	2,4	2,6	0,4	2,5	2,8
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	2,1	1,3	1,7	2,4	4	1,6	2,4	4,8	2,5	3	5,7	2,5	2,3
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	2	1,9	2,1	2,6	1,9	2,1	3,6	2,1	2,4	4,3	2,3	2,7	4,3
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	-0,8	3,1	4,1	5,5	3,2	3,5	4,5	4,2	3,3	4,7	4,6	3,8	4

Tabelle 9: Messrunde 1: Betrachtung der Differenzen der Messwerte (T1-T2), der Distalisationsgeschwindigkeiten und der Typen der Zahnbewegung (Teil 2)

Diff. kP5-PtVmm	Diff. kP6-PtVmm	Diff. kP7-PtVmm	Diff. dP5-PtVmm	Diff. dP6-PtVmm	Diff. dP7-PtVmm	Diff. ZA5-NL	Diff. ZA6-NL	Diff. ZA7-NL	Diff. O/N/T	1/2/3	Diff. O/N/T	1/2/3	Geschw. 5	Geschw. 6	Geschw. 7	Typ Zahnbewegung 5er	Typ Zahnbewegung 6er	Typ Zahnbewegung 7er
-	3,4	5,8	-	2,1	3,6	-	-2,9	11,5 N	1	N	1	-	0,44	0,31	-	-	1,65	0,55
2,6	4,3	2,4	1,1	3	3	0,1	0,3	-8,7 T	2	T	2	0,04	0,10	0,07	1,27	1,30	1,33	
-	1,6	4,7	-	-0,7	3,3	-	-3,3	27,1 N	2	N	2	-	0,14	0,12	-	-	0,50	0,34
-	2,2	3,1	-	0	4,5	-	-9	-1,6 O	1	O	1	-	0,23	0,28	-	-	1,55	0,26
2,5	1,3	1,4	2,1	1,4	1,1	9,2	-9,8	2 T	3	T	3	0,04	0,11	0,05	-0,28	3,08	0,57	
-	8,2	6,1	-	4,3	2,2	-	12,9	20 N	1	N	1	-	0,27	0,07	-	-	0,66	-0,02
-	1,7	2	-	-0,1	2	-	-10,4	-11,9 N	1	N	1	-	0,24	0,20	-	-	2,82	2,65
5,5	4,3	5,4	4,2	4,5	6,2	14,1	2,1	9,7 N	2	N	1	0,09	0,10	0,10	0,35	0,84	0,67	
2,7	5,3	5,1	3,7	5,1	4,8	6,6	4	3,9 T	3	N	3	0,07	0,16	0,13	0,22	0,74	0,88	
8,6	4,1	1,3	7,6	2	1,4	7,8	-0,3	-11,2 T	2	N	3	0,20	0,08	0,06	0,57	0,61	1,92	
2,8	3,1	0,8	2,9	2,1	0,3	0,3	0,9	-2,9 T	3	T	3	0,27	0,25	0,14	0,93	1,13	4,00	
-	3,7	6,4	-	3,6	6	-	-0,2	-11,1 N	2	N	2	-	0,24	0,50	-	-	1,00	1,08
3,7	4,6	-1,5	5,8	4,2	-1,7	6,9	-5	-17,2 N	2	N	2	0,19	0,34	0,10	0,73	1,24	-1,47	
0,2	1,8	2,2	0,3	2,7	2,4	-0,3	-6,5	-6,4 N	2	N	1	-0,02	0,21	0,23	1,00	2,56	1,64	
2,7	4	2,2	2,1	3	1,7	4,5	5,1	-3 N	2	N	2	0,05	0,10	0,07	0,37	0,58	0,73	
3,3	4,3	4	4,3	5,2	5,7	1,7	7	6,1 T	2	T	2	0,14	0,17	0,08	1,09	0,60	0,30	
-	4	9,7	-	2,4	10,1	-	5,6	7,4 N	2	T	2	-	0,05	0,15	-	-	0,38	0,62
-	3,7	4,5	-	5	3,7	-	0,9	1,5 N	2	N	2	-	0,18	0,17	-	-	0,86	0,73
6,1	2,3	2	4,2	1,7	2,1	10,4	2,8	2,5 N	2	N	2	0,48	0,17	0,25	0,36	0,48	0,95	
1,2	1,8	7,1	2,2	3,4	5,7	-1,7	-2,5	23,1 N	2	N	1	0,08	0,10	0,13	1,50	0,56	0,20	
-	5,3	3,2	-	6,2	3,4	-	-2,1	10,1 T	2	N	2	-	0,31	0,14	-	-	1,09	0,50
3,7	4,3	6,3	3,4	5	6,5	17,3	-2,7	14,3 T	2	T	2	0,05	0,25	0,18	-0,24	1,28	0,30	
5	5	0,4	4,2	3,8	0,2	9,3	-1,1	-6 N	1	N	1	0,25	0,41	0,09	0,18	1,14	4,75	
0,7	4,7	2,1	1,4	4	3,9	7,1	9,5	3,1 T	2	N	1	0,02	0,22	0,08	-0,86	0,36	0,52	
-	1,9	2,9	-	2,1	2,5	-	-8,6	-11,8 T	1	T	2	-	0,13	0,15	-	-	2,21	1,24
-	5,1	-0,4	-	4	3,2	-	8,5	1,6 T	2	T	2	-	0,37	0,23	-	-	0,67	-8,25
5,9	4,5	4,6	4,7	4,7	4	5,4	3,2	1,2 N	2	N	2	0,34	0,28	0,28	0,53	0,73	0,74	
5	5,6	5,3	5,5	5,6	4,4	9,7	11,7	-5,4 T	2	N	1	0,17	0,15	0,24	0,46	0,54	0,87	
5,6	5,6	4,5	4,4	5,1	4,5	6,5	8,9	5,9 N	3	N	2	0,36	0,32	0,37	0,77	0,71	1,07	
4,6	3,6	4	4,6	3,7	3,9	9,4	-0,5	-2,9 T	1	T	1	0,15	0,18	0,17	0,24	1,03	0,73	
1,7	2,1	1,6	1,1	1,8	1,6	6,1	-3	-2,6 T	3	T	3	0,04	0,18	0,14	0,12	1,24	1,19	
3	4,4	6,4	2,9	5,7	5,2	-3,4	-2,9	17,5 N	1	N	1	0,12	0,19	0,12	1,00	1,25	0,41	
3,8	3,2	3,3	3,1	5,8	2,5	9,8	-1,3	9,2 N	2	N	1	0,14	0,14	0,11	0,24	1,06	0,48	
1,3	2,2	2,5	1,8	3	3,8	18	0,6	-2 N	3	N	3	-0,14	0,18	0,14	-4,23	1,32	1,04	
5,6	2,3	1,7	4,6	0,4	1,6	10,9	3,8	-6,7 N	2	N	2	0,34	0,13	0,20	0,23	0,74	1,41	
2	2,4	4,9	2	2,7	3	2	4,5	4,2 N	2	N	2	0,18	0,19	0,33	0,95	0,88	0,53	
5,2	4,6	3,8	3,3	3,6	3,4	11,3	3,8	-6,3 N	2	N	2	0,32	0,35	0,45	0,60	0,89	1,45	



Tabelle 10: Messrunde 1: Betrachtung der Differenzen der Messwerte (T1-T2)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	Diff. SNA	Diff. SNB	Diff. ANB	Diff. SNPg	Diff. ML-NSL	Diff. NL-NSL	Diff. ML-NL	Diff. NSBa	Diff. Gn-tgo-Ar	Diff. OK1-NA	Diff. OK1-NA mm	Diff. N- Sp' mm	Diff. Sp'-Gn mm	Diff. Index %
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	1,4	1,8	-0,4	1,7	-3,4	-1,8	-1,5	0,3	-2,1	-5,9	-1,2	2,5	2,3	1
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	-3,4	-0,5	-2,9	-0,8	1,6	-0,7	2,3	0,1	0	-8,7	2,9	6,1	5,5	1,1
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	1,9	2,5	-0,6	2,1	-2,5	-1	-1,5	0,2	3,1	9,2	0,2	0,6	-3,2	4,6
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	-0,9	0,7	-1,7	0,3	-3,9	2,5	-6,4	-2,9	1,3	8,9	0,5	-4,4	-8,9	1,9
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	2,7	1,9	0,8	1,6	-0,7	-1,4	0,7	-1,3	4,2	5,9	2,8	-3,3	-4,9	2,1
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	-1,3	-2,1	0,8	-2,2	1,7	1,7	-0,1	2,2	2,1	-4,9	-1,9	-2,4	-10	7,8
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	-1,9	-0,8	-1,1	-1,3	-0,3	0	-0,4	-0,2	0,4	0,1	1,1	0,2	-1,6	1,8
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	0,5	2,3	-1,8	2,8	-0,9	3,4	-4,3	-2	-5,1	8,6	1,5	-4,7	-3,8	-2,5
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	0,6	0	0,6	-0,3	3,4	1,2	2,2	1,7	7,5	8,6	0,8	-3,6	-9,6	8
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	-0,9	0,1	-0,9	0,3	1,7	-1,4	3,1	-0,9	4,9	12,4	3,8	-3,6	-9,9	8,6
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	-0,4	-0,7	0,3	-0,8	-0,2	0,4	-0,6	1	-1,2	-12,8	-1,8	4	1,7	3,6
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	0,2	0,8	-0,6	0,8	-0,1	-0,7	0,6	-0,2	2,1	3	-0,9	-1,8	-4,3	2,1
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	-2,4	-0,5	-1,8	-0,6	-0,8	-1,5	0,7	-0,1	-3,4	4,8	6,4	-2,3	-3,5	0,8
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	-2,9	-2,7	-0,2	-2,6	-2,2	1,9	-3,9	2,5	0,2	-6,3	-1,8	-3,4	-7,9	4,6
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	-0,2	-2,2	2	-2,6	-1	0,1	-1,1	2,2	-0,1	-2,5	-1,7	-2,7	-9,4	7,3
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	-1,4	-1	-0,4	-1,2	2,4	0,3	2,1	1,1	5,5	8,5	2,6	0,6	-1,9	4,1
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	-1,6	-2,8	1,2	-2,9	0,4	-0,9	1,3	3,9	-6,2	-1,5	-2,9	-12	-11,7	-2,7
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	0,5	1	-0,4	1	0,3	-2,5	2,8	-3,6	0,8	15,8	5,4	-0,2	-2,5	2,9
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	-1,9	-0,1	-1,8	-0,2	2	2	0	-0,4	-5,1	8,3	4,1	3,6	3,8	0,4
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	-9,8	-8,7	-1,1	-10,4	6,4	11,2	-4,9	8,6	-0,7	8,6	-0,4	-3,8	-11,8	9,4
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	-1,2	2,9	-4,1	2,5	-2,9	-0,5	-2,5	-1,6	-2,3	9,9	2,7	-3,9	-6,4	3,8
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	-1,6	-1,4	-0,2	-1,8	0,3	1,6	-1,3	-1	-1,9	0,2	1,2	-0,2	-2,4	3,8
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	0,5	-2,7	3,2	-2,2	3	2,4	0,6	1,9	0,6	-3,1	-4,1	1,5	-0,2	2,5
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	-1	-1,7	0,6	-2,2	0,5	3,6	-3	3,7	-1,4	7,6	0,2	-2	-5,2	4,5
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	4,2	0,9	3,3	-0,4	1,7	-3,6	5,3	0,2	1,2	-12,4	-6,7	-3,8	-0,9	-5,1
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	-0,7	-0,5	-0,2	-0,7	-0,5	-0,7	0,1	-0,8	-0,8	2,1	-1,5	-0,4	-1,4	1,9
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	-1,8	1,6	-3,4	0,9	-0,7	1,8	-2,5	-0,4	1,2	14,6	6,1	-1	-2,1	1,4
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	-0,4	-0,9	0,5	-1,4	2	3,5	-1,5	0,6	2,6	-2,5	-1,2	1,4	-3,5	7,8
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	-0,3	0,8	-0,9	0,4	-2	2,7	-4,8	-1,2	-0,4	5	-2,1	-1,8	-3,1	1,6
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	-0,7	0,2	-1	0,1	-0,9	-0,2	-0,7	-0,2	0,6	2,8	0,5	-3,3	-4	0,7
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	-1,4	0,1	-1,6	0,2	-0,5	-1,8	1,3	-0,6	4,1	1,2	0,2	-1,1	-3,5	5,1
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	-0,8	0,6	-1,3	0,8	-2,4	-1,2	-1,2	-0,6	-4,2	1,1	1,9	-1,7	-1,6	-0,9
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	-0,5	-0,9	0,5	-0,7	-3,3	0,5	-3,8	-1,9	-3,8	-3	0,3	-0,5	-4,3	4,9
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	-0,2	0,3	-0,6	0,2	-1,5	-0,7	-0,7	-0,2	0,8	4,1	1,7	-7,1	-7	-1,9
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	-0,4	-0,2	-0,2	-0,7	1	0,8	0,1	3,4	0,4	-2	0,3	-0,2	-1,7	2,1
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	-0,4	1,6	-1,9	1,6	-2,9	-0,7	-2,2	-1,4	4,2	2,5	-0,5	-1,4	-3,3	2
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	-1,2	-0,6	-0,6	-1,1	1,9	5,3	-3,4	-0,2	1,7	-7,7	-0,5	-0,3	0,3	-0,8

Tabelle 11: Messrunde 2: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T1 (Teil 1)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter	Einsetzen	Tragedauer	Index %	A5-PIV mm	A6-PIV mm	A7-PIV mm	WZ5-PIV mm	WZ6-PIV mm	WZ7-PIV mm	SZG5-PIV/mm	SZG6-PIV/mm	SZG7-PIV/mm	Z5-PIV mm	Z6-PIV mm	Z7-PIV mm	kP5-PIV/mm	kP6-PIV/mm	kP7-PIV/mm	dP5-PIV/mm	dP6-PIV/mm	dP7-PIV/mm	ZA5-NL	ZA6-NL	ZA7-NL	O-/N-/T-Typ	1/2/3
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	83,3	-	30,2	19,3	-	28,5	18	-	27,2	17	-	26,1	15,8	-	25,4	14,8	-	18	9,5	-	73,5	71,9	N	2	
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	96,8	47,4	38,3	31,6	46,3	38,1	30	45,5	38	29	44,4	37,3	27	43,6	37	25,2	41,3	31,7	22,5	78,2	84,5	65	T	2	
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	86,4	-	26,8	17,5	-	26	16,7	-	24,2	15,9	-	23,7	15,4	-	22,6	14,1	-	15,2	8,4	-	77,7	80,3	N	2	
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	67,6	-	31,9	25,4	-	29,8	24	-	28,3	22,4	-	26,8	20,6	-	25,6	18,9	-	20,3	14,7	-	73,3	65,8	O	1	
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	89,6	28,6	20,6	14,5	29,7	21	13	30,1	21,1	11,2	30,4	21	9,1	30,7	20,6	8,1	26,6	14,1	4,6	96,8	89,5	64	T	3	
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	84,6	-	22,7	17,6	-	19,6	15	-	17,5	12,5	-	15,7	10,6	-	14,1	8	-	8,3	5,8	-	65,4	55,2	N	1	
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	75,5	-	23,9	18,3	-	21,9	15,2	-	19,6	12,5	-	17,5	10	-	16	7,7	-	10,4	2,6	-	68,6	52,1	N	1	
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	76,3	33,2	25,9	17,4	32,8	24,2	15,6	32,1	22,9	13,2	31,8	22,4	11,2	31,6	21,7	9,6	27,7	16,8	6,8	84,5	80,3	66,2	N	2	
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	92,9	38,3	31,1	23,8	38,2	30	21,8	38	28,9	20,5	38,3	28,2	18,6	38,5	27,7	17	34,3	21,5	12,9	91,1	81	68	T	3	
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	94,7	33,4	24,6	18,1	33,1	25,3	16,1	33	25,1	15	32,8	24,8	13,4	32,7	24,7	12	29,4	18,5	7,9	87,9	86,6	69,2	T	2	
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	95,2	41,6	32,5	23,7	40,4	32	22,2	40	31,2	19,3	39,6	30,6	17,5	39,4	29,7	16,3	35,8	23,4	12,2	83,7	82,9	70,2	T	3	
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	81,3	-	21,7	18,9	-	20,9	16,8	-	20,6	14,4	-	20	12,1	-	20,1	9,6	-	13,4	5,8	-	85,3	51,5	N	2	
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	86,3	38,9	29,1	20,5	37,7	29,1	18,7	37	28,3	17,7	36,7	28,1	16,5	36,3	27,9	15,8	32,4	20,5	8,8	84,9	83,6	73,3	N	2	
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	83,5	27,8	19,6	11,4	26,5	19,1	10,4	26,1	18,3	8,8	25,1	17,7	7	24,7	17,3	5,8	21,4	11,6	2,3	76,8	81,3	64,3	N	2	
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	88,4	34,8	25,7	16,3	33,6	25,3	14,6	33	24,4	12,8	32,6	23,9	11,4	32,2	23,4	10	28,3	16	5,8	83,3	81,8	69,4	N	2	
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	98,5	30,3	23,7	15,4	29,3	22,8	14,1	28,9	21,4	12,2	28,6	20,6	10,7	28,2	20	9,2	24,3	14,2	5,9	85,4	77,6	66,5	T	2	
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	87,3	-	22	15,4	-	21,3	14,4	-	20,5	13,5	-	20,2	12,8	-	19,9	11,9	-	14,1	7,6	-	82	75,1	N	2	
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	88,2	-	24,5	17,1	-	23,7	14,6	-	22,4	13	-	21,7	12,2	-	21,1	11	-	16,1	5,8	-	80,4	68,2	N	2	
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	87,7	34,9	27,1	20,3	35,3	27	19,3	35,5	27,2	18,5	35,9	27	17,4	35,9	27	16,2	32,8	22,1	12	93,4	90,4	77,7	N	2	
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	87,3	24,3	18,9	11,4	24,1	17,8	10	22,9	16,5	9,5	22,1	14	9	21,5	12,9	8,3	19,4	9,1	5,1	78,3	65,4	77,5	N	2	
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	93,1	-	16,8	12,5	-	16,5	11,4	-	15,7	10,4	-	14,9	9,3	-	14,2	8	-	8,1	3,4	-	79,1	67,2	T	2	
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	94,6	37,1	28,9	22,3	36,1	28,9	21,8	35,5	29,4	20,9	35,1	29,5	20	35,2	29,6	19,2	33,1	22,5	15,4	82,7	93,5	79	T	2	
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	80,4	30,9	26,2	16,5	30,7	25	16	31,2	24,4	15	31,2	23,8	14,1	31,4	23,2	12,6	27,8	18,3	8,8	93	82,4	73,8	N	1	
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	93,5	28,9	20,6	13,6	26,6	20,6	12,4	25,8	20	11,2	25,1	19,3	10	24,7	19	9,1	23	15,1	5,8	78,2	81,7	67,5	T	2	
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	93,5	-	18,1	13,8	-	17,4	12,4	-	16,9	10,1	-	16,5	8,7	-	16,2	7,3	-	11,3	3,8	-	83,2	57,1	T	1	
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	89,6	-	20,9	15,4	-	20,2	13,8	-	19,5	12	-	18,2	10	-	17	7,9	-	11,5	5,1	-	74,1	55,7	T	2	
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	83,2	30	22,7	16,2	29,4	21,6	14,8	28,8	20,9	12,8	28,4	20	11,5	28,1	19,1	9,1	26,2	13,4	5,8	82,1	79,4	62,2	N	2	
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	93,3	27,2	20,8	16,9	27,3	20,8	15,4	26,9	20,2	14	26,7	20	12,3	26,4	19,8	10,3	23,9	16,6	7,1	85,3	84,2	54,4	T	2	
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	88,1	30,1	22,8	16,4	29,2	22,1	14,9	29	21,2	12,4	28,6	20,8	10,9	28,4	20,3	10,1	25,2	15,5	5,9	82,9	80,3	66,8	N	2	
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	89,9	29,8	21,4	14,7	28,4	20,5	12,1	27,9	19,5	10,6	27,4	18,5	9,3	26,8	18	8,2	24,7	13,1	4,7	79,4	74,6	58,8	T	1	
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	104,9	29,2	22,3	15,7	30	23	14,6	30,3	23,2	13,7	30,8	23,3	12,6	31,5	23,2	12,1	27,5	17,3	8,4	98,4	92,4	72,4	T	3	
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	71,5	24,8	20,2	12,8	22,2	18,5	11,5	21,5	17,3	10,3	21	16,4	9,5	20,7	14,8	8,5	18,1	11,5	5,2	77,4	73,7	71,8	N	1	
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	84,6	33,3	25,4	17	33,1	25	16,8	32,8	24,9	16,2	32,7	24,8	15,5	32,2	24,9	14,9	29,6	19,9	11,3	86,3	88,3	78,5	N	2	
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	87,5	28,4	22,5	16,5	29,6	22,8	15,4	29,8	22,7	14,3	30	22,9	13,1	30,6	23	12,2	26,9	17,4	9,6	93,3	91,2	64,9	N	3	
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	82,6	30,3	23,1	15,6	29,6	21,9	14,4	29	21,3	12,8	28,5	20,6	10,8	28,3	20	8,9	25,5	14,9	6,7	82,6	79,3	52,3	N	2	
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	80,8	28,5	19,1	15	27,1	19,1	13,1	26,9	18,7	11,9	26,5	18,3	10,1	26,4	18,4	8,5	23,1	13,1	3,8	83,6	85,4	64,5	N	2	
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	85,7	27,2	21,6	17,6	28,1	21,8	15,6	28,5	21	13,8	28,8	20,8	11,6	29	20,4	10,5	24,8	15,1	6,7	94,4	83,9	61,5	N	2	

Tabelle 12: Messrunde 2: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T1 (Teil 2)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	SNA	SNB	ANB	SNPg	ML-NSL	NL-NSL	ML-NL	NSBa	Gn-Igo-Ar	OK1-NA	OK1-NA mm	N- Sp' mm	Sp'-Gn mm	Index %	Gesichtstyp
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	77,7	72,7	5	74,3	34,7	7,7	26,9	132,7	125,3	15,9	1,3	59,8	71,8	83,3	retrognath
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	77,5	75,1	2,4	76,5	31	7,5	23,5	128,7	116	23,8	3	62,4	64,4	96,8	retrognath
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	79,7	72,5	7,2	72,6	36,3	14,7	21,7	131,7	118,5	28,3	4,2	60,1	69,5	86,4	retrognath
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	85,4	82,1	3,3	82,1	32,8	0,9	31,9	119,2	130,2	24,5	4	48,5	71,7	67,6	orthognath
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	80,4	76	4,3	77,2	26,6	9,3	17,3	132,2	121,3	30,4	5	52,3	58,3	89,6	retrognath
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	76,9	74,5	2,3	75,5	36	3,2	32,8	132,2	129,9	17,6	2,7	55,5	65,6	84,6	retrognath
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	77,5	73,3	4,3	72,2	38,5	6,1	32,5	134,6	130,2	24	4,2	59	78,1	75,5	retrognath
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	81,8	81,5	0,3	82,3	25,8	3	22,8	131,7	114,4	28,5	9,3	57,4	75,2	76,3	orthognath
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	83,6	77,9	5,7	79,5	28,2	10,1	18,1	133,4	115,4	25,4	0,6	56,2	60,5	92,9	orthognath
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	82,4	77,3	5,1	78,7	27,2	9,7	17,5	129,1	112,4	13,1	1,3	57,1	60,3	94,7	orthognath
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	80,7	76,8	3,9	79,2	21,9	8,5	13,4	131	104,5	-3,3	-2,5	63,4	66,6	95,2	orthognath
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	79,9	76,2	3,8	74,8	39,2	9,8	29,4	133,2	119,4	22,3	4,5	60	73,8	81,3	retrognath
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	79,1	76,6	2,5	77,4	32,9	8,2	24,7	134,3	117,7	27,3	8,5	63,6	73,6	86,3	retrognath
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	76,8	77	-0,1	79,2	24,4	2,5	21,9	127,7	111,3	12,6	4,6	49,8	59,6	83,5	orthognath
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	81,8	77,4	4,5	79,9	20,1	2	18,1	130,2	112,1	20,2	-0,1	60,6	68,6	88,4	orthognath
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	76,6	74,1	2,6	75,4	30,7	7,7	23	135,9	120,9	37,8	3,5	58,7	59,6	98,5	retrognath
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	76,3	72,4	3,9	74,1	36,2	9,6	26,6	130,8	125,7	15	1	49,4	56,6	87,3	retrognath
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	79,3	74,3	5	75,8	33	8	25	134,4	127	32,4	6,1	61,5	69,7	88,2	orthognath
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	80,6	76,5	4,1	76,1	40	13,9	26,1	139,1	119,3	27,9	3,9	65,6	74,8	87,7	retrognath
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	68,4	65,5	3	66,3	43	14,2	28,8	142,2	120,8	23,4	1,3	50,8	58,2	87,3	retrognath
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	75,9	76,4	-0,5	78,8	26,4	8,3	18,1	134,3	121,4	21,9	2,4	45,7	49,1	93,1	retrognath
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	85,7	81,9	3,8	82,6	19,2	4	15,2	127,5	117,7	18,2	2,6	51,6	54,6	94,6	prognath
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	82,4	76,5	5,9	75,4	35,8	6,8	29	128,4	125,5	31,5	5,9	52	64,7	80,4	orthognath
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	77,3	71,8	5,5	71,9	39,3	11,8	27,5	143,6	120,9	20	3,4	53,3	57	93,5	retrognath
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	77,1	73,7	3,4	75	27,5	4,4	23,1	144,4	117	13,1	1,4	53,1	56,8	93,5	retrognath
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	78,3	78,1	0,2	79,6	18,7	5,1	13,5	127,7	106,6	27,1	2,5	47	52,4	89,6	retrognath
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	76,1	72,2	3,8	74	32,3	10,2	22,1	129,8	122,3	27,1	5,1	49,6	59,5	83,2	retrognath
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	82,6	79,9	2,7	80,3	31,3	6,2	25,1	127,1	121,9	27,5	2	55,7	59,7	93,3	orthognath
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	78,2	73,7	4,5	74,4	32,8	12	20,7	143	121,6	22	0,9	51	57,9	88,1	retrognath
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	78,9	72,3	6,6	72,8	38,5	8,8	29,7	134,4	132	23,5	4,4	51,3	57,1	89,9	retrognath
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	81,2	80,6	0,6	83,9	24,4	10,3	14,1	132,1	130,1	25,4	0,7	48,1	45,9	104,9	orthognath
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	73,8	76,1	-2,2	77,3	32	5,1	26,9	133,3	128,4	17,3	9,8	43,7	61,1	71,5	retrognath
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	81,7	78,3	3,5	78,8	34,7	9	25,6	129,5	132,8	19	1	48,3	57,2	84,6	orthognath
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	84,3	80,9	3,4	82,1	21,1	8,2	12,9	131,3	129,3	22,5	2,9	46,7	53,4	87,5	orthognath
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	83,1	82,5	0,6	84,9	21,2	2,2	19	127,8	118,7	30,7	5	48	58,1	82,6	orthognath
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	87,4	81,9	5,5	83,3	21,8	5	16,8	131,7	115	15	-0,3	44,6	55,2	80,8	orthognath
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	76,2	73	3,2	74,8	41,3	14,1	27,2	129,5	130,1	17,6	1,1	50,4	58,8	85,7	retrognath

Tabelle 13: Messrunde 2: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T2 (Teil 1)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter	Einsetzen	Tragedauer	Index %	A5-PIV mm	A6-PIV mm	A7-PIV mm	WZ5-PIV mm	WZ6-PIV mm	WZ7-PIV mm	SZG5-PIVmm	SZG6-PIVmm	SZG7-PIVmm	Z5-PIV mm	Z6-PIV mm	Z7-PIV mm	kP5-PIVmm	kP6-PIVmm	kP7-PIVmm	dP5-PIVmm	dP6-PIVmm	dP7-PIVmm	ZA5-NL	ZA6-NL	ZA7-NL	O-/N-/T-Typ	1/2/3
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	81,7	35,8	25,1	17,4	33,7	15,9	24,8	15,9	32,9	24	13,8	32,3	23	11,3	31,3	22,5	8,9	28,2	16,7	6,6	78,3	77,2	56,1	N	2
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	94,1	48,7	35,7	29,8	45,7	35,1	28,6	44,3	35	27,2	43	34,8	25,2	41,5	34	23,5	38,6	29,9	19	71,8	87,7	66,6	T	2	
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	83,4	-	24,3	17,9	-	22,8	15,5	-	20,5	12,2	-	19,6	9,4	-	18,9	7,1	-	14,5	4,4	-	73,7	51,9	N	2	
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	65,9	-	27,9	21,9	-	27,2	20,4	-	25,8	17,4	-	24,7	15,7	-	23,7	13,9	-	19,1	9,3	-	79,6	65	O	1	
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	87,8	28	16,1	11,8	27,3	16,4	10,2	26,9	16,7	8	26,5	17	6,2	26,4	17,2	4,9	23	11,3	2,1	83,7	93,6	63,2	N	3	
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	78,4	-	18,1	16,4	-	15,5	13,5	-	12,4	10,6	-	10,1	8,6	-	9,1	6,6	-	6,5	1,9	-	65,6	56	N	1	
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	74,2	-	18,1	11,2	-	17,1	9,4	-	15,7	7,4	-	15	5,6	-	14,3	4,6	-	10,1	0,4	-	80,3	62,6	N	1	
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	81,2	29,1	21,8	13,6	27,9	20,2	10,7	27,4	18,6	7,3	26,7	17	5,2	26,4	15,5	3,6	22,7	11,1	-	1	81,5	71,8	55,1	N	1
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	90,5	35,8	27,7	19,5	34,5	27,1	18,1	33,7	25,9	16	33,5	25,2	14,4	33,3	25,1	13,3	30,2	19,1	8,1	83,4	78,4	67,5	T	3	
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	87,3	29,7	22,6	17,1	27,5	22,1	15,8	26,9	21,7	14,7	26,3	21,7	13,6	26	21,7	12,8	23,4	17,2	7,2	81,8	88,2	78,6	N	3	
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	94,2	38,8	28,1	19,9	36,5	28,1	19,5	36,1	27,6	17,5	35,4	26,9	16,5	35	26,6	16,1	32	21	12,2	80	83,6	73,2	T	3	
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	80,9	-	18	11,7	-	17,8	9,8	-	17,4	8,5	-	17,3	7,1	-	17,1	5,8	-	12	1,9	-	86,6	64,2	N	2	
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	81,7	36,5	25,3	19,2	35,4	25,1	19,5	35,2	24,9	19,5	34,9	24,6	19,4	34,6	24,4	19,3	30,5	20,6	13,2	81,6	84,3	89,7	N	2	
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	78,1	28,3	17	8,2	27	16,7	6,2	25,9	16,5	5	25	16,3	3,7	24,4	16	2,5	20,8	9,1	-0,8	77,4	86,3	70,9	N	1	
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	79,5	32,9	23,3	13,6	31,9	22	13,2	31,5	20,6	11,9	30,5	19,5	10,4	29,9	19	9,1	25,2	14,2	4,4	80,2	76,1	73,8	N	2	
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	96,5	27,7	20,7	16,2	27,6	19,2	12	27,1	17,7	9,6	26,9	16,5	6,9	26,7	15,7	4,8	22,8	10,8	1,2	84,5	69,7	50,2	T	2	
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	89,4	-	18,9	8,2	-	17,9	5,9	-	16,7	3,9	-	16,3	2,1	-	15,4	0,8	-	10,1	-3,1	-	79,1	65,5	T	2	
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	82,9	-	20,9	13,8	-	19,8	11,2	-	18,8	9,3	-	18,1	7,8	-	17,3	6,5	-	11,3	1,5	-	79	67,7	N	2	
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	88,3	32,3	25,6	18,5	30,9	25,7	17,4	30,3	25,7	16,2	30	25,3	15,1	29,4	25,3	14,4	27,3	20,5	10	83,4	87,5	74,2	N	2	
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	78,6	23,3	18,3	11	22,2	16,7	9,1	21,8	14	6,7	21	13,1	3,7	20,3	12	1,4	17,6	7,2	-0,7	80,7	65,2	49,7	N	1	
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	85,5	-	10,9	10	-	9,9	8,1	-	9,2	5,7	-	8,3	4,6	-	7,6	2,8	-	1,4	0	-	78,9	57,6	N	2	
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	92,4	37,2	23	19,6	34,7	23,3	18,4	33,6	23,6	17,1	32	23,8	14,8	31,3	24,2	13,4	29,4	18	10	67,8	93,6	65	T	2	
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	77,1	29,8	21,9	16,1	29,1	21,4	15,4	28,8	20,6	14,9	28,3	20,1	13,6	28,2	19,7	13,1	25,7	14,7	9,2	85	82,7	78,3	N	1	
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	87	28,3	19,7	12,9	26,7	18,3	11	25,1	16,8	9,6	23,7	15,6	7,8	23,4	14,7	6,8	21,9	11,3	2,6	70,9	72,2	63,1	N	1	
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	97,2	-	12,3	8,8	-	13,2	7,3	-	13,2	5,6	-	13,2	4,4	-	13,1	2,7	-	8,4	0,4	-	90,1	64,3	T	2	
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	92,2	-	15,4	10,7	-	14,3	8,7	-	12,4	6,7	-	11	5,1	-	9,9	2,4	-	5,8	0,7	-	69,1	49,6	T	2	
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	80,9	24,9	18,2	11,6	22,9	16,2	9,1	22	14,6	7,1	21,3	14,1	5,3	20,7	13,7	3,6	18,6	8,5	0,9	76,7	74,7	58,7	N	2	
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	86,8	25,8	19,5	13,4	24,7	18	11,6	24	16,4	9,8	23,5	15,7	7,8	23,1	15,1	6,4	20,6	11	2,7	81,1	73,4	60,2	N	1	
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	87,2	26,3	19,2	12,9	25,8	18,2	11,2	25,3	17,4	9,2	25	16,4	7,5	24,7	15,7	6,2	22,4	12,2	3,3	82	75,5	62,5	N	2	
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	90	26,9	15,3	11,7	25,5	14,6	9,7	23,3	14,1	7,7	22,5	13,2	5,9	21,8	12,6	4,5	20,4	8,5	0,9	68,5	79,5	59,4	T	1	
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	99,8	27	18,1	12,6	27,9	19,1	12,1	28,3	19,6	10,7	28,4	20,1	9,8	28,2	20,6	9,2	24,6	13,7	4,8	93,3	96,4	74,1	T	3	
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	71,7	23,1	16	11,1	21,6	15	8,8	20,9	14	6,9	20,5	13	5,8	19,8	12,2	3,4	17,5	5,9	1,7	76,6	74,1	50,4	N	1	
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	79,5	30,7	21,1	14,4	28,7	20,8	13,8	28,2	20,5	13,1	27,8	20,4	12,5	27	20,4	11,7	23,9	14,6	8,8	76,6	85,8	74	N	1	
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	86	33,4	18,7	15,1	32,3	20,5	13,1	31,2	21,1	12,1	30,6	21,8	11,2	29,8	22,6	10,2	27,6	16,6	6,2	75,7	98,1	72,9	N	3	
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	84,2	27,9	20,3	12,3	25,8	19,7	10,1	23,5	18,6	8,8	22,5	17,4	7	21,4	16,9	5,4	19,9	12,1	3	73,3	76,7	62,2	N	2	
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	77,8	26,3	17,6	11,8	24,7	16,6	8,9	24,3	15,6	6,6	23,9	15,2	4,3	23,6	14,1	2,6	20,5	8,7	-0,6	81,9	80,3	58,2	N	2	
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	84,8	25,2	18,4	11,7	23,9	18	10,8	23,4	17,3	8,3	22,8	16,6	6,8	22,4	16	5,4	19,4	10,4	3,6	81,7	79,6	63,9	N	2	

Tabelle 14: Messrunde 2: Messwerte für das FRS zum Zeitpunkt T2 (Teil 2)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	SNA	SNB	ANB	SNPg	ML-NSL	NL-NSL	ML-NL	NSBa	Gn-Igo-Ar	OK1-NA	OK1-NA mm	N- Sp' mm	Sp'-Gn mm	Index %	Gesichtstyp
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	75,9	70,9	5	72,2	38,5	9,7	28,8	133,9	123,5	20	2,7	57	69,7	81,7	retrognath
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	79,8	76,8	3	78,2	28	5,9	22,1	125,6	119,3	28,4	3,3	64,6	68,7	94,1	retrognath
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	79,8	70,2	9,6	70,6	39,8	13,6	26,1	130,7	118,7	17,2	1,3	58,2	69,8	83,4	retrognath
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	86,3	82	4,4	82,5	36,4	1,5	35	122,5	127,6	22	4	55	83,3	65,9	orthognath
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	77,2	73,2	4,1	74,8	29,1	11	18,1	133,7	119	20,8	1,6	55,7	63,4	87,8	retrognath
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	78,3	76,9	1,4	78,3	34,5	0,7	33,9	126,7	124,7	25,4	5,2	58,4	74,5	78,4	retrognath
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	78	74,1	3,8	74,3	38,7	5	33,7	134,3	133,4	23,6	5,7	54,1	72,9	74,2	retrognath
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	81,4	78,4	3	79	27,5	3,5	24	134,1	116,4	19,3	5,9	58,8	72,4	81,2	orthognath
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	82,5	77,9	4,6	79,6	23,4	8,6	14,7	133	109,6	17,7	0,5	59,2	65,4	90,5	orthognath
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	82,8	77,3	5,5	78,4	24,5	10,4	14	132	107,1	2,5	-1,7	65,1	74,7	87,3	orthognath
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	81,3	77,2	4,1	79,6	23	9,3	13,7	128,6	107,8	10,4	-1,6	60,6	64,3	94,2	orthognath
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	78,3	73,2	5,1	72,3	43	12,4	30,6	137	117,5	20,3	3,7	63,3	78,2	80,9	retrognath
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	80,9	76,3	4,5	77,1	32,1	11,6	20,5	134,8	118,1	18,2	1,8	65,4	80	81,7	retrognath
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	82,9	80,1	2,8	82,2	24,7	0,4	24,3	122,4	106,7	13,8	1,7	58,1	74,3	78,1	orthognath
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	81,7	79,5	2,1	82,9	19	2,3	16,7	129,2	108,5	20,2	3	61,7	77,6	79,5	orthognath
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	76,5	74,6	1,9	76,6	28,2	8,3	19,8	135,5	119,6	26,4	3,2	60,5	62,7	96,5	retrognath
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	77,5	73,6	3,9	75,7	37,1	11,9	25,2	133,6	129	18,1	2,5	57,8	64,6	89,4	retrognath
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	81,3	75,3	5,9	76,8	30,5	8,9	21,5	135,1	130	14,9	-0,6	56,9	68,6	82,9	orthognath
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	82,3	76,2	6,1	76	39,4	12,3	27	138,2	133,4	11,9	-1,2	63	71,3	88,3	retrognath
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	75,5	73,8	1,7	76,9	37,2	4,7	32,5	131,6	117,8	19,2	6,7	53,8	68,4	78,6	retrognath
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	77,8	75	2,8	78	29,9	6,3	23,6	133	119,3	5,7	-0,8	47,8	56	85,5	retrognath
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	87,1	83,1	4	83,7	18	3,3	14,7	128,3	120,1	17	1,3	49,8	53,8	92,4	prognath
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	81	77,8	3,2	77,6	33,4	4,5	28,9	128,6	123,4	32,1	11,2	53,4	69,2	77,1	orthognath
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	78,8	74	4,8	74,2	38,5	8,1	30,4	140,7	122,2	11,4	2,5	53,4	61,4	87	retrognath
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	75	73,8	1,2	76,5	25,8	6,2	19,6	144,5	119,5	28,1	7,5	56,9	58,6	97,2	retrognath
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	77,4	77,4	0	79,4	16,5	4,5	12	129,1	104,7	25,4	4,5	46,4	50,3	92,2	retrognath
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	76	71,3	4,7	73,5	32,2	8,4	23,8	131,5	119,3	14,1	1,8	48	59,3	80,9	retrognath
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	81,4	80,1	1,3	80,7	30,4	5	25,4	128,1	117,5	24,9	4,1	55	63,3	86,8	orthognath
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	81,4	74,9	6,5	75,5	33,2	11,1	22,1	143	124,5	17	1,3	49,9	57,2	87,2	retrognath
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	78,4	71,6	6,8	71,6	39,1	9,2	29,9	134,7	127,3	21,2	4,2	51,7	57,4	90	retrognath
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	81,3	80,3	1	83,6	25,5	11,1	14,5	132,3	126,3	20,7	1,8	48,8	48,9	99,8	orthognath
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	75	76,3	-1,3	77,6	32,1	5,3	26,9	132,3	120,7	18,8	9,5	47	65,6	71,7	retrognath
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	81,9	79,1	2,8	79,7	37,1	7,5	29,6	128	135,6	23	1,2	47,2	59,4	79,5	orthognath
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	86,1	82	4,1	83,4	20,9	7,4	13,6	128,4	120	18	0,5	54,1	62,9	86	prognath
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	82,8	82,5	0,3	85	21,2	1,9	19,3	127,4	117,9	31,7	4,9	50,1	59,5	84,2	orthognath
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	86,8	80,1	6,7	81,7	25,1	4,4	20,7	132,4	112,2	12,2	0,2	47,1	60,5	77,8	prognath
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	77,3	74,3	3	76,9	38,1	9	29	128,4	123,9	21,1	3	49,2	58	84,8	retrognath



Tabelle 16: Messrunde 2: Betrachtung der Differenzen der Messwerte (T1-T2)

Patient	FRS-Datum1	FRS-Datum2	m/w	Alter Einsetzen	Tragedauer	Diff. SNA	Diff. SNB	Diff. ANB	Diff. SNPg	Diff. ML-NSL	Diff. NL-NSL	Diff. ML-NL	Diff. NSBa	Diff. Gn-tgo-Ar	Diff. OK1-NA	Diff. OK1-NA mm	Diff. N- Sp' mm	Diff. Sp'-Gn mm	Diff. Index %
1	27.07.11	22.10.14	w	10,3	9,3	1,8	1,8	0	2,1	-3,8	-2	-1,9	-1,2	1,8	-4,1	-1,4	2,8	2,1	1,6
2	10.12.09	07.05.14	m	16,3	46,8	-2,3	-1,7	-0,6	-1,7	3	1,6	1,4	3,1	-3,3	-4,6	-0,3	-2,2	-4,3	2,7
3	28.08.09	10.12.12	m	12,8	18,2	-0,1	2,3	-2,4	2	-3,5	1,1	-4,4	1	-0,2	11,1	2,9	1,9	-0,3	3
4	29.01.13	14.09.16	m	13	11,5	-0,9	0,1	-1,1	-0,4	-3,6	-0,6	-3,1	-3,3	2,6	2,5	0	-6,5	-11,6	1,7
5	02.07.12	25.04.16	w	15,4	25,4	3,2	2,8	0,2	2,4	-2,5	-1,7	-0,8	-1,5	2,3	9,6	3,4	-3,4	-5,1	1,8
6	01.08.12	14.09.15	w	9,5	21,1	-1,4	-2,4	0,9	-2,8	1,5	2,5	-0,8	5,5	5,2	-7,8	-2,5	-2,9	-8,9	6,2
7	18.06.13	14.07.16	w	11,5	15,2	-0,5	-0,8	0,5	-2,1	-0,2	1,1	-1,2	0,3	-3,2	0,4	-1,5	4,9	5,2	1,3
8	06.02.13	08.06.16	w	17	36,4	0,4	3,1	-2,7	3,3	-1,7	-0,5	-1,2	-2,4	-2	9,2	3,4	-1,4	2,8	-4,9
9	17.01.13	21.12.15	m	14,4	28,4	1,1	0	1,1	-0,1	4,8	1,5	3,4	0,4	5,8	7,7	0,1	-3	-4,9	2,4
10	29.07.11	01.06.15	m	15,8	36,9	-0,4	0	-0,4	0,3	2,7	-0,7	3,5	-2,9	5,3	10,6	3	-8	-14,4	7,4
11	11.06.08	27.03.14	w	28,8	12,1	-0,6	-0,4	-0,2	-0,4	-1,1	-0,8	-0,3	2,4	-3,3	-13,7	-0,9	2,8	2,3	1
12	01.10.12	17.06.15	w	13,6	12,5	1,6	3	-1,3	2,5	-3,8	-2,6	-1,2	-3,8	1,9	2	0,8	-3,3	-4,4	0,4
13	09.04.13	07.07.16	m	15,9	17,3	-1,8	0,3	-2	0,3	0,8	-3,4	4,2	-0,5	-0,4	9,1	6,7	-1,8	-6,4	4,6
14	02.10.07	12.10.11	m	17,3	12,1	-6,1	-3,1	-2,9	-3	-0,3	2,1	-2,4	5,3	4,6	-1,2	2,9	-8,3	-14,7	5,4
15	13.12.07	12.09.11	m	13,6	27,6	0,1	-2,1	2,4	-3	1,1	-0,3	1,4	1	3,6	0	-3,1	-1,1	-9	8,9
16	20.01.10	12.11.12	w	12,9	22,8	0,1	-0,5	0,7	-1,2	2,5	-0,6	3,2	0,4	1,3	11,4	0,3	-1,8	-3,1	2
17	24.05.12	08.04.16	m	11,4	43,3	-1,2	-1,2	0	-1,6	-0,9	-2,3	1,4	-2,8	-3,3	-3,1	-1,5	-8,4	-8	-2,1
18	24.01.12	02.10.15	w	14,2	18	-2	-1	-0,9	-1	2,5	-0,9	3,5	-0,7	-3	17,5	6,7	4,6	1,1	5,3
19	25.07.13	03.05.16	w	26,3	7,7	-1,7	0,3	-2	0,1	0,6	1,6	-0,9	0,9	-14,1	16	5,1	2,6	3,5	-0,6
20	31.07.13	11.08.16	w	10	19,3	-7,1	-8,3	1,3	-10,6	5,8	9,5	-3,7	10,6	3	4,2	-5,4	-3	-10,2	8,7
21	27.05.14	29.06.16	w	12,3	20	-1,9	1,4	-3,3	0,8	-3,5	2	-5,5	1,3	2,1	16,2	3,2	-2,1	-6,9	7,6
22	16.07.13	25.02.15	m	15,6	19,4	-1,4	-1,2	-0,2	-1,1	1,2	0,7	0,5	-0,8	-2,4	1,2	1,3	1,8	0,8	2,2
23	05.02.14	04.08.16	m	16	12,4	1,4	-1,3	2,7	-2,2	2,4	2,3	0,1	-0,2	2,1	-0,6	-5,3	-1,4	-4,5	3,3
24	23.10.12	04.12.14	w	10,7	12,3	-1,5	-2,2	0,7	-2,3	0,8	3,7	-2,9	2,9	-1,3	8,6	0,9	-0,1	-4,4	6,5
25	11.04.14	06.07.16	m	12,8	22,6	2,1	-0,1	2,2	-1,5	1,7	-1,8	3,5	-0,1	-2,5	-15	-6,1	-3,8	-1,8	-3,7
26	31.07.14	26.07.16	w	14,2	9,9	0,9	0,7	0,2	0,2	2,2	0,6	1,5	-1,4	1,9	1,7	-2	0,6	2,1	-2,6
27	09.02.15	22.06.16	m	10,5	14,3	0,1	0,9	-0,9	0,5	0,1	1,8	-1,7	-1,7	3	13	3,3	1,6	0,2	2,3
28	22.11.12	05.05.15	m	15,5	22,1	1,2	-0,2	1,4	-0,4	0,9	1,2	-0,3	-1	4,4	2,6	-2,1	0,7	-3,6	6,5
29	20.10.14	12.11.15	w	14,7	12,8	-3,2	-1,2	-2	-1,1	-0,4	0,9	-1,4	0	-2,9	5	-0,4	1,1	0,7	0,9
30	03.12.14	03.08.16	m	12,8	18,4	0,5	0,7	-0,2	1,2	-0,6	-0,4	-0,2	-0,3	4,7	2,3	0,2	-0,4	-0,3	-0,1
31	08.12.14	22.06.16	w	15,2	14,3	-0,1	0,3	-0,4	0,3	-1,1	-0,8	-0,4	-0,2	3,8	4,7	-1,1	-0,7	-3	5,1
32	02.04.14	24.05.16	w	15,2	25,8	-1,2	-0,2	-0,9	-0,3	-0,1	-0,2	0	1	7,7	-1,5	0,3	-3,3	-4,5	-0,2
33	18.07.12	09.03.15	w	13,5	22,8	-0,2	-0,8	0,7	-0,9	-2,4	1,5	-4	1,5	-2,8	-4	-0,2	1,1	-2,2	5,1
34	22.07.13	17.02.16	w	15,6	14,8	-1,8	-1,1	-0,7	-1,3	0,2	0,8	-0,7	2,9	9,3	4,5	2,4	-7,4	-9,5	1,5
35	28.01.15	19.04.16	m	12	11,9	0,3	0	0,3	-0,1	0	0,3	-0,3	0,4	0,8	-1	0,1	-2,1	-1,4	-1,6
36	23.06.15	15.06.16	w	14	10,8	0,6	1,8	-1,2	1,6	-3,3	0,6	-3,9	-0,7	2,8	2,8	-0,5	-2,5	-5,3	3
37	03.02.15	16.06.16	w	12,7	10	-1,1	-1,3	0,2	-2,1	3,2	5,1	-1,8	1,1	6,2	-3,5	-1,9	1,2	0,8	0,9

## 12.2.2 Statistische Auswertung

Tabelle 17: Methodenfehler und Zuverlässigkeitskoeffizient

Variablen	Dahlberg	Houston
SNA	1,448	0,844
SNB	1,391	0,853
ANB	1,031	0,757
SNPg	1,603	0,834
ML-NSL	1,565	0,946
NL-NSL	1,725	0,783
ML-NL	1,698	0,933
NSBa	1,622	0,901
Gn-tgo-Ar	2,226	0,910
OK1-NA	5,392	0,447
OK1-NA.mm	1,919	0,524
N-Sp'.mm	2,341	0,842
Sp'-Gn.mm	3,911	0,754
Index. %	2,897	0,856
A5-PtV.mm	1,462	0,930
A6-PtV.mm	2,678	0,657
A7-PtV.mm	2,331	0,696
WZ5-PtV.mm	1,824	0,882
WZ6-PtV.mm	2,585	0,697
WZ7-PtV.mm	2,375	0,712
SZG5-PtV.mm	2,062	0,851
SZG6-PtV.mm	2,695	0,711
SZG7-PtV.mm	2,643	0,685
Z5-PtV.mm	2,251	0,821
Z6-PtV.mm	2,697	0,733
Z7-PtV.mm	2,845	0,662
kP5-PtV.mm	2,383	0,805
kP6-PtV.mm	2,745	0,750
kP7-PtV.mm	3,009	0,663
dP5-PtV.mm	2,135	0,829
dP6-PtV.mm	2,502	0,781
dP7-PtV.mm	2,827	0,634
ZA5-NL	4,858	0,407
ZA6-NL	3,554	0,823
ZA7-NL	7,152	0,387



Tabelle 18: Testung auf Normalverteilung mittels dem Shapiro-Wilk-Test

Variable	Shapiro-Wilk-Test	Variable	Shapiro-Wilk-Test
SNA	0,153	Diff SNA	0
SNB	0,093	Diff SNB	0
ANB	0,69	Diff ANB	0,343
SNPg	0,223	Diff SNPg	0
ML-NSL	0,049	Diff ML-NSL	0,503
NL-NSL	0,458	Diff NL-NSL	0
ML-NL	0,074	Diff ML-NL	0,476
NSBa	0,014	Diff NSBa	0
Gn-tgo-Ar	0,312	Diff Gn-tgo-Ar	0,37
OK1-NA	0,103	Diff OK1-NA	0,886
OK1-NA.mm	0,043	Diff OK1-NA.mm	0,738
N-Sp'.mm	0,032	Diff N-Sp'.mm	0,287
Sp'-Gn.mm	0,379	Diff Sp'-Gn.mm	0,143
Index. %	0,96	Diff Index .%	0,815
A5-PtV.mm	0	Diff A5-PtV.mm	0,003
A6-PtV.mm	0,02	Diff A6-PtV.mm	0,362
A7-PtV.mm	0,001	Diff A7-PtV.mm	0,064
WZ5-PtV.mm	0,004	Diff WZ5-PtV.mm	0,773
WZ6-PtV.mm	0,024	Diff WZ6-PtV.mm	0,832
WZ7-PtV.mm	0,001	Diff WZ7-PtV.mm	0,059
SZG5-PtV.mm	0,018	Diff SZG5-PtV.mm	0,999
SZG6-PtV.mm	0,059	Diff SZG6-PtV.mm	0,166
SZG7-PtV.mm	0,002	Diff SZG7-PtV.mm	0,148
Z5-PtV.mm	0,045	Diff Z5-PtV.mm	0,982
Z6-PtV.mm	0,134	Diff Z6-PtV.mm	0,444
Z7-PtV.mm	0,003	Diff Z7-PtV.mm	0,298
kP5-PtV.mm	0,105	Diff kP5-PtV.mm	0,965
kP6-PtV.mm	0,332	Diff kP6-PtV.mm	0,518
kP7-PtV.mm	0,006	Diff kP7-PtV.mm	0,471
dP5-PtV.mm	0,04	Diff dP5-PtV.mm	0,862
dP6-PtV.mm	0,072	Diff dP6-PtV.mm	0,638
dP7-PtV.mm	0,002	Diff dP7-PtV.mm	0,037
ZA5-NL	0,328	Diff ZA5-NL	0,938
ZA6-NL	0,647	Diff ZA6-NL	0,81
ZA7-NL	0,783	Diff ZA7-NL	0,374

Tabelle 19: Vergleich der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 mit dem Zeitpunkt T2 innerhalb des gesamten Patientenkollektivs

	T1	T2	Differenz (T1-T2)	P-Wert	Test
SNA	79.4 (3.66)	80.1 (3.26)	-0.74 (1.93)	0.033	t
SNB	76.1 (3.63)	76.5 (3.37)	-0.28 (1.97)	0.355	t
ANB	3.30 (2.09)	3.68 (2.09)	-0.45 (1.41)	0.097	t
SNPg	77.2 (3.93)	77.8 (3.60)	-0.56 (2.23)	0.118	t
ML-NSL	30.5 (6.75)	30.5 (6.72)	-0.04 (2.24)	0.981	w
NL-NSL	7.86 (3.68)	7.20 (3.70)	0.59 (2.40)	0.1	t
ML-NL	22.7 (5.64)	23.3 (6.57)	-0.62 (2.35)	0.108	t
NSBa	133 (5.17)	132 (4.96)	0.28 (2.31)	0.678	w
Gn-tgo-Ar	121 (6.83)	120 (7.43)	0.32 (3.17)	0.187	t
OK1-NA	22.0 (7.25)	19.3 (6.60)	2.55 (7.28)	0.033	t
OK1-NA.mm	3.19 (2.62)	2.80 (2.78)	0.45 (2.71)	0.442	w
N-Sp'.mm	53.5 (5.89)	55.0 (5.32)	-1.47 (3.00)	0.013	w
Sp'-Gn.mm	61.6 (7.57)	65.3 (7.88)	-3.69 (4.18)	<0.0001	t
Index. %	87.4 (7.65)	84.7 (7.39)	2.59 (3.22)	<0.0001	t
A5-PtV.mm	31.7 (5.34)	30.3 (5.51)	1.53 (1.97)	<0.0001	w
A6-PtV.mm	24.1 (4.54)	20.5 (4.57)	3.55 (1.35)	<0.0001	w
A7-PtV.mm	17.1 (3.95)	14.3 (4.23)	2.86 (1.66)	<0.0001	w
WZ5-PtV.mm	31.2 (5.25)	28.8 (5.31)	2.51 (1.81)	<0.0001	w
WZ6-PtV.mm	23.3 (4.57)	19.8 (4.70)	3.49 (1.10)	<0.0001	w
WZ7-PtV.mm	15.5 (3.96)	12.5 (4.42)	3.01 (1.52)	<0.0001	w
SZG5-PtV.mm	30.9 (5.26)	28.0 (5.35)	3.00 (1.80)	<0.0001	w
SZG6-PtV.mm	22.6 (4.73)	18.9 (5.02)	3.63 (1.17)	<0.0001	t
SZG7-PtV.mm	14.1 (4.08)	10.7 (4.71)	3.32 (1.75)	<0.0001	w
Z5-PtV.mm	30.6 (5.32)	27.4 (5.31)	3.35 (1.83)	<0.0001	w
Z6-PtV.mm	21.9 (4.94)	18.2 (5.22)	3.60 (1.27)	<0.0001	t
Z7-PtV.mm	12.7 (4.11)	9.14 (4.89)	3.48 (2.04)	<0.0001	w
kP5-PtV.mm	30.4 (5.39)	26.9 (5.30)	3.58 (1.86)	<0.0001	t
kP6-PtV.mm	21.3 (5.16)	17.7 (5.49)	3.65 (1.35)	<0.0001	t
kP7-PtV.mm	11.3 (4.27)	7.71 (5.18)	3.59 (2.31)	<0.0001	w
dP5-PtV.mm	27.4 (5.17)	24.2 (5.07)	3.29 (1.49)	<0.0001	w
dP6-PtV.mm	16.0 (4.85)	12.8 (5.35)	3.15 (1.64)	<0.0001	t
dP7-PtV.mm	7.67 (4.08)	4.26 (4.67)	3.37 (2.18)	<0.0001	w
ZA5-NL	85.7 (6.31)	79.1 (5.59)	6.50 (5.09)	<0.0001	t
ZA6-NL	80.7 (7.04)	80.0 (8.44)	0.73 (5.04)	0.447	t
ZA7-NL	66.5 (7.58)	64.5 (9.13)	2.01 (10.0)	0.238	t

Tabelle 20: Vergleich der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 mit dem Zeitpunkt T2 innerhalb von Gruppe 1

	T1	T2	Differenz (T1-T2)	P-Wert	Test
SNA	77.9 (3.88)	78.6 (3.12)	-0.72 (2.42)	0.267	t
SNB	75.0 (4.08)	75.3 (3.53)	-0.23 (2.60)	0.712	t
ANB	2.86 (2.35)	3.29 (2.49)	-0.47 (1.44)	0.243	t
SNPg	76.0 (4.32)	76.7 (3.71)	-0.68 (2.98)	0.361	t
ML-NSL	32.4 (6.43)	32.9 (6.66)	-0.58 (2.68)	0.339	w
NL-NSL	7.24 (4.00)	6.76 (3.98)	0.44 (3.00)	0.523	t
ML-NL	25.1 (5.50)	26.1 (6.57)	-1.04 (2.64)	0.141	t
NSBa	133 (5.69)	132 (5.02)	0.35 (3.08)	0.583	t
Gn-tgo-Ar	123 (6.74)	122 (7.58)	-0.18 (2.41)	0.668	t
OK1-NA	22.7 (5.77)	20.3 (5.95)	2.45 (8.17)	0.266	t
OK1-NA.mm	3.62 (2.43)	3.63 (2.64)	0.06 (3.03)	0.99	t
N-Sp'.mm	52.2 (5.63)	53.8 (5.22)	-1.52 (3.35)	0.103	w
Sp'-Gn.mm	62.7 (8.32)	66.4 (8.73)	-3.72 (4.41)	0.004	t
Index.%	83.7 (7.15)	81.6 (7.74)	2.27 (3.45)	0.024	t
A5-PtV.mm	28.4 (3.38)	27.7 (4.94)	2.14 (1.36)	0.009	t
A6-PtV.mm	22.9 (3.83)	19.0 (4.13)	3.81 (1.54)	<0.0001	t
A7-PtV.mm	16.1 (3.05)	12.9 (3.57)	3.18 (2.06)	<0.0001	t
WZ5-PtV.mm	27.6 (3.93)	25.7 (4.56)	3.55 (1.44)	0.01	t
WZ6-PtV.mm	21.6 (3.58)	17.9 (4.13)	3.67 (1.30)	<0.0001	t
WZ7-PtV.mm	14.4 (2.91)	10.8 (3.29)	3.53 (1.70)	<0.0001	t
SZG5-PtV.mm	27.0 (4.19)	24.9 (4.57)	3.77 (1.89)	0.019	t
SZG6-PtV.mm	20.6 (3.52)	16.6 (4.32)	3.93 (1.39)	<0.0001	t
SZG7-PtV.mm	13.0 (2.93)	8.80 (3.28)	4.14 (1.57)	<0.0001	t
Z5-PtV.mm	26.6 (4.38)	24.2 (4.63)	3.95 (2.10)	0.062	w
Z6-PtV.mm	19.5 (3.68)	15.8 (4.45)	3.67 (1.55)	<0.0001	t
Z7-PtV.mm	11.6 (2.94)	7.04 (3.21)	4.60 (1.77)	<0.0001	t
kP5-PtV.mm	26.1 (4.45)	23.6 (4.66)	4.05 (2.15)	0.02	t
kP6-PtV.mm	18.7 (4.00)	15.0 (4.69)	3.64 (1.61)	<0.0001	t
kP7-PtV.mm	10.1 (3.23)	5.32 (3.31)	4.75 (2.10)	<0.0001	t
dP5-PtV.mm	23.6 (4.25)	21.1 (4.35)	3.75 (1.63)	0.011	t
dP6-PtV.mm	13.3 (3.64)	10.2 (4.45)	3.08 (2.15)	<0.0001	t
dP7-PtV.mm	6.45 (2.78)	2.31 (3.13)	4.12 (2.03)	<0.0001	t
ZA5-NL	81.8 (3.57)	77.5 (2.48)	4.13 (6.60)	0.169	t
ZA6-NL	76.2 (6.76)	76.7 (7.66)	-0.64 (5.12)	0.711	t
ZA7-NL	64.8 (9.74)	59.4 (7.42)	5.56 (12.1)	0.097	t

Tabelle 21: Vergleich der untersuchten Variablen zum Zeitpunkt T1 mit dem Zeitpunkt T2 innerhalb von Gruppe 2

	T1	T2	Differenz (T1-T2)	P-Wert	Test
SNA	80.6 (3.06)	81.3 (2.90)	-0.76 (1.53)	0.047	t
SNB	77.0 (3.08)	77.3 (3.01)	-0.32 (1.39)	0.267	t
ANB	3.63 (1.85)	3.98 (1.73)	-0.43 (1.42)	0.257	t
SNPg	78.2 (3.44)	78.7 (3.38)	-0.47 (1.49)	0.147	t
ML-NSL	29.1 (6.79)	28.7 (6.33)	0.38 (1.80)	0.332	w
NL-NSL	8.33 (3.44)	7.54 (3.54)	0.70 (1.90)	0.062	t
ML-NL	20.8 (5.12)	21.1 (5.82)	-0.30 (2.12)	0.297	w
NSBa	133 (4.87)	133 (5.03)	0.23 (1.57)	0.301	t
Gn-tgo-Ar	119 (6.61)	118 (6.86)	0.70 (3.66)	0.216	t
OK1-NA	21.4 (8.30)	18.6 (7.11)	2.64 (6.74)	0.063	t
OK1-NA.mm	2.86 (2.77)	2.17 (2.78)	0.75 (2.48)	0.223	t
N-Sp'.mm	54.6 (6.01)	55.9 (5.32)	-1.44 (2.80)	0.039	t
Sp'-Gn.mm	60.8 (7.04)	64.4 (7.27)	-3.66 (4.10)	0.001	t
Index. %	90.1 (6.95)	87.2 (6.26)	2.82 (3.10)	<0.0001	t
A5-PtV.mm	32.5 (5.48)	31.0 (5.55)	1.38 (2.10)	0.003	w
A6-PtV.mm	25.1 (4.90)	21.6 (4.67)	3.34 (1.18)	<0.0001	w
A7-PtV.mm	17.9 (4.42)	15.3 (4.48)	2.62 (1.29)	<0.0001	w
WZ5-PtV.mm	32.0 (5.24)	29.7 (5.27)	2.26 (1.83)	<0.0001	w
WZ6-PtV.mm	24.6 (4.89)	21.1 (4.72)	3.36 (0.93)	<0.0001	w
WZ7-PtV.mm	16.3 (4.50)	13.7 (4.83)	2.61 (1.26)	<0.0001	w
SZG5-PtV.mm	31.8 (5.14)	28.9 (5.30)	2.81 (1.77)	<0.0001	w
SZG6-PtV.mm	24.1 (5.03)	20.6 (4.92)	3.41 (0.95)	<0.0001	w
SZG7-PtV.mm	14.9 (4.67)	12.2 (5.16)	2.69 (1.64)	<0.0001	w
Z5-PtV.mm	31.6 (5.13)	28.3 (5.23)	3.20 (1.79)	<0.0001	w
Z6-PtV.mm	23.7 (5.08)	20.1 (5.11)	3.55 (1.04)	<0.0001	t
Z7-PtV.mm	13.4 (4.74)	10.7 (5.40)	2.63 (1.84)	<0.0001	w
kP5-PtV.mm	31.5 (5.16)	27.9 (5.18)	3.47 (1.82)	<0.0001	t
kP6-PtV.mm	23.4 (5.09)	19.7 (5.30)	3.65 (1.15)	<0.0001	t
kP7-PtV.mm	12.3 (4.76)	9.54 (5.65)	2.71 (2.10)	<0.0001	w
dP5-PtV.mm	28.3 (5.02)	25.1 (4.99)	3.18 (1.48)	<0.0001	w
dP6-PtV.mm	18.0 (4.71)	14.7 (5.21)	3.20 (1.17)	<0.0001	w
dP7-PtV.mm	8.60 (4.69)	5.75 (5.16)	2.79 (2.16)	<0.0001	w
ZA5-NL	86.6 (6.53)	79.5 (6.18)	7.07 (4.68)	<0.0001	t
ZA6-NL	84.1 (5.12)	82.6 (8.24)	1.78 (4.84)	0.19	t
ZA7-NL	67.8 (5.33)	68.4 (8.47)	-0.70 (7.40)	0.705	t

Tabelle 22: Vergleich der Differenzen (T1-T2), der Distalisationsgeschwindigkeiten und der Zahnbewegungen von Gruppe 1 und Gruppe 2

	Alle	Gruppe 1	Gruppe 2	P-Wert	Test
Diff.SNA	-0.74 (1.93)	-0.72 (2.42)	-0.76 (1.53)	0.6455	m
Diff.SNB	-0.28 (1.97)	-0.23 (2.60)	-0.32 (1.39)	0.2972	m
Diff.ANB	-0.45 (1.41)	-0.47 (1.44)	-0.43 (1.42)	0.9318	t
Diff.SNPg	-0.56 (2.23)	-0.68 (2.98)	-0.47 (1.49)	0.6022	m
Diff.ML-NSL	-0.04 (2.24)	-0.58 (2.68)	0.38 (1.80)	0.2246	t
Diff.NL-NSL	0.59 (2.40)	0.44 (3.00)	0.70 (1.90)	0.3657	m
Diff.ML-NL	-0.62 (2.35)	-1.04 (2.64)	-0.30 (2.12)	0.365	t
Diff.NSBa	0.28 (2.31)	0.35 (3.08)	0.23 (1.57)	0.5498	m
Diff.Gn-tgo-Ar	0.32 (3.17)	-0.18 (2.41)	0.70 (3.66)	0.385	t
Diff.OK1-NA	2.55 (7.28)	2.45 (8.17)	2.64 (6.74)	0.9407	t
Diff.OK1-NA.mm	0.45 (2.71)	0.06 (3.03)	0.75 (2.48)	0.4676	t
Diff.N-Sp' mm	-1.47 (3.00)	-1.52 (3.35)	-1.44 (2.80)	0.9319	t
Diff.Sp'-Gn.mm	-3.69 (4.18)	-3.72 (4.41)	-3.66 (4.10)	0.964	t
Diff.Index. %	2.59 (3.22)	2.27 (3.45)	2.82 (3.10)	0.6184	t
Diff.A5-PtV.mm	1.53 (1.97)	2.14 (1.36)	1.38 (2.10)	0.6255	m
Diff.A6-PtV.mm	3.55 (1.35)	3.81 (1.54)	3.34 (1.18)	0.3201	t
Diff.A7-PtV.mm	2.86 (1.66)	3.18 (2.06)	2.62 (1.29)	0.3494	t
Diff.WZ5-PtV.mm	2.51 (1.81)	3.55 (1.44)	2.26 (1.83)	0.1312	t
Diff.WZ-.PtV.mm	3.49 (1.10)	3.67 (1.30)	3.36 (0.93)	0.432	t
Diff.WZ7-PtV.mm	3.01 (1.52)	3.53 (1.70)	2.61 (1.26)	0.0799	t
Diff.SZG5-PtV.mm	3.00 (1.80)	3.77 (1.89)	2.81 (1.77)	0.3448	t
Diff.SZG6-PtV.mm	3.63 (1.17)	3.93 (1.39)	3.41 (0.95)	0.2134	t
Diff.SZG7-PtV.mm	3.32 (1.75)	4.14 (1.57)	2.69 (1.64)	0.0096	t
Diff.Z5-PtV.mm	3.35 (1.83)	3.95 (2.10)	3.20 (1.79)	0.4943	t
Diff.Z6-PtV.mm	3.60 (1.27)	3.67 (1.55)	3.55 (1.04)	0.7978	t
Diff.Z7-PtV.mm	3.48 (2.04)	4.60 (1.77)	2.63 (1.84)	0.0024	t
Diff.kP5-PtV.mm	3.58 (1.86)	4.05 (2.15)	3.47 (1.82)	0.6013	t
Diff.kP6-PtV.mm	3.65 (1.35)	3.64 (1.61)	3.65 (1.15)	0.9804	t
Diff.kP7-PtV.mm	3.59 (2.31)	4.75 (2.10)	2.71 (2.10)	0.0062	t
Diff.dP5-PtV.mm	3.29 (1.49)	3.75 (1.63)	3.18 (1.48)	0.5046	t
Diff.dP6-PtV.mm	3.15 (1.64)	3.08 (2.15)	3.20 (1.17)	0.8358	t
Diff.dP7-PtV.mm	3.37 (2.18)	4.12 (2.03)	2.79 (2.16)	0.1252	m
Diff.ZA5-NL	6.50 (5.09)	4.13 (6.60)	7.07 (4.68)	0.3906	t
Diff.ZA6-NL	0.73 (5.04)	-0.64 (5.12)	1.78 (4.84)	0.1554	t
Diff.ZA7-NL	2.01 (10.0)	5.56 (12.1)	-0.70 (7.40)	0.0801	t
Geschw.5	0.15 (0.14)	0.20 (0.12)	0.14 (0.14)	0.3591	t
Geschw.6	0.21 (0.10)	0.22 (0.10)	0.20 (0.09)	0.6842	t
Geschw.7	0.18 (0.11)	0.20 (0.11)	0.17 (0.11)	0.1847	m
Typ Zahnbewegung 5er	0.31 (1.06)	0.70 (0.55)	0.22 (1.14)	0.4095	m

Typ Zahnbewegung 6er	1.09 (0.65)	1.11 (0.66)	1.07 (0.66)	0.9638	m
Typ Zahnbewegung 7er	0.73 (1.84)	0.18 (2.34)	1.14 (1.27)	0.0677	m

Tabelle 23: Lineare Regressionen: Abstand WZ5-PtV zum Zeitpunkt T2

	Beta	Std. Fehler	T- Wert	P-Wert
(Intercept)	4,050	15,134	0,268	0,792
WZ5-PtV.mm_T1	0,910	0,084	10,873	0,000
Gruppe 2	1,757	1,217	1,444	0,165
SNA_T1	-0,042	0,139	-0,303	0,765
ANB_T1	-0,162	0,218	-0,741	0,468
ML-NL_T1	-0,058	0,106	-0,546	0,591
Index_T1	-0,001	0,068	-0,010	0,992

Tabelle 24: Lineare Regressionen: Abstand WZ6-PtV zum Zeitpunkt T2

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	-3,009	7,730	-0,389	0,700
WZ6-PtV.mm_T1	0,984	0,045	21,940	0,000
Gruppe 2	0,247	0,464	0,532	0,598
SNA_T1	0,014	0,069	0,206	0,838
ANB_T1	0,109	0,104	1,047	0,304
ML-NL_T1	-0,002	0,048	-0,046	0,964
Index_T1	-0,020	0,034	-0,584	0,564

Tabelle 25: Lineare Regressionen: Abstand WZ7-PtV zum Zeitpunkt T2

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	-1,073	10,966	-0,098	0,923
WZ7-PtV.mm_T1	1,033	0,072	14,404	0,000
Gruppe 2	0,916	0,633	1,449	0,158
SNA_T1	-0,056	0,099	-0,561	0,579
ANB_T1	0,050	0,144	0,348	0,730
ML-NL_T1	0,000	0,067	-0,007	0,995
Index_T1	0,015	0,048	0,304	0,763

Tabelle 26: Lineare Regressionen: Diff.WZ5-PtV

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	-0,329	14,939	-0,022	0,983
Gruppe 2	-1,535	1,192	-1,288	0,213
SNA_T1	0,038	0,136	0,277	0,784
ANB_T1	0,122	0,215	0,566	0,578
ML-NL_T1	0,038	0,105	0,361	0,722
Index_T1	-0,002	0,065	-0,025	0,980

Tabelle 27: Lineare Regressionen: Diff.WZ6-PtV

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	6,831	7,675	0,890	0,380
Gruppe 2	-0,199	0,455	-0,437	0,665
SNA_T1	-0,033	0,067	-0,491	0,627
ANB_T1	-0,126	0,103	-1,217	0,233
ML-NL_T1	-0,016	0,048	-0,333	0,742
Index_T1	0,002	0,034	0,059	0,953

Tabelle 28: Lineare Regressionen: Diff.WZ7-PtV

	Beta	Std. Fehler	T-Wert	P-Wert
(Intercept)	3,888	10,610	0,366	0,717
Gruppe 2	-0,816	0,629	-1,299	0,204
SNA_T1	0,017	0,093	0,185	0,855
ANB_T1	-0,024	0,143	-0,170	0,866
ML-NL_T1	0,002	0,066	0,024	0,981
Index_T1	-0,020	0,047	-0,424	0,674

### **13 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Andreas Kolk für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie für die gute Zusammenarbeit herzlich danken.

Mein besonderer Dank gilt ebenso Frau Prof. em. Dr. med. dent. Ingrid Rudzki-Janson, ehemalige Direktorin der Poliklinik für Kieferorthopädie der Ludwig-Maximilians-Universität München, für die freundliche und hilfsbereite Unterstützung.

Des Weiteren danke ich den Kieferorthopäden Dr. med. Dr. med. dent. Ulrich Longerich und Dr. Dr. med. dent. Matthias Thureau für ein stets offenes Ohr bei allen Fragen während der Auswertung, der von ihnen zur Verfügung gestellten Befundunterlagen.

Auch gebührt dem Zahntechniker, Herrn Christian Butscher großer Dank für seine immer geduldige Hilfestellung beim Durchforsten der Archive.

Für die überaus effektive Unterstützung bei der statistischen Auswertung aller von mir erhobenen Befunde danke ich Herrn Bernhard Ulm recht herzlich.

Meiner Familie sei von Herzen Dank, weil sie mich immer gefördert und unterstützt hat.



## 14 Lebenslauf