

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vergleichende retrospektive, kephalometrische Untersuchung zur Therapie
mit Alignern
versus Herbst-Apparatur

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von
Mirette Christin Hitti
aus Wiesbaden

Mainz, 2022

Tag der Promotion: 06. Dezember 2022

Meiner Familie und
meinen Freunden gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XVII
1. Einleitung	1
1.1. Ziel der Dissertation	3
2. Literaturdiskussion	4
2.1. Klassifikation der Angle Klassen.....	4
2.2. Ätiologie der Angle-Klasse II/1.....	5
2.2.1 Endogene Faktoren	5
2.2.2 Exogene Faktoren.....	5
2.2.3 Andere Faktoren	5
2.3 Morphologie der Klasse II/1	7
2.4 Häufigkeitsverteilung der Klasse II/1.....	9
2.5 Therapie der Angle-Klasse II/1	10
2.5.1 Die Aligner- Therapie (Invisalign®)	12
2.5.2. Die Herbst-Apparatur	17
3. Material und Methoden	23
3.1. Material.....	23
3.2. Methode.....	30
3.2.1. FRS-Analyse (Abb.12)	31
3.2.2 Sagittale Okklusionsanalyse (SO-Analyse)	46
3.2.2 Statistische Methode.....	49
3.2.3 Bestimmung des Methodenfehlers	49
4. Ergebnisse.....	57
4.1 Skelettofaziale Morphologie.....	61
4.1.1 Sagittale Kieferrelation.....	61
4.1.2 Vertikale Kieferrelation	74
4.1.3 Frontzahnüberbiss.....	81
4.1.4 Gesichtshöhe	83
4.1.5 Profilkonvexität	89
4.1.6 Lippenposition	96

4.1.7 Frontzahninklination und –position	101
4.2 Sagittale Okklusionsveränderungen (SO-Analyse)	113
5. Diskussion	131
5.1 Probandengut	131
5.2 Methode	132
5.3 Ergebnisse	134
5.3.1 Dentofaziale Morphologie	134
Sagittale Kieferrelation	134
5.3.2 Sagittale Okklusionsveränderungen	143
6. Zusammenfassung	151
7. Literaturverzeichnis	154

Abkürzungsverzeichnis

A	A-Punkt
Abb	Abbildung
B	B-Punkt
BBC	BioBiteCorrector
bzw.	beziehungsweise
D	Differenz
DVT	Digitale Volumentomographie
EL	Esthetic-Line (nach Ricketts)
et al.	et alii (lat.) = und andere
FFRD	Forsus Fatigue Resistant Device
FKO	Funktionskieferorthopädie
FMA	Functional Mandibular Advancer
FNFS	Forsus Nitinol Flat Spring
FRS	Ferröntgenseitenbild
Gn	Gnathion
Go	Gonion
Go`	Gonion` (konstruierter Punkt)
h	Maßeinheit Stunde
ICC	Intra Class Coefficient = Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient
ii	Dens incisivus inferior
is	Dens incisivus superior
KI	Klasse

m	männlich
MARA	Mandibular Anterior Repositioning Appliance
MF	Methodenfehler
mi	Dens molaris inferior
ML	Mandibular-Linie
ms	Dens molaris superior
MW	Mittelwert
N	Nasion
NL	Nasal-Linie
No	Nasenspitze
NS	Weichteil-Nasion
NSL	Nasion-Sella-Linie
OK	Oberkiefer
OI	Oberlippe
OL	Okklusionslinie
OLp	Okklusionslinie perpendiculare
OSA	Obstruktive Schlafapnoe
Pg	Pogonion
PgS	Weichteil-Pogonion
Pm	Pterygomaxillare
S	Sella-Punkt
SD	Standardabweichung
Sn	Subnasale
SO	Sagittale Okklusion
sog.	sogenannt
Sp	Spina nasalis anterior

Spa	anteriorer Spinaebenenschnittpunkt
Spp	posteriorer Spinaebenenschnittpunkt
SUS	Sabbagh Universal Spring
Tab	Tabelle
UK	Unterkiefer
UI	Unterlippe
w	weiblich

Abbildungsverzeichnis

Abbildung. 1: Angle Klasse II/1 und Angle Klasse II/2	1
<i>Abbildung. 2:</i> Angle Klasse I, II/1, II/2, III.....	4
Abbildung. 3: Skelettale Abweichungen der Klasse II/1 Anomalie	8
<i>Abbildung 4:</i> Dentale Abweichungen der Klasse II/1 Anomalie	9
Abbildung 5: ClinCheck®- Diagnostik zur digitalen Erfassung der optimalen Zahnfehlstellungskorrektur. a) frontal b) lateral rechts c) lateral links	14
Abbildung 6: Altersverteilung (in Jahren) der Invisalign® Patienten bei Behandlungsbeginn	24
Abbildung 7: Altersverteilung (in Jahren) der Herbst Patienten bei Behandlungsbeginn	25
Abbildung 8: Behandlungsdauer (in Jahren) der Invisalign® Patienten	25
Abbildung 9: Behandlungsdauer (in Monaten) der Herbst Patienten	26
Abbildung 10: Aligner (Invisalign-Teen®) im Ober- und Unterkiefer in Kombination mit Klasse II Gummizügen (ODS GmbH). Attachments auf den Zähnen 13-15, 23-24, 33-34, 43-45. Power Ridges zur Unterstützung des Frontzahntorques auf den Zähnen 12-22.....	28
Abbildung 11: Klassische Herbst-Apparatur mit Teil-Multibracket-Apparatur im Oberkiefer.	29
Abbildung 12: Darstellung eines Fernröntgenseitenbildes nach der Verbindung der Referenzpunkte der skelettalen und dentalen Strukturen.	32
Abbildung 13: Angewendete kephalometrische Referenzpunkte	36

Abbildung 14: Bestimmung der sagittalen Kieferlagebeziehung mithilfe der angulären Variablen (in °):	39
Abbildung 15: Bestimmung der sagittalen Kieferbasenrelation mithilfe der linearen Variable.....	40
Abbildung 16: Bestimmung der vertikalen Kieferlagebeziehung mithilfe der angulären Variablen (in °): ML/NSL, NL/NSL, ML/NL & linearen Variable (in mm): Overbite	41
Abbildung 17: Bestimmung des vorderen & hinteren unteren Gesichtshöhen-Index mithilfe der Variablen.	42
Abbildung 18: Bestimmung der Profilkonvexität mithilfe der Variablen (in °): N-A-Pg, NS-Sn-PgS und NS-No-PgS	43
Abbildung 19: Werte (in mm) zur Bestimmung der Lippenposition: Abstand OI-E-Linie & UI-E-Linie.....	44
Abbildung 20: Veranschaulichung der SO-Analyse nach Pancherz (1982)	47
Abbildung 21: Veranschaulichung skelettaler & dentaler Veränderungen der SO-Analyse nach Pancherz	47
Abbildung 22: Darstellung eines Boxplot	56
Abbildung 23: Darstellung des Histogramms mit Werten der Patienten zu den Zeitpunkten T1 (=Behandlungsbeginn) und T2 (=Behandlungsende von Gruppe1 / Behandlungsende der Phase der Herbst-Apparatur in Gruppe 2)	56
Abbildung 24: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung der sagittalen Kieferrelation mit der Winkel a) SNA von Gruppe 1 b) SNA von Gruppe 2 c) SNB von Gruppe 1 d) SNB von Gruppe 2 e) SNPg von Gruppe 1 f) SNPg von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten.....	64

Abbildung 25: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der sagittalen Kieferrelation mit der Winkel a) SNA von Gruppe 1 b) SNA von Gruppe 2 c) SNB von Gruppe 1 d) SNB von Gruppe 2 e) SNPg von Gruppe 1 f) SNPg von Gruppe 2 von vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten	67
Abbildung 26: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung der sagittalen Kieferrelation mit der Winkel a) ANPg von Gruppe 1 b) ANPg von Gruppe 2 c) ANB von Gruppe 1 d) ANB von Gruppe 2 e) Wits-Wert von Gruppe 1 f) Wits-Wert von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten.....	70
Abbildung 27: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der sagittalen Kieferbasisrelation mit der Winkel a) ANPg von Gruppe 1 b) ANPg von Gruppe 2 c) ANB von Gruppe 1 d) ANB von Gruppe 2 e) des Wits-Wert von Gruppe 1 f) des Wits-Wert von Gruppe 2 von	73
Abbildung 28: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung der vertikalen Kieferrelation mit der Winkel a) ML/NSL von Gruppe 1 b) ML/NSL von Gruppe 2 c) NL/NSL von Gruppe 1 d) NL/NSL von Gruppe 2 e) ML/NL von Gruppe 1 f) ML/NL von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten	78
Abbildung 29: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der vertikalen Kieferbasisrelation mit der Winkel a) ML/NSL von Gruppe 1 b) ML/NSL von Gruppe 2 c) NL/NSL von Gruppe 1 d) NL/NSL von Gruppe 2 e) ML/NL von Gruppe 1 f) ML/NL von Gruppe 2 von	81
Abbildung 30: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung des vertikalen Frontzahnüberbisses (Overbite) a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten.....	82
Abbildung 31: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung des vertikalen Frontzahnüberbisses (Overbite) von	83

Abbildung 32: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Visualisierung der a) hinteren unteren Gesichtshöhe von Gruppe 1 b) hinteren unteren Gesichtshöhe von Gruppe 2 c) vorderen unteren Gesichtshöhe von Gruppe 1 d) vorderen unteren Gesichtshöhe von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten	86
Abbildung 33: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der a) vorderen unteren Gesichtshöhe (Spa-Gn x 100/N-Gn) von Gruppe 1 b) vorderen unteren Gesichtshöhe (Spa-Gn x 100/N-Gn) von Gruppe 2 c) hinteren unteren Gesichtshöhe (Spp-Go' x 100/S-Go') von Gruppe 1 d) hinteren unteren Gesichtshöhe (Spp-Go' x 100/S-Go') von Gruppe 2.....	88
Abbildung 34: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Profilkonvexität mit der Winkel a) N-A-Pg von Gruppe 1 b) N-A-Pg von Gruppe 2 c) NS-Sn-PgS von Gruppe 1 d) NS-Sn-PgS von Gruppe 2 e) NS-No-PgS von Gruppe 1 f) NS-No-PgS von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten	92
Abbildung 35: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Profilkonvexität mit der Winkel a) N-A-Pg von Gruppe 1 b) N-A-Pg von Gruppe 2 c) NS-Sn-PgS von Gruppe 1 d) NS-Sn-PgS von Gruppe 2 e) NS-No-PgS von Gruppe 1 f) NS-No-PgS von Gruppe 2 von	95
Abbildung 36: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Lippenposition mit a) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 1 b) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 2 c) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 1 d) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 2 zur EL vor und nach der Behandlung aller Patienten	99
Abbildung 37: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Lippenposition mit a) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 1 b) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 2 c) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 1 d) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 2 zur EL vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten	100

Abbildung 38: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Achsenneigung des ersten Oberkieferinzisivus mit des Winkels a) is-NA von Gruppe 1 b) is-NA von Gruppe vor und nach der Behandlung aller Patienten	102
Abbildung 39: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Achsenneigung des ersten Oberkieferinzisivus mit des Winkels a) is-NA von Gruppe 1 b) is-NA von Gruppe vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten	103
Abbildung 40: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Oberkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Oberkieferfrontzahns zur NA-Linie (is_NA) a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 von Gruppe vor und nach der Behandlung aller Patienten	104
Abbildung 41: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Oberkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Oberkieferfrontzahns zur NA-Linie (is_NA) a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 von Gruppe vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten.....	105
Abbildung 42: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Achsenneigung des ersten Unterkieferinzisivus mit des Winkels ii-NB a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten	108
Abbildung 43: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Achsenneigung des ersten Unterkieferinzisivus mit des Winkels ii-NB a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patient	109
Abbildung 44: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Unterkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Unterkieferfrontzahns a) zur NB-Linie (ii_NB)	111
Abbildung 45: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Unterkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Unterkieferfrontzahns a) zur NB-Linie (ii_NB) von Gruppe 1 b) zur NB-Linie (ii_NB) von Gruppe 2 c) zur APg-	

Linie (ii_APg) von Gruppe 1 d) zur APg-Linie (ii_APg) von Gruppe 2 vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten	112
Abbildung 46: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung des a) Overjets von Gruppe 1 b) Overjets von Gruppe 2 c) Molaren-Relation von Gruppe 1 d) Molaren-Relation von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten	115
Abbildung 47: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung des a) Overjets von Gruppe 1 b) Overjets von Gruppe 2 c) Molaren-Relation von Gruppe 1 d) Molaren-Relation von Gruppe 2	116
Abbildung 48: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der sagittalen Lage der a) maxillären Basis von Gruppe 1 b) maxillären Basis von Gruppe 2 c) mandibulären Basis von Gruppe 1 d) mandibulären Basis von Gruppe 2	119
Abbildung 49: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der sagittalen Lage der a) maxillären Basis von Gruppe 1 b) maxillären Basis von Gruppe 2 c) mandibulären Basis von Gruppe 1 d) mandibulären Basis von Gruppe 2 mit des Abstands zur OLp (A/OLp und Pg/OLp)	120
Abbildung 50: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Veränderungen der a) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 mit der Differenzen (is/OLp(D) – A/OLp(D) und ii/OLp(D) – Pg/OLp(D)) vor und nach der Behandlung aller Patienten	123
Abbildung 51: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Veränderung der a) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 mit der Differenzen (is/OLp(D) – A/OLp und ii/OLp – Pg/OLp) vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten	125

Abbildung 52: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Veränderungen der a) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2 128

Abbildung 53: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Veränderung der a) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2..... 130

Abbildung 54: Kraftvektoren a) der Herbst-Apparatur b) von intermaxillären Klasse II-Elastics **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Abbildung 55: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 1 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Korrektur des Overjets. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine Verbesserung des Overjets wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Overjet- Korrektur. **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Abbildung 56: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 2 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Korrektur des Overjets. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine Verbesserung des Overjets wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Overjet- Korrektur. **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Abbildung 57: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 1 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Einstellung einer neutralen Molaren-Relation. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine Verbesserung zugunsten der Molaren- Relation wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Neutralisierung. **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Abbildung 58: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 2 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Einstellung einer neutralen Molaren-Relation. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine

Verbesserung zugunsten der Molaren-Relation wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Neutralisierung. **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der FRS- Analyse von allen Patienten aus Gruppe 1 (Grad \triangleq °)	50
Tabelle 2: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der FRS- Analyse von allen Patienten aus Gruppe 2 (Grad \triangleq °)	51
Tabelle 3: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 1 (Angaben in mm). Die Variablen 1.-2. und 9.-12. sind statistisch nicht auswertbar und folglich nicht aufgeführt.....	52
Tabelle 4: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 2 (Angaben in mm). Die Variablen 1.-2. und 9.-12. sind statistisch nicht auswertbar und folglich nicht aufgeführt.....	52
Tabelle 5: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der FRS- Analyse zur Darstellung der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 1	53
Tabelle 6: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der FRS- Analyse zur Darstellung der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 2	54
Tabelle 7: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 1	54

Tabelle 8: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 2	55
Tabelle 9: Darstellung der kephalometrische Messwerte (MW, SD) der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 1 T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende	57
Tabelle 10: Darstellung der kephalometrische Messwerte (MW, SD) der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 2. T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende der Phase der Herbst-Apparatur	58
Tabelle 11: Darstellung der kephalometrische Messwerte (MW, SD) der Analyse der sagittalen Okklusionsveränderungen (SO-Analyse) von allen Patienten aus Gruppe 1. T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende. + entspricht einer distalen Molaren-Relation, - entspricht einer neutralen Molaren-Relation	59
Tabelle 12: Darstellung der kephalometrischen Messwerte (MW, SD) der Analyse der sagittalen Okklusionsveränderungen (SO-Analyse) von allen Patienten aus Gruppe 2. T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende der Phase der Herbst-Apparatur. + entspricht einer distalen Molaren-Relation, - entspricht einer neutralen Molaren-Relation	60

1. Einleitung

Patienten mit einer Angle Klasse II stellen bis heute mit 17%-24,7% die am häufigsten therapierte Dsygnathieform im kieferorthopädischen Alltag dar (1-4). Überwiegend handelt es sich bei dieser Anomalie um eine Unterkieferrücklage (5) (Abb. 1).

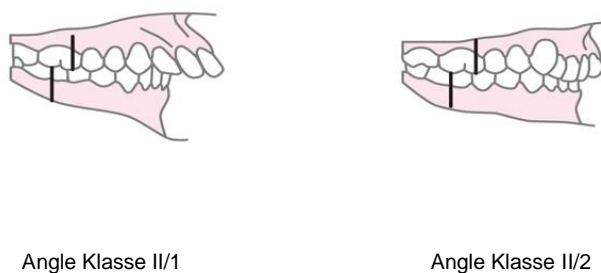


Abbildung. 1: Angle Klasse II/1 und Angle Klasse II/2

Das Ziel der Behandlung einer Kl. II/1 Anomalie ist die Reduktion des Overjets und das Einstellen einer dentalen Kl. I sowie bestenfalls einer neutralen Kieferbasenrelation. Dies gelingt beim jungen Patienten mit guter Compliance durch eine dentoalveoläre und eine skelettale Beeinflussung, insbesondere durch die Vorentwicklung des Unterkiefers (6-8). Zum therapeutischen Einsatz kommen hierbei funktionskieferorthopädische herausnehmbare und festsitzende Apparaturen, je nach Behandlungsbeginn im Hinblick auf das skelettale und dentale Alter des Patienten (6, 9, 10). Die funktionskieferorthopädischen festsitzende Geräte, wie die Herbst-Apparatur, besitzen den Vorteil, dass der Behandler nicht auf die Compliance des Patienten angewiesen ist und eine konstante Wirkdauer gesichert wird (6). Herausnehmbare Apparaturen zeichnen sich hingegen durch eine höhere Akzeptanz und verbesserte orale Reinigungsfähigkeit aus (11, 12).

Die Herbst-Apparatur wirkt zu 42% dental und 58% skelettal (6, 9)(13). Ein unerwünschter Nebeneffekt bei einer Vielzahl von Behandlungsgeräten zur Therapie ei-

ner Kl. II Anomalie, wie beispielsweise der Herbst-Apparatur, ist die Proklination der Unterkieferinzisivi (14).

Neben der Verstärkung des frontalen Engstandes, kann die protrusive Inklinationszunahme zu unerwünschten Rezessionen führen und den weiteren Behandlungsverlauf verkomplizieren(15, 16). Der Aufbau der Herbst-Apparatur zeichnet sich durch ein bilateral teleskopartiges Scharnier aus, welches den Unterkiefer in einer überkorrigierten anterioren Zwangsposition hält. Durch diesen temporär neu konstruierten Biss wird das Unterkieferwachstum stimuliert (8). Seit über 100 Jahren wird die Herbst-Apparatur bereits in der Kieferorthopädie erfolgreich angewandt, um eine Distalverzahnung zu therapieren (17). 1977 wurde die Herbst-Apparatur von Prof. Dr. Pancherz modifiziert und wieder belebt, wodurch es zu einer Renaissance der Apparatur kam und die Popularität des Gerätes anstieg.

Die nahezu unsichtbare Aligner-Therapie (Invisalign®) mit Miniplastschienen ist heutzutage eine weitere Methode steigender Beliebtheit, um Zahnfehlstellungen zu korrigieren und komplexe Behandlungsfälle zu therapieren. Bis heute wurden weltweit ca. eine Million jugendliche Patienten mit Alignern behandelt. Invisalign® bietet neben dem ästhetischen Aspekt, mit einer nahezu unsichtbaren Apparatur zu behandeln, noch weitere Vorteile hinsichtlich Tragekomfort und Gingivairritationen, sowie bei Bruxismus- Patienten (12, 18, 19). Des Weiteren ist die Inzidenz von unerwünschten Wurzelresorptionen nicht nachgewiesen (3). Die Zähne werden durch die Schiene temporär miteinander verblockt, weshalb sich diskutieren lässt, ob unerwünschte Nebeneffekte, wie die Proklination der Unterkieferinzisivi, kontrollierbar und sogar vermeidbar sind. Deshalb ist es das Ziel dieser Studie den Vergleich des Proklinationsausmaßes der Unterkieferinzisivi beim Einsatz der Aligner (Invisalign®) kombiniert mit Klasse II Gummizügen versus der Herbst-Apparatur mit anschließender Multibracket-Behandlung zu untersuchen.

Das Patientengut umfasst Jugendliche während ihres Wachstumshöhepunkts, da in dieser Entwicklungsphase Behandlungsapparaturen zur Therapie einer Kl. II/1 Anomalie eine sehr effiziente Wirkung aufzeigen (6, 9, 14). In der vorliegenden Untersuchung wird die Kontrollgruppe durch Patienten mit einer eingegliederten Herbst-Apparatur repräsentiert.

Die retrospektive Studie soll die Veränderungen, während der Kl. II Behandlung (T1-T2) durch Überlagerung von Fernröntgenseitenaufnahmen untersuchen, da dadurch die Reproduzierbarkeit gewährleistet ist (20-22). Um die Inklination der Unterkieferinzisivi zu bestimmen, wurde die Standard-kephalometrische Analyse (23) und die SO-Analyse (6, 9, 23) angewandt. Die SO-Analyse wurde 1982 von Prof. Dr. Pancherz entwickelt (6). Damit lassen sich lineare Abweichungen in der Fernröntgenseitenbild-Analyse sowie sagittale Okklusionsveränderungen feststellen (6).

In der heutigen Literatur liegen bisher keine Untersuchungen vor, die sich mit den potenziellen Nebeneffekten auf die Unterkieferinzisivi bei der Behandlung einer Klasse II Anomalie mit einer Aligner-Therapie (Invisalign®) in Kombination mit Klasse II Gummizügen befassen.

1.1. Ziel der Dissertation

Ziel dieser retrospektiven Studie war es den Effekt auf die Unterkieferinzisivi durch eine Behandlung mit Alignern (Invisalign®-Teen) in Kombination mit Klasse II Gummizügen bei jugendlichen Patienten, die eine Klasse II/1 Anomalie aufweisen, zu untersuchen. Die Ergebnisse wurden mit einer Kontrollgruppe verglichen, die zuerst mit einer Herbst-Apparatur und anschließend mit einer Multibracket-Apparatur im Ober- und Unterkiefer therapiert wurden.

Durch eine kephalometrische Auswertung sowie die SO-Analyse nach Pancherz (6) wurde insbesondere die Proklination der Unterkieferinzisivi analysiert, neben einer Reihe weiterer dentaler und skelettaler Veränderungen, die ebenfalls in die vorliegende Untersuchung einbezogen und ausgewertet wurden.

2. Literaturdiskussion

2.1. Klassifikation der Angle Klassen

Im Jahr 1899 unterteilte Edward H. Angle erstmals die Okklusion beider Kiefer zu einander in verschiedene Kategorien (24) (Abb. 2): Als Bezugspunkte wählte er den ersten Oberkiefer- und Unterkiefermolar und beschrieb durch deren Relation die Verzahnung in der Sagittalen. Hiervon abzugrenzen ist die Bisslage, die die skelettale Lagebeziehung zwischen Ober- und Unterkiefer beschreibt und von der sichtbaren Verzahnung abweichen kann. Bei einer neutralen Okklusion befindet sich die Spitze des Oberkiefer Eckzahns zwischen dem Unterkiefer Eckzahn und dem ersten Prämolaren. Der mesiobukkale Höcker des ersten Oberkiefermolars liegt in Höhe der Querfissur des ersten Unterkiefermolars. Besteht diese Situation beidseits, spricht man von einer eugnathen Verzahnung. Von dieser abzugrenzen ist die dysgnathe Verzahnung, welche einseitig oder beidseitig vorliegen kann. Bei der Klasse II unterscheidet man die Untergruppen II/1 mit protrudierter Oberkieferfront und II/2 mit retroklinierter Oberkieferfront. In beiden Fällen weicht die Okklusion in der Sagittalen nach distal ab. Es wird von einer Distalokklusion gesprochen. Weicht die Okklusion nach mesial ab, handelt es sich um eine Angle Klasse III, die häufig mit einer Mesialbisslage assoziiert ist. Zudem kann hier zusätzlich ein frontaler Kreuzbiss vorliegen. Die Abweichungen werden jeweils in Prämolarenbreiten (1/4PB-1PB) angegeben.

Klasse I: Neutrale Okklusion (beidseitig)

Klasse II/1: Distale Okklusion mit proklinierter Oberkieferfront (ein- oder beidseitig)

Klasse II/2: Distale Okklusion mit retroklinierter Oberkieferfront (ein- oder beidseitig)

Klasse III: Mesiale Okklusion mit eventuell vorliegendem frontalem Kreuzbiss (ein- oder beidseitig)



Abbildung. 2: Angle Klasse I, II/1, II/2, III

2.2. Ätiologie der Angle-Klasse II/1

In der Literatur werden verschiedene Ansatzpunkte als Ursache einer Klasse II Anomalie kontrovers diskutiert (25-29). Dabei unterscheiden sich endogene von exogenen Faktoren. Endogene Faktoren werden skelettalen Anomalien zugeschrieben, während exogene Faktoren hingegen dentoalveolär bedingt sind oder eine Kombination aus beiden darstellen (27, 29-31).

2.2.1 Endogene Faktoren

Im Jahre 1948 bewies Lundström erstmals, mit einer Zwillingsstudie (32), dass Erbfaktoren einen Einfluss auf eine Klasse II/1 Anomalie ausüben. Tammoscheit widerlegte die Annahme, dass es sich um einen monogonalen Erbgang handelt (27, 29). Er führte die Anomalie auf eine „additive Polygenie“ (29) zurück. Es sind somit mehrere Gene beteiligt, wobei jedoch unklar ist, wie genau diese wirken.

2.2.2 Exogene Faktoren

Exogene Faktoren werden meist dentoalveolären Abweichungen zugeschrieben, wobei anhaltende Einflüsse auch zu skelettalen Veränderungen führen (30, 31). In der Literatur werden hier besonders Habits wie das Lippensaugen und -beißen (31, 33) oder das Daumenlutschen (26, 31) aufgeführt. Auch die Schlafposition (31), das Stillen von Säuglingen sowie die Flaschenernährung (30) oder eine Mundatmung (26, 34, 35) haben einen Einfluss auf dentoalveoläre Anomalien.

2.2.3 Andere Faktoren

Neben endogenen und exogenen Faktoren können auch andere Ursachen zu einer Klasse II/1 Anomalie führen. Hier sind meist Wachstumsstörungen der Mandibula zu nennen, verursacht durch beispielsweise eine Gelenkfortsatzfraktur (36). Infolgedessen entsteht eine Mikrogenie (37), die eine Klasse II Anomalie verursacht. Auch kra-

niofaziale Fehlbildungen, wie beispielsweise das Franceschetti- Syndrom (auch Treacher-Collins-Syndrom) (38) oder das Pierre Robin Syndrom (39) können als Ursache für eine Wachstumsstörung der Mandibula herangezogen werden.

2.3 Morphologie der Klasse II/1

Der Ursprung der Klasse II/1 Anomalie kann durch dentale und/ oder skelettale Abweichungen bedingt sein (siehe Abb. 3 + 4) (5, 40-44). Aus diesen zwei Abweichungsmöglichkeiten resultieren insgesamt 36 Varianten der Dysgnathie.

Eine skelettale Kl. II kann entweder durch eine Prognathie der Maxilla, eine Retrognathie der Mandibula oder durch eine Kombination beider bedingt sein. Bezugspunkt innerhalb der kephalometrischen Auswertung zur Feststellung der Abweichung ist das Nasion.

Dentoalveoläre Abweichungen sind charakterisiert durch eine Protrusion der Inzisivi im Oberkiefer oder eine Retrusion der Inzisivi im Unterkiefer, wodurch ein vergrößerter Overjet resultiert. Diese Abweichung der Frontzahninklination kann auch mit einer skelettalen Orthognathie auftreten.

Zuletzt ist auch eine Kombination aus skelettalen und dentalen Abweichungen möglich.



c)

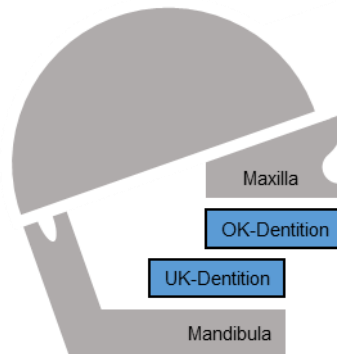
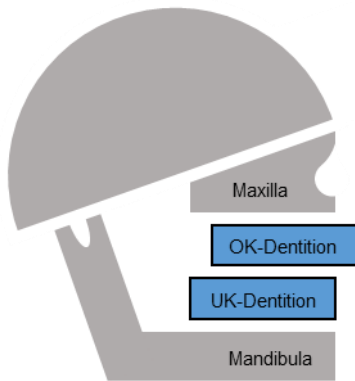


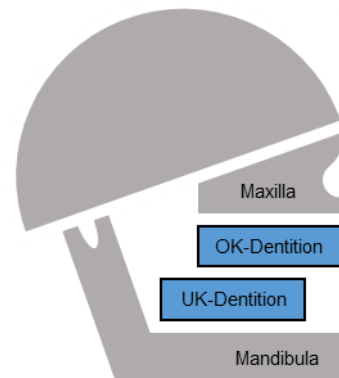
Abbildung. 3: Skelettale Abweichungen der Klasse II/1 Anomalie

a) Maxilläre Prognathie b) Mandibuläre Retrognathie c) Kombination von a) und b)

a)



b)



c)

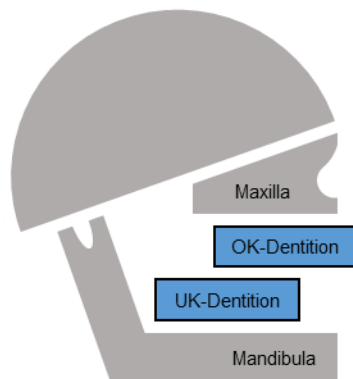


Abbildung 4: Dentale Abweichungen der Klasse II/1 Anomalie
dentoalveoläre maxilläre Protrusion b) dentoalveoläre mandibuläre Retrusion c) Kombination von
a) und b)

2.4 Häufigkeitsverteilung der Klasse II/1

Die Häufigkeit der Angle Klasse II (II/1 und II/2) wird in der Literatur zwischen 3,4 und über 52 % angegeben (4, 45-55).

Die Bandbreite der Häufigkeitsverteilung könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Studien sich in ihrem Aufbau unterscheiden. In den Studien variiert die Verteilung des Alters, in Bezug auf den Untersuchungszeitpunkt, oder die Anzahl der untersuchten Personen stark. Die Auslegung, wie eine Malokklusion definiert ist, unterscheidet sich ebenfalls in den Studien und ist somit nicht untereinander vergleichbar (4). Auch erfolgt innerhalb der einzelnen Studien oft keine Differenzierung zwischen der Klasse II/1 und der Klasse II/2 (4, 46, 55). Bilgic (46) unterteilt die Klasse II in seiner Studie in ihre Unterklassen und gibt an, dass die Klasse II/1 eine Prävalenz von 40% hat, während der prozentuale Anteil der Klasse II/2 24,7% beträgt. Massler und Frankel (55) weisen in ihrer Studie der Klasse II/1 einen Wert von 16,7 % zu. Im Allgemeinen wird die Klasse II als größte therapeutischen Behandlungsgruppe angesehen, was laut Lauc (50) nicht zuletzt auf den genetischen Aspekt der Anomalie zurückzuführen sein könnte.

2.5 Therapie der Angle-Klasse II/1

Die Klasse II Anomalie lässt sich mit herausnehmbaren und festsitzenden Apparaturen behandeln:

- I. *Herausnehmbare Apparaturen:*
Aligner + Klasse II Elastics (56), Aktivator (57), Bionator (57), Fränkel II (57), Twin Block (57)
- II. *Prinzip der schiefen Ebene:*
Functional Mandibular Advancer (FMA) (58)
- III. *starre Apparaturen:*
Herbst-Apparatur (59), AdvanSync™ (60), BioBite-Corrector® (BBC) (61)
- IV. *flexible Apparaturen:*
Jasper Jumper™ (62), Forsus™ Nitinol Flat Spring (FNFS) (63)
- V. *federnde oder rigide- flexible Apparaturen:*
Forsus™ Fatigue Resistant Device (FFRD) (64), Sabbagh Universal Spring (SUS) (65), Eureka Spring (66)

Nach Wachstumsabschluss stellt auch die kieferorthopädisch-kieferchirurgische Kombinationstherapie (67, 68) eine Behandlungsoption dar.

Neves verglich in ihrer Studie 2014 die Effektivitätsunterschiede einzelner Apparaturen zur Behandlung einer Klasse II Anomalie (10). So stellte sich heraus, dass sowohl der Jasper Jumper, als festsitzende Apparatur, sowie auch der Bionator, als herausnehmbares Gerät, eine hemmende Wirkung auf die Maxilla ausüben (10). Der SNA Winkel verkleinerte sich um $1,23^\circ$ bei der Behandlung mit Jasper Jumper und um $0,64^\circ$ beim Bionator. Die unterschiedlichen Werte lassen sich auf die Tatsache zurückführen, dass es sich bei einer Apparatur um eine festsitzende und bei der anderen um ein herausnehmbares Gerät handelt (10). Bei der Behandlung mit Jasper-Jumper wurde eine Minimierung des Overjets um 3,73 mm notiert und eine Verringerung des Overbites um 2,84 mm (10). Die Behandlung mit Bionator zeigte eine Reduzierung des Overjets um 3,89 mm und eine Verringerung des Overbites um 2,19 mm (10). Auch andere Studien weisen eine hemmende Wirkung beim Einsatz eines Bionators auf. So stellen Ahmadian-Babaki et al. in ihrer Studie eine Verringerung

des SNA um $0,29^\circ$ fest (69). Der Overbite wird hier um 1,90 mm reduziert, sowie der Unterkiefer um $0,84^\circ$ (SNB) vorverlagert wurde (69). Auch beim herausnehmbaren Gerät Twin-Block verzeichnen Ahmadian-Babaki et al. eine Wachstumshemmung auf die Maxilla ($-0,84^\circ$ SNA) sowie eine Vorverlagerung des Unterkiefers ($1,25^\circ$ SNB) bei Minimierung des Overbites um 2,12 mm (69). In dieser Studie weist der Twin Block eine höhere Effektivität bei der Hemmung der Maxilla auf als der Bionator. Ähnliche kephalometrische Ergebnisse lassen sich auch bei anderen Geräten, wie dem Aktivator oder der Herbst-Apparatur, feststellen (6, 70). Pancherz verzeichnet in seiner Studie bei der Behandlung mit der Herbst-Apparatur eine Verringerung des SNA um $0,7^\circ$ sowie eine Verkleinerung des Overjets um 3,8 mm und des Overbites um 2,5 mm (71). Auch Valant beschreibt beim Einsatz der Herbst-Apparatur eine hemmende Wirkung auf die Maxilla (SNA $-0,7^\circ$) (7). Der SNB Winkel vergrößert sich in einer Studie von Pancherz um $1,4^\circ$ (6) und bei Valant um $1,3^\circ$ (7), was für eine erfolgreiche Vorverlagerung des Unterkiefers spricht. Neves verzeichnet lediglich eine Vergrößerung des SNB Winkels um $0,09^\circ$ bei der Behandlung mit Jasper-Jumper (10). Hemmatpour et al. verglichen in ihrer Studie Patienten, die eine KI II/1 oder KI II/2 Anomalie aufweisen und mit Sabbagh Universal Spring (SUS2) behandelt wurden (72). Eine starke Wachstumshemmung des Oberkiefers fand hier allerdings nicht statt. In der Gruppe der KI II/1 Patienten vergrößerte sich der SNA Winkel um $0,17^\circ$, in der Gruppe der KI II/2 Patienten blieb er unverändert. Eine Vorverlagerung der Mandibula wurde bei KI II/1 Patienten um $0,6^\circ$ festgestellt und bei KI II/2 Patienten um $0,89^\circ$. Der Overjet wurde bei den KI II/1 Patienten um 3,88 mm reduziert, sowie der Overbite um 1,23 mm verringert. Bei der Behandlung der KI II/2 Patienten wurde der Overjet um 3,33 mm reduziert und der Overbite 1,82 mm minimiert (72). Allgemein lässt sich festhalten, dass sich die maxillo-mandibuläre Lagebeziehung beim Einsatz von KI. II Apparaturen deutlich verbessert, wobei in der Literatur die Ursache unterschiedlich hergeleitet wird: Zum einen begründet durch die Wachstumshemmung der Maxilla (10) und zum anderen durch die Vorverlagerung der Mandibula (7). Auffällig ist, dass eine anteriore Positionierung des Unterkiefers bei Studien mit einer ähnlich kurzen Behandlungsdauer (6- 10 Monate) festzustellen ist (6, 7, 73).

2.5.1 Die Aligner- Therapie (Invisalign®)

Historie

Bereits im Jahr 1945 entwickelte Kesling eine sogenannte „Positionier-Gummi-Schiene“ aus Kautschuk, mit der sich Zähne in ihrer Position verschieben ließen (74). Kesling fertigte verschiedene individuelle Modelle pro Patienten an, die jeweils ein anderes Setup besaßen. Als Setup bezeichnet man das Anfertigen von einem Modell, auf dem die Zähne direkt verschoben werden (75). Dadurch gelang es Kesling eine Retention und sogar gewisse Feineinstellungen nach einer Behandlung mit einer Multibracket-Apparatur durchzuführen. Er setzte damit den Grundstein für die heutige Schientherapie. Weitere Studien, die der ursprünglichen Idee von Kesling ähnelten, wurden in den darauffolgenden Jahren publiziert (76-78). Besonders bedeutsam war die Studie von Ponitz, der 1971 den „Invisible Retainer“ (78) vorstellte. Der „Invisible Retainer“ bestand aus Kunststoff, welcher auch im ästhetischen Sinne den Kautschuk Schienen überlegen war. Besonders Mc Namara beschäftigte sich mit dem „Invisible Retainer“ (79) und beschrieb 1993 zum ersten Mal in seinem Buch „Orthodontic and Orthopedic Treatment in the Mixed Dentition“ (80) Zahnbewegungen, die durch eine Schiene resultieren. Bis heute wird die Idee reale Zahnbewegungen zur Stellungskorrektur mithilfe eines Setups umzusetzen, fortgeführt (56). Dazu wird die aktuelle Situation des Patienten registriert und in ein Gipsmodell oder virtuelles 3D- Modell übertragen. Einzelne Zähne, die bewegt werden sollen, werden manuell versetzt bzw. virtuell verschoben und in ihre ideale Position gesetzt (56). Dies geschieht schrittweise bis zur endgültig gewünschten Stellung. Von jeder Situation eines einzelnen Zwischenschritts wird eine Schiene angefertigt. Durch die elastischen Rückstellkräfte der thermoplastischen Schiene, werden adäquate Kräfte auf die Zähne ausgeübt. Das Protokoll des Herstellers sieht für die einzelnen Schienen bestimmte Maximalwerte vor. So soll eine Translation nach mesial oder distal pro Schiene bei maximal 0,25mm/Aligner liegen, Rotationen bei 2°/Aligner und der Wurzelorque bei 1°/Aligner (Invisalign®-System, Align Technologies Inc., Santa Clara, USA). Im Allgemeinen lassen sich für die Schienenherstellung zwei unterschiedliche Verfahren unterscheiden: Das Anfertigen von klassischen Setup Modellen (ClearSmile®- System, Woollongong, Australia) oder durch die CAD/CAM- Technologie (Invisalign®-System, Align Technologies Inc., Santa Clara, USA).

Aufbau/ Ablauf

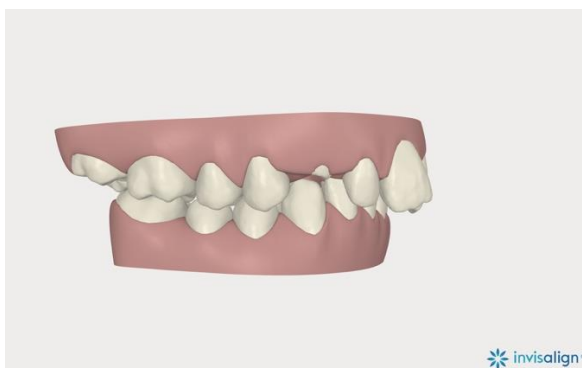
Im Jahr 1989 brachte die Firma Align Technology® (Inc., Santa Clara, USA) das Invisalign®-System auf den Markt (81, 82). Sie verwendeten anstatt der herkömmlichen Setup Modellherstellung ein CAD/CAM Verfahren (CAD: computer aided design (engl.): rechnerunterstützte Konstruktion (dt.); CAM: computer aided manufacturing (engl.): rechnerunterstützte Anfertigung (dt.)) (83). Zunächst werden von dem Patienten im ersten Schritt mit einem additionsvernetzten Silikon ein Abdruck der aktuellen Situation, ein Bissregistrar, sowie Fernröntgenseitenbilder für die FRS- Analyse angefertigt. Alle Unterlagen werden an die Firma Align Technology® geschickt. Im nächsten Schritt wird aus dem Abdruck mithilfe eines Laserscanners mit einer Scan-genauigkeit von 100 µm ein virtuelles Modell erstellt (84). Im 3D Modell werden die Zähne mitsamt Wurzeln angezeigt und lassen sich einzeln verschieben (85). Am Computer wird nun ein Behandlungsplan konstruiert, welcher in einzelne Zwischenschritte unterteilt wird (Abb. 5). Mit der Software ClinCheck® kann der Behandler selbst die Planung seines Patienten virtuell gestalten und Änderungen am vorgeschlagenen Behandlungsplan vornehmen (83). Für jeden Zwischenschritt (staging) erfolgt die Anfertigung eines Setup Modells, auf der im Anschluss eine 0,75 mm (86) dicke Polyurethan Schiene per 3D- Druckverfahren (Stereolithographie) hergestellt wird (85). Bei der Stereolithografie wird der Kunststoff durch einen Laserstrahl polymerisiert. Der Aligner wird alle ein bis zwei Wochen gewechselt (56) (21, 87). Die Tragedauer für eine erfolgreiche Behandlung sollte 20-22 h pro Tag (86) nicht unterschreiten. Pro Schiene kann eine maximale Zahnbewegung von 0,2 bis zu 0,5 mm realisiert werden (87, 88). Es wirken dabei nur minimale, genau vorher berechnete Kräfte auf die Zähne. Die Anzahl der Schienen variiert mit der Komplexität der zu therapierenden Dysgnathie. Zur Umsetzung spezieller Zahnbewegungen wie der Derotation, der Extrusion und Intrusion bedient sich der Behandler (71) sogenannter „Attachments“. Dabei handelt es sich um kleine durchsichtige Kunststoffbauten in verschiedenen Formen und Größen. Der Behandler erhält durch die Software ClinCheck® den gesamten geplanten Behandlungsablauf, in dem jede einzelne Zahnbewegung digital nachvollziehbar ist und mit dem Patienten besprochen werden kann (89). Mithilfe eines „Case Refinement“ hat der Behandler die Möglichkeit am Behandlungsende durch zusätzliche Schienen das Behandlungsziel, wenn bisher

nicht erfolgt, final umzusetzen (89) (Invisalign®-System, Align Technologies Inc., Santa Clara, USA) .

a)



b)



c)

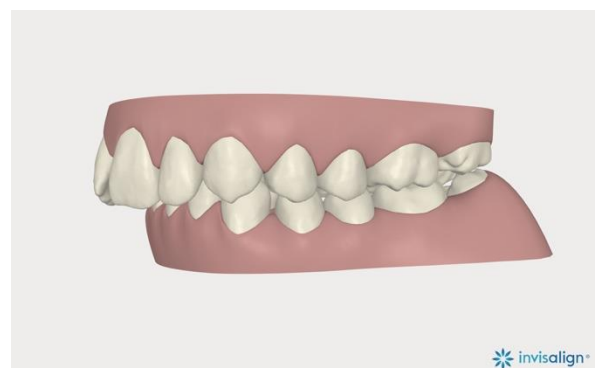


Abbildung 5: ClinCheck®- Diagnostik zur digitalen Erfassung der optimalen Zahnfehlstellungskorrektur. A) frontal b) lateral rechts c) lateral links

Invisalign Teen®

Invisalign Teen® wurde im März 2009 von Align Technology® (Inc., Santa Clara, USA) auf den Markt gebracht und stellt eine Alternative zu Invisalign Lite®, Invisalign Go® und Invisalign Full®, die ausschließlich auf das Erwachsenengebiss beschränkt sind, dar. Mit Invisalign Teen® lassen sich Jugendliche behandeln, die sich in der Wechselgebissphase befinden, in der kieferorthopädische Geräte ihre größte Wirkung erzielen (70). Innerhalb der Schienen sind sogenannte Eruptionkompensatoren eingearbeitet, die den Platzbedarf für die zeitnah durchbrechenden Eckzähne, zweiten Prämolaren und Molaren errechnen (90). Jeder Aligner besitzt einen blauen Punkt vestibulär auf Höhe des ersten Molars, der sich „Compliance Indikator“ (Abb. 10) nennt und bei längerem Kontakt mit der Mundflora seine Farbe verliert (91). Dadurch ist es dem Behandler möglich, die Tragedauer und Compliance seines Patienten zu überprüfen, was sich günstig auf den Behandlungserfolg auswirkt (91). Allerdings lässt sich auch dieser „Compliance Indikator“ verfälschen (92).

Indikation/ Kontraindikation

Die Behandlung sowie der Anwendungsbereich der Schienentherapie (Invisalign®) weist Vor- und Nachteile auf (89, 93): Mit Alignern ist es möglich Engstände aufzuheben und Lückenstände sowie Dreh- und Kippstände zu beseitigen (89). Ein tiefer Biss, begünstigt durch eine Klasse II/2, kann durch Intrusion der Frontzähne behoben und ein regelrechter Overbite eingestellt werden (89). Andererseits ist auch die Überstellung eines Kreuzbisses gezielt möglich (76). Um den Zahnbogen auszuformen oder zu expandieren, kann zum Platzgewinn eine approximale Schmelzreduktion hilfreich sein. Selbst die Behandlung komplexer Fälle, wie die kieferorthopädische Extraktion von Prämolaren, erzielt befriedigende Ergebnisse (94). Für bestimmte Befunde kann bisher keine effiziente Behandlungskontrolle mit der Schienentherapie umgesetzt werden. Beispielhaft seien hier das Extrudieren einzelner Zähne, das Auflösen schwerer Engstände, die mehr als 5 mm betragen, das Derotieren sehr stark gedrehter Zähne über 20 Grad oder die Beseitigung eines stark ausgeprägten offe-

nen Bisses genannt (89, 93, 95). Neue Studien beweisen jedoch, dass auch schwierige Dysgnathiefälle (56) erfolgreich mit Alignern behandelt werden können.

Vor- und Nachteile

Positive Aspekte der Aligner-Behandlung sind u.a. die geringe Inzidenz iatrogenen Wurzelresorptionen (87). Eine Reduktion des Plaque- und Gingivitis-Vorkommens, während der Aligner-Behandlung konnte ebenfalls positiv erfasst werden. (18, 19). Im Vergleich zu festsitzenden Apparaturen ist die tägliche Mundhygiene des Patienten besser durchführbar, was sich ebenfalls positiv auf den parodontalen Zustand und die orale Mundgesundheit auswirkt (11). Dieser Vorteil einer kieferorthopädischen Behandlung durch Schienentherapie lässt sich besonders bei Patienten mit parodontal vorgeschädigtem Gebiss ausnutzen (96). Auch die Gefahr von Demineralisierung („white spots“) oder Karies ist bei der Schienentherapie im Gegensatz zu festsitzenden Apparaturen minimiert (97). Auch besitzen die nahezu durchsichtigen Schienen eine hohe Akzeptanz seitens der Patienten und sind damit festsitzenden Methoden überlegen (12, 95, 98). Bei Patienten, die unter Bruxismus leiden, werden die Kauflächen der Zähne gegenüber den hohen interokklusalen, abrasiven Kräften von dem Kunststoff der Aligner geschützt (12, 99). Druckstellen am Zahnfleisch, sowie Schmerzen an der Schleimhaut durch die kieferorthopädische Apparatur sind, im Gegensatz zur Behandlung mit festsitzenden Geräten, minimiert (99). Ein systemimmanenter Vorteil ist die Visualisierung des Behandlungsverlaufs und vorgesehenen Behandlungszieles für den Patienten, die einerseits den Patienten motivieren und andererseits dem Behandler auch die realistischen Grenzen der kieferorthopädischen Behandlung aufzeigen (94). Als Nachteil ist aufzuführen, dass prothetische Versorgung nur geringfügig während der Behandlung mit den exakt angepassten Schienen möglich sind (88). Es wurde allerdings festgestellt, dass Materialien einer bestehenden prothetischen Versorgung mehr geschont wurden, als bei einer Behandlung mit festsitzender Apparatur (56). Bei einer herausnehmbaren Apparatur ist der Erfolg der Behandlung immer abhängig von der Compliance und Motivation des Patienten, welcher die Schiene, wie bereits zuvor erwähnt, bis zu 22 h am Tag tragen sollte (93).

2.5.2. Die Herbst-Apparatur

Historie

Im Jahr 1909 stellte Emil Herbst auf dem 5. Internationalen Zahnärztekongress in Berlin das sogenannte „Retentionsscharnier“ vor (100). Herbst berichtete 1934 von seinen positiven Erfahrungen mit der Apparatur, besonders in Hinblick auf die Therapie einer Klasse II Anomalie (101). Auch A.M. Schwarz beschäftigte sich zeitgleich mit dem Retentionsscharnier, mit der Betonung auf mögliche negative Aspekte (102). Nach 1934 erschienen immer weniger Artikel über das Retentionsscharnier und es geriet in Vergessenheit. 1977 beschäftigte sich H. Pancherz erstmals wieder mit der Herbst-Apparatur und veröffentlichte im Jahr 1979 eine vielversprechende Studie, in der er bewies, dass das Unterkieferwachstum stimuliert werden kann (71). In der Literatur liegen eine Reihe von Untersuchungen vor, die die Wirksamkeit des Herbst-Apparatur, insbesondere bei der Kl. II Therapie analysieren und bestätigt haben (6, 103-105). Seitdem ist die rigide Herbst-Apparatur ein fester Bestandteil im Alltag des Fachbereichs Kieferorthopädie.

Aufbau

Die Herbst-Apparatur besteht aus einem bilateralen Teleskopmechanismus, der den Unter- und Oberkiefer wie eine Art künstliches Gelenk verbindet. Die aus Chrom-Cobalt Legierung gegossenen Metallschienen werden im Oberkiefer am ersten Molaren und im Unterkiefer am ersten Prämolaren verankert. Jedes einzelne Teleskop besteht aus einem Führungsrohr, welches im Oberkiefer befestigt ist und einem Gleitrohr, welches sich im Unterkiefer befindet. Die Länge des Führungsrohrs bestimmt wie weit der Unterkiefer nach mesial verlagert werden soll und wird folglich für jeden Patienten individuell festgelegt. Je länger das Führungsrohr, desto mehr Mesialverlagerung. Der Unterkiefer wird durch die Apparatur dauerhaft in eine Vorschub-

lage gezwungen, was als mechanisches Jumping bezeichnet wird (106). Ziel ist es, die Frontzähne in eine Kopfbissstellung zu positionieren (6). Das Mundöffnen und -schließen sowie leichte Seitwärtsbewegungen sind mit der Apparatur möglich. Im Laufe der Jahre entwickelten sich verschiedene alternative Verankerungsmethoden und auch Teleskopmechanismen zu der ursprünglichen Idee des Retentionscharniers. Herbst befestigte die Teleskope über Kronen am ersten Oberkiefermolar und ersten Unterkieferprämolar (17). Mc Namara modifizierte die Herbst-Apparatur mit Kunststoffschienen (103). Pancherz veränderte die Herbst-Apparatur durch Integrität orthodontischer Bänder (6, 71) und änderte sie ab 1990 zu gegossenen Schienen, sogenannten „cast Splints“ (107, 108). Eine weitere Variante war die Herstellung konfektionierter Kronen (109) oder die integrierte Herbst-Apparatur (110, 111). Die Idee des Teleskopmechanismus wurde beim Jasper Jumper (112), Flex Developer (113) aufgenommen. Der Jasper Jumper besitzt in seinem Aufbau einen Federmechanismus, der Flex Developer eine Art Federstange. Alle Geräte haben ihre Flexibilität gemeinsam, wohingegen die Herbst-Apparatur zu den starren Apparaturen zählt.

Anwendungsgebiet und Wirkung (Indikation)

Die Herbst-Apparatur ist bei Patienten, die eine Klasse II Anomalie mit einhergehender Unterkieferrücklage aufweisen, indiziert, da das funktionskieferorthopädische Gerät eine Zunahme der Unterkieferlänge bewirkt (6, 71). Durch die stabile Vorschublage resultiert eine Diskusvorverlagerung mit einhergehenden angepassten Umbauprozessen innerhalb der Gelenkpfannen sowie passiv eine Umstrukturierung des Weich- sowie Hartgewebe (8). LeCornu stellte in seiner Studie durch Überlagerungen von digitalen Volumetomographien fest, dass es zu einer Vorverlagerung der Condylen kam, sowie zu Resorptionsprozessen an der anterioren Fläche der Fossa mit einhergehenden Mineralisierungen der posterioren Fläche (8). Es ist von Bedeutung, dass nach der 6-9 monatigen Therapiephase eine 3-4 monatige Retentionsphase erfolgte, um das Ergebnis zu stabilisieren (8, 114). Einen positiven Einfluss auf die Ergebnisse hatte laut LeCornu ebenfalls die Tatsache, dass es sich um ein Patientengut mit brachiofazialem Wachstumstyp handelte, (8). Auch Ruf und Pan-

cherz untersuchten die Effektivität der Umbauprozesse der Condylen, jedoch mit von Kontrastmittel-MRTs (115). Es lässt sich allerdings festhalten, dass es durch den Einsatz der Herbst-Apparatur zu einer Capsulitis kommt (116) und sich dementsprechend Entzündungsprozesse von skelettalen Umbauprozessen schwierig unterscheiden lassen. Auch bei Patienten, die den Wachstumshöhepunkt bereits überschritten haben und somit in der Regel nicht mehr für eine Behandlung mit einem funktionskieferorthopädischen Gerät geeignet sind, kann es laut neusten Studien zu dentalen und skelettalen Veränderungen kommen (117). Dadurch kann im jungen Erwachsenenalter eine sogenannte Camouflage Behandlung mit dem Herbstscharnier, als Alternative zu einer kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Kombinationsbehandlung, erzielt werden (118). Besonders Mundatmer eignen sich gut für eine Behandlung mit dem Herbstscharnier, da herausnehmbare funktionskieferorthopädische Geräte die Mundatmung der Patienten einschränkt (119). Eine herausnehmbare Variante der Herbst-Apparatur wird ebenfalls bei Patienten verwendet, die an einer obstruktiven Schlafapnoe leiden oder sie dient nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung als Retentionsgerät (120). Auch Fehlbildungen wie die Hemifaziale Mikrosomie können mit der Apparatur therapiert werden (121).

Vorteile

Die Herbst-Apparatur eignet sich besonders für Patienten mit niedriger Compliance, da sich die festsitzende Apparatur 24h im Mund befindet (107). Wie bereits erwähnt, ist die Mundatmung nicht eingeschränkt und dadurch auch der Tragekomfort der Apparatur für den Patienten angenehmer als bei herausnehmbaren Geräten (119). Die Herbst-Apparatur als Alternative zu einem kieferchirurgischen Eingriff bei Überschreitung des Wachstumsgipfels, stellt ebenfalls eine Indikation dar (117). Als weitere positive Eigenschaft kann die kurze Behandlungsdauer mit dem Herbstscharnier von ca. 6-8 Monaten aufgeführt werden (107). Auf dentaler sowie skelettaler Ebene ist die Gefahr eines Rezidives durch das Erreichen einer möglichst orthognathen Verzahnung im jungen Erwachsenenalter minimiert (6, 119). Diverse Studien führen auf,

dass beim Einsatz der Herbst-Apparatur im Vergleich zu herausnehmbaren funktionsskiefert orthopädischen Geräten die Vorverlagerung des Unterkiefers vorzugsweise erreicht wird (122-124).

Nachteile

Der Hauptnachteil des Herbstscharniers ist die Proklination der Unterkieferinzisivi begründet durch fehlende Verankerungsmöglichkeit (14, 125-127). Diverse Studien berichten über die Modifikation der Herbst-Apparatur, um die Proklination der Unterkieferinzisivi zu vermeiden, jedoch ohne Erfolg (128, 129). Mani berichtete 2014 über eine bessere Kontrolle der Proklination der Unterkieferinzisivi, durch die skelettale Verankerung mit Minischrauben (14). Der unerwünschte Nebeneffekt kann auch hier nicht vollkommen aufgehoben, jedoch stark reduziert werden. Mani begründet die protrusive Lagestellung der Unterkieferinzisivi durch eine körperliche labiale Bewegung der Zähne mit Vorverlagerung von Pogonion. Die Inklination der Unterkieferschneidezähne vergrößerte sich nur geringfügig im Vergleich zur Behandlung ohne Miniimplantate (14). Interessant ist, dass in der Studie die Minischrauben mit Acrylschienen in der Unterkieferfront (Zähne 33 bis 43) kombiniert wurden. Auch Valant verknüpfte Acrylschienen in der Unterkieferfront mit dem Herbstscharnier und kam zu ähnlichen Ergebnissen einer verringerten Proklination (7). In einer weiteren Studie wurde der Unterkiefer in Kombination mit einem Headgear schrittweise vorverlagert, gleichermaßen wurde auch hier die Proklination der Unterkieferinzisivi festgestellt (130). Bei der Behandlung von älteren Patienten wurde zudem beobachtet, dass das Ausmaß der Proklination der Unterkieferfront größer als bei jüngeren Patienten ist (40). In neueren Studien wurde die Herbst-Apparatur mit einer linguale Apparatur kombiniert. Erstmals berichtete Wiechmann 2010, dass eine Proklination der Unterkieferinzisivi vermieden werden kann und sogar eine Reklination festgestellt wurde (131). Durch die linguale Apparatur besteht eine bessere Verankerung mit größerer Kontrolle über die Proklination der Unterkieferfront (131, 132). Wiechmann begründet dies damit, dass die Lokalisation des Brackets sich lingual befindet und dadurch näher am Widerstandszentrum mit umgekehrter Kraftwirkung ist (131). Durch den Vierkantenbogen kommt es zu einem „Reverse Torque“ mit labialer Kraft-

wirkung auf die Wurzel und lingualer Kraftwirkung auf die Krone (131). Bei den Referenzpunkten handelt es sich bei dieser Studie allerdings um Setup Modelle, die zu Beginn hergestellt wurden und keine kephalometrischen Punkte (128).

Ferner sind die Bruchgefahr des Herbstscharniers, sowie bei weiten Mundöffnungsbewegungen das Rutschen der Stangen aus den Führungsrohren als Nachteil aufzuführen (119, 133).

2.5.3 Klinische Problematik der Unterkieferproklination

Durch eine ausgeprägte, unkontrollierte Proklination der Unterkieferinzisivi, wie es weitestgehend als Nebeneffekt bei Kl. II Apparaturen der Fall ist, kommt es klinisch zu unerwünschten Gingivarezessionen (15, 16, 134). Eine Gingivarezession ist definiert als entzündungsfreier Zahnfleischrückgang, der die Schmelz-Zement-Grenze überschreitet (135, 136). Durch die kieferorthopädischen Kräfte, die zur Stellungsänderung auf die Zähne wirken, können diese, mit einhergehendem Knochenabbau, aus dem Alveolarknochen verdrängt werden (134). An der freiliegenden Fläche des Zahnes steigt das Risiko einer Wurzelkaries (137), sowie das Auftreten von Dentinhypersensibilitäten (138). Auch aus ästhetischen Aspekten werden Rezessionen als unansehnlich wahrgenommen (139). Ein erhöhtes Aufkommen an Wurzelresorptionen richtet sich nach dem Ausmaß der Zahnbewegung, sowie der Dauer der Kraftapplikation (140). Durch die übertriebene Achsenstellung der Unterkieferzähne mit verändertem Interinzisalwinkel wird das kieferorthopädische Behandlungsergebnis kompromittiert.

KI II Apparaturen – Nebeneffekte im Vergleich

Die Klasse II Anomalie lässt sich mit herausnehmbaren sowie festsitzenden Apparaturen behandeln. Die Therapie birgt jedoch bei beiden Behandlungskonzepten als unerwünschten Nebeneffekt die Proklination der Unterkieferinzisivi mit sich. Neves verglich in ihrer Studie als festsitzende Apparatur den Jasper Jumper mit dem herausnehmbaren Bionator (10). Bei beiden Gruppen tritt eine unkontrollierte Kippung der Unterkieferfrontzähne nach labial auf, allerdings in größerem Ausmaß bei der Behandlung mit Bionator (10). Neves vermutet die Minimierung des Nebeneffekts durch den lingualen Torque der kombinierten Multibracket-Apparatur mit dem Jasper Jumper (10, 141). Diese Beobachtung deckt sich mit einer Studie aus der Literatur, in der ein Aktivator, kombiniert mit einem Headgear, mit einem Jasper Jumper in Kombination mit einer Multibracket-Apparatur, verglichen wird (141). Auch hier ist eine deutliche Labialkipfung der Unterkieferinzisivi, besonders bei dem herausnehmbaren Gerät, zu notieren (141). Baysal verglich die Herbst-Apparatur mit dem Twin Block. Beim Einsatz der Herbst-Apparatur stellte er eine protrudierte Unterkieferfront nach Behandlungsabschluss fest, die Behandlung mit Twin Block wies keine statistisch signifikante Proklination auf (142). Baysal begründet das Ausbleiben des unerwünschten Nebeneffekts durch die Kunststoffkappe, die die Unterkieferinzisivi inzisal fasst (142). In der Literatur wird allerdings immer wieder die Proklination der Unterkieferfront mit Werten bis zu 7.9° beim Einsatz des Twin Blocks beschrieben (143, 144). Ähnlich wie Baysal, mit Kunststoffkappe beim Twin Block, versuchen auch Manni und Valant durch eine Kunststoffschiene die Unterkieferfront beim Einsatz der Herbst-Apparatur zu fassen und beschreiben eine geringere Proklination (7, 14). Die unerwünschte proklinierte Stellung der Unterkieferinzisivi als Nebeneffekt beim Einsatz der Herbst-Apparatur bleibt jedoch eine bekannte Problematik, die oft in der Literatur beschrieben wird (6, 9, 40, 145).

3. Material und Methoden

3.1. Material

Die Studie umfasste 37 Patienten, die jeweils in zwei Gruppen eingeteilt wurden. 20 der Patienten stammten aus der Privatpraxis für Kieferorthopädie Dr. Thomas Drechsler in Wiesbaden. Die anderen 17 Probanden wurden in der kieferorthopädischen Poliklinik der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz behandelt. Es wurden zwei Gruppen gebildet: Gruppe 1 wurde mit der Aligner-Therapie (Invisalign®- Teen) und Gummizügen (Ods GmbH 4,5 OZ medium, ¼“ oder 3/16“, Tragezeit 20-22h) behandelt. Die Gummizüge wurden von den Cuts an den oberen Eckzähnen zu den Cuts am unteren Aligner in Höhe des 1. Molaren eingehängt (Abb. 10), sogenannte KI.II-Gummizüge. Die Aligner wurden alle zwei Wochen gewechselt. Gruppe 2, die Kontrollgruppe, wurde mit der gegossenen Herbst-Apparatur gefolgt von einer Multibracket-Apparatur im Ober- und Unterkiefer behandelt. In die Studie wurden Patienten einbezogen, die eine Klasse II/1 Anomalie besaßen (uni- oder bilaterale Distalokklusion im Molarenbereich von mindestens einer halben Prämolarenbreite (1/2 PB)). Zu Behandlungsbeginn war der Overjet ≥ 4 mm, sowie eine nahezu komplette Dentition vorlag, bis auf das Vorhandensein der dritten Molaren oder der sich im Durchbruch befindenden zweiten Molaren und zweiten Prämolaren. Es durften keine vorangegangene kieferorthopädische Behandlung, sowie keine Extraktionen erfolgt sein. Der Wachstumshöhepunkt musste erreicht sein. Patienten, die einen schlechten Allgemeinzustand, schlechte Mundhygiene, Syndrome oder eine schlechte Compliance besaßen, wurden aus der Studie ausgeschlossen. Das Alter der Patienten der Gruppe 1 reichte von 10-18 Jahren, wobei das Durchschnittsalter zu Behandlungsbeginn 13,08 Jahre ($\pm 2,6$ Jahre) (Abb. 6) betrug. Die durchschnittliche Behandlungsdauer in Gruppe 1 betrug 3,08 Jahre ($\pm 0,9$ Jahre) (Abb. 8), wobei die kürzeste Behandlungsdauer bei 1,69 Jahren und die längste Behandlungsdauer bei 5,92 Jahren lag. Durch die gleiche Verteilung von Frauen und Männern von n=10 zu n=10 erfolgte keine Unterscheidung in Bezug auf das Ge-

schlecht. In Gruppe 2 reichte das Patientenalter von 11 bis 18 Jahren. Die durchschnittliche Behandlungsdauer mit der Herbst-Apparatur betrug 9,8 Monate ($\pm 2,2$ Monate) (Abb. 9). Eingegliedert wurde die Herbst-Apparatur durchschnittlich im Alter von 14,4 Jahren ($\pm 1,7$ Jahre) (Abb. 7). Die kürzeste Behandlungszeit lag bei 6,4 Monaten und die längste bei 12,2 Monaten. Durch die nahezu gleiche Verteilung von Frauen und Männern von $n=9$ zu $n=8$ erfolgte keine Geschlechterunterteilung.

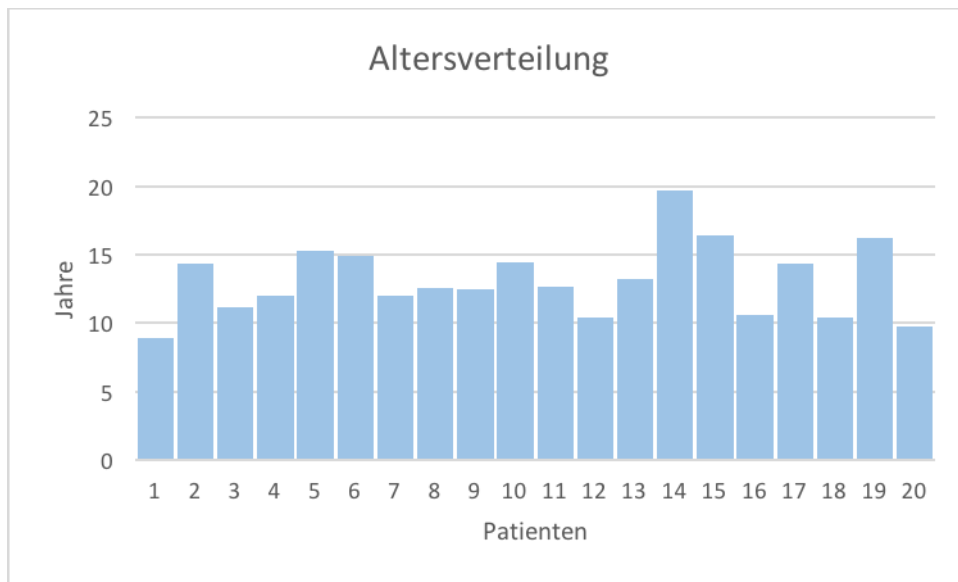


Abbildung 6: Altersverteilung (in Jahren) der Invisalign® Patienten bei Behandlungsbeginn

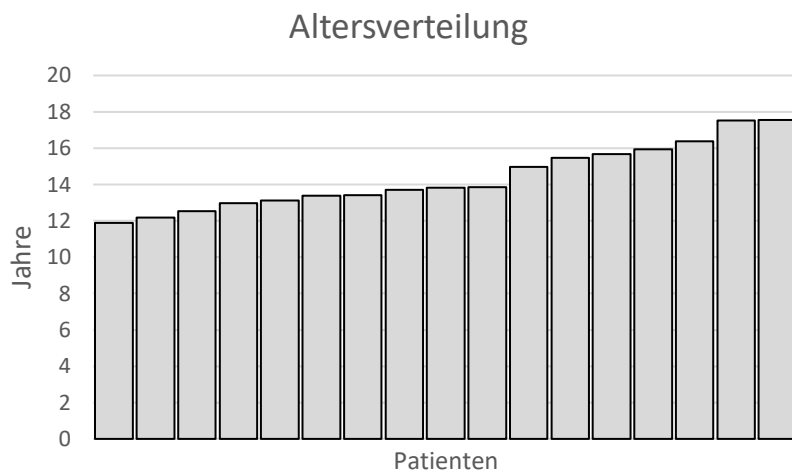


Abbildung 7: Altersverteilung (in Jahren) der Herbst-Apparatur Patienten bei Behandlungsbeginn

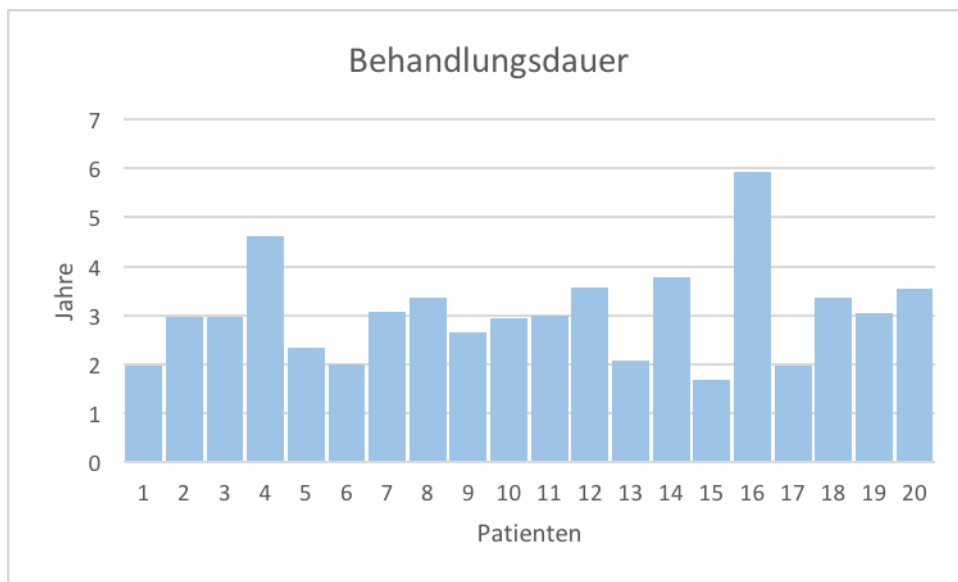


Abbildung 8: Behandlungsdauer (in Jahren) der Patienten, die mit Aligner-Therapie behandelt wurden.

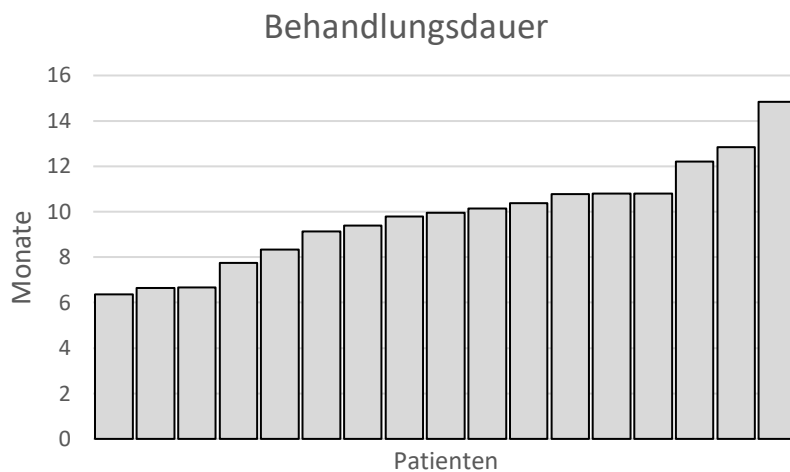


Abbildung 9: Behandlungsdauer (in Monaten) der Patienten, die mit einer Herbst-Appartur behandelt wurden.

Aligner-Therapie (mit Invisalign®) (Abb. 10)

Bei der Aligner-Therapie (Invisalign®) handelt es sich um 0,5 mm dicke Kunststoffschienen. Es erfolgte ein Digitaler Scan/ Abformung der gesamten Zahnoberfläche im Patientenmund. Mit dem Programm Clin-Check Align Technology Invisalign® wurde der Scan visualisiert und auf dem dreidimensionalen Modell ein Behandlungsplan konstruiert. Der Patient wechselte die für ihn individuell hergestellten Schienen alle 14 Tage. Jede Schiene besaß ein anderes Setup, wodurch die Zähne schrittweise in die Zielposition bewegt wurden. Jeder Zahn wurde im ClinCheck® individuell an die für den Patienten optimale Position eingestellt. Eine Retrusion der gesamten Unterkieferfront wurde im ClinCheck® nicht aktiv geplant.

a)



b)



c)



d)



e)



Abbildung 10: Aligner (Invisalign-Teen®) im Ober- und Unterkiefer in Kombination mit Klasse II Gummizügen (ODS GmbH). Attachments auf den Zähnen 13-15, 23-24, 33-34, 43-45. Power Ridges zur Unterstützung des Frontzahntorques auf den Zähnen 12-22.
Darstellung: a) frontal b) lateral rechts mit blauem Compliance Indikator c) lateral links mit blauem Compliance Indikator d) Unterkiefer Aufsicht e) Oberkiefer Aufsicht

Herbst-Apparatur (Abb. 11)

Die verwendete Herbst-Apparatur (Dentaurum GmbH & Co KG, Ispringen, Deutschland) war gegossen und bestand aus einem bilateral teleskopartigen Mechanismus. Der teleskopartige Verbindungssteg wird an gegossenen, okklusalen Auflagen im Seitenzahnggebiet des ersten und zweiten Quadranten verankert. Die gegossenen Metallschienen (CrCo- Legierung) fassen im Oberkiefer die Prämolaren und den ersten Molaren. Im Unterkiefer werden der erste Molar, die Prämolaren sowie der Eckzahn mit in die Verankerung einbezogen. Beide Metallschienen werden über einen lingualen Verbindungssteg miteinander verblockt. Das Führungsrohr wird im Oberkiefer am Molaren befestigt. Die Gleitstange hingegen wird am ersten Prämolaren fixiert. Bei den Patienten wurde zeitgleich eine Teil-Multibracket-Apparatur (Forestadent Bernhard Förster GmbH, Mini Sprint Bracket und Bögen: .012 Nitinol bis .016x.022 stainless steel, 0.22 Slot, Roth Prescription) von Eckzahn zu Eckzahn im Oberkiefer eingesetzt, um die Front für ein entsprechendes „Bite jumping“ auszuformen.

a)



b)



c)



d)



e)



Abbildung 11: Klassische Herbst-Apparatur mit Teil-Multibracket-Apparatur im Oberkiefer.
Darstellung: a) frontal b) lateral rechts c) lateral links d) Oberkiefer Aufsicht e) Unterkiefer Aufsicht

3.2. Methode

Aus forensischen und therapeutischen Gründen lagen von allen Patienten Fernröntgenseitenbilder oder Digitale Volumetomographische Aufnahmen in habitueller Okklusion vor. Von jedem Patienten existierte ein Ausgangsröntgenbild vor dem Einsetzen einer Apparatur (T1) und nach Entfernen der Apparatur (T2). In Gruppe 2 bezog sich T2 auf den Abschluss der Behandlung mit der Herbst-Apparatur.

T1= vor Behandlungsbeginn

T2= Tag der Entfernung der Multibracket-Apparaturen bzw. Attachments

Die Röntgenbilder der Patienten aus Gruppe 1 wurden in der kieferorthopädischen Fachpraxis Dr. Thomas Drechsler in Wiesbaden angefertigt. Es handelte sich dabei um Digitale Volumetomographische Aufnahmen mit dem Gerät Planmeca Promax® 3D. Die dreidimensionalen Aufnahmen wurden mit der 3D- Imaging- Software Invivo (Anatomage® Inc., San Jose, Kalifornien) in ein zweidimensionales Bild umgeschrieben.

Die Röntgenbilder der Patienten aus Gruppe 2 wurden in der Röntgenabteilung der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz aufgenommen. Verwendet wurde das Gerät Dentsply Sirona® Orthophos XG Plus Ceph. Rechtwinklig zur Filmebene traf der Zentralstrahl durch den Porus acusticus externus auf das gewünschte Objekt. Der Vergrößerungsgrad hatte mit 11% in der Median-Sagittalebene keinen Einfluss auf die Auswertungen. Der Abstand vom Sensor zum Focus betrug 1,7m.

3.2.1. FRS-Analyse (Abb.12)

Alle zweidimensionalen Aufnahmen aus beiden Gruppen wurden von einer Untersucherin mit dem Programm FR- Win 7.0 (Computer konkret AG, Falkenstein) ausgewertet. Es wurde eine spezielle Analyse definiert und die kephalometrischen Punkte und Linien manuell eingegeben. Die FRS-Vermessung des jeweiligen Patienten zum Zeitpunkt T1 und T2 erfolgte mit einem zeitlichen Abstand hintereinander. Alle Aufnahmen wurden nach zwei Wochen ein zweites Mal ausgewertet. Der Mittelwert wurde als definitiver Wert bestimmt. Durch dieses Vorgehen wurden Methodenfehler geringgehalten. Falls innerhalb einer Aufnahme Doppelstrukturen röntgentechnisch bedingt entstanden sind, wurde der Mittelwert der beiden genommen. Im weiteren Verlauf wurden die entstandenen Werte der FRS-Analyse der beiden Gruppen miteinander verglichen. Besonderes Augenmerk lag auf der Inklinationsveränderung der Unterkieferinzisivi. Neben der kephalometrischen Analyse erfolgte ebenfalls eine sagittale Okklusionsanalyse.

a)



b)

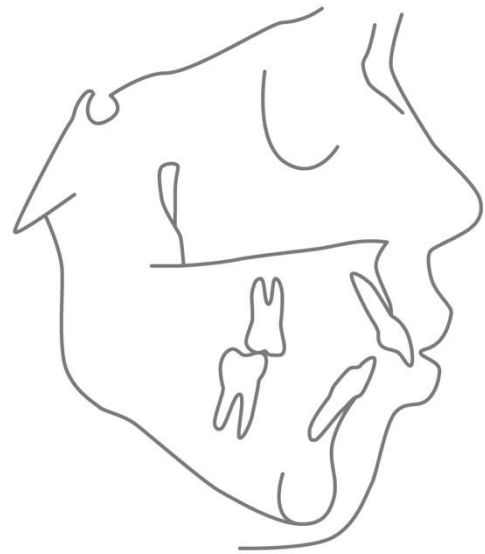


Abbildung 12: Darstellung eines Fernröntgenseitenbildes nach der Verbindung der Referenzpunkte der skelettalen und dentalen Strukturen.

- a) Durchzeichnung mit Weichteilprofil
- b) digitale Durchzeichnung

Referenzpunkte der Kephalemtrischen Analyse (Abb.13)

A

A-Punkt

Der tiefste Punkt der Einziehung im Bereich der anterioren Kontur des Processus alveolaris des Oberkiefers

B

B-Punkt

Der tiefste Punkt der Einziehung im Bereich der anterioren Kontur des Processus alveolaris des Unterkiefers

Gn	Gnathion Der am weitesten vom Nasion entfernt gelegene Punkt der Symphyse des Unterkiefers
Go	Gonion Tangentenpunkt des Unterkieferkörpers (Corpus mandibulae)
Go`	Gonion` (konstruierter Punkt) (siehe Abb. 12) Schnittpunkt zwischen der Mandibular-Linie und der parallel verschobenen Linie N-Gn durch den Punkt S
ii	Dens incisivus inferior Die Schneidekante des am weitesten protrudierten unteren mittleren Schneidezahns
is	Dens incisivus superior Die Schneidekante des am weitesten protrudierten oberen mittleren Schneidezahns
mi	Dens molaris inferior Der mesiale Kontaktpunkt des ersten unteren Molaren
ms	Dens molaris superior Der mesiale Kontaktpunkt des ersten oberen Molaren
N	Nasion

Der am weitesten anterior gelegene Punkt der Sutura nasofrontalis

No Nasenspitze

Der am weitesten anterior gelegene Punkt der Nasenspitze

NS Weichteil-Nasion

Tiefster Punkt der Einziehung im Bereich der Nasenwurzel

OI Oberlippe

Der am weitesten anterior gelegene Punkt der Oberlippe

Pg Pogonion

Anteriorster Punkt des knöchernen Kinns in der Median-Sagittal-Ebene

PgS Weichteil-Pogonion

Der am weitesten anterior gelegene Punkt des Weichteilkinns

Pm Pterygomaxillare

Der Schnittpunkt der Fossa-pterygopalatina-Kontur mit der Kontur des harten und weichen Gaumens

S Sella-Punkt

Der Mittelpunkt der knöchernen Krypte der Sella turcica

Sn Subnasale

Dorsokranielste Stelle der Einziehung zwischen Nase und Oberlippe

Sp Spina nasalis anterior

Anteriorster Punkt der knöchernen Spina nasalis anterior; anteriore Begrenzung der Maxilla

Spa vorderer Spinaebenesschnittpunkt (siehe Abb 12)

Der Schnittpunkt der Nasal-Linie und **N-Gn**

Spp hinterer Spinaebenesschnittpunkt (siehe Abb. 12)

Der Schnittpunkt der parallel verschobenen Linie **N-Gn** durch den Punkt **S** mit der Nasal-Linie

UI Unterlippe

Der am weitesten anterior gelegene Punkt der Unterlippe

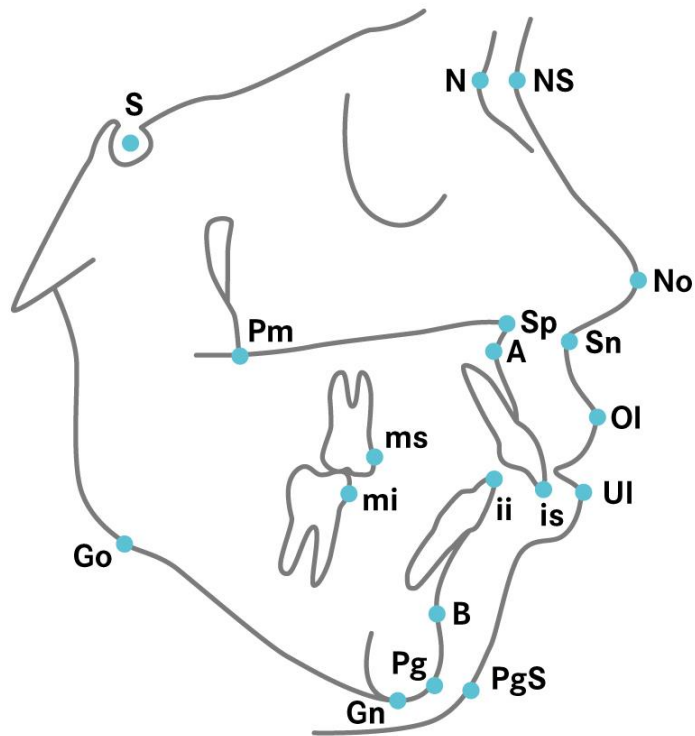


Abbildung 13: Angewendete kephalometrische Referenzpunkte

Referenzlinien der kephalometrischen Analyse

EL Esthetic-Line (nach Ricketts) (Abb.19)

Verbindungsline zwischen den Punkten **No** und **PgS**

ML Mandibular-Linie (Abb.16)

Verbindungsline zwischen den Punkten **Gn** und **Go** (auch Unterkieferebenenwinkel oder Basislinie genannt)

NL Nasal-Linie (Abb.16)

Verbindungsline zwischen den Punkten **Sp** und **Pm**
(auch als Spina-Ebene oder Oberkiefergrund-Ebene bezeichnet)

NSL Nasion-Sella-Linie (Abb.16)

Verbindungsline zwischen den Punkten **N** und **S**

OL Okklusionslinie (Abb.15)

Verbindungsline zwischen der distobukkalen Höckerspitze des ersten oberen bleibenden Molaren und dem Punkt **is**

Olp Okklusionslinie perpendicularare (Abb.20, Abb.21)

Die Senkrechte auf **OL** durch den Punkt **S**

Variablen zur Beschreibung der skelettofazialen Morphologie

Sagittale Kieferrelation (Abb.14, Abb.15)

SNA (°)	Winkel zwischen den Linien S-N und N-A Skelettal-sagittale Position der Maxilla in Bezug zum A-Punkt
SNB (°)	Winkel zwischen den Linien S-N und N-B Skelettal-sagittale Position der Mandibula in Bezug zum B-Punkt
SNPg (°)	Winkel zwischen den Linien S-N und N-Pg Skelettal-sagittale Position der Mandibula in Bezug zum Pg-Punkt
ANB (°)	Winkel zwischen den Linien A-N und N-B sagittale Lagebeziehung zwischen Maxilla und Mandibula in Bezug zum B-Punkt
ANPg (°)	Winkel zwischen den Linien A-N und N-Pg Sagittale Lagebeziehung zwischen Maxilla und Mandibula in Bezug zum Pg-Punkt

Wits (mm)

„Wits appraisal“, Abstand der senkrechten Projektion der Punkte **A** und **B** auf der Okklusionslinie **OL**. Liegt **AO** vor **BO**, ist der Wert positiv. Liegt **BO** vor **AO**, ist der Wert negativ.

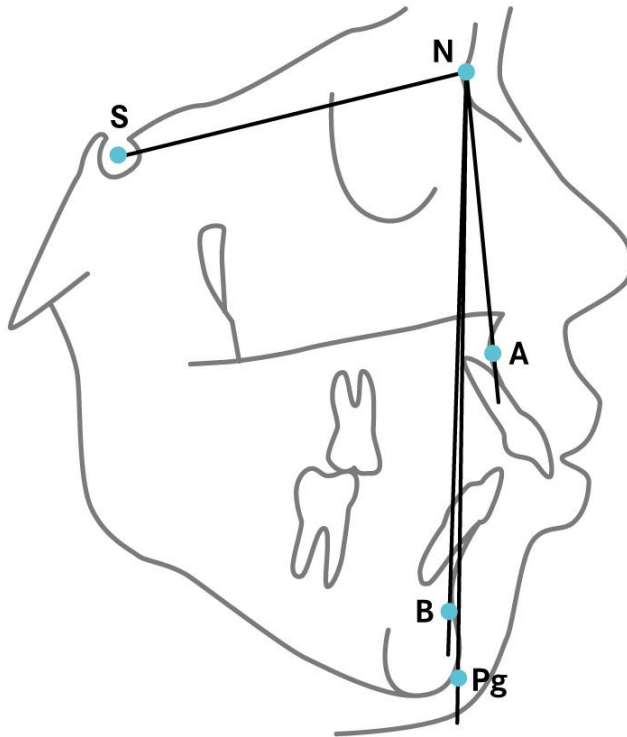


Abbildung 14: Bestimmung der sagittalen Kieferlagebeziehung mithilfe der angularen Variablen (in °): SNA, SNB, SNPg, ANPg und ANB

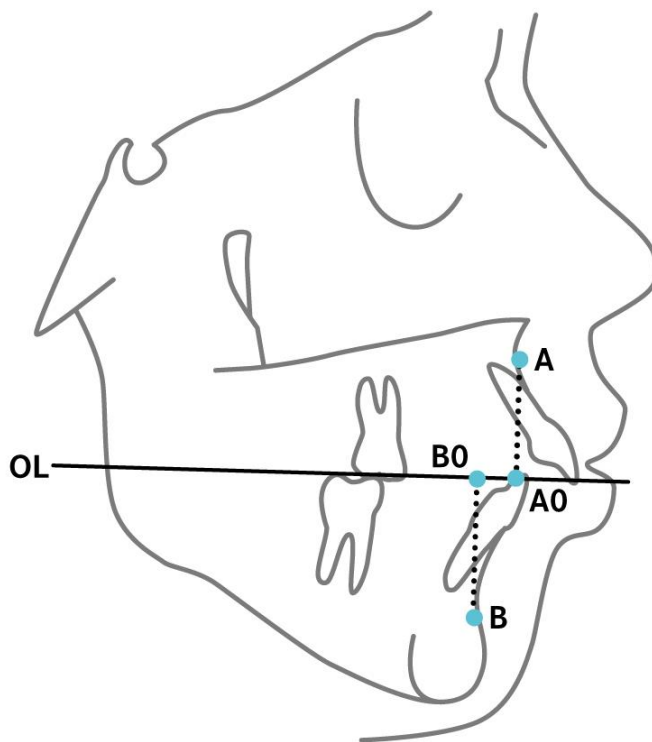


Abbildung 15: Bestimmung der sagittalen Kieferbasenrelation mithilfe der linearen Variable (in mm): Wits = Abstand AO – BO

Vertikale Kieferrelation (Abb.16)

ML/NSL (°)

Mandibularbasiswinkel

Winkel zwischen den Linien **ML** und **NSL**

Neigung der Mandibula zur vorderen Schädelbasis

NL/NSL (°)

Inklinationswinkel

Winkel zwischen den Linien **NL** und **NSL**

Neigung der Maxilla zur vorderen Schädelbasis

ML/NL (°)

Kieferbasiswinkel

Winkel zwischen den Linien **ML** und **NL**

Neigung der Mandibula zur Maxilla

Frontzahnüberbiss (Abb.16)

Overbite (mm)

Vertikaler Abstand der Schneidekanten der Frontzähne von

Maxilla und Mandibula in Schlussbisslage

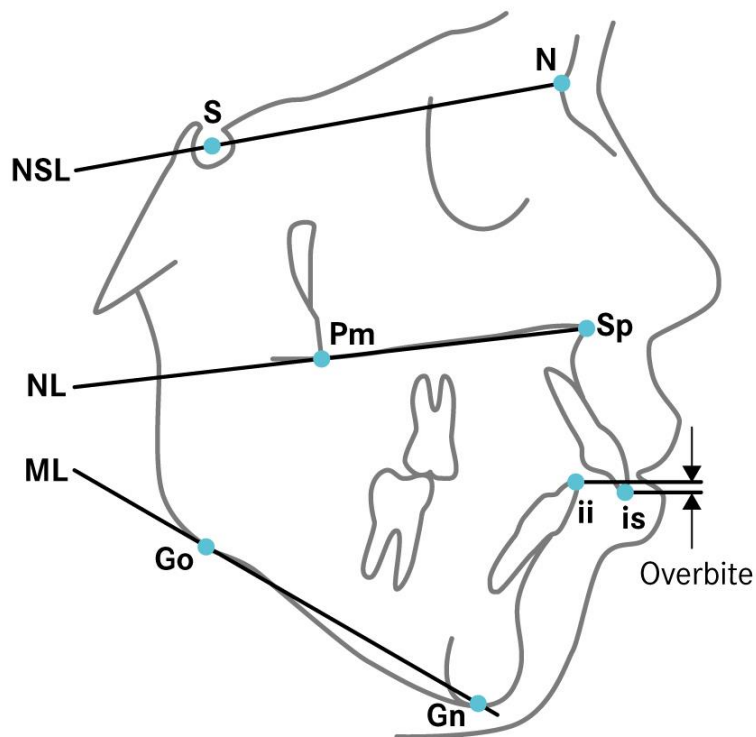


Abbildung 16: Bestimmung der vertikalen Kieferlagebeziehung mithilfe der angulären Variablen (in °): ML/NSL, NL/NSL, ML/NL & linearen Variable (in mm): Overbite

Gesichtshöhe (Abb.17)

Spa-Gn / N-Gn x 100

vorderer unterer Gesichtshöhen-Index
Verhältnis der vorderen unteren Gesichtshöhe zur
gesamten vorderen Gesichtshöhe

Spp-Go' / S-Go' x 100

hinterer unterer Gesichtshöhen-Index
Verhältnis der hinteren unteren Gesichtshöhe zur
gesamten hinteren Gesichtshöhe

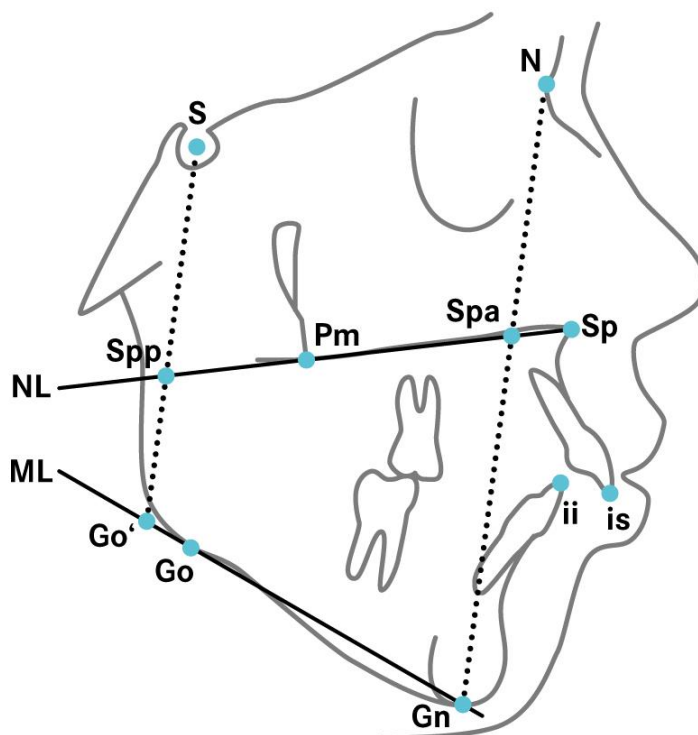


Abbildung 17: Bestimmung des vorderen & hinteren unteren Gesichtshöhen-Index mithilfe der Variablen. Vorderer unterer Gesichtshöhen-Index = $\text{Spa-Gn} / \text{N-Gn} \times 100$, hinterer unterer Gesichtshöhen-Index = $\text{Spp-Go}' / \text{S-Go}' \times 100$

Profilkonvexität (Abb.18)

N-A-Pg (°) Winkel zwischen den Linien **N-A** und **A-Pg**

Hartgewebe-Profilwinkel

NS-Sn-PgS (°) Winkel zwischen den Linien **NS-Sn** und **Sn-PgS**

Weichgewebe-Profilwinkel ohne Einbeziehung der Nase

NS-No-PgS (°) Winkel zwischen den Linien **NS-No** und **No-PgS**

Weichgewebe-Profilwinkel unter Einbeziehung der Nase

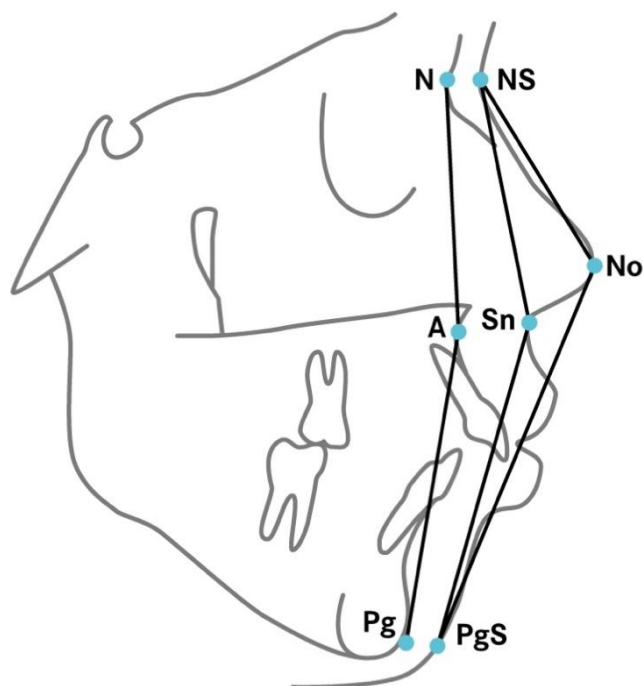


Abbildung 18: Bestimmung der Profilkonvexität mithilfe der Variablen (in °): N-A-Pg, NS-Sn-PgS und NS-No-PgS

Lippenposition (Abb.19)

OI-E-Linie (mm) Rechtwinkliger Abstand der Oberlippe **OI** zur Esthetic- Line

UI-E-Linie (mm) Rechtwinkliger Abstand der Unterlippe **UI** zur Esthetic- Line

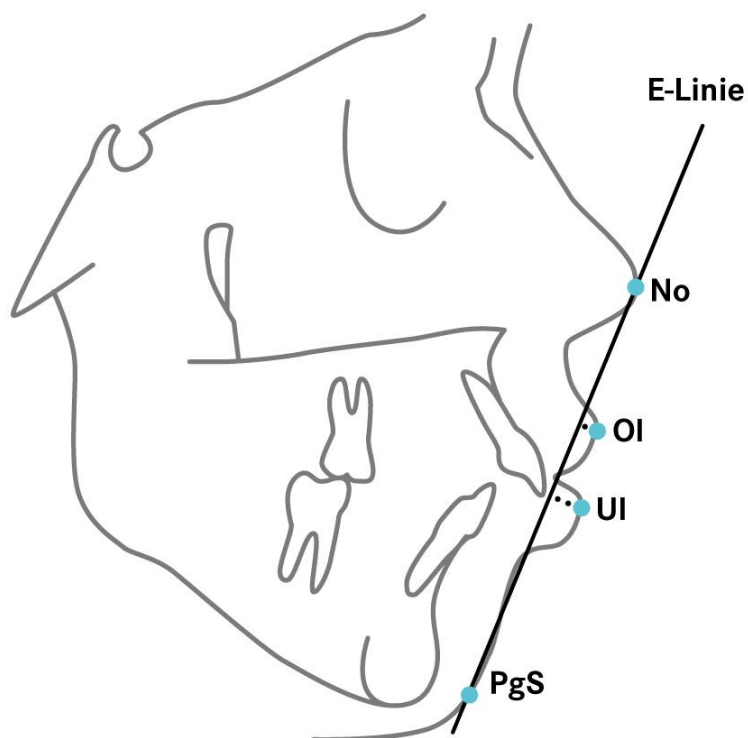


Abbildung 19: Werte (in mm) zur Bestimmung der Lippenposition: Abstand OI-E-Linie & UI-E-Linie

Frontzahninklination und –position

is-NA (°)	Achsenneigungswinkel des ersten OK-Inzisivus Winkel zwischen der Achse des ersten Oberkieferfrontzahns und der Linie N-A Stellung des ersten Oberkieferfrontzahns zur Basis der Maxilla
is_NA (mm)	Rechtwinkliger Abstand des ersten Oberkieferfrontzahn und zur Linie N-A Sagittale Position des ersten Oberkieferfrontzahns zur Basis der Maxilla
ii-NB (°)	Achsenneigungswinkel des ersten UK-Inzisivus Winkel zwischen der Achse des ersten Unterkieferfrontzahns und der Linie N-B Stellung des ersten Unterkieferfrontzahns zur Basis der Mandibula
ii_NB (mm)	Rechtwinkliger Abstand des ersten Unterkieferfrontzahns zur Linie N-B Sagittale Position des ersten Unterkieferfrontzahns zur Basis der Mandibula
ii_Apg (mm)	Rechtwinkliger Abstand des ersten Unterkieferfrontzahns zur A-Pg -Linie Abstand der Schneidekante des am stärksten protrudierten mittleren Unterkieferfrontzahns zur Apg -Linie Sagittale Zahnposition in Relation zu Ober- und Unterkiefer

3.2.2 Sagittale Okklusionsanalyse (SO-Analyse)

Die SO-Analyse nach Pancherz (Abb. 20, Abb. 21) (6) dient dazu sagittale Okklusionsveränderungen darzustellen. Hierzu wird eine Okklusionslinie (OL) definiert und rechtwinklig dazu stehend eine Okklusionslinie perpendicularare (OLP). Durch diese zwei Linien entsteht ein sogenanntes Referenzkreuz, welches auf dem Röntgenbild T1 eingezeichnet wird. Durch Superpositionierung über die Nasion-Sella-Linie wird das Referenzkreuz anschließend auf das Röntgenbild T2 übertragen. Referenzpunkt war S.

In der vorliegenden Studie wurden alle FRS Auswertungen T1 und T2 der einzelnen Patienten mit den entsprechenden kephalometrisch definierten Punkten auf eine 0,12 mm dicke Farblaserfolie gedruckt (Soennecken®), da das FR- Win- Programm keine Option bietet, die Analyse direkt am Computer zu vollziehen. Anschließend wurde das besagte Referenzkreuz, bestehend aus der Okklusionslinie (OL) und der Okklusionslinie perpendicularare (OLP), manuell auf dem Röntgenbild T1 eingezeichnet. Die Durchzeichnung fand auf einem Lichtkasten statt. Verwendet wurde ein Bleistift der Dicke 0.5 und Stärke HB. Gemessen wurde mit einem Geodreieck (Messgenauigkeit 0,5 mm). Der Raum war während aller Messungen und Einzeichnungen abgedunkelt. Durch Superpositionierung wurde das Referenzkreuz nun auf das Röntgenbild T2 übertragen, orientiert an dem Referenzpunkt S. Die SO-Analyse von T1 und T2 eines einzelnen Patienten erfolgte hintereinander von einer Untersucherin gemessen. Die Analyse wurde nach zwei Wochen wiederholt und der Mittelwert gebildet. Dadurch wurden Methodenfehler minimiert.

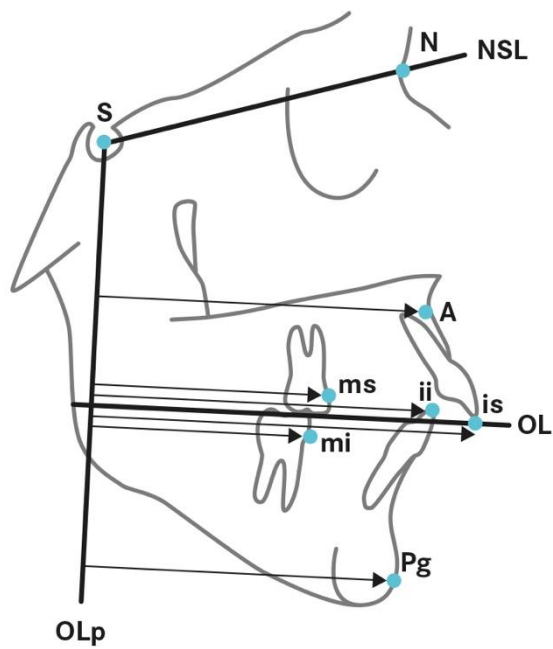


Abbildung 20: Veranschaulichung der SO-Analyse nach Pancherz (1982)

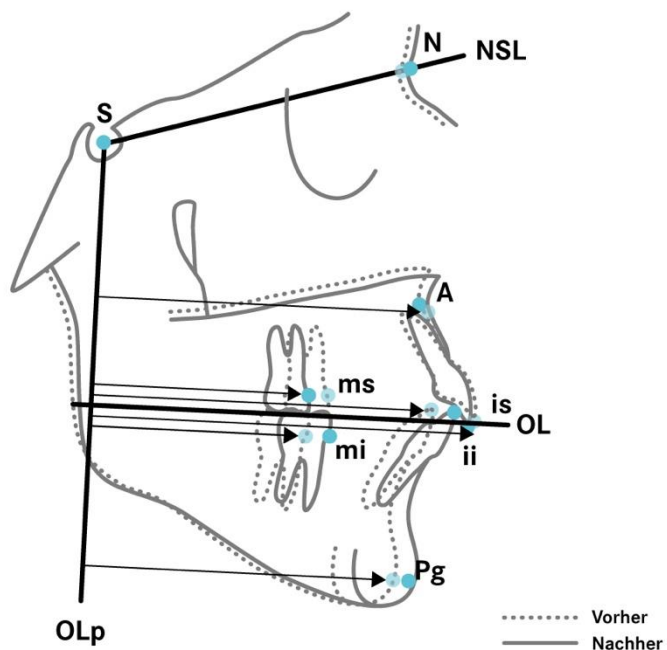


Abbildung 21: Veranschaulichung skelettaler & dentaler Veränderungen der SO-Analyse nach Pancherz

Alle Messungen der Variablen erfolgten zur OIp, parallel zu OL: (Abb.20, Abb.21)

- | | |
|---|---|
| 1. is/OIp – li/OIp | Overjet |
| 2. ms/OIp – mi/OIp | Molaren-Relation |
| (Ein positiver Wert bedeutet eine distale Molaren-Relation,
ein negativer Wert eine neutrale Molaren-Relation) | |
| 3. A/OIp | Maxilläre Kieferbasisposition |
| 4. Pg/OIp | Mandibuläre Kieferbasisposition |
| 5. is/OIp | Position des oberen mittleren Schneidezahns |
| 6. ii/OIp | Position des unteren mittleren Schneidezahns |
| 7. ms/OIp | Position des oberen bleibenden ersten Molaren |
| 8. mi/OIp | Position des unteren bleibenden ersten Molaren |
| 9. is/OIp(D) – A/OIp(D) | Veränderung der Position des oberen mittleren Schneidezahns (OK-Inzisivus) innerhalb der Maxilla |
| 10. ii/OIp(d) – Pg/OIp(D) | Veränderung der Position des unteren mittleren Schneidezahns (UK-Inzisivus) innerhalb der Mandibula |
| 11. ms/OIp(D) – A/OIp(D) | Veränderung der Position des oberen ersten Molaren (OK-Molar) innerhalb der Maxilla |
| 12. mi/OIp(D) – Pg/OIp(D) | Veränderung der Position des unteren ersten Molaren (UK-Molar) innerhalb der Mandibula |

3.2.2 Statistische Methode

Die statistische Datenauswertung erfolgte mit Microsoft Excel® 2013 und SAS® 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, USA). Von allen Messungen wurde der arithmetische Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD) bestimmt. Der t-Test für verbundene Stichproben wurde angewandt, um die Veränderungen der Variablen zu untersuchen. Die Ergebnisse des t-Test wurden als p-Wert angenommen. Die p-Werte wurden bei $\geq 0,05$ als statistisch nicht signifikant (ns) angegeben. Alle Ergebnisse wurden mit Boxplot und Histogrammen (Abb. 22 & 23) visualisiert.

3.2.3 Bestimmung des Methodenfehlers

Die Messungen wurden nach zwei Woche wiederholt. Der Methodenfehler (MF) wurde mit der Dahlberg Formel berechnet.

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

d = Differenzen zwischen den Doppelmessungen

n = Anzahl der untersuchten Patienten

	Variablen	Einheit	Methodenfehler
Sagittale Kieferlagebeziehung	SNA	°	0.54
	SNB	°	0.31
	SNPg	°	0.31
	ANPg	°	0.42
	ANB	°	0.37
	Wits	mm	0.69
Vertikale Kieferlagebeziehung	ML/NSL	°	0.53
	NL/NSL	°	0.66
	ML/NL	°	0.66
Frontzahnüberbiss	Overbite	mm	0.39
Gesichtshöhe	Spa-Go/N-Gn*100	Index	0.24
	Spp-Go'/S-Go'*100	Index	0.94
Profilkonvexität	N-A-Pg	°	0.88
	NS-Sn-PgS	°	1.02
	NS-No-PgS	°	1.31
Lippenposition	OI-E-Linie	mm	0.35
	UI-E-Linie	mm	0.38
Frontzahninklination & -position	is-NA	°	1.14
	is_NA	mm	0.53
	ii-NB	°	0.65
	ii_NB	mm	0.37
	ii_Apg	mm	0.38

Tabelle 1: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der FRS- Analyse von allen Patienten aus Gruppe 1 (Grad \triangleq °)

	Variablen	Einheit	Methodenfehler
Sagittale Kieferlagebeziehung	SNA	°	0.50
	SNB	°	0.33
	SNPg	°	0.32
	ANPg	°	0.32
	ANB	°	0.33
	Wits	mm	0.57
Vertikale Kieferlagebeziehung	ML/NSL	°	0.33
	NL/NSL	°	0.59
	ML/NL	°	0.70
Frontzahnüberbiss	Overbite	mm	0.15
Gesichtshöhe	Spa-Go/N-Gn*100	Index	0.27
	Spp-Go'/S-Go'*100	Index	0.93
Profilkonvexität	N-A-Pg	°	0.74
	NS-Sn-PgS	°	0.94
	NS-No-PgS	°	1.09
Lippenposition	OI-E-Linie	mm	0.32
	UI-E-Linie	mm	0.36
Frontzahninklination & -position	is-NA	°	0.96
	is_NA	mm	0.50
	ii-NB	°	1.09
	ii_NB	mm	0.23
	ii_Apg	mm	0.21

Tabelle 2: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der FRS- Analyse von allen Patienten aus Gruppe 2 (Grad \triangleq °)

Variablen		Methodenfehler
3. Maxilläre Basis	A/Olp	0.45
4. Mandibuläre Basis	Pg/Olp	0,57
5. OK-Inzisivus	is/Olp	0.55
6. UK-Inzisivus	ii/Olp	0.56
7. OK-Molar	ms/Olp	1.44
8. UK-Molar	mi/Olp	0.41

Tabelle 3: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 1 (Angaben in mm). Die Variablen 1.-2. Und 9.-12. Sind statistisch nicht auswertbar und folglich nicht aufgeführt.

Variablen		Methodenfehler
3. Maxilläre Basis	A/Olp	0.56
4. Mandibuläre Basis	Pg/Olp	1.10
5. OK-Inzisivus	is/Olp	0.84
6. UK-Inzisivus	ii/Olp	0.74
7. OK-Molar	ms/Olp	0.68
8. UK-Molar	mi/Olp	0.83

Tabelle 4: Bestimmung des Methodenfehlers nach erfolgter zweifacher Auswertung der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 2 (Angaben in mm). Die Variablen 1.-2. Und 9.-12. Sind statistisch nicht auswertbar und folglich nicht aufgeführt.

Zur Reliabilitätsprüfung wurde der Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) berechnet.

$$ICC = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_e^2}$$

σ_A^2 = Varianz zwischen den Bildern

σ_e^2 = Messfehlervarianz

Die Messwerte des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die FRS-Analyse und für die SO-Analyse für die beiden Gruppen wurden in den Tabellen 5-8 beschrieben.

Parameter	ICC Intra-Rater-Reliabilität
SNA	0.994
SNB	0.998
SNPg	0.998
ANPg	0.993
ANB	0.993
Wits	0.990
ML/NSL	0.998
NL/NSL	0.993
ML/NL	0.998
Overbite	0.981
Spa-Gn*100/N-Gn	0.997
Spp-Go`*100/S-Go`	0.995
N-A-Pg	0.993
NS-Sn-PgS	0.963
NS-No-PgS	0.989
OI-E-Linie	0.995
UI-E-Linie	0.996
is-NA	0.970
is_NA	0.983
ii-NB	0.986
ii_NB	0.994
li_Apg	0.993

Tabelle 5: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der FRS-Analyse zur Darstellung der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 1

Parameter	ICC Intra-Rater-Reliabilität
SNA	0.981
SNB	0.993
SNPg	0.995
ANPg	0.987
ANB	0.980
Wits	0.989
ML/NSL	0.998
NL/NSL	0.973
ML/NL	0.988
Overbite	0.996
Spa-Gn*100/N-Gn	0.984
Spp-Go`*100/S-Go`	0.956
N-A-Pg	0.984
NS-Sn-PgS	0.966
NS-No-PgS	0.950
OI-E-Linie	0.985
UI-E-Linie	0.983
is-NA	0.986
is_NA	0.977
ii-NB	0.979
ii_NB	0.995
li_Apg	0.995

Tabelle 6: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der FRS-Analyse zur Darstellung der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 2

Parameter	ICC Intra-Rater-Reliabilität
Maxilläre Basis A/Olp	0.997
Mandibuläre Basis Pg/Olp	0.998
OK-Inzisivus is/Olp	0.997
UK-Inzisivus ii/Olp	0.997
OK-Molar ms/Olp	0.991
UK-Molar mi/Olp	0.999

Tabelle 7: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 1

Parameter	ICC Intra-Rater-Reliabilität
Maxilläre Basis A/Olp	0.982
Mandibuläre Basis Pg/Olp	0.969
OK-Inzisivus is/Olp	0.968
UK-Inzisivus ii/Olp	0.985
OK-Molar ms/Olp	0.963
UK-Molar mi/Olp	0.976

Tabelle 8: Beschreibung des Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) für die Messwerte der SO-Analyse von allen Patienten aus Gruppe 2

Ergebnisse wurden durch Boxplots und Histogramme visualisiert:

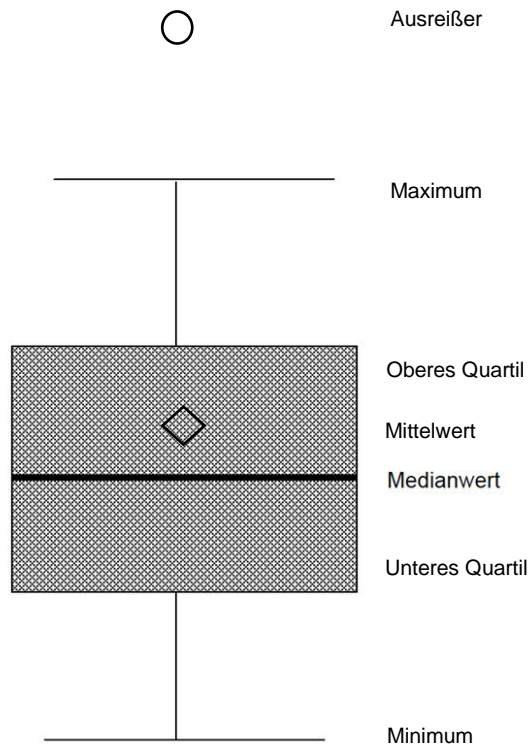


Abbildung 22: Darstellung eines Boxplot

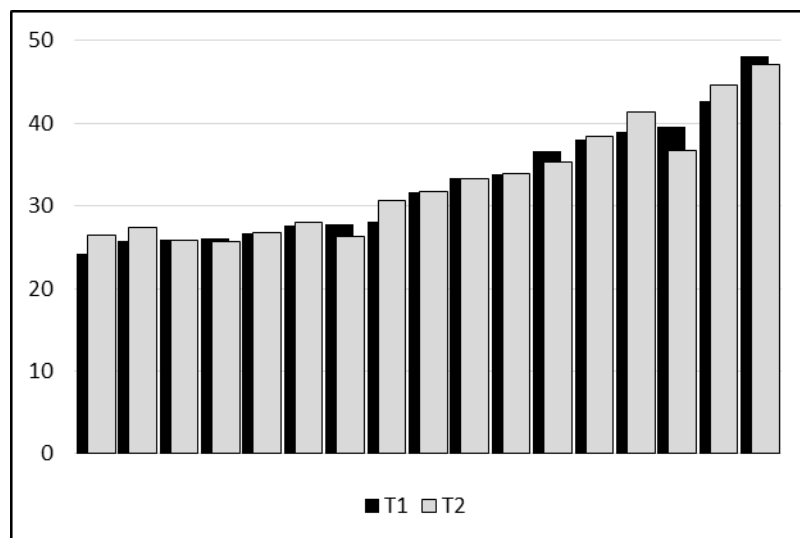


Abbildung 23: Darstellung des Histogramms mit Werten der Patienten zu den Zeitpunkten T1 (=Behandlungsbeginn) und T2 (=Behandlungsende von Gruppe1 / Behandlungsende der Phase der Herbst-Apparatur in Gruppe 2)

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse beider Gruppen, umfassend die kephalometrischen Analyse zur Darstellung der skelettalen sowie dentalen Veränderungen und die Analyse der sagittalen Okklusionsveränderungen (SO-Analyse), sind in den vorliegenden Tabellen aufgelistet (Tab. 9-12).

Die einzelnen Variablen wurden ferner mit Boxplots und Histogrammen visualisiert (Abb. 24- 53).

Gruppenname	Beschreibung	Einheit	T1		T2		T2-T1			
			Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	t	p
Sagittale Kieferlagebeziehung	SNA	°	81.20	3.65	80.82	3.34	-0.39	1.17	-1.47	0.1573
	SNB	°	76.42	3.83	76.76	3.68	0.34	1.27	1.21	0.2428
	SNPg	°	77.35	3.87	77.78	3.75	0.43	1.28	1.51	0.1481
	ANPg	°	3.85	2.33	3.04	2.74	-0.81	1.21	-3.01	0.0072
	ANB	°	4.79	2.04	4.05	2.39	-0.74	1.19	-2.79	0.0118
	Wits	Mm	4.11	3.70	1.59	2.91	-2.52	2.94	-3.84	0.0011
Vertikale Kieferlagebeziehung	ML/NSL	°	33.48	6.77	33.33	6.66	-0.14	1.55	-0.41	0.6852
	NL/NSL	°	7.49	4.41	8.42	3.74	0.93	3.05	1.37	0.1875
	ML/NL	°	26.00	8.56	24.92	8.22	-1.08	2.68	-1.80	0.0880
Frontzahnüberbiss	Overbite	Mm	3.44	1.57	2.21	0.93	-1.23	1.63	-3.38	0.0032
Gesichtshöhe	Spa-Gn*100/N-Gn	Index	54.47	2.42	55.32	2.15	0.86	1.77	2.16	0.0437
	Spp-Go*100/S-Go	Index	41.38	8.37	43.99	9.79	2.62	9.49	1.23	0.2327
Profilkonvexität	N-A-Pg	°	172.00	4.71	173.52	5.78	1.52	2.53	2.68	0.0148
	NS-Sn-PgS	°	157.44	4.39	159.39	5.18	1.95	3.27	2.67	0.0153
	NS-No-PgS	°	129.27	3.37	128.48	3.52	-0.79	3.01	-1.17	0.2572
Lippenposition	OI-E-Linie	Mm	-2.01	2.12	-4.32	2.21	-2.31	1.59	-6.50	<.0001
	UI-E-Linie	Mm	-0.53	2.90	-1.83	3.16	-1.30	1.46	-3.99	0.0008
Sonstige	is-NA/isNA [°]	°	21.29	5.50	21.85	5.12	0.56	6.97	0.36	0.7245
	is_NA/is_NA [mm]	Mm	3.94	2.01	3.34	2.14	-0.60	2.45	-1.10	0.2866
	ii-NB/iiNB [°]	°	27.30	5.45	27.25	5.82	-0.05	5.87	-0.04	0.9700
	ii_NB/ii_NB [mm]	Mm	5.18	2.63	5.72	2.38	0.54	1.41	1.70	0.1050
	ii_Apg [mm]	Mm	1.68	2.45	2.39	2.08	0.71	1.71	1.86	0.0788

Tabelle 9: Darstellung der kephalometrische Messwerte (MW, SD) der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 1 T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende

Gruppenname	Beschreibung	Einheit	T1		T2		T2-T1			
			Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	t	p
Sagittale Kieferlagebeziehung	SNA	°	82.65	3.73	81.98	3.50	-0.68	0.95	-2.95	0.0095
	SNB	°	75.66	3.94	76.69	4.06	1.03	1.28	3.32	0.0043
	SNPg	°	76.76	4.43	77.66	4.47	0.90	1.29	2.89	0.0107
	ANPg	°	5.87	2.69	4.31	2.75	-1.57	1.33	-4.85	0.0002
	ANB	°	6.99	2.11	5.29	2.23	-1.70	1.29	-5.45	<.0001
	Wits	Mm	9.17	2.65	-0.51	2.16	-9.68	3.05	-13.06	<.0001
Vertikale Kieferlagebeziehung	ML/NSL	°	32.64	7.02	32.90	6.84	0.26	1.51	0.71	0.4864
	NL/NSL	°	7.96	3.62	8.74	3.59	0.78	0.88	3.64	0.0022
	ML/NL	°	24.67	6.64	24.16	6.14	-0.51	1.59	-1.33	0.2026
Frontzahnüberbiss	Overbite	Mm	5.14	1.41	0.97	1.26	-4.16	1.43	-11.97	<.0001
Gesichtshöhe	Spa-Gnx100/N-Gn	Index	54.77	2.28	55.54	2.07	0.77	0.65	4.85	0.0002
	Spp-Go'x100/S-Go'	Index	44.09	4.54	46.51	3.98	2.42	1.31	7.64	<.0001
Profilkonvexität	N-A-Pg	°	167.67	5.42	170.97	5.83	3.30	2.65	5.14	<.0001
	NS-Sn-PgS	°	155.79	5.25	158.42	4.59	2.63	2.47	4.39	0.0005
	NS-No-PgS	°	129.49	5.25	130.75	4.40	1.26	2.80	1.86	0.0821
Lippenposition	OI-E-Linie	Mm	-1.09	2.21	-3.24	2.56	-2.14	1.18	-7.49	<.0001
	UI-E-Linie	Mm	0.58	2.76	0.57	2.76	-0.01	1.44	-0.04	0.9668
Frontzahninklination und -position	is-NA	°	19.03	8.80	12.92	6.34	-6.11	7.46	-3.38	0.0038
	is_NA	Mm	1.96	3.58	0.17	2.85	-1.79	2.61	-2.82	0.0122
	ii-NB	°	29.99	5.23	39.21	6.40	9.22	5.19	7.32	<.0001
	ii_NB	Mm	6.71	3.69	9.14	2.29	2.43	2.47	4.06	0.0009
	ii_Apg	Mm	0.86	2.41	5.01	2.23	4.15	1.91	8.95	<.0001

Tabelle 10: Darstellung der kephalometrische Messwerte (MW, SD) der skelettofazialen Morphologie von allen Patienten aus Gruppe 2. T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende der Phase der Herbst-Apparatur

Nr	Beschreibung	T1		T2		T2-T1			
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	t	P
1	Overjet	5.80	1.54	3.48	1.23	-2.33	1.47	-7.09	<.0001
2	Molaren-Relation	0.85	1.90	-0.95	2.21	-1.80	3.07	-2.62	0.0167
3	Maxilläre Basis	72.90	3.57	74.40	4.17	-1.50	2.90	-2.31	0.0321
4	Mandibuläre Basis	75.48	5.31	78.23	6.97	2.75	3.41	3.61	0.0019
5	OK-Inzisivus	81.11	4.26	81.60	5.28	-0.49	3.61	-0.60	0.5528
6	UK-Inzisivus	75.31	4.33	78.13	5.53	2.81	3.90	3.22	0.0045
7	OK Molar	52.90	4.14	55.46	5.12	-2.56	4.65	-2.46	0.0235
8	UK Molar	52.05	5.27	56.41	5.18	4.36	4.15	4.70	0.0002
9	OK-Inzisivus	.	.	.	.	-1.01	2.94	-1.54	0.1395
10	UK-Inzisivus	.	.	.	.	0.06	1.77	0.16	0.8759
11	OK-Molar	.	.	.	.	1.06	3.26	1.46	0.1617
12	UK-Molar	.	.	.	.	1.61	2.25	3.21	0.0046

Tabelle 11: Darstellung der kephalometrische Messwerte (MW, SD) der Analyse der sagittalen Okklusionsveränderungen (SO-Analyse) von allen Patienten aus Gruppe 1. T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende. + entspricht einer distalen Molaren-Relation, - entspricht einer neutralen Molaren-Relation

	Variablen (mm)	T1		T2		T2-T1			
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	t	P
1	Overjet is/Olp – ii/Olp	6.11	2.01	-0.69	2.84	-6.80	3.78	-7.42	<.0001
2	Molaren-Relation ms/Olp –mi/Olp	+0.46 a)	2.24	-5.00 a)	2.40	-5.46	2.37	-9.51	<.0001
3	Maxilläre Basis A/Olp	75.31	4.03	75.75	4.42	-0.44	1.39	-1.31	0.2089
4	Mandibuläre Basis Pg/Olp	76.19	5.85	79.02	6.44	2.83	2.45	4.77	0.0002
5	OK-Inzisivus is/Olp	82.30	4.64	80.98	4.78				
6	UK-Inzisivus ii/Olp	76.19	4.66	81.67	5.32				
7	OK-Molar ms/Olp	52.63	3.71	51.90	3.99				
8	UK-Molar mi/Olp	52.17	4.58	56.90	5.17				
9	OK-Inzisivus is/Olp(D) – A/Olp (D)					-1.76	2.34	-3.11	0.0067
10	UK-Inzisivus ii/Olp(D) –Pg/Olp(D)					2.65	1.15	9.53	<.0001
11	OK-Molar ms/Olp(D) – A/Olp					-1.18	1.00	-4.83	0.0002
12	UK-Molar mi/Olp(D) – Pg/Olp(D)					1.90	1.30	6.01	<.0001

Tabelle 12: Darstellung der kephalometrischen Messwerte (MW, SD) der Analyse der sagittalen Okklusionsveränderungen (SO-Analyse) von allen Patienten aus Gruppe 2. T1 entspricht dem Behandlungsbeginn, T2 entspricht dem Behandlungsende der Phase der Herbst-Apparatur. + entspricht einer distalen Molaren-Relation, - entspricht einer neutralen Molaren-Relation

4.1 Skelettofaziale Morphologie

4.1.1 Sagittale Kieferrelation

SNA Skelettal-sagittale Position der Maxilla (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 24, 25)

In Gruppe 1 verkleinerte sich SNA durchschnittlich um $0,39^\circ$ (p 0,1573). Bei 60% (12) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 40% (8) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $1,80^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $1,90^\circ$. Der Methodenfehler von $0,54^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 verkleinerte sich SNA durchschnittlich um $0,68^\circ$ (p 0,0095). Bei 71% (12) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 29% (5) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $2,15^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $1,0^\circ$. Der Methodenfehler von $0,50^\circ$ wurde berücksichtigt.

SNB Skelettal-sagittale Position der Mandibula (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 24, 25)

In Gruppe 1 vergrößerte sich SNB durchschnittlich um $0,34^\circ$ (p 0,2428). Bei 40% (8) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 55% (11) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Bei 5% (1) der Jugendlichen fand keine Veränderung statt. Die maximale Verkleinerung lag bei $1,55^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $3,25^\circ$. Der Methodenfehler von $0,31^\circ$ wurde berücksichtigt.

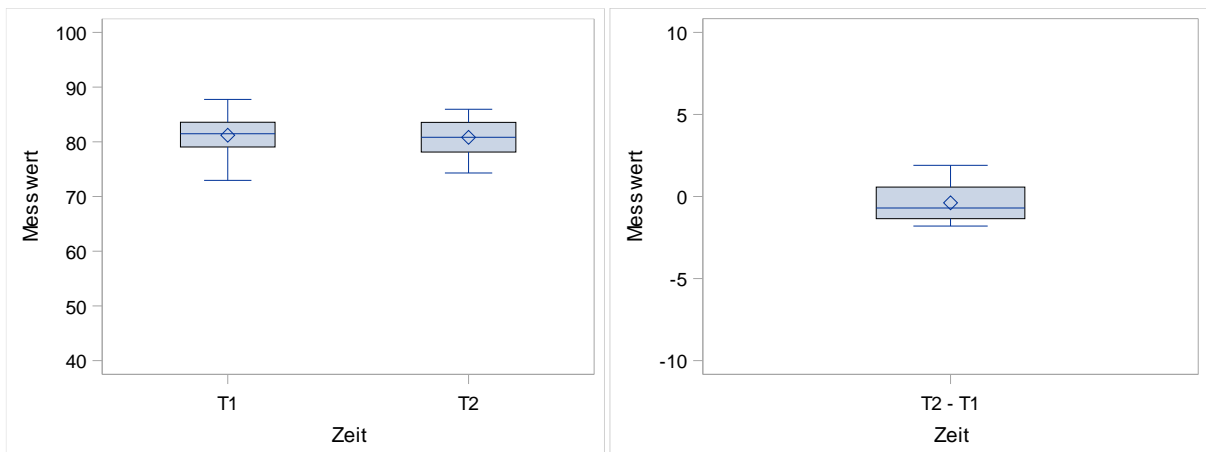
In Gruppe 2 vergrößerte sich SNB durchschnittlich um $1,03^\circ$ (p 0,0043). Bei 23,5% (4) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 76,5% (13) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $0,80^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $4,05^\circ$. Der Methodenfehler von $0,33^\circ$ wurde berücksichtigt.

SNPg Skelettal-sagittale Position der Mandibula (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb 24, 25)

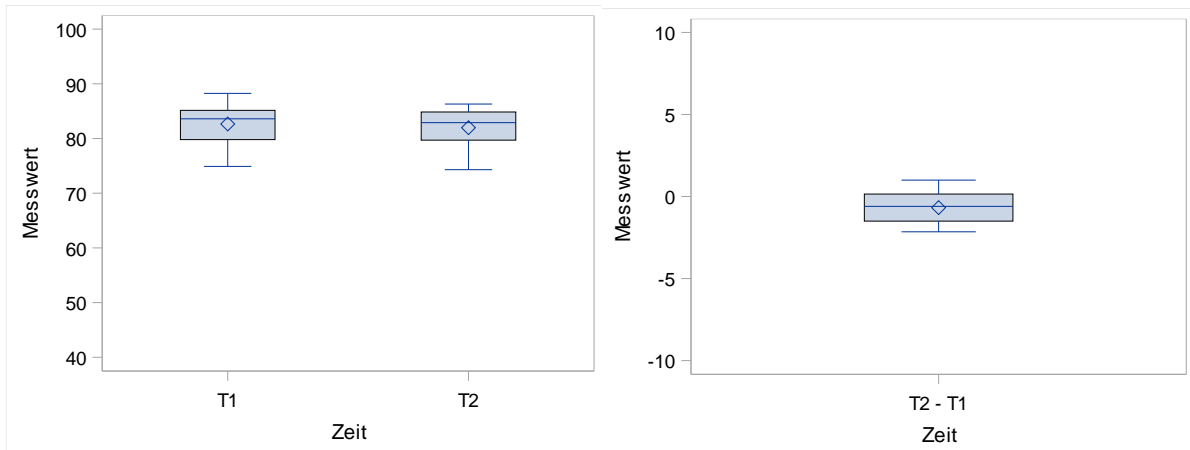
In Gruppe 1 vergrößerte sich SNPg durchschnittlich um $0,43^\circ$ ($p\ 0,1481$). Bei 35% (7) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 55% (11) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $1,80^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $3,10^\circ$. Bei 10% (2) Jugendlichen fand keine Veränderung statt. Der Methodenfehler von $0,31^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich SNPg durchschnittlich um $0,90^\circ$ ($p\ 0,0107$). Bei 23% (4) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 65 % (11) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $1,0^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $4,05^\circ$. Bei 12% (2) Jugendlichen fand keine Veränderung statt. Der Methodenfehler von $0,32^\circ$ wurde berücksichtigt.

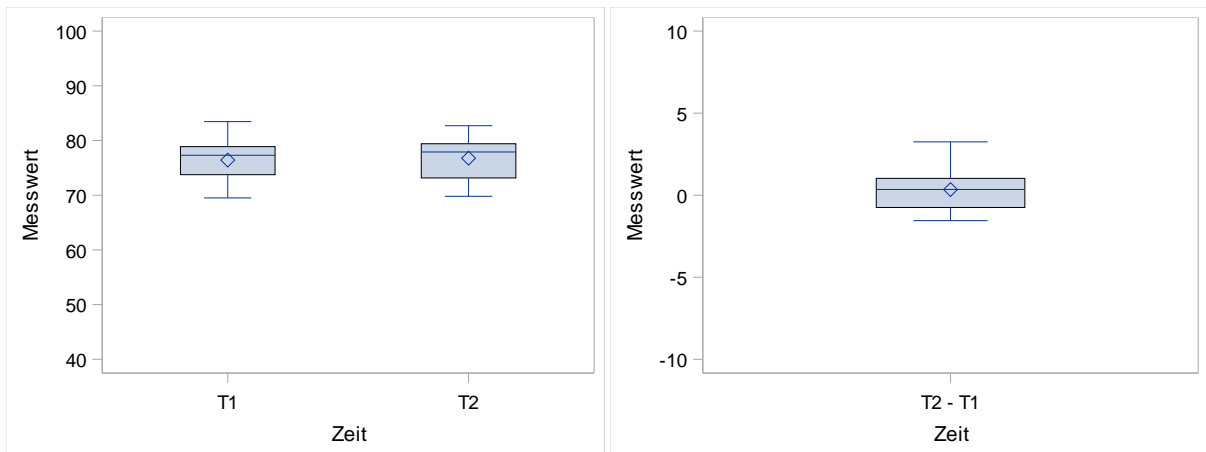
a) SNA – Gruppe 1



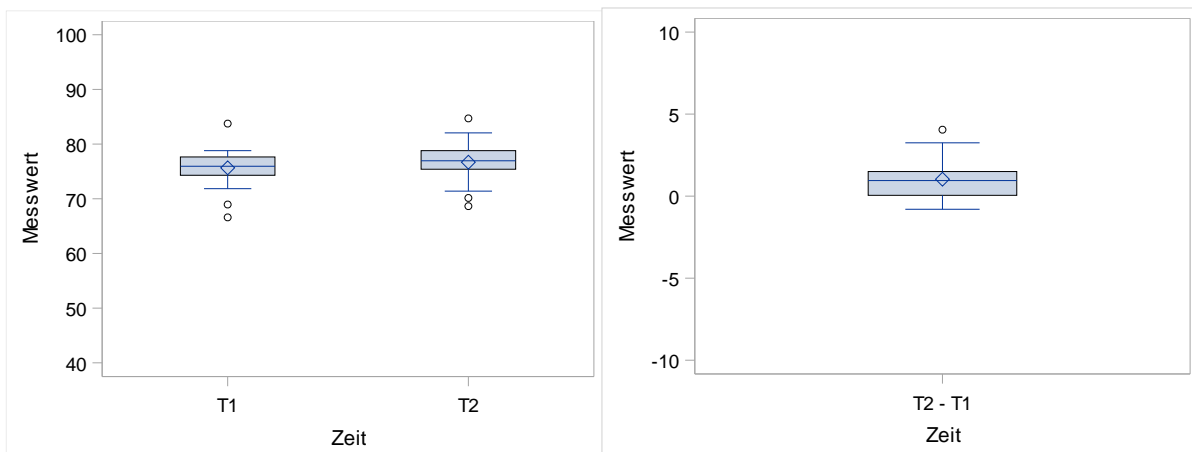
b) SNA – Gruppe 2



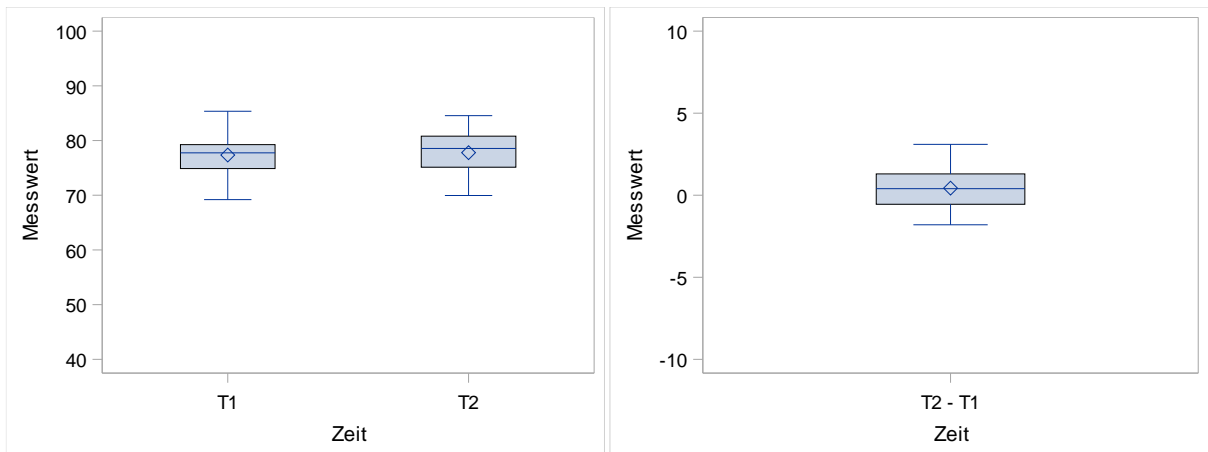
c) SNB – Gruppe 1



d) SNB – Gruppe 2



e) SNPg – Gruppe 1



f) SNPg – Gruppe 2

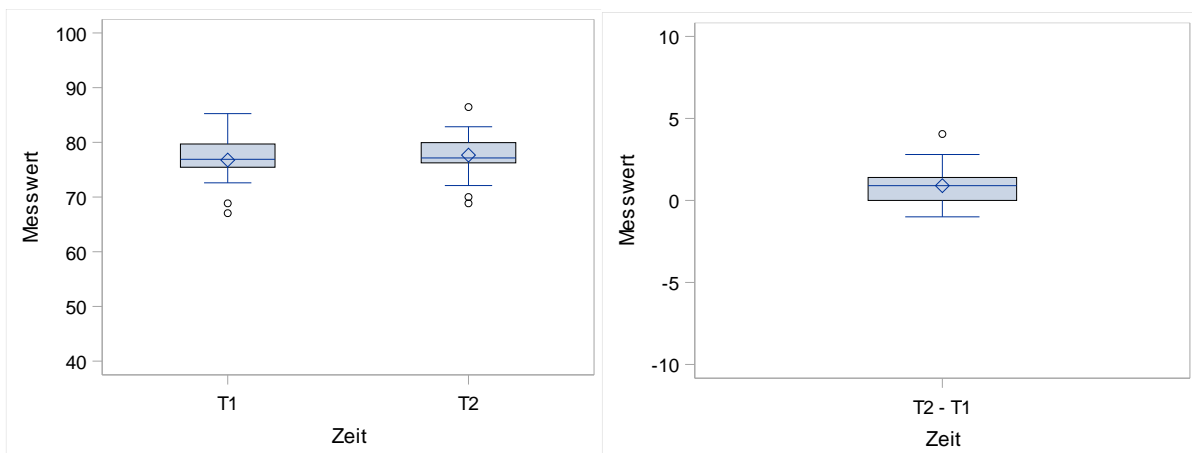
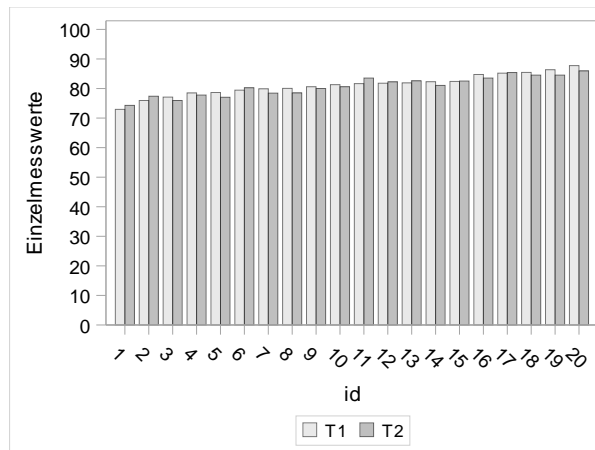
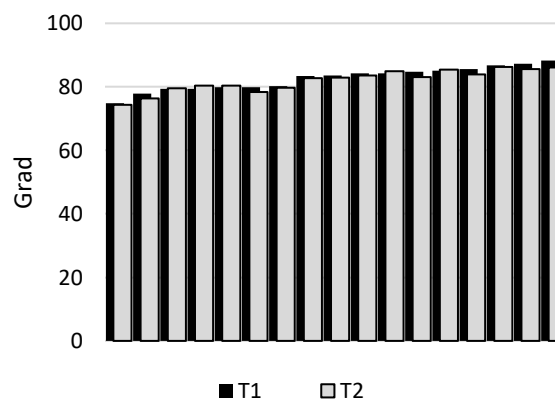


Abbildung 24: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung der sagittalen Kieferrelation mit der Winkel a) SNA von Gruppe 1 b) SNA von Gruppe 2 c) SNB von Gruppe 1 d) SNB von Gruppe 2 e) SNPg von Gruppe 1 f) SNPg von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten

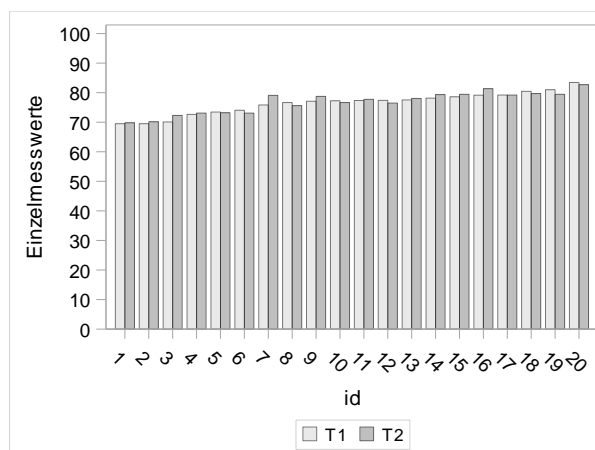
a) SNA – Gruppe 1



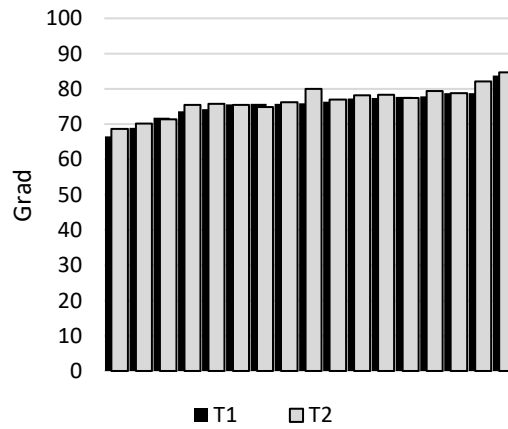
b) SNA – Gruppe 2



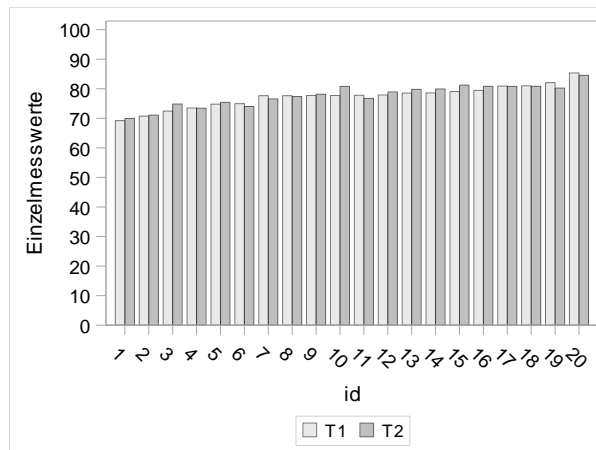
c) SNB – Gruppe 1



SNB – Gruppe 2



SNPg – Gruppe 1



SNPg – Gruppe 2

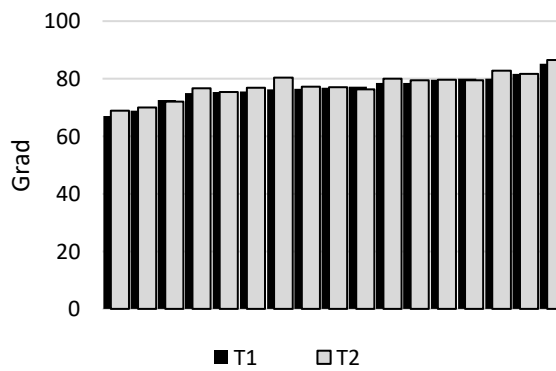


Abbildung 25: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der sagittalen Kieferrelation mit der Winkel a) SNA von Gruppe 1 b) SNA von Gruppe 2 c) SNB von Gruppe 1 d) SNB von Gruppe 2 e) ANPg von Gruppe 1 f) ANPg von Gruppe 2 von vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

ANPg Sagittale Kieferbasisrelation (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 26, 27)

In Gruppe 1 verkleinerte sich ANPg durchschnittlich um $0,81^\circ$ (p 0,0072). Bei 85% (17) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 15% (3) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $3,60^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $1,75^\circ$. Der Methodenfehler von $0,42^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 verkleinerte sich ANPg durchschnittlich um $1,57^\circ$ (p 0,0002). Bei 94% (16) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 6% (1) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $4,45^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $0,35^\circ$. Der Methodenfehler von $0,32^\circ$ wurde berücksichtigt.

ANB Sagittale Kieferbasisrelation (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 26, 27)

In Gruppe 1 verkleinerte sich ANB durchschnittlich um $0,74^\circ$ (p 0,0118). Bei 85% (17) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 15% (3) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $3,90^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $1,75^\circ$. Der Methodenfehler von $0,37^\circ$ wurde berücksichtigt.

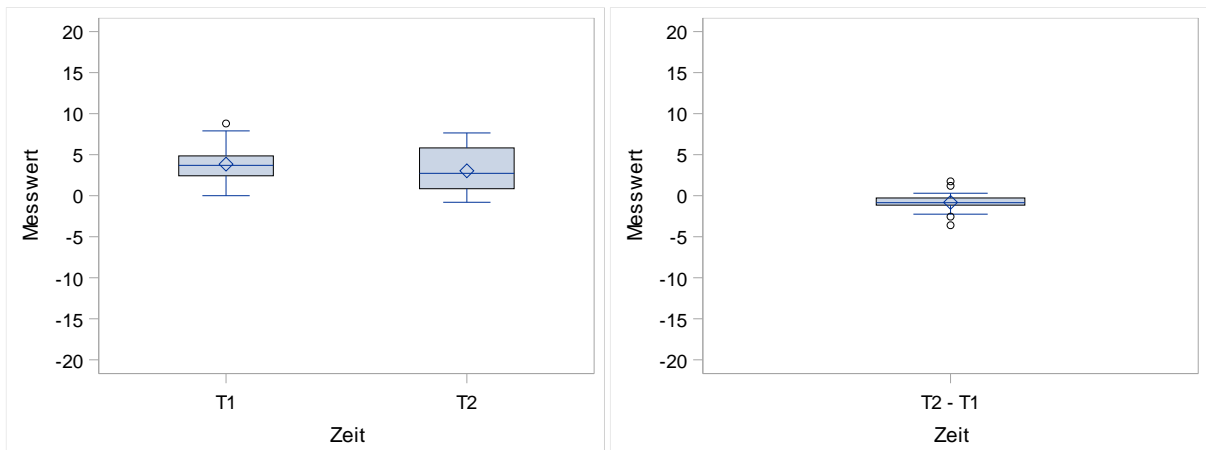
In Gruppe 2 verkleinerte sich ANB durchschnittlich um $1,70$ ($<$ 0,0001). Bei 94% (16) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 6% (1) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $4,50^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $0,40^\circ$. Der Methodenfehler von $0,33^\circ$ wurde berücksichtigt.

Wits Sagittale Kieferbasisrelation (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 26, 27)

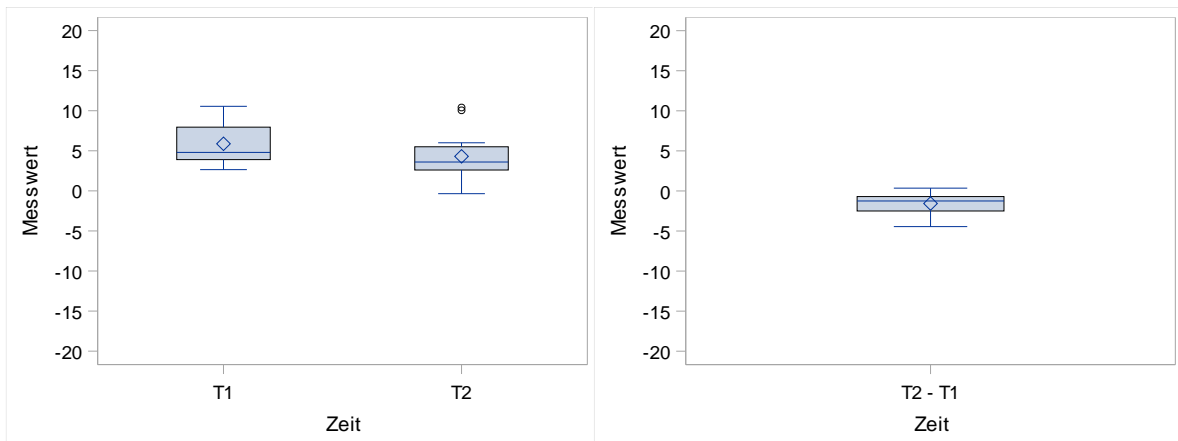
In Gruppe 1 verkleinerte sich Wits durchschnittlich um 2,52 mm (p 0,0011). Bei 80% (16) der Jugendlichen verkleinerte sich der Wits-Wert, während er sich bei 20% (4) vergrößerte. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 8,65 mm und die maximale Vergrößerung bei 3,00 mm. Der Methodenfehler von 0,69 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 verkleinerte sich Wits durchschnittlich um 9,68 mm (p <0,0001). Bei 100% (17) der Jugendlichen verkleinerte sich der Wits-Wert. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 5,10 mm. Der Methodenfehler von 0,57 mm wurde berücksichtigt.

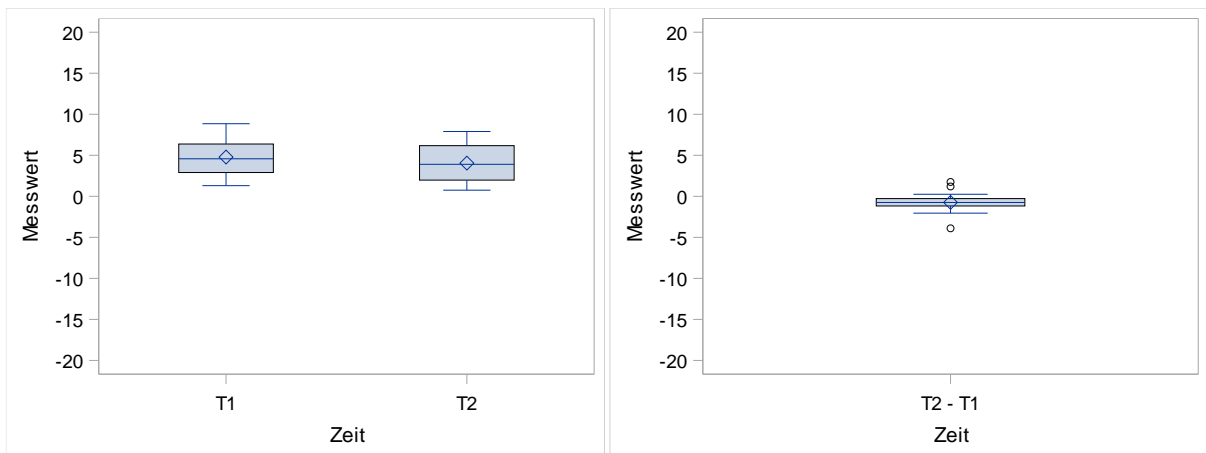
a) ANPg – Gruppe 1



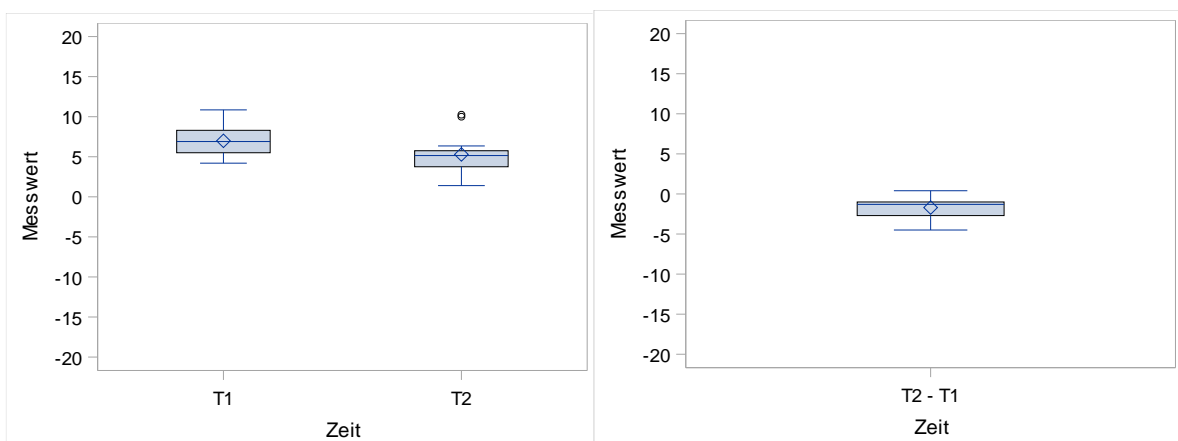
b) ANPg – Gruppe 2



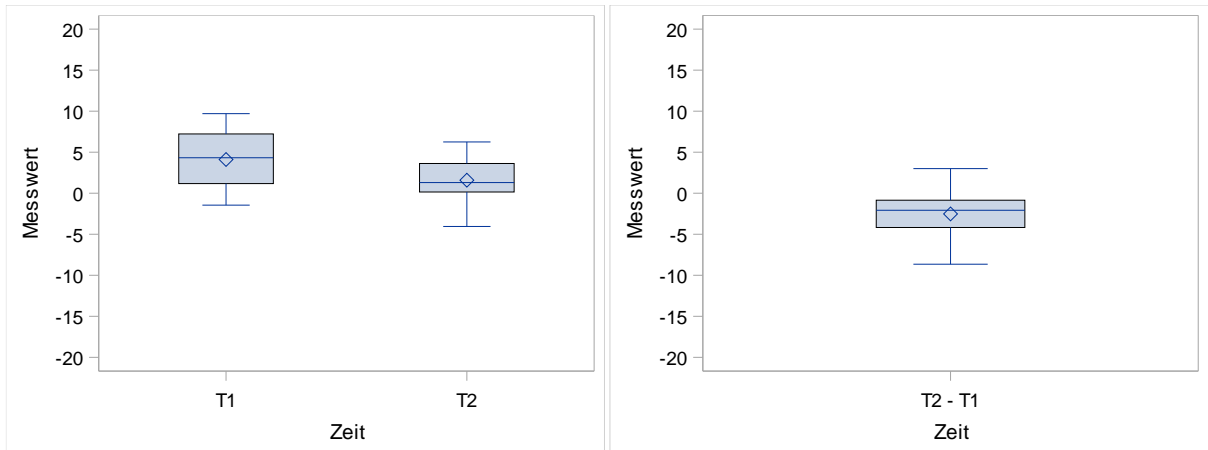
c) ANB – Gruppe 1



d) ANB – Gruppe 2



e) Wits – Gruppe 1



f) Wits – Gruppe 2

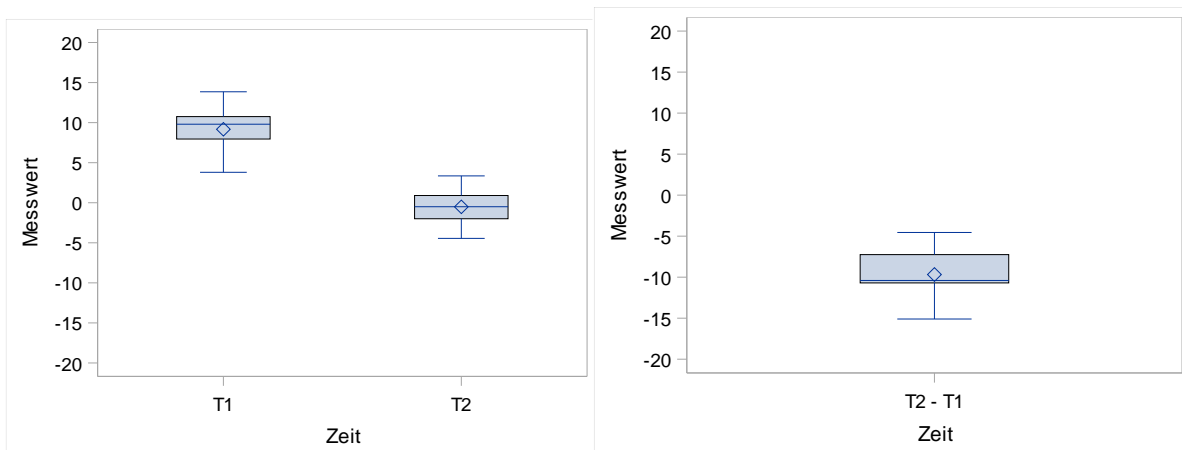
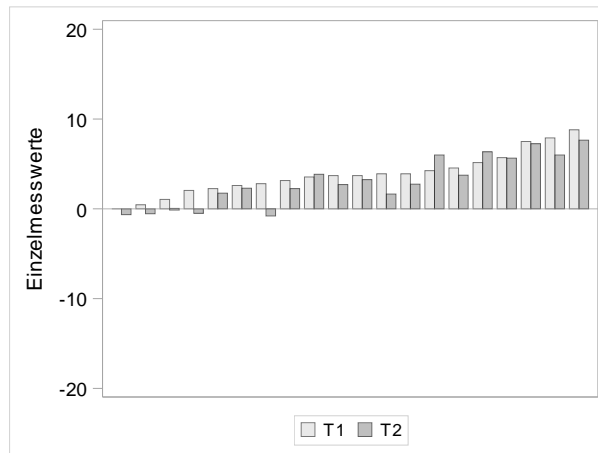
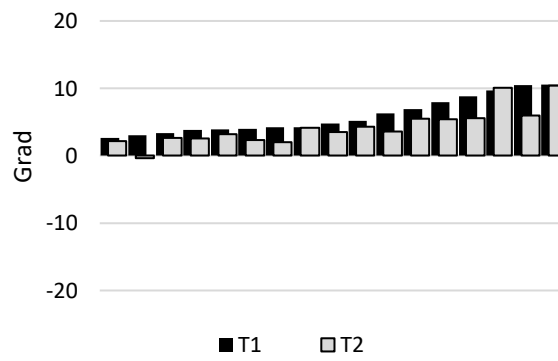


Abbildung 26: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung der sagittalen Kieferrelation mit der Winkel a) ANPg von Gruppe 1 b) ANPg von Gruppe 2 c) ANB von Gruppe 1 d) ANB von Gruppe 2 e) Wits-Wert von Gruppe 1 f) Wits-Wert von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten

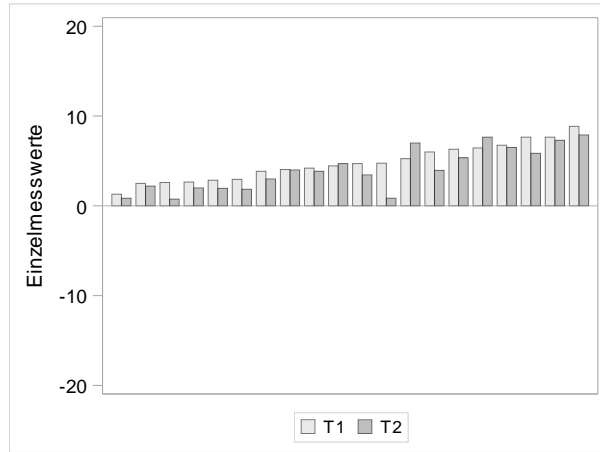
ANPg – Gruppe 1



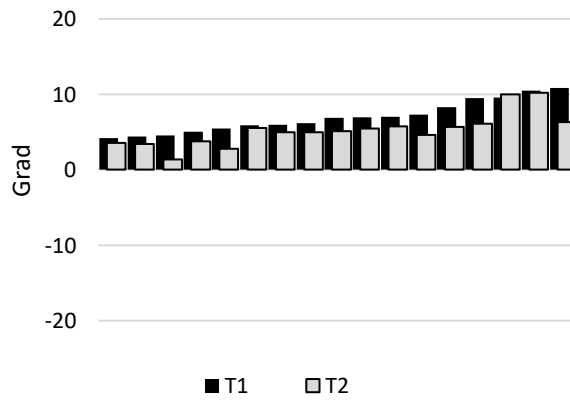
ANPg – Gruppe 2



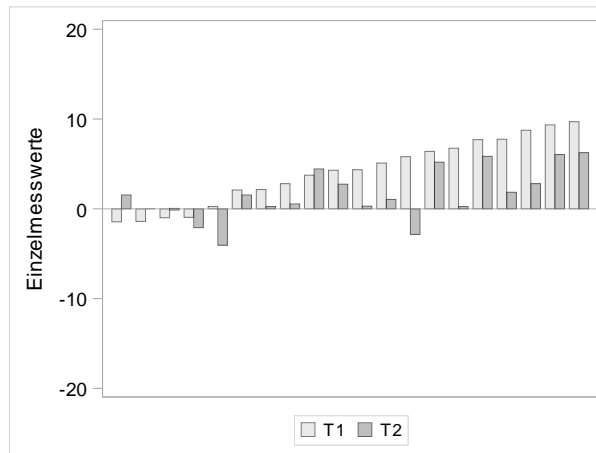
ANB – Gruppe 1



ANB – Gruppe 2



Wits – Gruppe 1



Wits – Gruppe 2

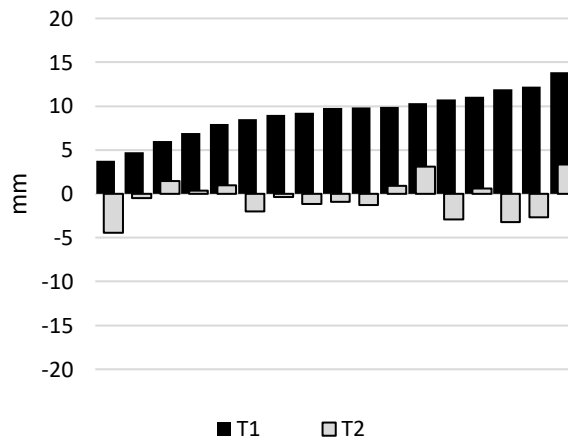


Abbildung 27: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der sagittalen Kieferbasisrelation mit der Winkel a) ANPg von Gruppe 1 b) ANPg von Gruppe 2 c) ANB von Gruppe 1 d) ANB von Gruppe 2 e) des Wits-Wert von Gruppe 1 f) des Wits-Wert von Gruppe 2 von vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

4.1.2 Vertikale Kieferrelation

ML/NSL Neigung der Mandibula zur vorderen Schädelbasis (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 28, 29)

In Gruppe 1 verkleinerte sich ML/NSL durchschnittlich um $0,14^\circ$ (p 0,6852). Bei 50% (10) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 45% (9) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $2,45^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $2,65^\circ$. Bei 5% (1) der Jugendlichen gab es keine Veränderung des Winkels. Der Methodenfehler von $0,53^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich ML/NSL durchschnittlich um $0,26^\circ$ (p 0,4864). Bei 41% (7) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 47 % (8) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $2,85^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $2,65^\circ$. Bei 12% (2) der Jugendlichen gab es keine Veränderung des Winkels. Der Methodenfehler von $0,33^\circ$ wurde berücksichtigt.

NL/NSL Neigung der Maxilla zur vorderen Schädelbasis (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 28, 29)

In Gruppe 1 vergrößerte sich NL/NSL durchschnittlich um $0,93^\circ$ (p 0,1875). Bei 30% (6) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 65% (13) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $9,05^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $5,65^\circ$. Bei 5% (1) fand keine Veränderung des Winkels statt. Der Methodenfehler von $0,66^\circ$ wurde berücksichtigt.

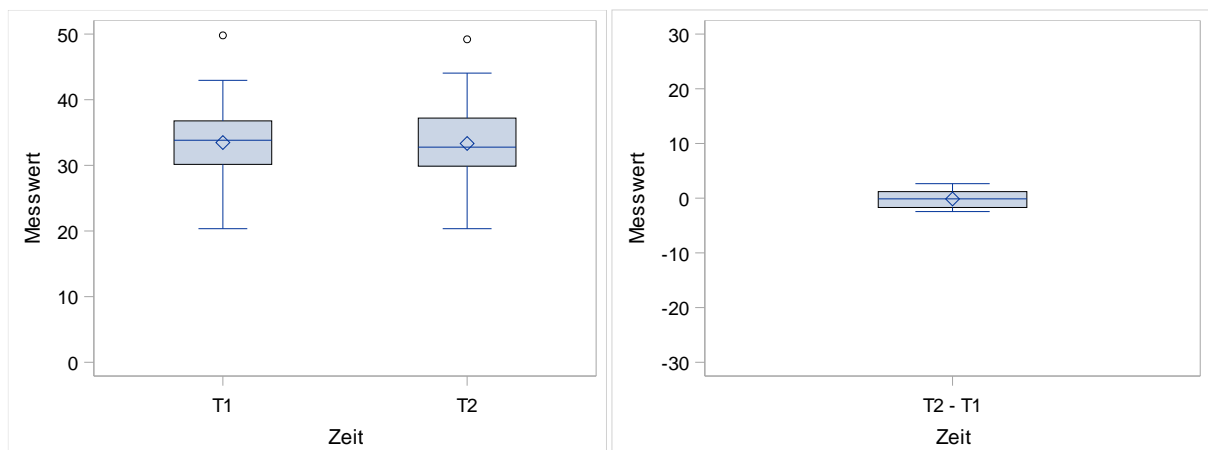
In Gruppe 2 vergrößerte sich NL/NSL durchschnittlich um $0,78^\circ$ (p 0,0022). Bei 12% (2) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 82 % (14) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $0,80$ und die maximale Vergrößerung bei $2,50^\circ$. Bei 6% (1) fand keine Veränderung des Winkels statt. Der Methodenfehler von $0,59^\circ$ wurde berücksichtigt.

ML/NL Neigung der Mandibula zur Maxilla (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 28, 29)

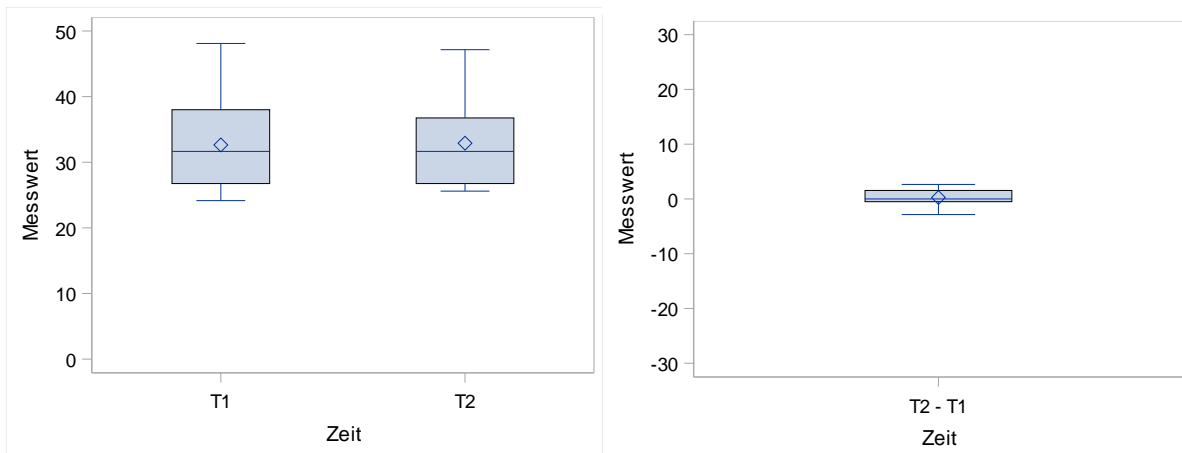
In Gruppe 1 verkleinerte sich ML/NL durchschnittlich um $1,08^\circ$ (p 0,0880). Bei 65% (13) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 35% (7) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $4,95^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $6,85^\circ$. Der Methodenfehler von $0,66^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 verkleinerte sich ML/NL durchschnittlich um $0,51^\circ$ (p 0,2026). Bei 65% (11) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 35% (6) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $3,20^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $2,70^\circ$. Der Methodenfehler von $0,70^\circ$ wurde berücksichtigt.

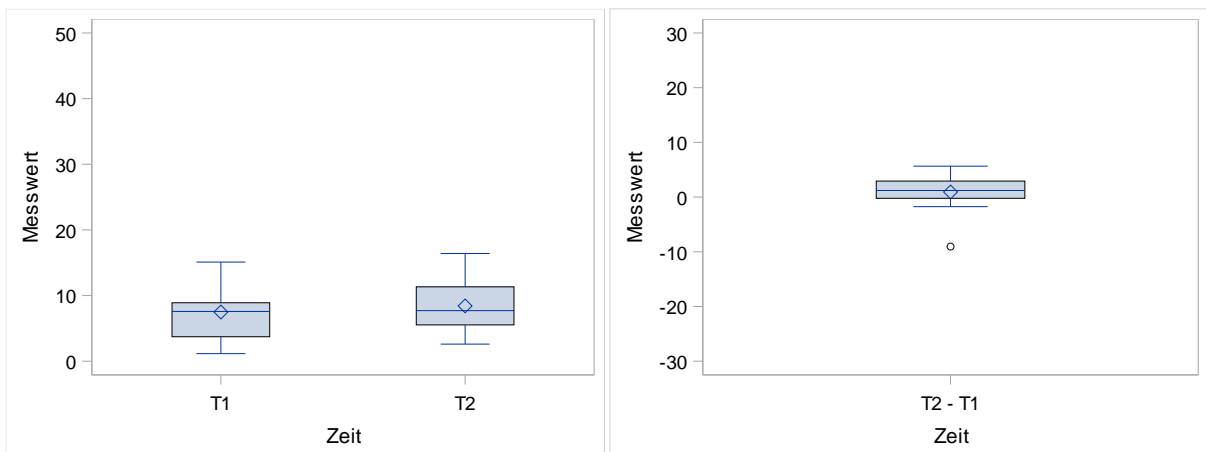
a) ML/NSL – Gruppe 1



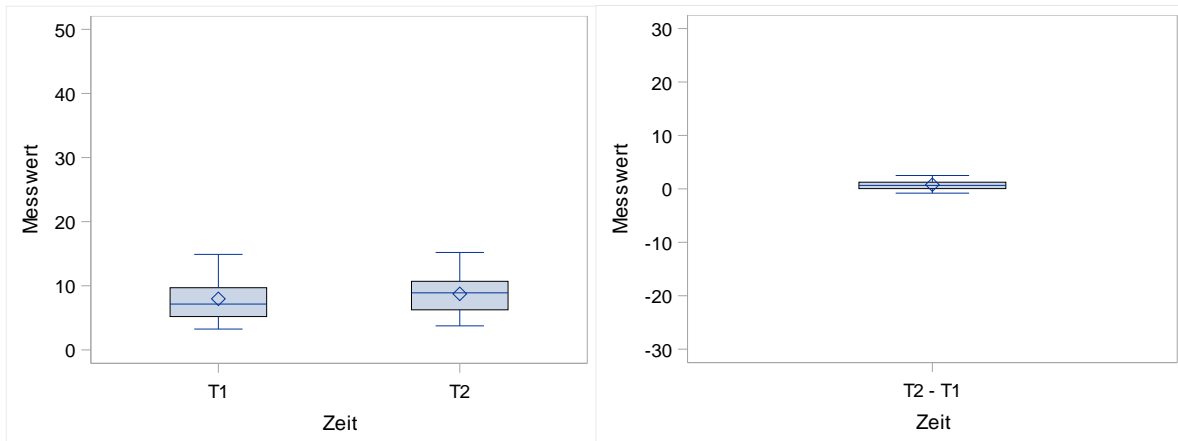
b) ML/NSL – Gruppe 2



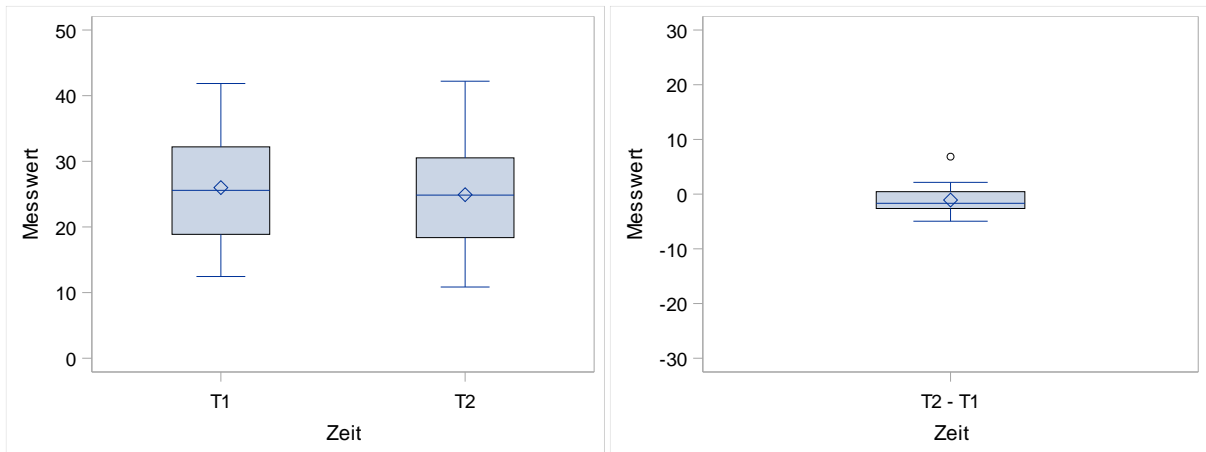
c) NL/NSL – Gruppe 1



d) NL/NSL – Gruppe 2



e) ML/NL – Gruppe 1



f) ML/NL – Gruppe 2

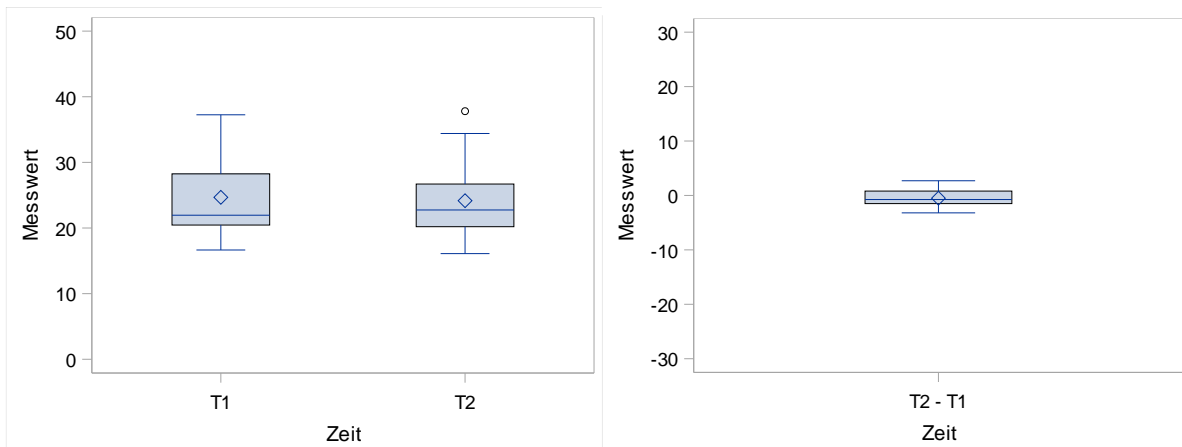
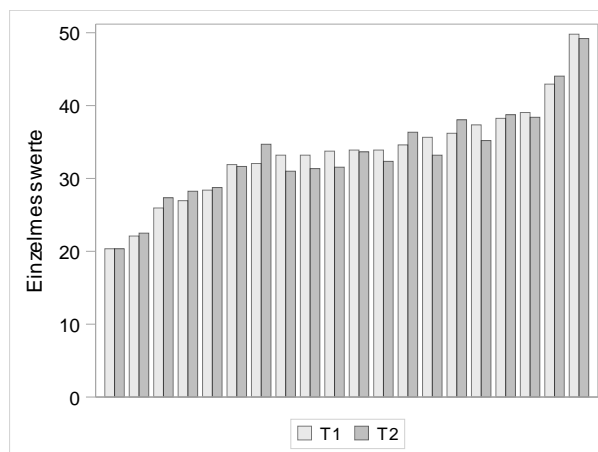
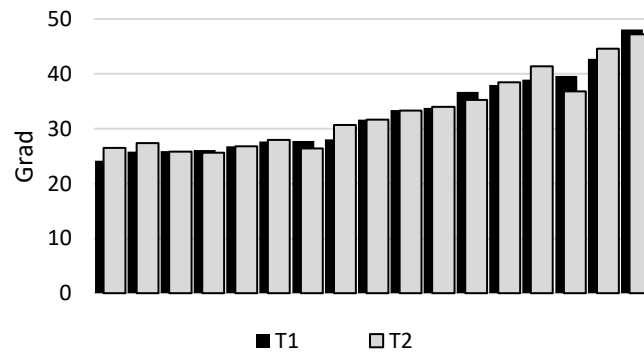


Abbildung 28: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung der vertikalen Kieferrelation mit der Winkel a) ML/NSL von Gruppe 1 b) ML/NSL von Gruppe 2 c) NL/NSL von Gruppe 1 d) NL/NSL von Gruppe 2 e) ML/NL von Gruppe 1 f) ML/NL von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten

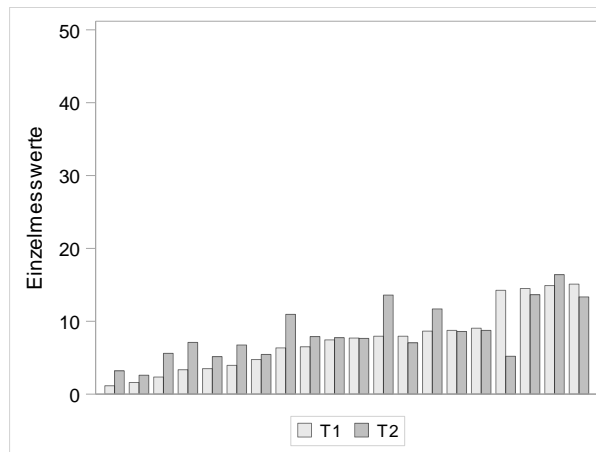
ML/NSL – Gruppe 1



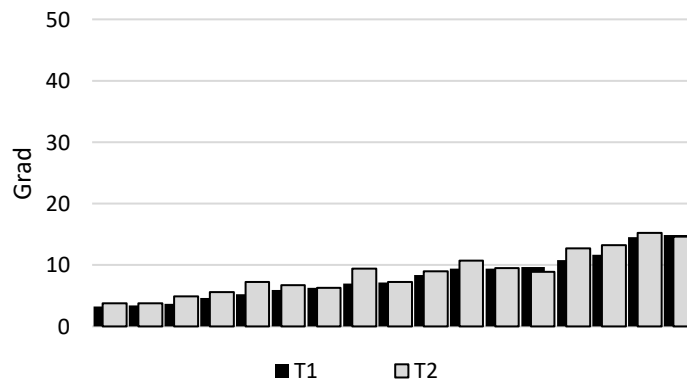
ML/NSL – Gruppe 2



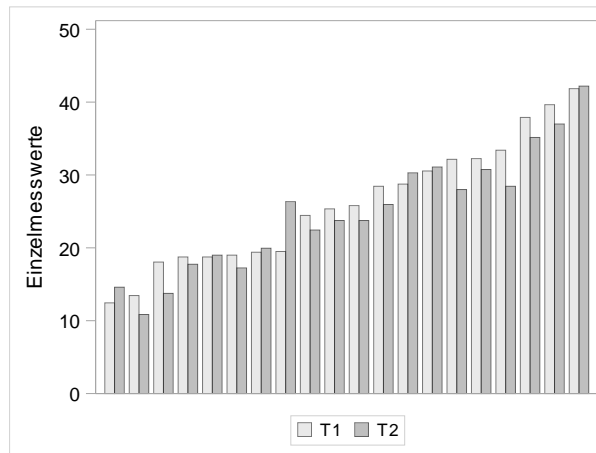
NL/NSL – Gruppe 1



NL/NSL – Gruppe 2



ML/NL – Gruppe 1



ML/NL – Gruppe 2

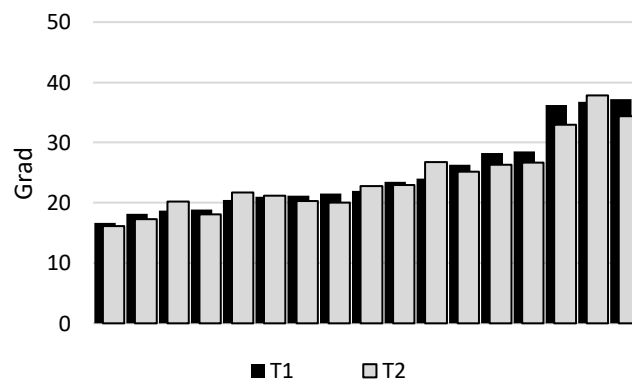


Abbildung 29: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der vertikalen Kieferbasisrelation mit der Winkel a) ML/NSL von Gruppe 1 b) ML/NSL von Gruppe 2 c) NL/NSL von Gruppe 1 d) NL/NSL von Gruppe 2 e) ML/NL von Gruppe 1 f) ML/NL von Gruppe 2 von vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

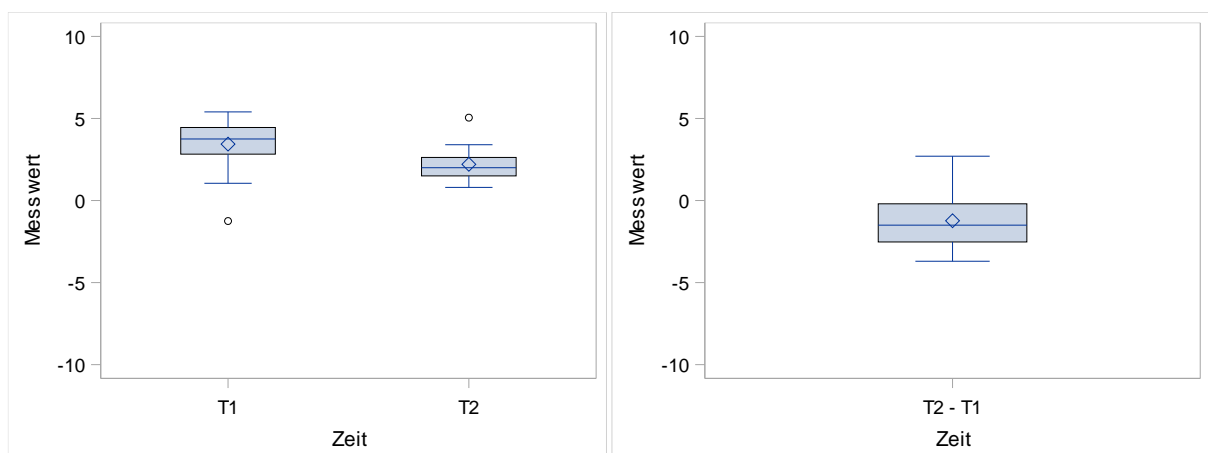
4.1.3 Frontzahnüberbiss

Overbite (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 30, 31)

In Gruppe 1 verkleinerte sich der Overbite durchschnittlich um 1,23 mm (p 0,0032). Bei 80% (16) der Jugendlichen kam es zu einer Verkleinerung des Overbite-Wertes, wohingegen sich der Wert bei 20% (4) vergrößerte. Die maximale Verkleinerung betrug 3,70 mm, die maximale Vergrößerung 2,70 mm. Der Methodenfehler von 0,39 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 verkleinerte sich der Overbite durchschnittlich um 4,16 mm (p <0,0001). Bei 100% (17) der Jugendlichen kam es zu einer Verkleinerung des Overbite-Wertes. Die maximale Verkleinerung betrug 6,70 mm. Der Methodenfehler von 0,15 mm wurde berücksichtigt.

a) Overbite – Gruppe 1



Overbite – Gruppe 2

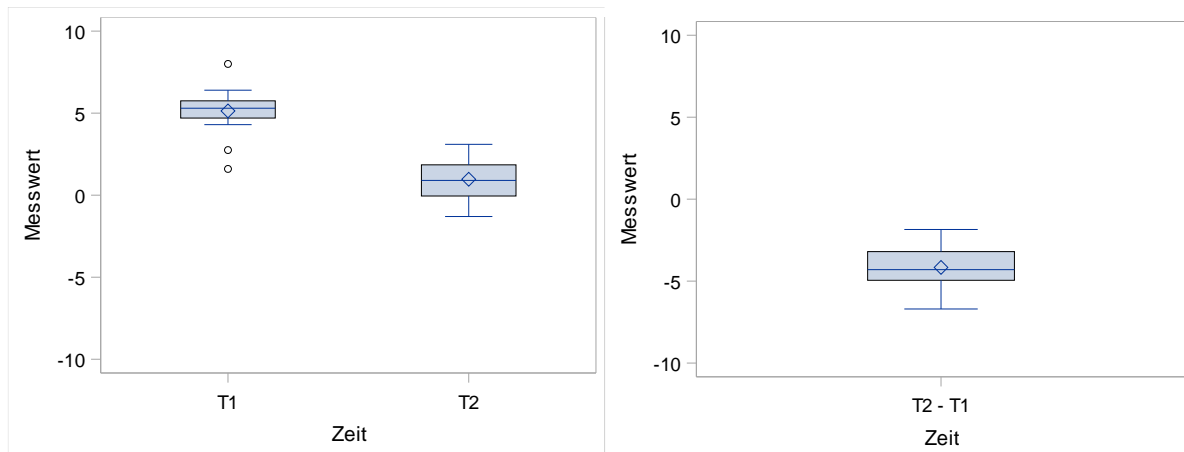
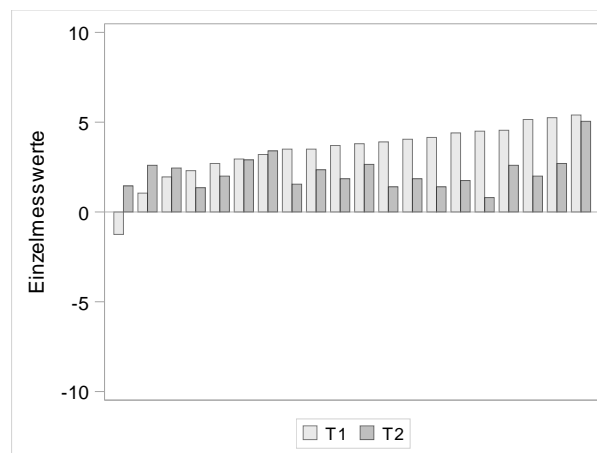


Abbildung 30: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung des vertikalen Frontzahnüberbisses (Overbite) a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 von vor und nach der Behandlung aller Patienten

Overbite – Gruppe 1



Overbite – Gruppe 2

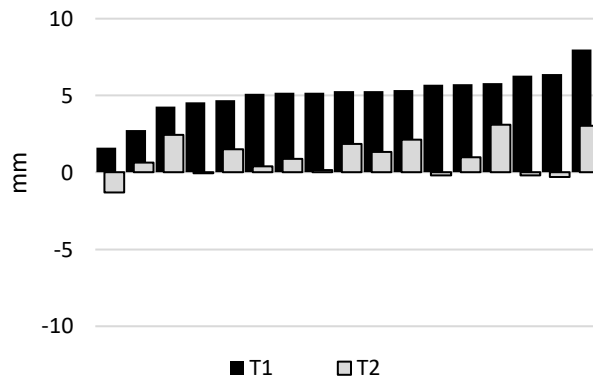


Abbildung 31: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung des vertikalen Frontzahnüberbisses (Overbite) von vor (T1) und nach (T2) der Behandlung bei a) Gruppe 1 und b) Gruppe 2 von allen Patienten

4.1.4 Gesichtshöhe

Spp-Go` x 100 / S-Go´ hinterer unterer Gesichtshöhen-Index (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 32, 33)

In Gruppe 1 vergrößerte sich der Index der vorderen unteren Gesichtshöhe durchschnittlich um 0,86 (p 0,0437). Bei 80% (16) der Jugendlichen war eine Vergrößerung des Index festzustellen. Bei 15% (3) der Jugendlichen verkleinerte sich der Index und bei 5% (1) fand keine Veränderung statt. Die maximale Vergrößerung lag bei 13,45, während die maximale Verkleinerung 32,30 betrug. Der Methodenfehler von 0,94 wurde berücksichtigt.

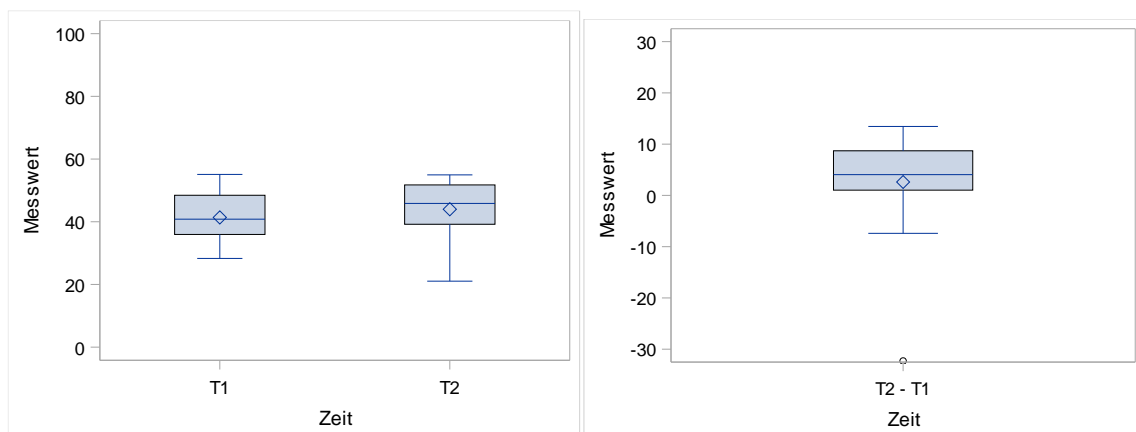
In Gruppe 2 vergrößerte sich der Index der vorderen unteren Gesichtshöhe durchschnittlich um 0,77 (p 0,0002). Bei 100% (17) der Jugendlichen war eine Vergrößerung des Index festzustellen. Dabei lag die maximale Vergrößerung bei 5,80. Der Methodenfehler von 0,93 wurde berücksichtigt.

Spa-Gn x 100 / N-Gn vorderer unterer Gesichtshöhen-Index (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 32, 33)

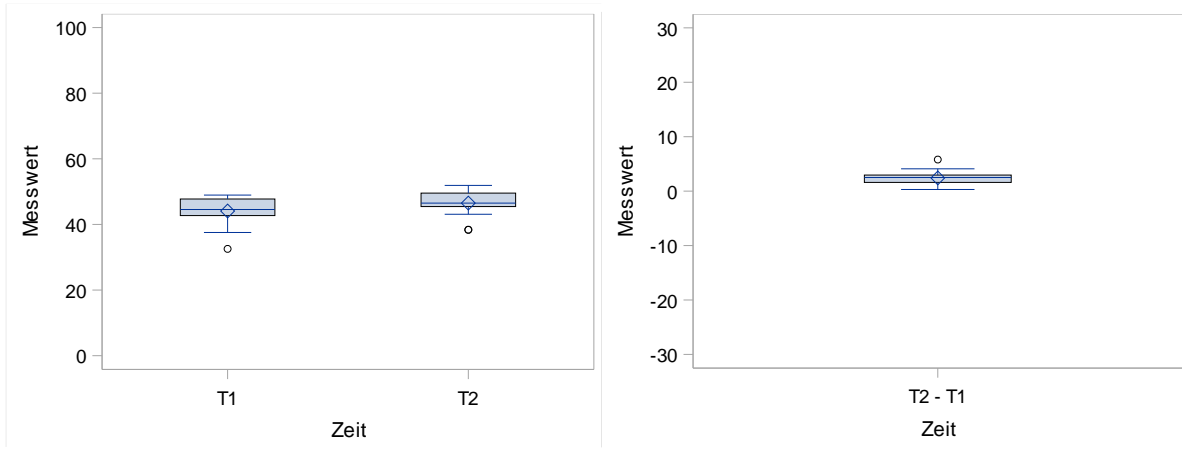
In Gruppe 1 vergrößerte sich der Index der hinteren unteren Gesichtshöhe durchschnittlich um 2,62 (p 0,2327). Bei 30% (6) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 70% (14) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Index festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 2,90 und die maximale Vergrößerung bei 4,45. Der Methodenfehler von 0,24 wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich der der Index der hinteren unteren Gesichtshöhe durchschnittlich um 2,42 (p <0,0001). Bei 12 % (2) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 88% (15) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Index festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 0,30 und die maximale Vergrößerung bei 1,95. Der Methodenfehler von 0,27 wurde berücksichtigt.

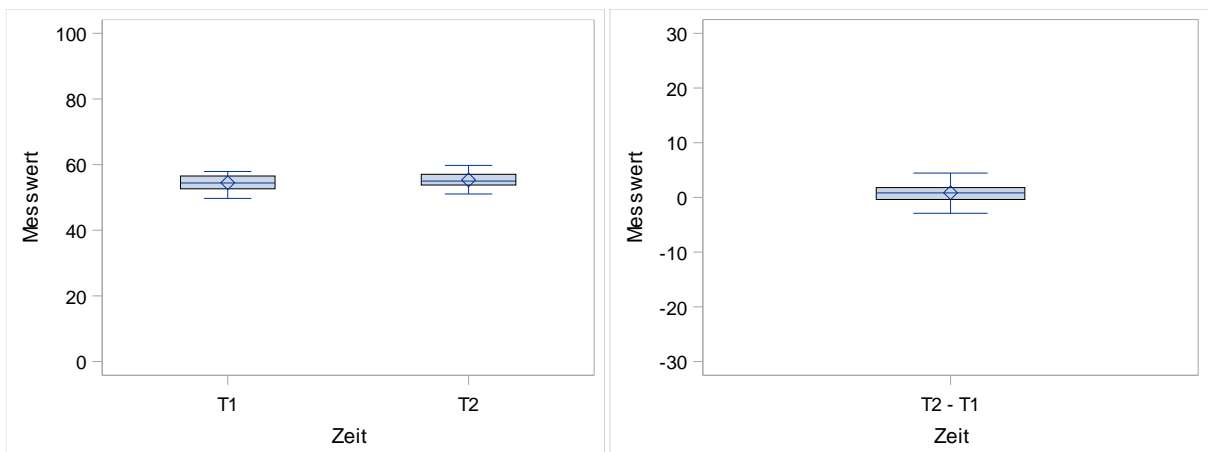
a) Spp-Go` x 100 / S-Go´ - Gruppe 1



b) Spp-Go` x 100 / S-Go´ - Gruppe 2



c) Spa-Gn x 100 / N-Gn – Gruppe 1



d) Spa-Gn x 100 / N-Gn – Gruppe 2

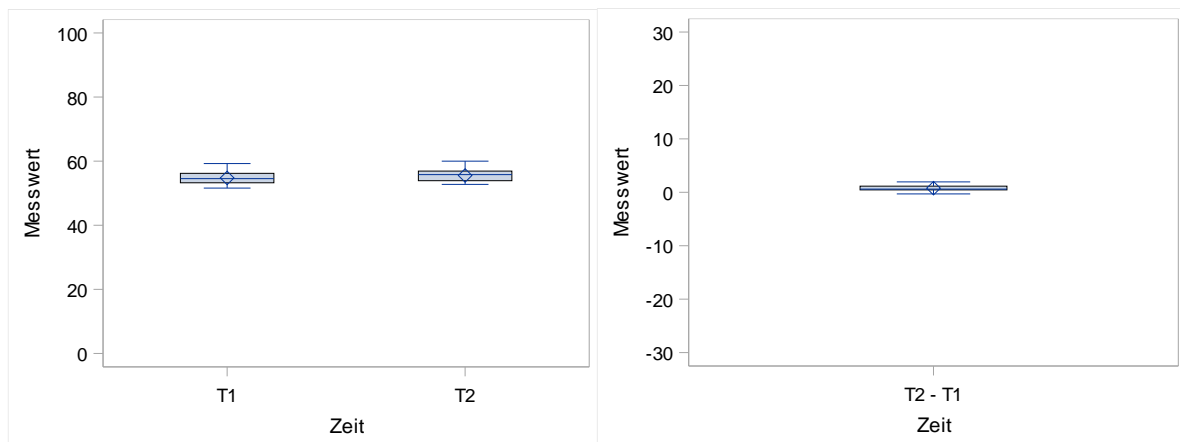
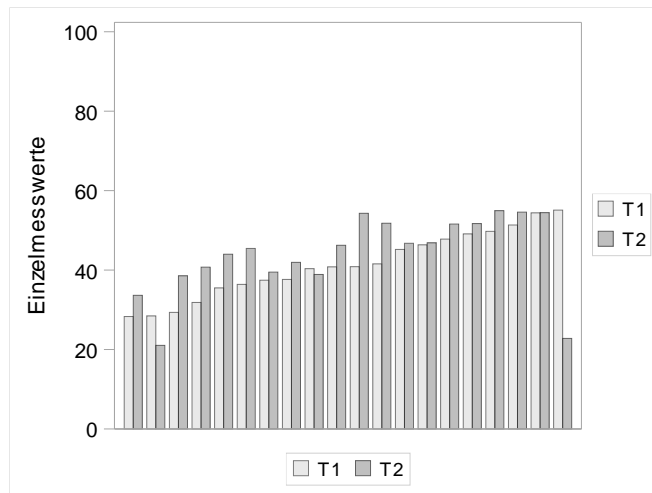
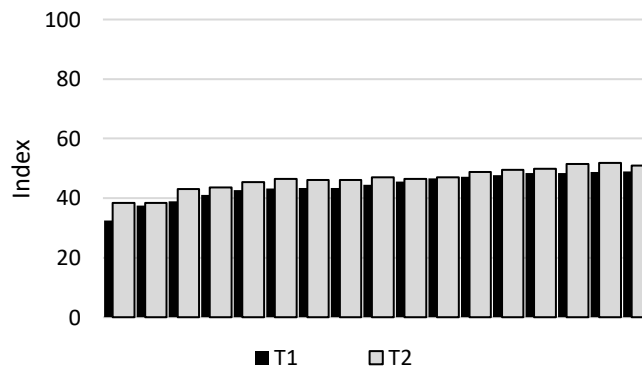


Abbildung 32: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Visualisierung der a) hinteren unteren Gesichtshöhe von Gruppe 1 b) hinteren unteren Gesichtshöhe von Gruppe 2 c) vorderen unteren Gesichtshöhe von Gruppe 1 d) vorderen unteren Gesichtshöhe von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten

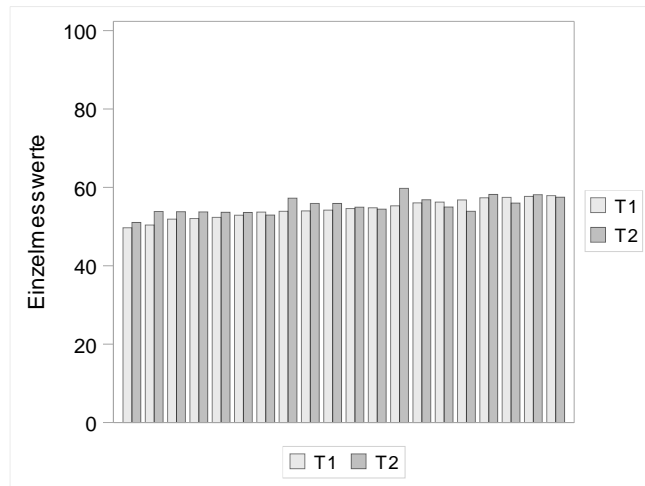
a) Spp-Go` x 100 / S-Go´ - Gruppe 1



b) Spp-Go` x 100 / S-Go´ - Gruppe 2



c) Spa-Gn x 100 / N-Gn – Gruppe 1



d) Spa-Gn x 100 / N-Gn – Gruppe 2

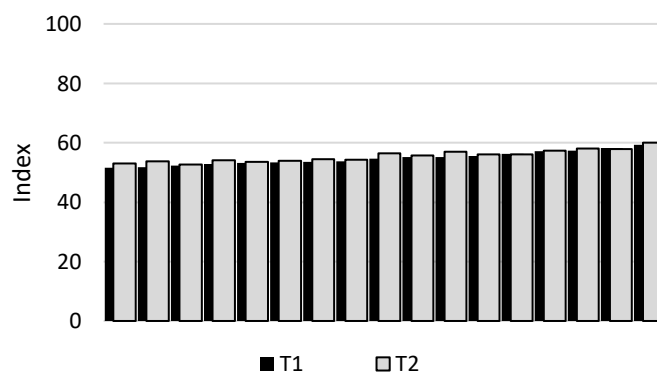


Abbildung 33: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der a) vorderen unteren Gesichtshöhe (Spa-Gn x 100/N-Gn) von Gruppe 1 b) vorderen unteren Gesichtshöhe (Spa-Gn x 100/N-Gn) von Gruppe 2 c) hinteren unteren Gesichtshöhe (Spp-Go' x 100/S-Go') von Gruppe 1 d) hinteren unteren Gesichtshöhe (Spp-Go' x 100/S-Go') von Gruppe 2 mit des Index vor (T1) und nach (T2) der Behandlung von allen Patienten

4.1.5 Profilkonvexität

N-A-Pg Hartgewebe-Profilwinkel (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 34, 35)

In Gruppe 1 vergrößerte sich N-A-Pg durchschnittlich um $1,52^\circ$ (p 0,0148). Bei 15% (3) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 80% (16) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Bei 5% (1) der Jugendlichen war keine Veränderung zu verzeichnen. Die maximale Verkleinerung lag bei $4,45^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $7,05^\circ$. Der Methodenfehler von $0,88^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich N-A-Pg durchschnittlich um $3,30^\circ$ (p <0,0001). Bei 6% (1) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 94 % (16) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $1,35^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $8,15^\circ$. Der Methodenfehler von $0,74^\circ$ wurde berücksichtigt.

NS-Sn-PgS Weichgewebe-Profilwinkel ohne Einbeziehung der Nase (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 34, 35)

In Gruppe 1 vergrößerte sich NS-Sn-PgS durchschnittlich um $1,95^\circ$ (p 0,0153). Bei 30% (6) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 60% (12) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Bei 10% (2) der Jugendlichen wurde keine Veränderung beobachtet. Die maximale Verkleinerung lag bei $5,80^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $7,70^\circ$. Der Methodenfehler von $1,02^\circ$ wurde berücksichtigt.

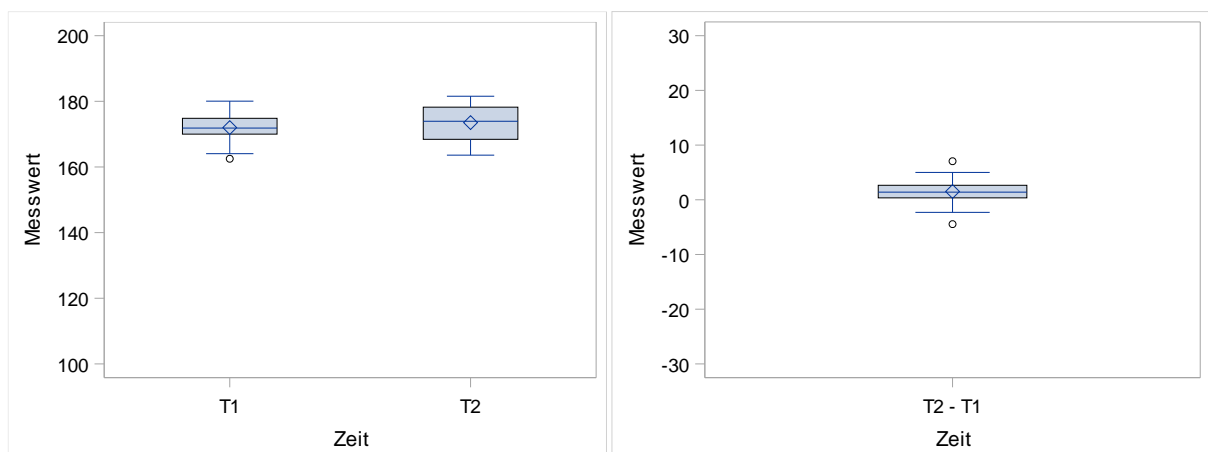
In Gruppe 2 vergrößerte sich NS-Sn-PgS durchschnittlich um $2,63^\circ$ (p 0,0005). Bei 6% (1) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 94 % (16) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $0,80^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $8,95^\circ$. Der Methodenfehler von $0,94^\circ$ wurde berücksichtigt.

NS-No-PgS Weichgewebe-Profilwinkel mit Einbeziehung der Nase (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 34, 35)

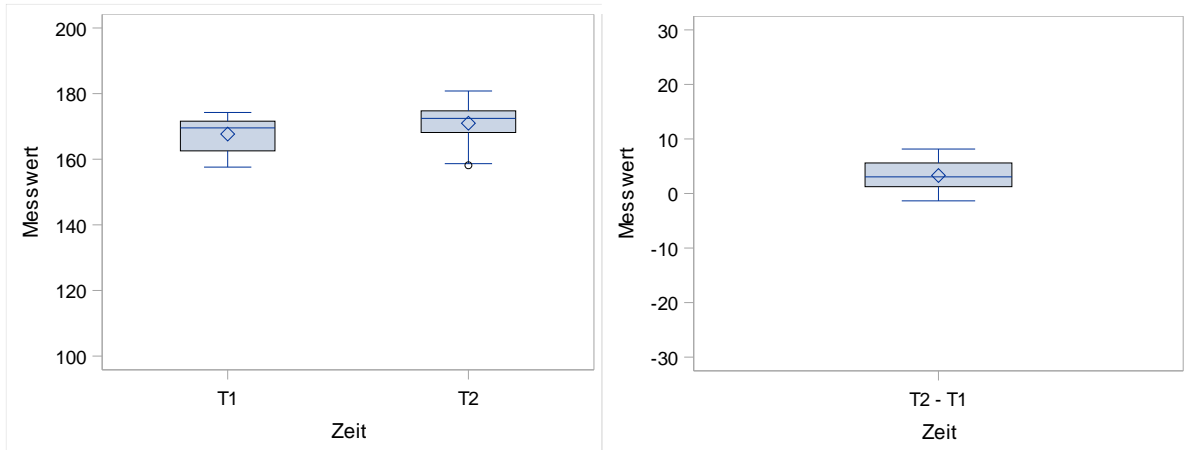
In Gruppe 1 verkleinerte sich NS-No-PgS durchschnittlich um $0,79^\circ$ (p 0,2572). Bei 55% (11) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 40% (8) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Bei 5% (1) der Jugendlichen fand keine Veränderung statt. Die maximale Verkleinerung lag bei $9,05^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $3,05^\circ$. Der Methodenfehler von $1,31^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich NS-No-PgS durchschnittlich um $1,26^\circ$ (p 0,0821). Bei 29% (5) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 71 % (12) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $4,0^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $5,35^\circ$. Der Methodenfehler von $1,09^\circ$ wurde berücksichtigt.

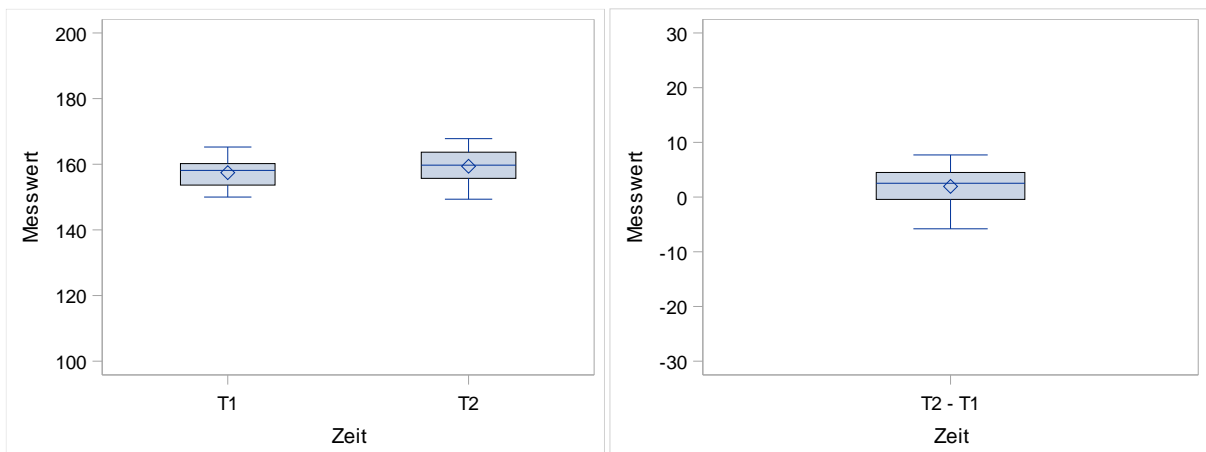
a) N-A-Pg – Gruppe 1



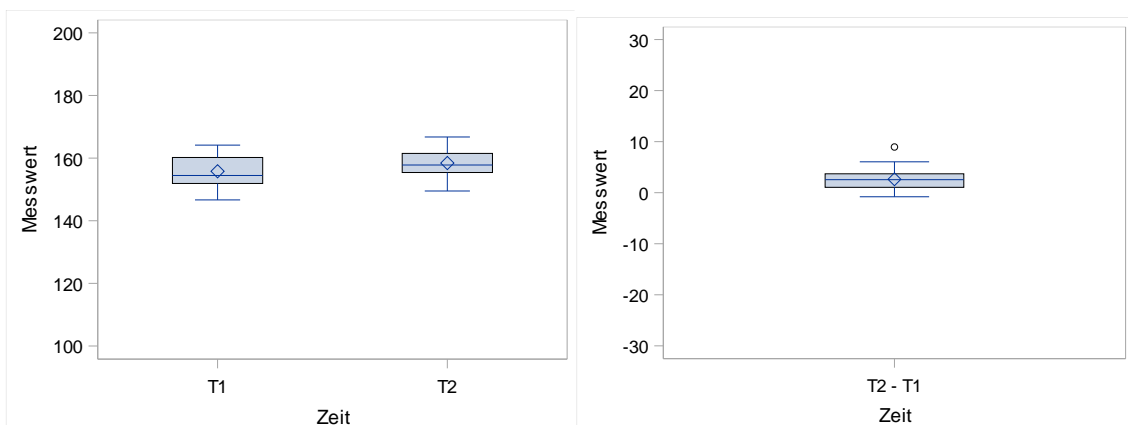
b) N-A-Pg – Gruppe 2



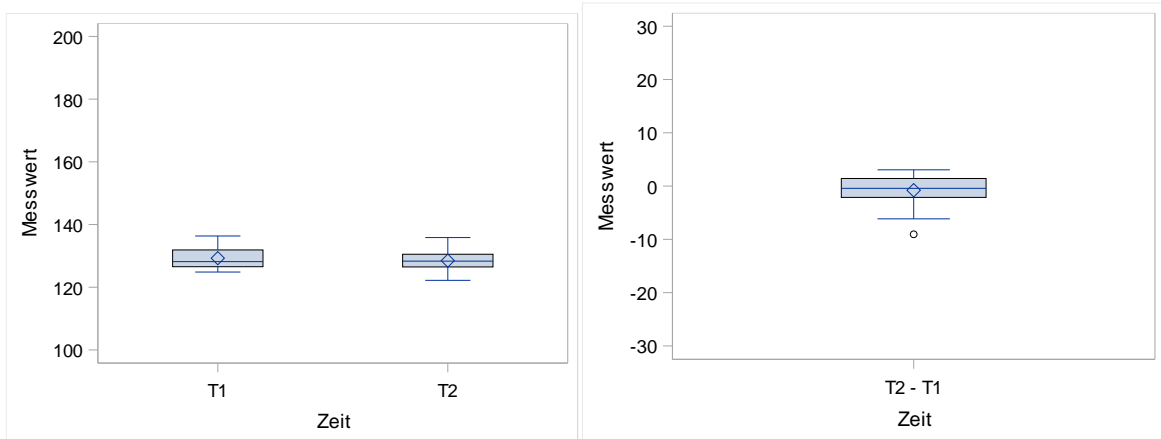
c) NS-Sn-PgS – Gruppe 1



d) NS-Sn-PgS – Gruppe 2



e) NS-No-PgS – Gruppe 1



f) NS-No-PgS – Gruppe 2

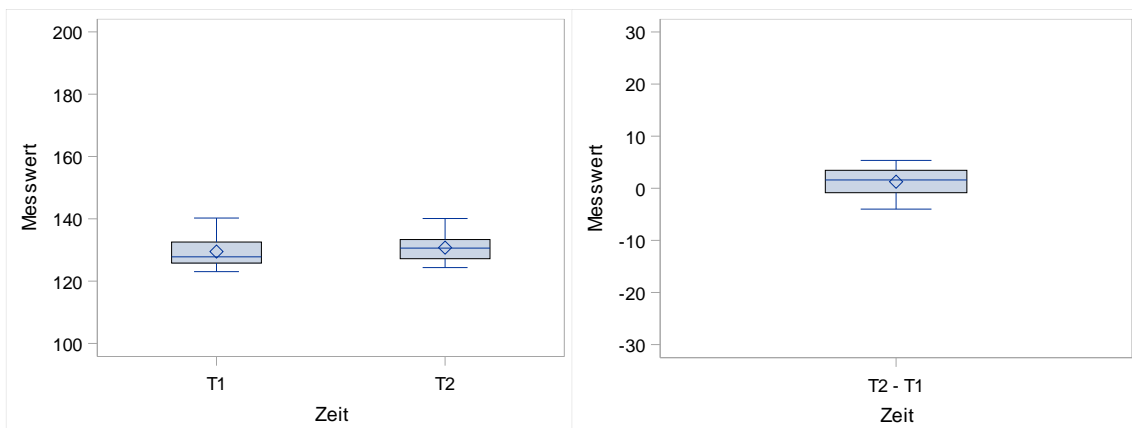
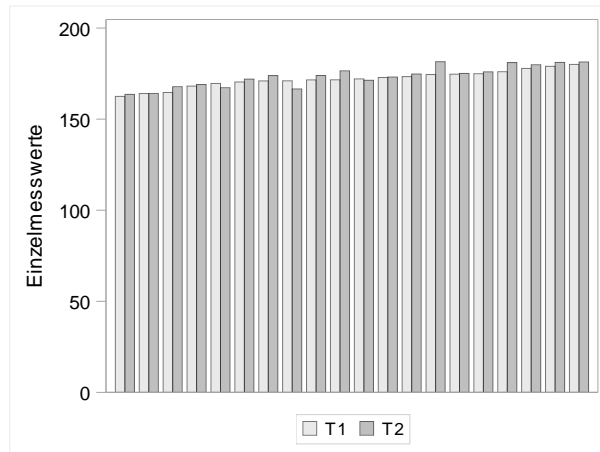
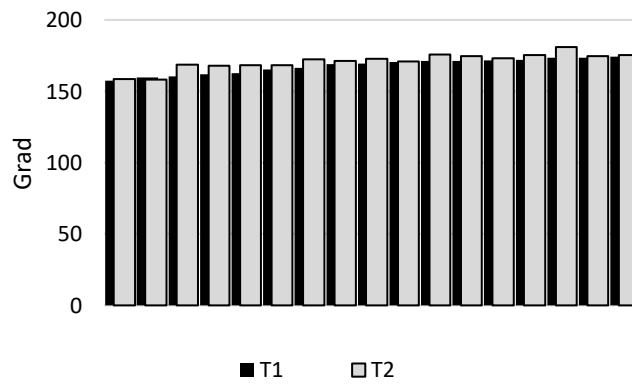


Abbildung 34: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Profilconvexität mit der Winkel a) N-A-Pg von Gruppe 1 b) N-A-Pg von Gruppe 2 c) NS-Sn-PgS von Gruppe 1 d) NS-Sn-PgS von Gruppe 2 e) NS-No-PgS von Gruppe 1 f) NS-No-PgS von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten

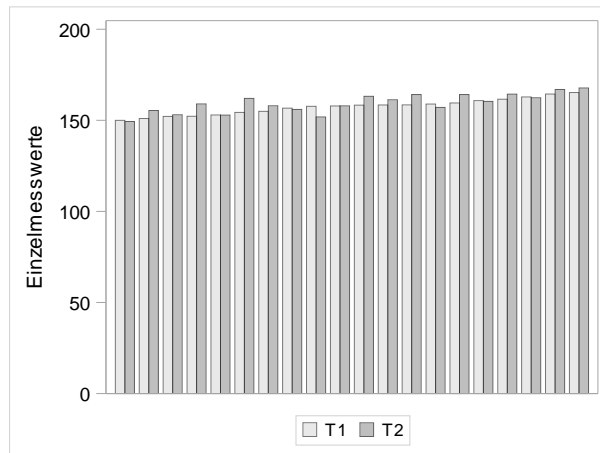
a) N-A-Pg – Gruppe 1



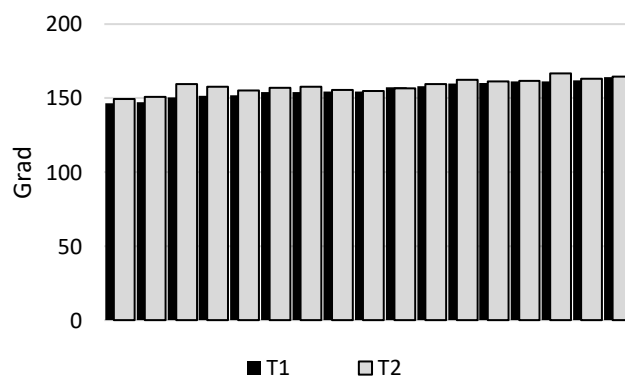
b) N-A-Pg – Gruppe 2



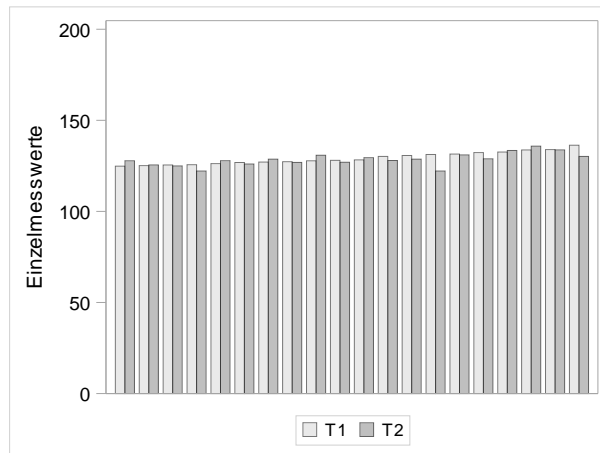
NS-Sn-PgS – Gruppe 1



NS-Sn-PgS – Gruppe 2



NS-No-PgS – Gruppe 1



NS-No-PgS – Gruppe 2

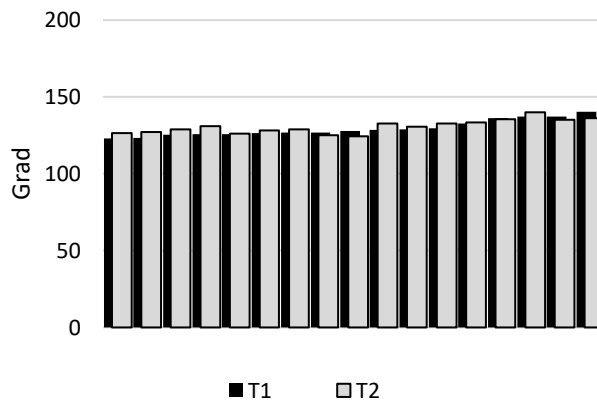


Abbildung 35: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Profilkonvexität mit der Winkel a) N-A-Pg von Gruppe 1 b) N-A-Pg von Gruppe 2 c) NS-Sn-PgS von Gruppe 1 d) NS-Sn-PgS von Gruppe 2 e) NS-No-PgS von Gruppe 1 f) NS-No-PgS von Gruppe 2 von vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

4.1.6 Lippenposition

***OI-E-Linie* Abstand der Oberlippe zur EL (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 36, 37)**

In Gruppe 1 vergrößerte sich der Abstand der Oberlippe zur Esthetic- Line durchschnittlich um 2,31 mm ($p < 0,0001$). Bei 10% (2) der Jugendlichen vergrößerte sich die Strecke, während sich bei 90% (18) die Strecke verkleinerte. Dabei lag die maximale Vergrößerung bei 0,50 mm und die maximale Verkleinerung bei 5,95 mm. Der Methodenfehler von 0,35 mm wurde berücksichtigt.

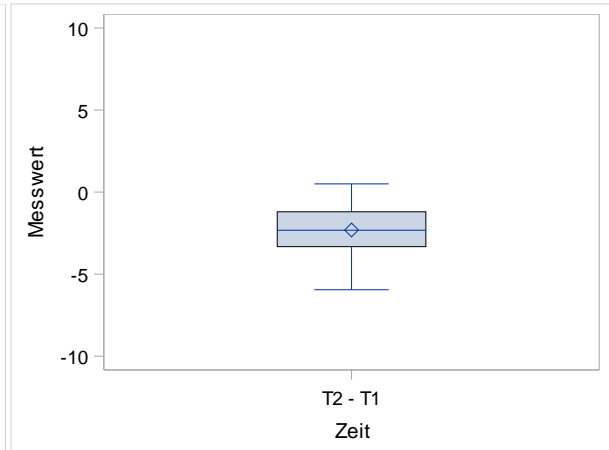
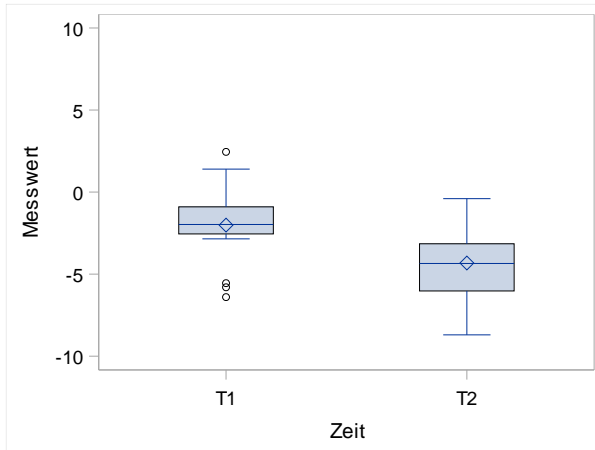
In Gruppe 2 vergrößerte sich der Abstand der Oberlippe zur Esthetic-Line durchschnittlich um 2,14 mm ($p < 0,0001$). Bei 100% (17) der Jugendlichen vergrößerte sich die Strecke, dabei lag die maximale Vergrößerung bei 4,65 mm. Der Methodenfehler von 0,32 mm wurde berücksichtigt.

***UI-E-Linie* Abstand der Unterlippe zur EL (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 36, 37)**

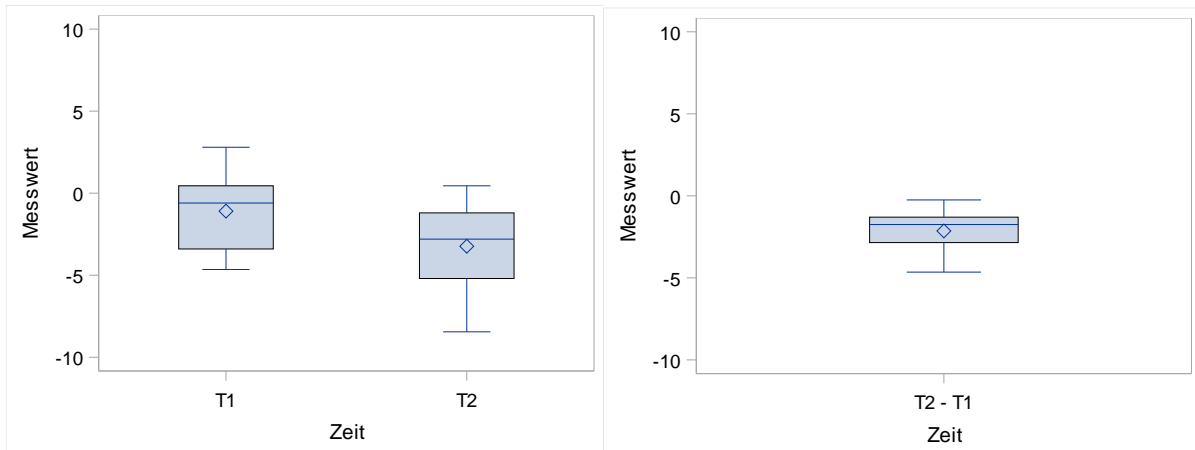
In Gruppe 1 vergrößerte sich der Abstand der Unterlippe zur Esthetic- Line durchschnittlich um 1,30 mm ($p 0,0008$). Bei 75% (15) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 25% (5) der Jugendlichen eine Vergrößerung der Strecke festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 3,85 mm und die maximale Vergrößerung bei 1,60 mm. Der Methodenfehler von 0,38 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich der Abstand der Unterlippe zur Esthetic-Line durchschnittlich um 0,01 mm ($p 0,9668$). Bei 41% (7) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 59% (10) der Jugendlichen eine Vergrößerung der Strecke festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 2,75 mm und die maximale Vergrößerung bei 2,65 mm. Der Methodenfehler von 0,36 mm wurde berücksichtigt.

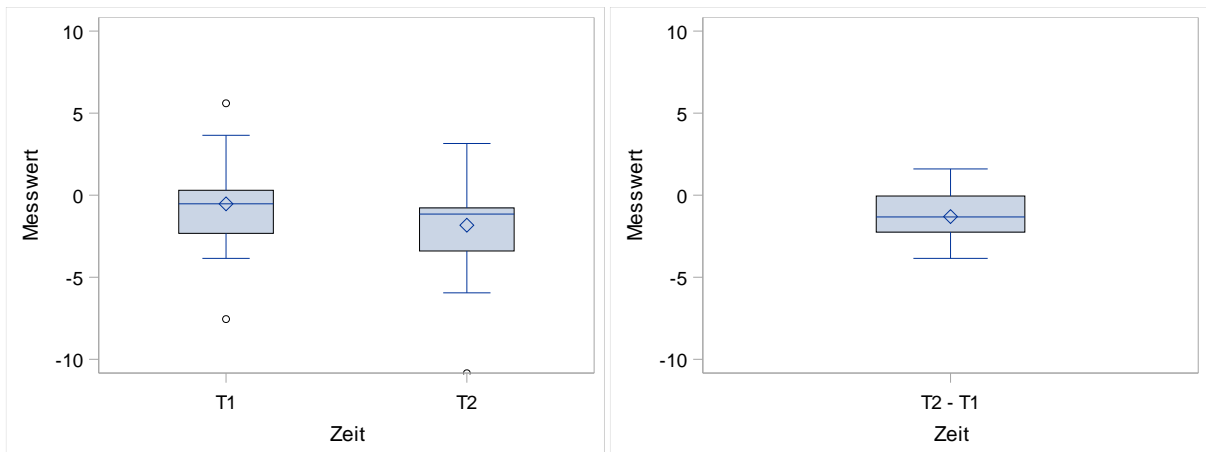
OI-E-Linie – Gruppe 1



OI-E-Linie – Gruppe 2



UI-E-Linie – Gruppe 1



UI-E-Linie – Gruppe 2

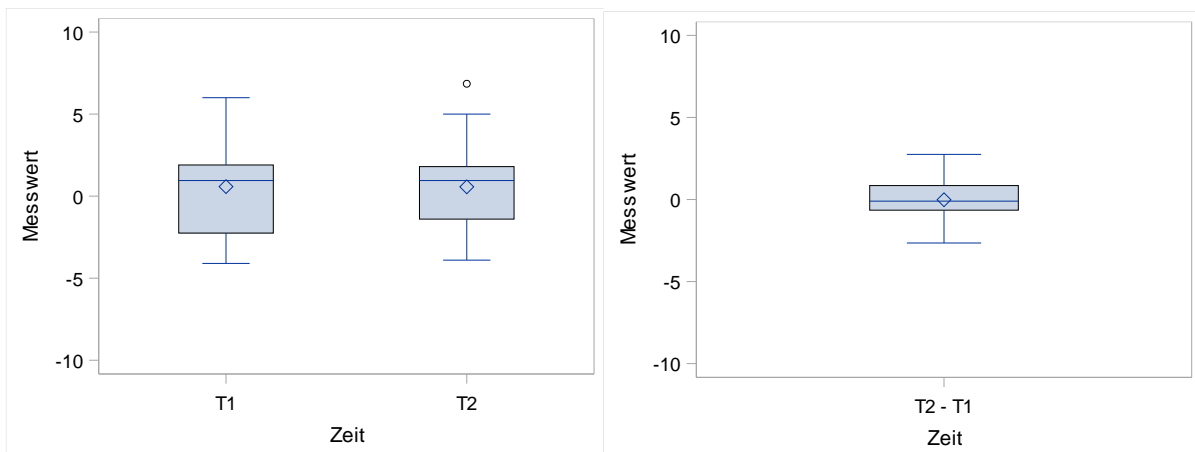
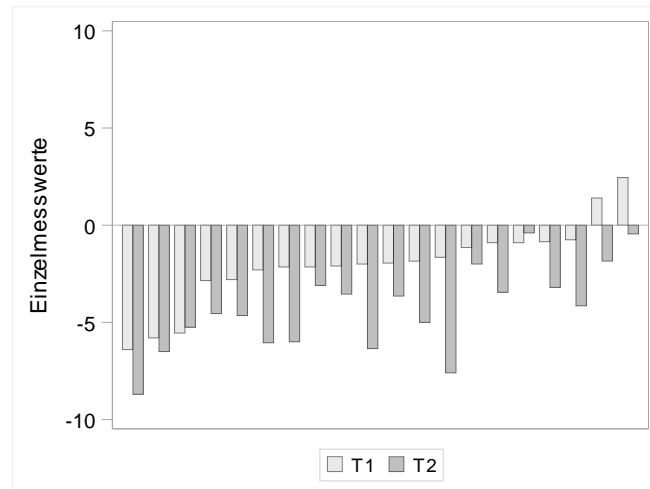
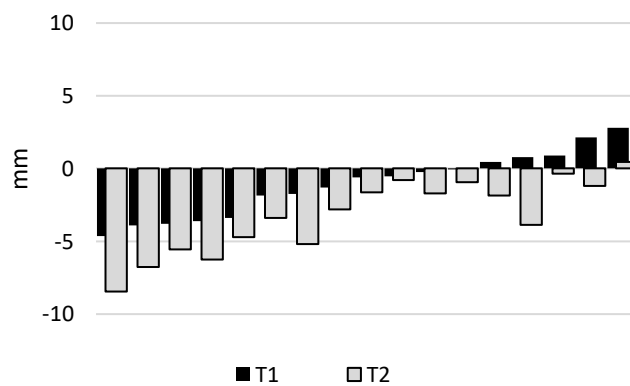


Abbildung 36: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Lippenposition mit a) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 1 b) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 2 c) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 1 d) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 2 zur EL vor und nach der Behandlung aller Patienten

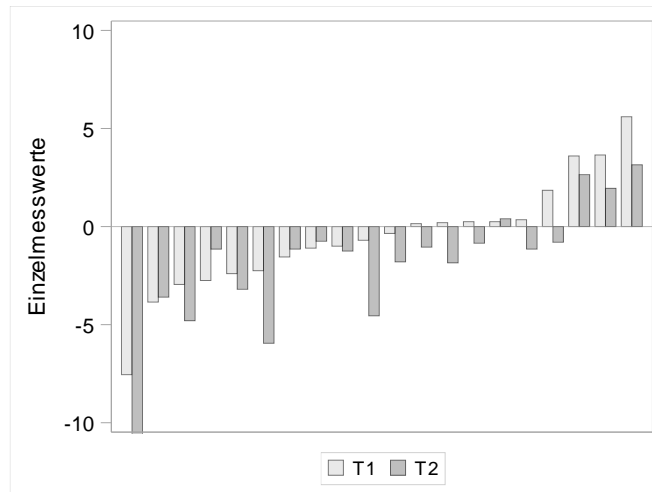
OI-E-Linie – Gruppe 1



OI-E-Linie – Gruppe 2



UI-E-Linie – Gruppe 1



UI-E-Linie – Gruppe 2

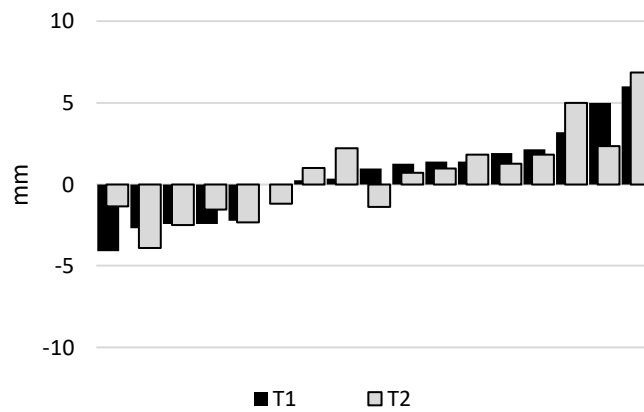


Abbildung 37: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Lippenposition mit a) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 1 b) der Strecke der Oberlippe (OI-E-Linie) von Gruppe 2 c) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 1 d) der Unterlippe (UI-E-Linie) von Gruppe 2 zur EL vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

4.1.7 Frontzahninklination und –position

***Is-NA* Achsenneigungswinkel des ersten OK-Inzisivus (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 38, 39)**

In Gruppe 1 vergrößerte sich der Achsenneigungswinkel des ersten oberen Inzisivus durchschnittlich um $0,56^\circ$ (p 0,7245). Bei 35% (7) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 65% (13) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $10,30^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $15,60^\circ$. Der Methodenfehler von $1,14^\circ$ wurde berücksichtigt.

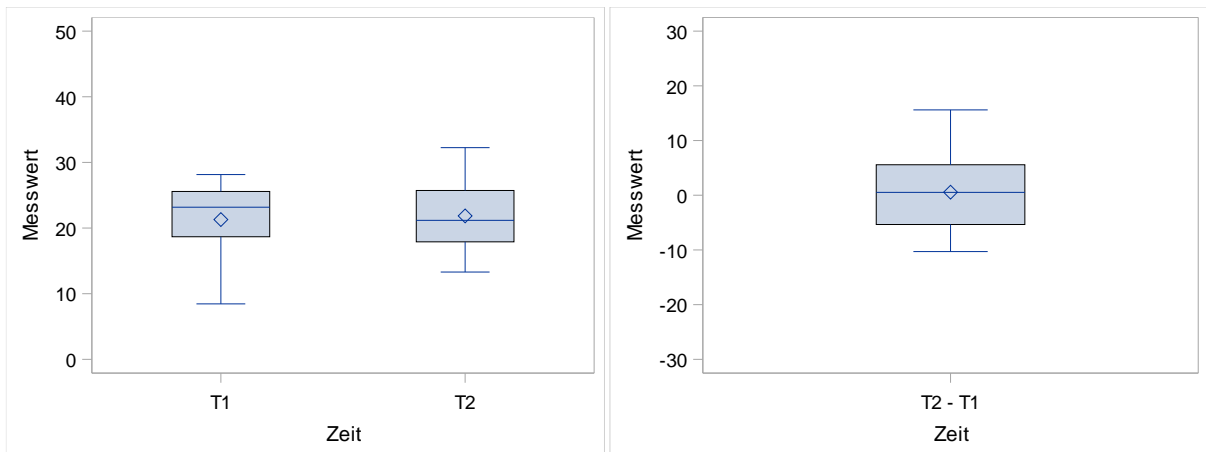
In Gruppe 2 verkleinerte sich der Achsenneigungswinkel des ersten oberen Inzisivus durchschnittlich um $6,11^\circ$ (p 0,0038). Bei 82% (14) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 18% (3) der Jugendlichen eine Vergrößerung des Winkels festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei $20,80^\circ$ und die maximale Vergrößerung bei $5,90^\circ$. Der Methodenfehler von $1,10^\circ$ wurde berücksichtigt.

***Is_NA* Abstand des ersten Oberkieferfrontzahns und zur N-A-Linie (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 40, 41)**

In Gruppe 1 verkleinerte sich der Abstand des ersten oberen Inzisivus zur N-A-Linie durchschnittlich um 0,60 mm (p 0,2866). Bei 60% (12) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 40% (8) der Jugendlichen eine Vergrößerung der Strecke festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 5,00 mm und die maximale Vergrößerung bei 6,25 mm. Der Methodenfehler von 0,53 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 verkleinerte sich der Abstand des ersten oberen Inzisivus zur N-A-Linie durchschnittlich um 1,79 mm (p 0,0122). Bei 76% (13) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 18% (3) der Jugendlichen eine Vergrößerung der Strecke festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 6,60 mm und die maximale Vergrößerung bei 2,55 mm. Bei 6% (1) der Jugendlichen blieb die Strecke unverändert. Der Methodenfehler von 0,66 mm wurde berücksichtigt.

a) Is-NA – Gruppe 1



b) Is-NA – Gruppe 2

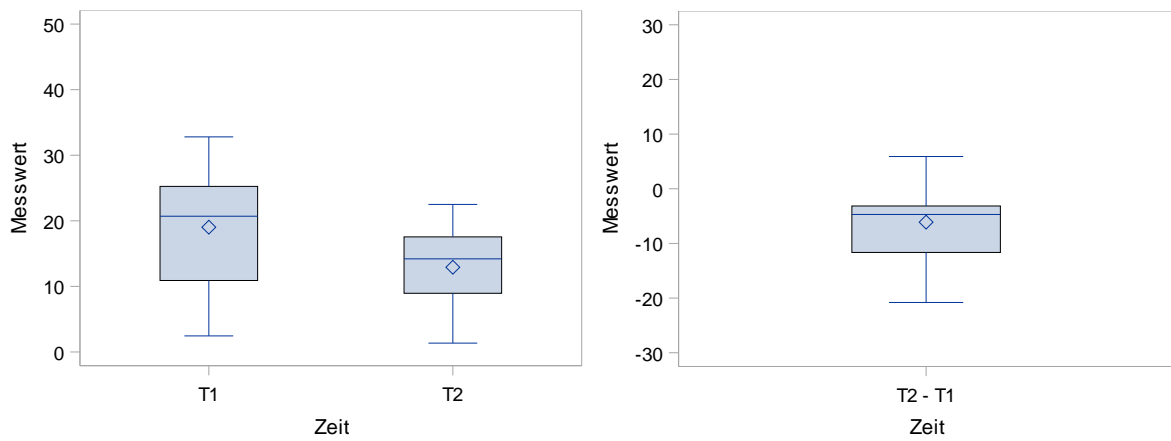
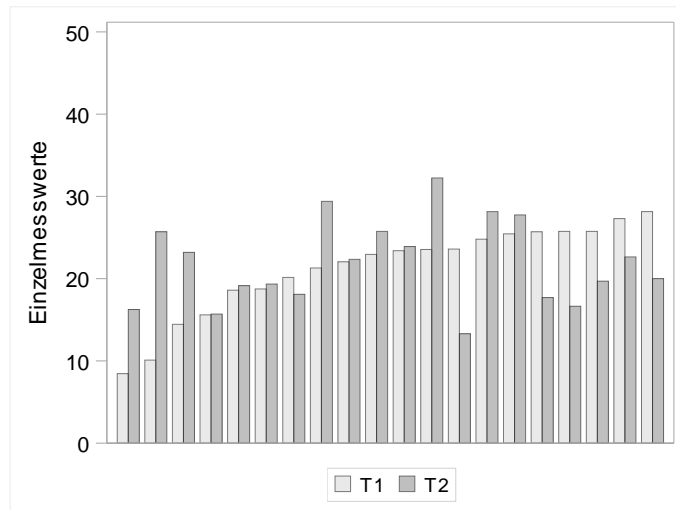


Abbildung 38: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Achsenneigung des ersten Oberkieferinzisivus mit dem Winkels a) is-NA von Gruppe 1 b) is-NA von Gruppe vor und nach der Behandlung aller Patienten

Is-NA – Gruppe 1



Is-NA – Gruppe 2

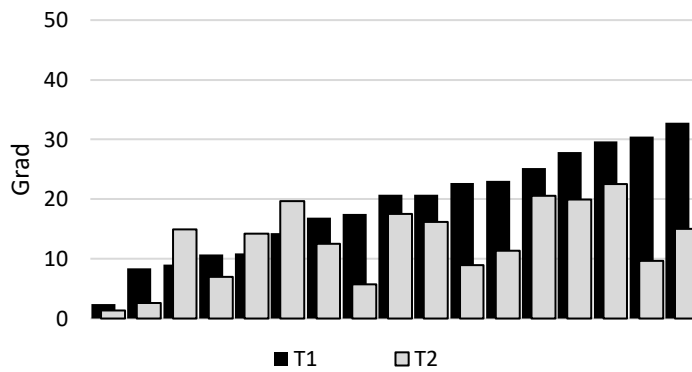
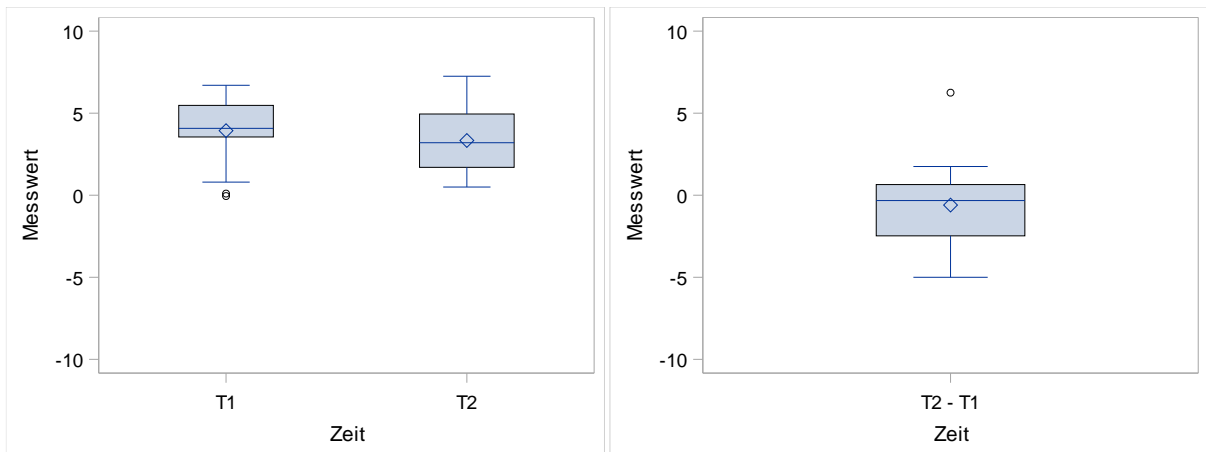


Abbildung 39: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Achsenneigung des ersten Oberkieferinzisivus mit des Winkels a) is-NA von Gruppe 1 b) is-NA von Gruppe vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

a) Is_NA – Gruppe 1



b) Is_NA – Gruppe 2

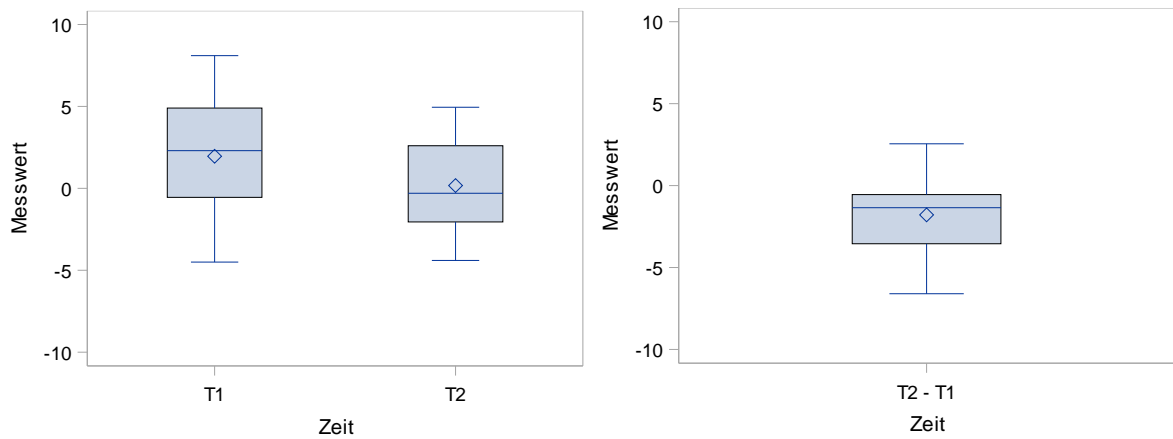
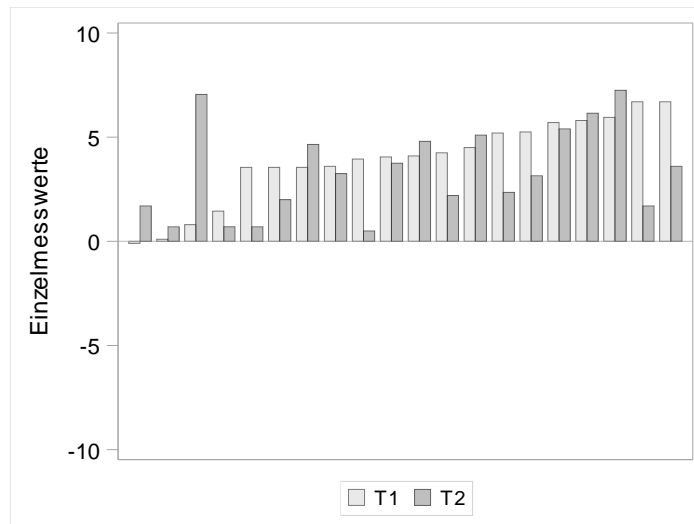


Abbildung 40: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Oberkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Oberkieferfrontzahns zur NA-Linie (is_NA) a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 von Gruppe vor und nach der Behandlung aller Patienten

Is_NA – Gruppe 1



Is_NA – Gruppe 2

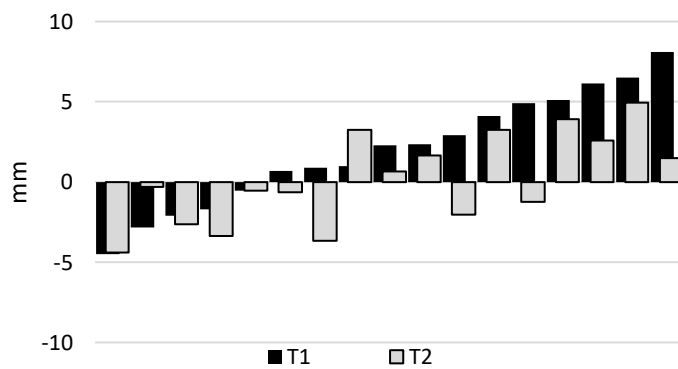


Abbildung 41: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Oberkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Oberkieferfrontzahns zur NA-Linie (is_NA) a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 von Gruppe vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

***Ii-NB* Achsenneigungswinkel des ersten UK-Inzisivus (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 42, 43)**

In Gruppe 1 verkleinerte sich der Achsenneigungswinkel des ersten unteren Inzisivus durchschnittlich um $0,05^\circ$ (p 0,9700). Bei 40% (8) der Jugendlichen vergrößerte sich der Winkel, während sich bei 60% (12) der Winkel verkleinerte. Die maximale Vergrößerung betrug $12,60^\circ$ und die maximale Verkleinerung lag bei $9,75^\circ$. Der Methodenfehler von $0,65^\circ$ wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich der Achsenneigungswinkel des ersten unteren Inzisivus durchschnittlich um $9,22^\circ$ (p $<0,0001$). Bei 100% (17) der Jugendlichen vergrößerte sich der Winkel, wobei die maximale Vergrößerung $19,55^\circ$ betrug. Der Methodenfehler von $1,40^\circ$ wurde berücksichtigt.

***Ii_NB* Abstand des ersten Unterkieferfrontzahns und zur Linie N-B (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 44, 45)**

In Gruppe 1 vergrößerte sich der Abstand des ersten unteren Inzisivus zur N-B-Linie durchschnittlich um 0,54 mm (p 0,1050). Bei 40% (8) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 60% (12) der Jugendlichen eine Vergrößerung der Strecke festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 1,80 mm und die maximale Vergrößerung bei 3,30 mm. Der Methodenfehler von 0,37 mm wurde berücksichtigt.

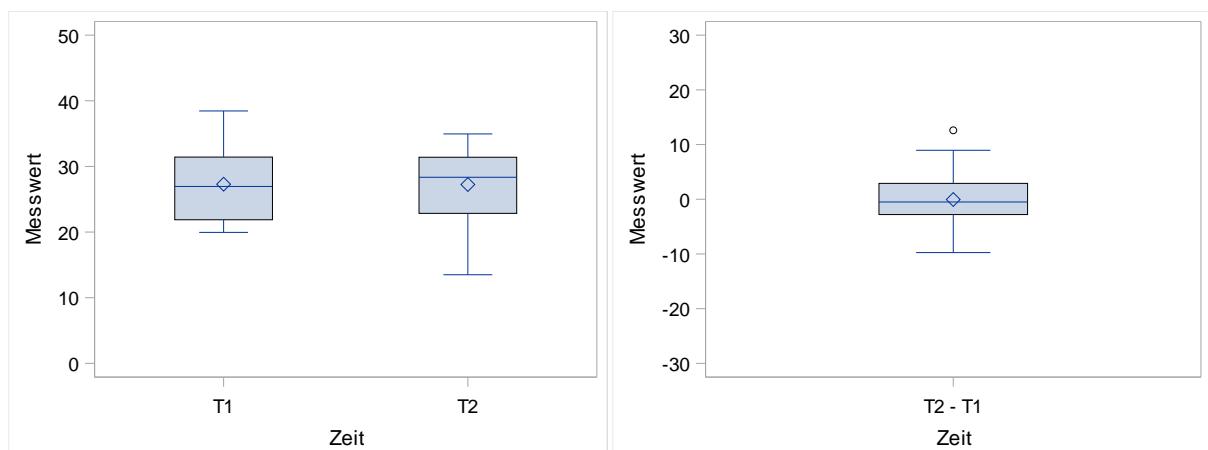
In Gruppe 2 vergrößerte sich der Abstand des ersten unteren Inzisivus zur N-B-Linie durchschnittlich um 2,43 mm (p 0,0009). Bei 6% (1) der Jugendlichen war eine Verkleinerung, bei 94% (16) der Jugendlichen eine Vergrößerung der Strecke festzustellen. Dabei lag die maximale Verkleinerung bei 5,60 mm und die maximale Vergrößerung bei 5,10 mm. Der Methodenfehler von 0,19 mm wurde berücksichtigt.

li_Apog Abstand des ersten Unterkieferfrontzahns zur A-Pog-Linie (Tab. 1, 2, 9, 10, Abb. 44, 45)

In Gruppe 1 vergrößerte sich der Abstand des ersten Unterkieferfrontzahns zur A-Pg-Linie durchschnittlich um 0,71 mm (p 0,0788). Bei 65% (13) der Jugendlichen fand eine Vergrößerung der Strecke statt, während sich bei 35% (7) die Strecke verkleinerte. Die maximale Vergrößerung betrug 5,55 mm und die maximale Verkleinerung 1,75 mm. Der Methodenfehler von 0,38 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 vergrößerte sich der Abstand des ersten Unterkieferfrontzahns zur A-Pg-Linie durchschnittlich um 4,15 mm (p <0,0001). Bei 100% (17) der Jugendlichen fand eine Vergrößerung der Strecke statt. Die maximale Vergrößerung betrug 7,20 mm, wobei die minimale Vergrößerung bei 0,85 mm lag. Der Methodenfehler von 0,43 mm wurde berücksichtigt.

li-NB – Gruppe 1



li-NB – Gruppe 2

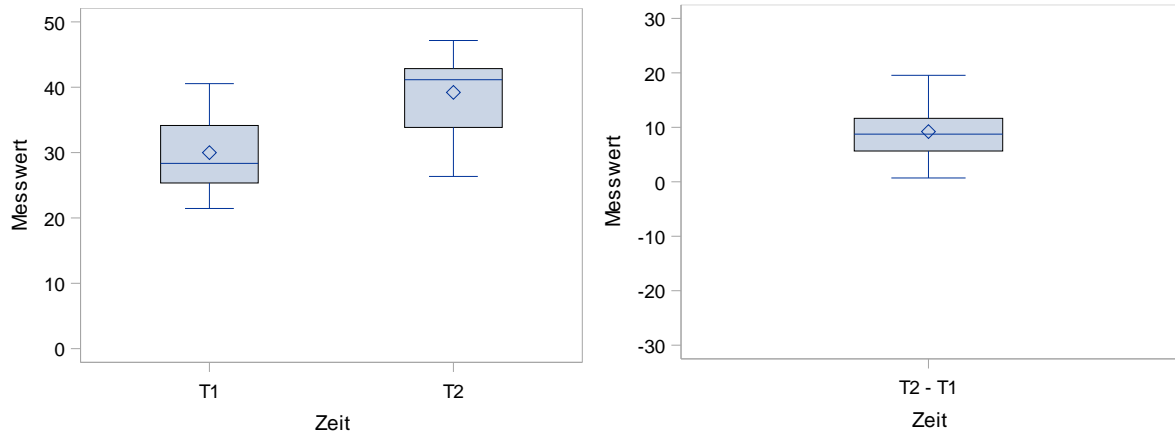
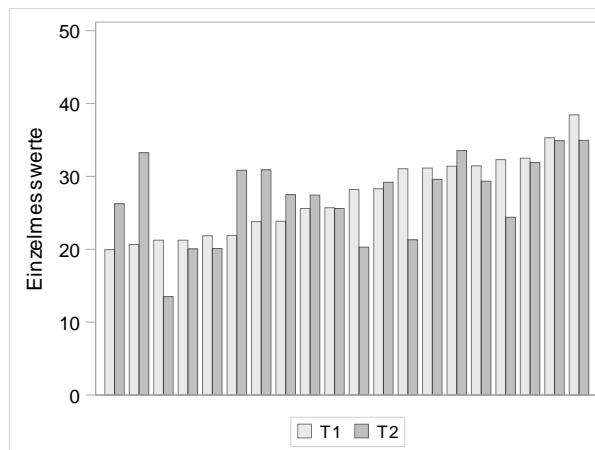


Abbildung 42: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxblots zur Beschreibung der Achsenneigung des ersten Unterkieferinzisivus mit des Winkels ii-NB a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten

li-NB – Gruppe 1



li-NB – Gruppe 2

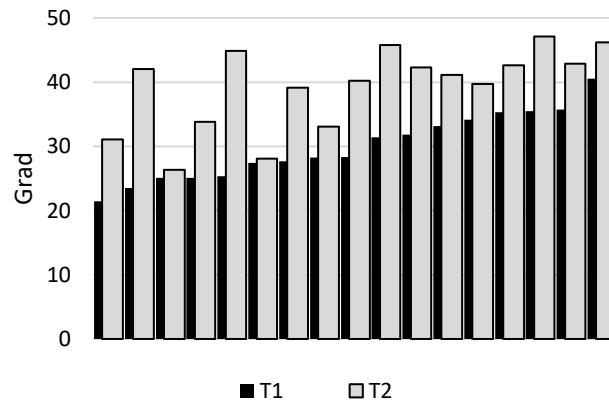
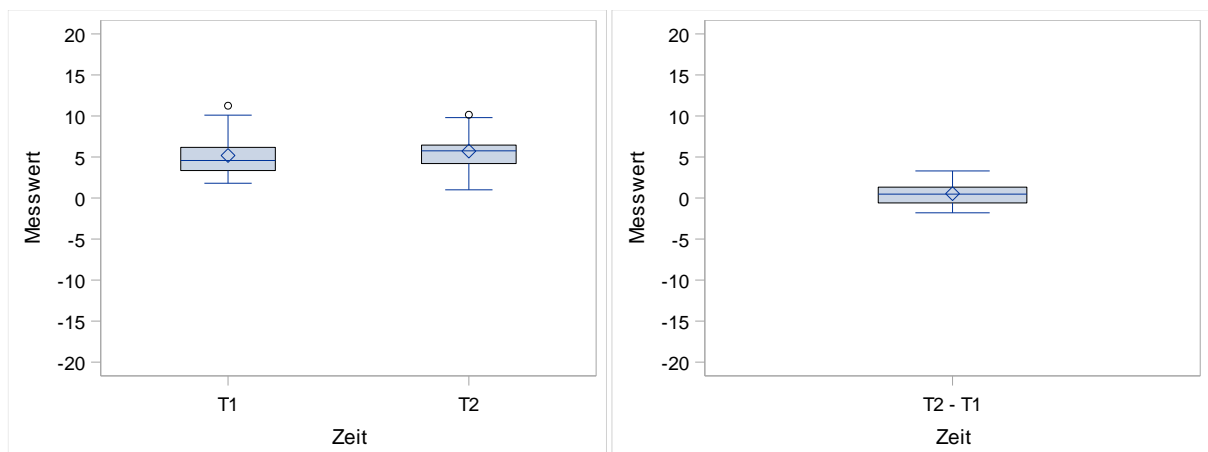
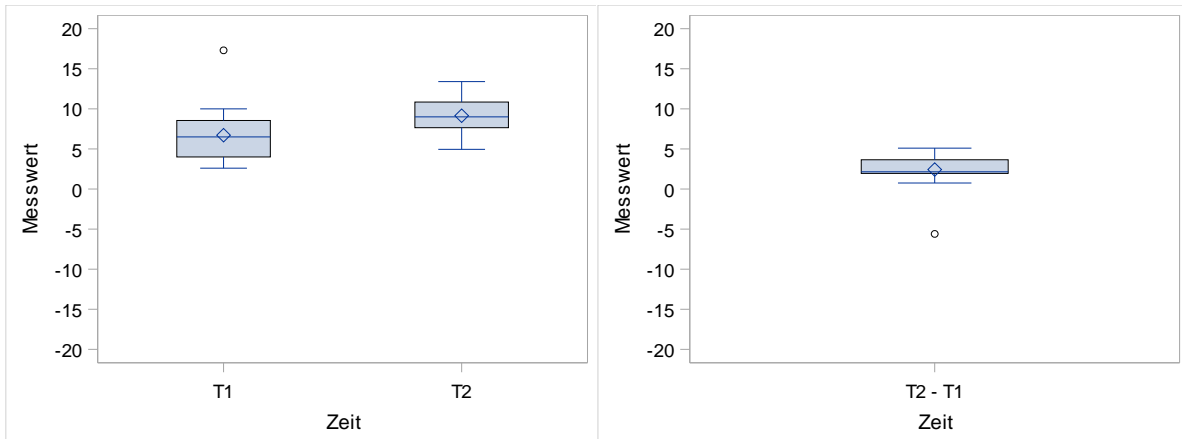


Abbildung 43: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Achsenneigung des ersten Unterkieferinzisivus mit des Winkels ii-NB a) von Gruppe 1 b) von Gruppe 2 vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patient

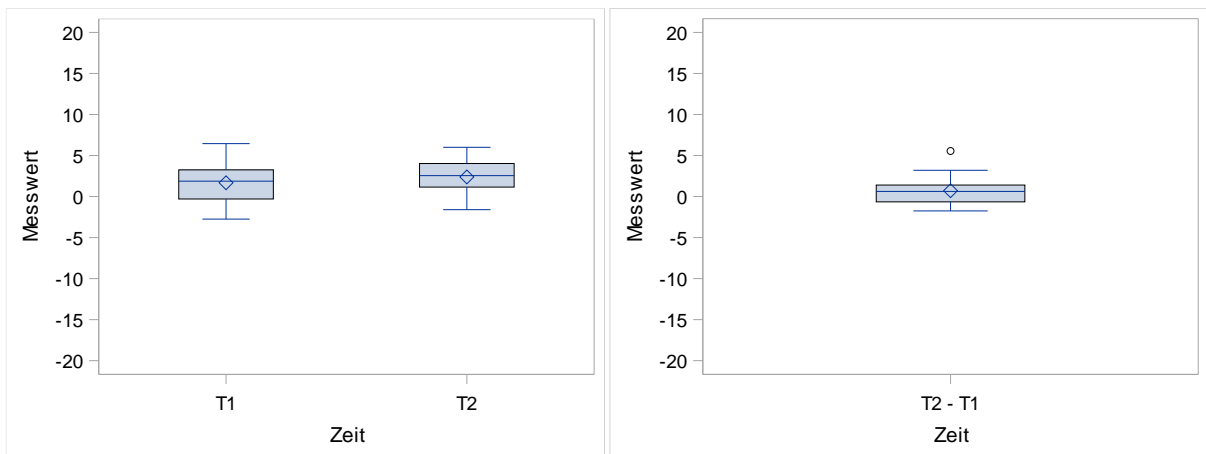
a) li_NB – Gruppe 1



b) li_NB – Gruppe 2



c) li_Apog – Gruppe 1



d) li_Apog – Gruppe 2

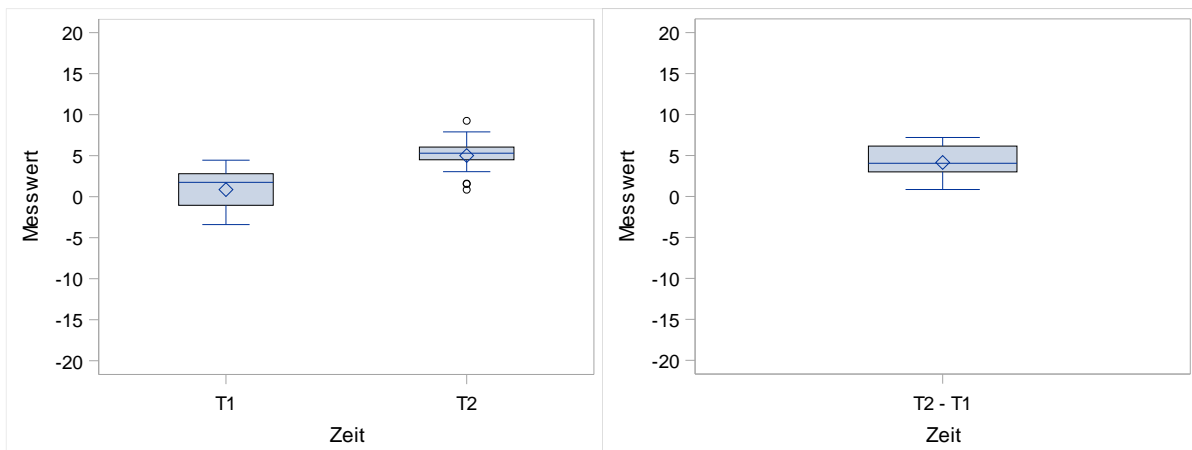
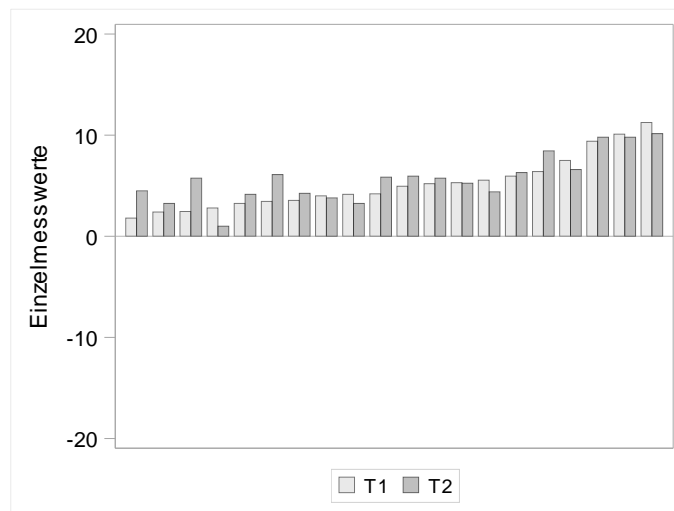


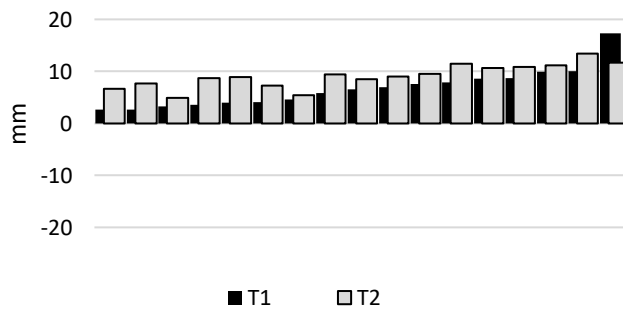
Abbildung 44: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Unterkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Unterkieferfrontzahns a) zur NB-Linie (ii_NB)

von Gruppe 1 b) zur NB-Linie (ii_NB) von Gruppe 2 c) zur Apg-Linie (ii_Apg) von Gruppe 1 d) zur Apg-Linie (ii_Apg) von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten

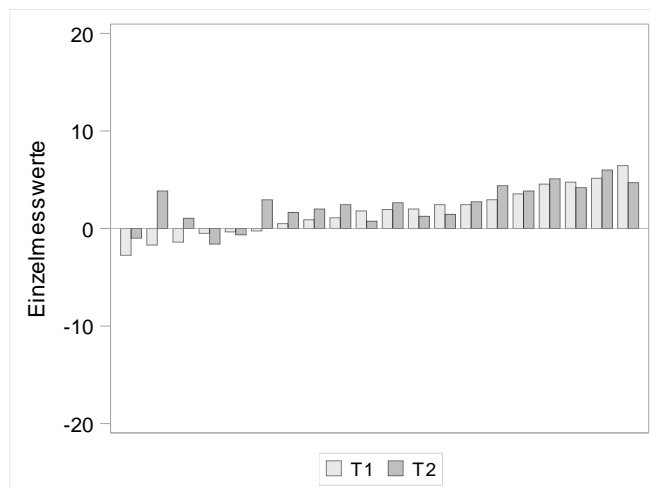
li_NB – Gruppe 1



li_NB – Gruppe 2



li_Apog Gruppe 1



li_Apog Gruppe 2

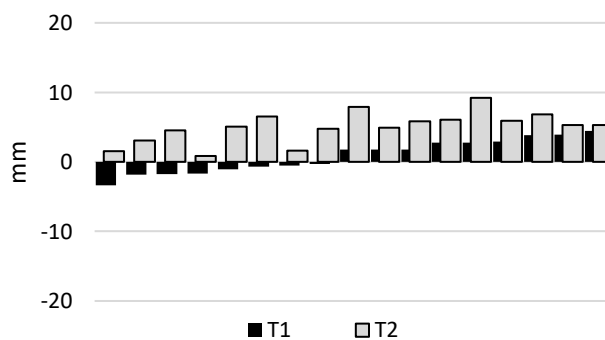


Abbildung 45: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Unterkieferfrontzahnposition mit der Strecke des Unterkieferfrontzahns a) zur NB-Linie (ii_NB) von Gruppe 1 b) zur NB-Linie (ii_NB) von Gruppe 2 c) zur Apg-Linie (ii_Apg) von Gruppe 1 d) zur Apg-Linie (ii_Apg) von Gruppe 2 vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

4.2 Sagittale Okklusionsveränderungen (SO-Analyse)

Overjet (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 46, 47)

In Gruppe 1 verkleinerte sich der Overjet durchschnittlich um 2,33 mm ($p < 0,0001$). Bei 95% (19) der Jugendlichen war eine Verkleinerung des Overjets festzustellen. Bei 5% (1) vergrößerte sich der Overjet. Die maximale Verkleinerung lag bei 5,00 mm, die maximale Vergrößerung bei 1,00 mm.

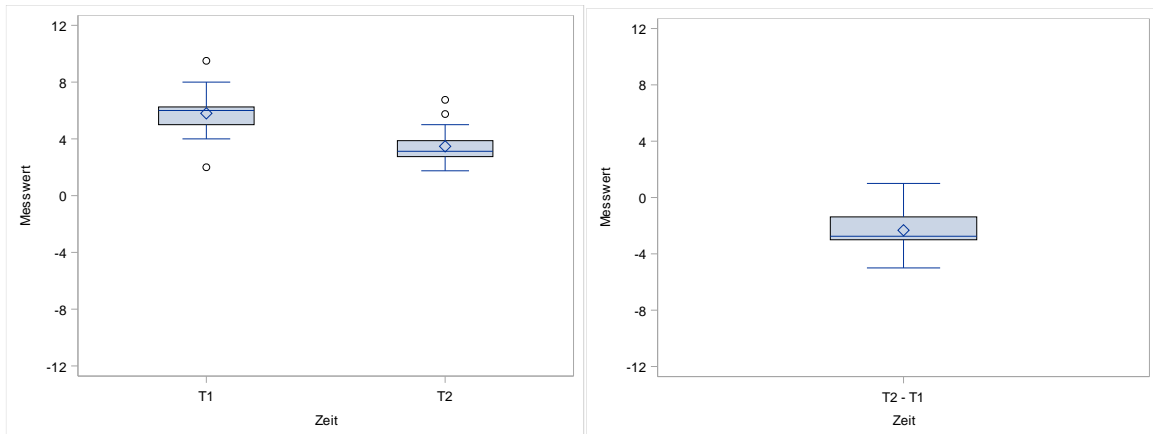
In Gruppe 2 verkleinerte sich der Overjet durchschnittlich um 6,80 mm ($p < 0,0001$). Bei 94% (16) der Jugendlichen war eine Verkleinerung des Overjets festzustellen. Bei 6% (1) der Jugendlichen wurde keine Veränderung des Wertes festgestellt. Die maximale Verkleinerung lag bei 13,60 mm.

Molaren-Relation (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 46, 47)

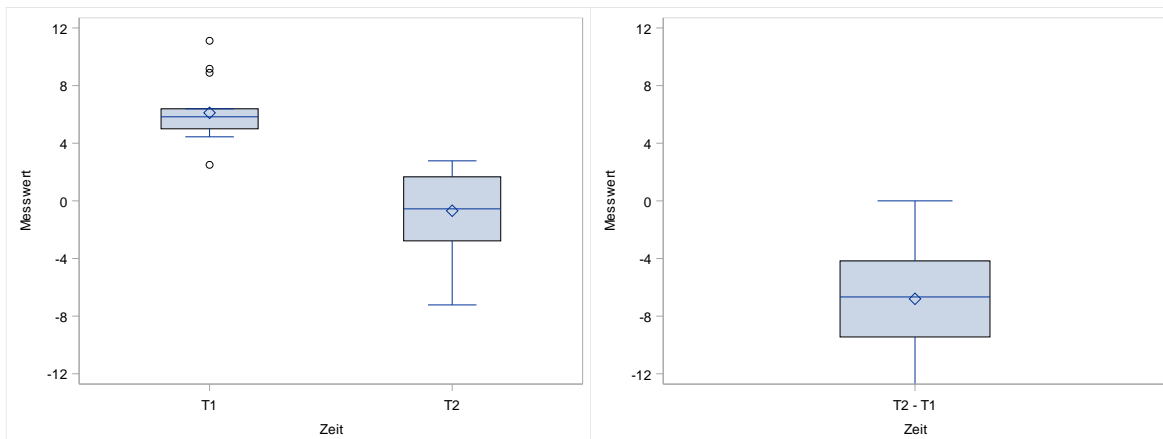
In Gruppe 1 normalisierte sich die Molaren-Relation (veränderte sich in mesiale Richtung) durchschnittlich um 1,80 mm ($p 0,0167$). Bei 70% (14) der Jugendlichen verkleinerte sich die Strecke nach mesial, während sie sich bei 30% (6) nach distal veränderte. Die maximale Veränderung lag bei 6,00 mm in Richtung mesial und 6,00 mm Richtung distal.

In Gruppe 2 normalisierte sich die Molaren-Relation (veränderte sich in mesiale Richtung) durchschnittlich um 5,46 mm ($p < 0,0001$). Bei 100% (17) der Jugendlichen verkleinerte sich die Strecke nach mesial. Die maximale Veränderung lag bei 10,28 mm in Richtung mesial.

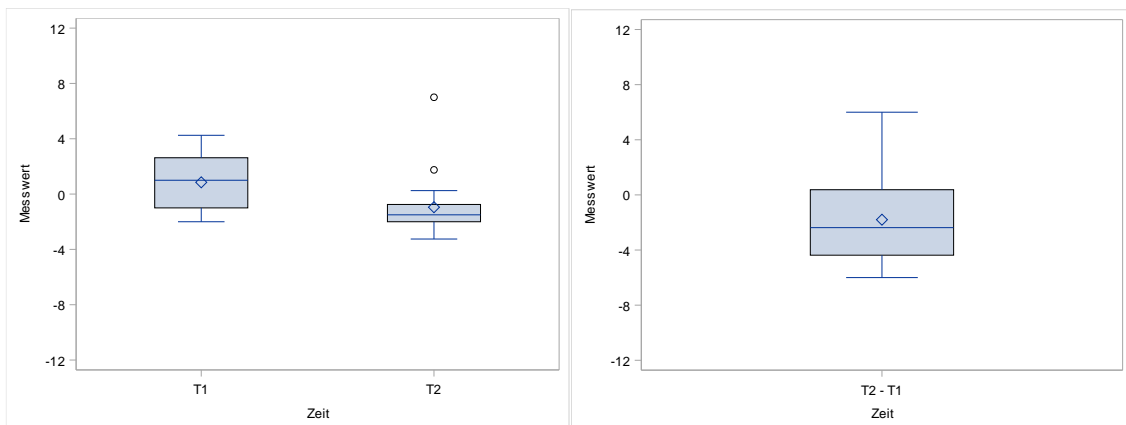
Overjet – Gruppe 1



Overjet – Gruppe 2



Molaren-Relation – Gruppe 1



Molaren-Relation – Gruppe 2

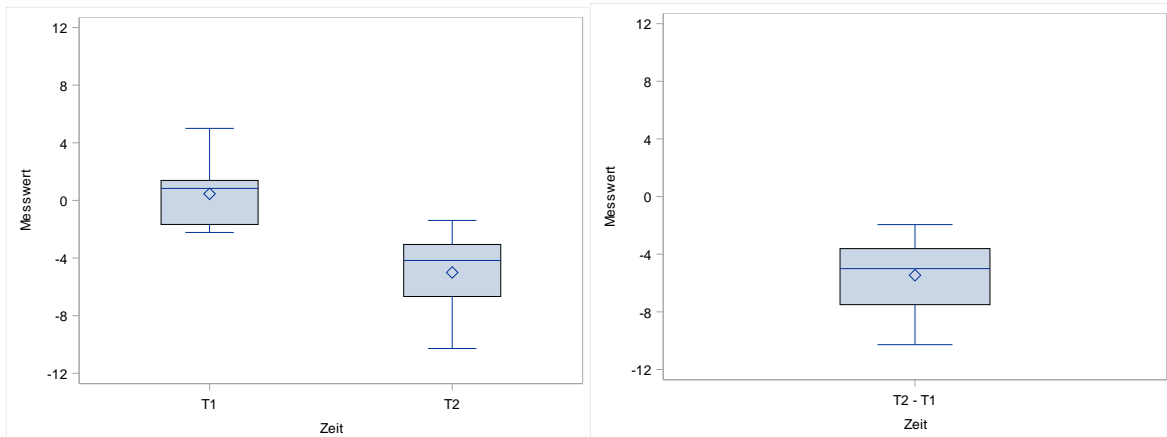
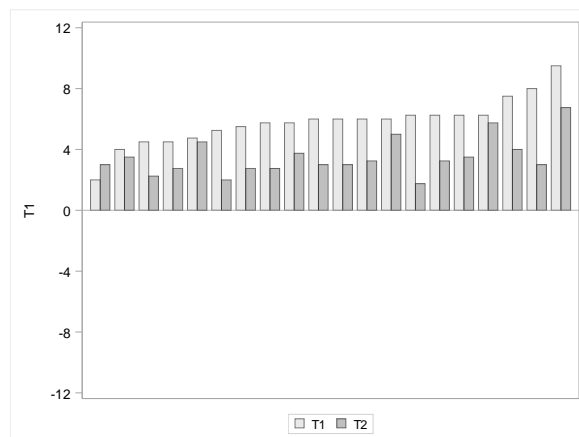
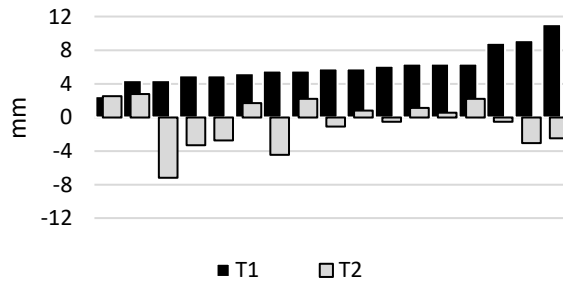


Abbildung 46: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung des a) Overjets von Gruppe 1 b) Overjets von Gruppe 2 c) Molaren-Relation von Gruppe 1 d) Molaren-Relation von Gruppe 2 vor und nach der Behandlung aller Patienten

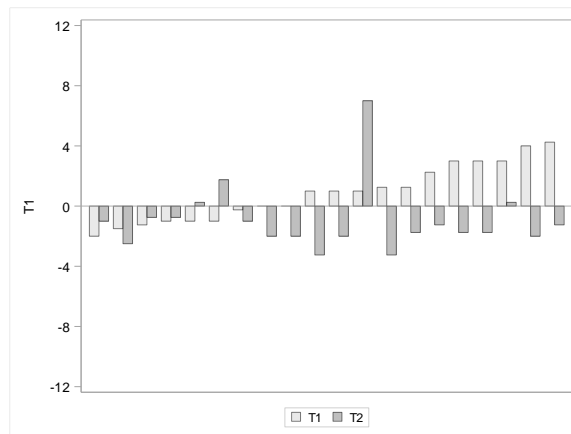
Overjet – Gruppe 1



Overjet – Gruppe 2



Molaren-Relation – Gruppe 1



Molaren-Relation – Gruppe 2

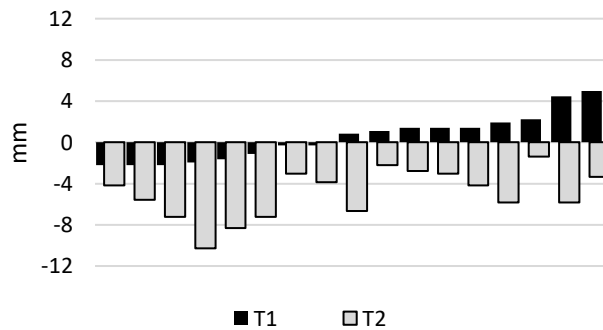


Abbildung 47: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung des a) Overjets von Gruppe 1 b) Overjets von Gruppe 2 c) Molaren-Relation von Gruppe 1 d) Molaren-Relation von Gruppe 2 vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten **Maxilläre Basis (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 48, 49)**

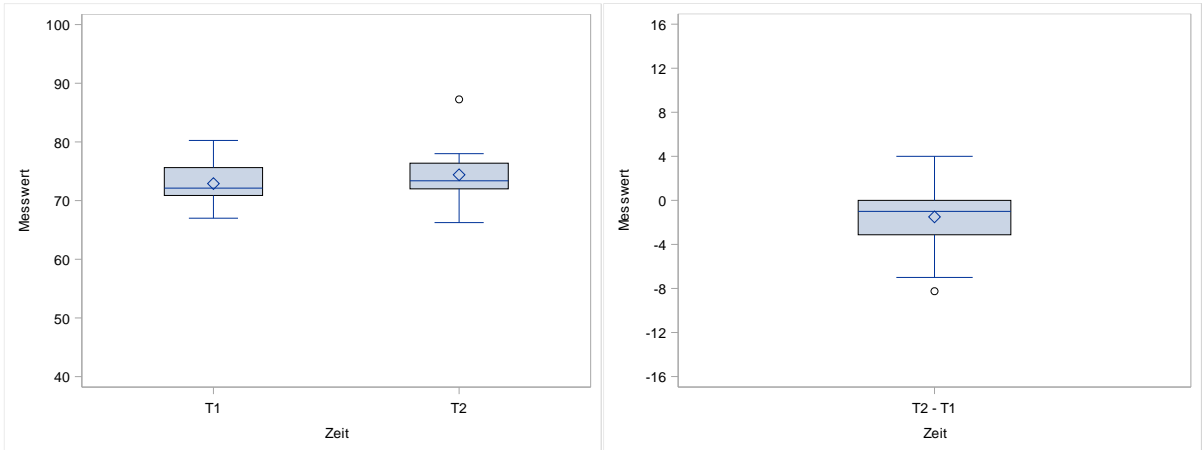
In Gruppe 1 wurde die maxilläre Basis durchschnittlich um 1,50 mm (p 0,0321) vorverlagert. Bei 70% (14) der Jugendlichen wurde eine Vorverlagerung, bei 20% (4) der Jugendlichen eine Rückverlagerung der maxillären Basis vermerkt. Bei 10% (2) der Patienten wurde keine Veränderung beobachtet. Die maximale Vorverlagerung betrug 4,00 mm und die maximale Rückverlagerung 8,25 mm. Der Methodenfehler von 0,45 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 wurde die maxilläre Basis durchschnittlich um 0,44 mm (p 0,2089) vorverlagert. Bei 53% (9) der Jugendlichen wurde eine Vorverlagerung, bei 29% (5) der Jugendlichen eine Rückverlagerung der maxillären Basis vermerkt. Bei 18% (3) der Patienten wurde keine Veränderung beobachtet. Die maximale Vorverlagerung betrug 3,33 mm und die maximale Rückverlagerung 2,22 mm. Der Methodenfehler von 0,56 mm wurde berücksichtigt.

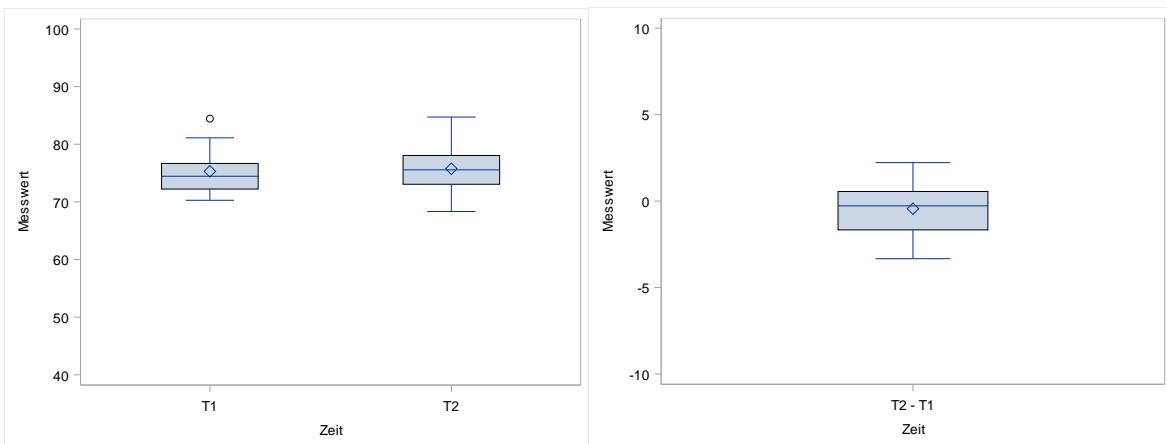
Mandibuläre Basis (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 48, 49)

In Gruppe 1 wurde die mandibuläre Basis durchschnittlich um 2,75 mm (p 0,0019) vorverlagert. Bei 65% (13) der Jugendlichen wurde eine Vorverlagerung, bei 20% (4) der Jugendlichen eine Rückverlagerung der mandibulären Basis vermerkt. Bei 15% (3) der Patienten wurde keine Veränderung beobachtet. Die maximale Vorverlagerung betrug 9,00 mm und die maximale Rückverlagerung 1,00 mm. Der Methodenfehler von 0,57 mm wurde berücksichtigt.

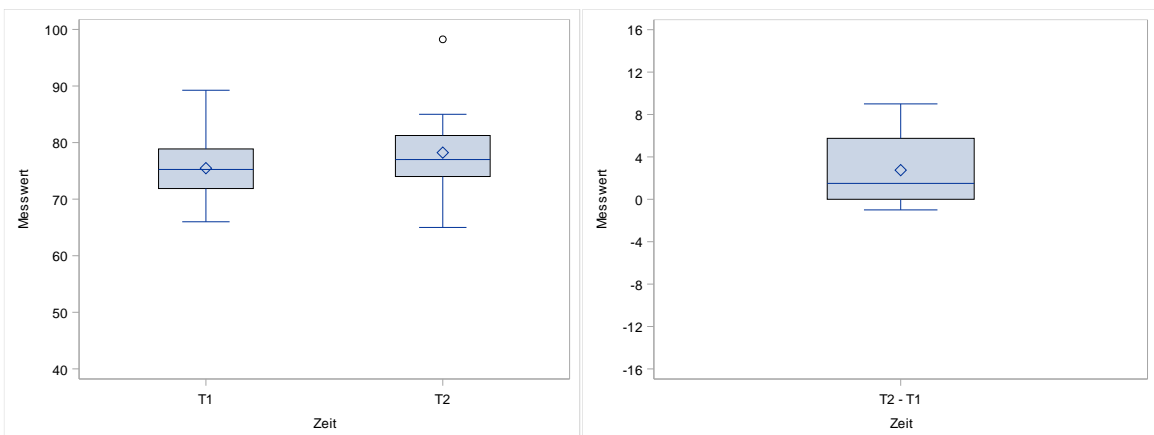
In Gruppe 2 wurde die mandibuläre Basis durchschnittlich um 2,83 mm (p 0,0002) vorverlagert. Bei 88% (15) der Jugendlichen wurde eine Vorverlagerung, bei 6% (1) der Jugendlichen eine Rückverlagerung der mandibulären Basis vermerkt. Bei 6% (1) der Patienten wurde keine Veränderung beobachtet. Die maximale Vorverlagerung betrug 7,22 mm und die maximale Rückverlagerung 1,67 mm. Der Methodenfehler von 1,10 mm wurde berücksichtigt.



Maxilläre Basis – Gruppe 2



Mandibuläre Basis – Gruppe 1



Mandibuläre Basis – Gruppe 2

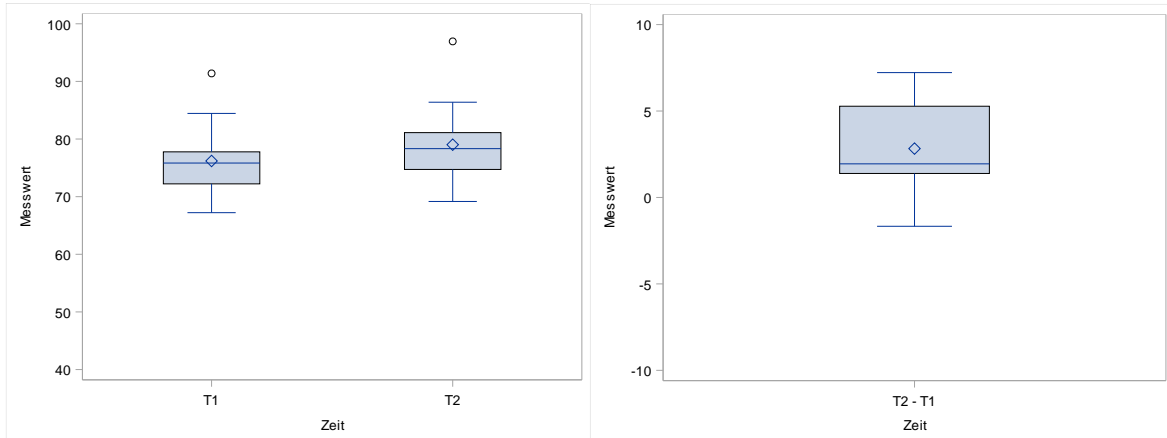
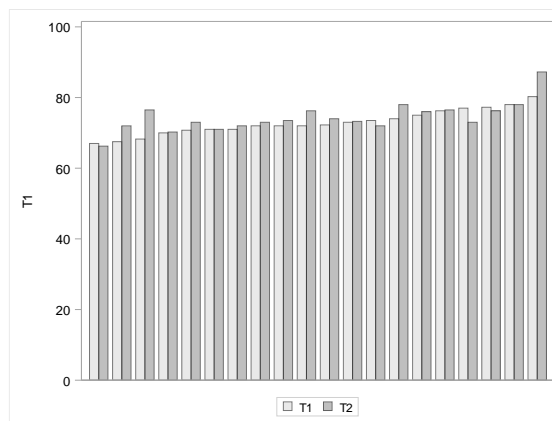
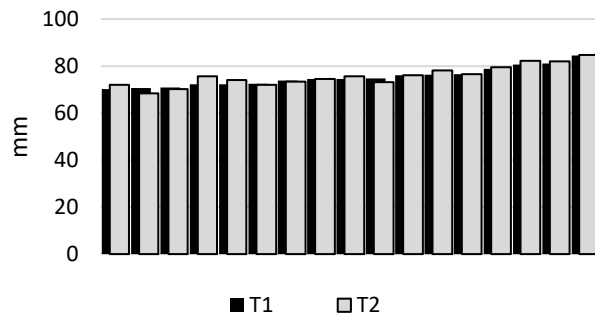


Abbildung 48: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der sagittalen Lage der a) maxillären Basis von Gruppe 1 b) maxillären Basis von Gruppe 2 c) mandibulären Basis von Gruppe 1 d) mandibulären Basis von Gruppe 2 mit den Strecken (A/Olp bzw. Pg/Olp) vor und nach der Behandlung aller Patienten

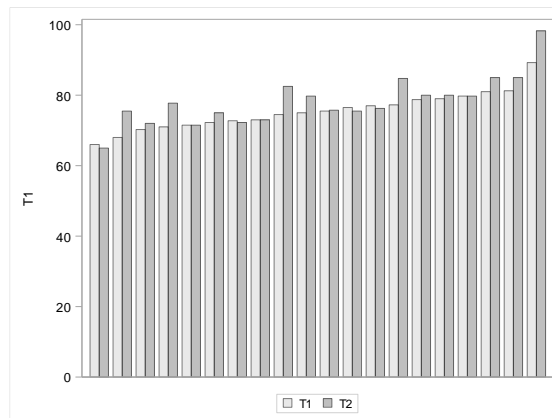
Maxilläre Basis – Gruppe 1



Maxilläre Basis – Gruppe 2



Mandibuläre Basis – Gruppe 1



Mandibuläre Basis – Gruppe 2

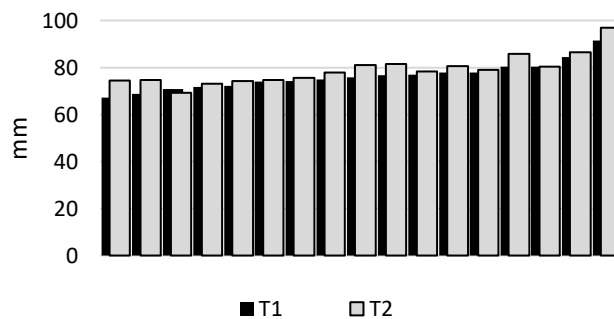


Abbildung 49: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der sagittalen Lage der a) maxillären Basis von Gruppe 1 b) maxillären Basis von Gruppe 2 c) mandibulären Basis von Gruppe 1 d) mandibulären Basis von Gruppe 2 mit dem Abstand zur Olp (A/Olp und Pg/Olp) vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

OK-Inzisivus-Position (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 50, 51)

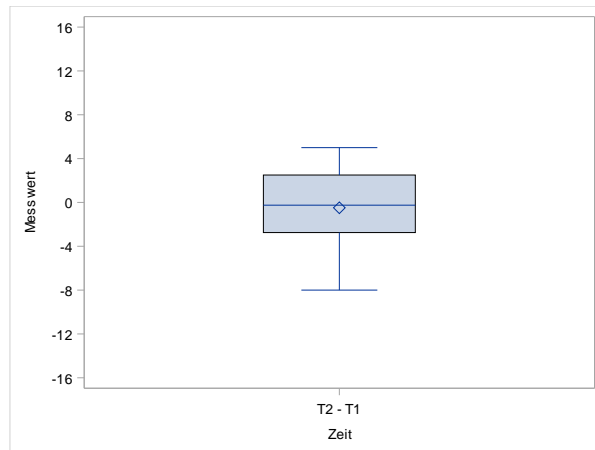
In Gruppe 1 wurden die Oberkiefer-Inzisivi durchschnittlich um 1,01 mm (p 0,1395) retrudiert. Bei 35% (7) der Jugendlichen wurde eine Retrusion der Oberkiefer-Inzisivi festgestellt, bei 60% (12) eine Protrusion. Bei 5% (1) der Jugendlichen fand keine Veränderung statt. Die maximale Retrusion lag bei 5,00 mm und die maximale Protrusion 7,75 mm. Der Methodenfehler von 0,55 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 wurden die Oberkiefer-Inzisivi durchschnittlich um 1,76 mm (p 0,0067) retrudiert. Bei 82% (14) der Jugendlichen wurde eine Retrusion der Oberkiefer-Inzisivi festgestellt, bei 18% (3) eine Protrusion. Die maximale Retrusion lag bei 5,28 mm und die maximale Protrusion 2,50 mm. Der Methodenfehler von 0,84 mm wurde berücksichtigt.

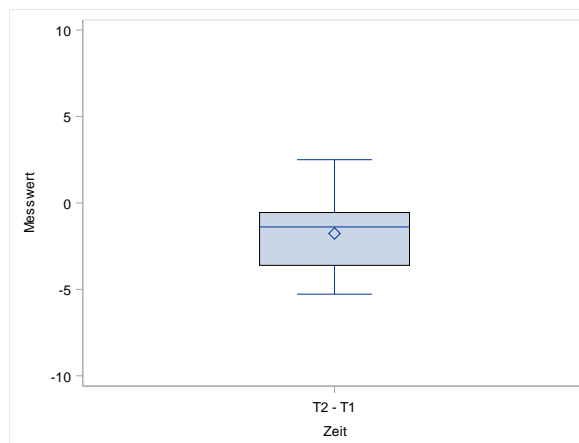
UK-Inzisivus-Position (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 50, 51)

In Gruppe 1 wurden die Unterkiefer-Inzisivi durchschnittlich um 0,06 mm (p 0,8759) protrudiert. Bei 75% (15) der Jugendlichen lag eine Protrusion der Unterkiefer-Inzisivi vor, während bei 25% (5) eine Retrusion festzustellen war. Die maximale Protrusion betrug 2,75 mm und die maximale Retrusion 4,25 mm. Der Methodenfehler von 1,44 mm wurde berücksichtigt.

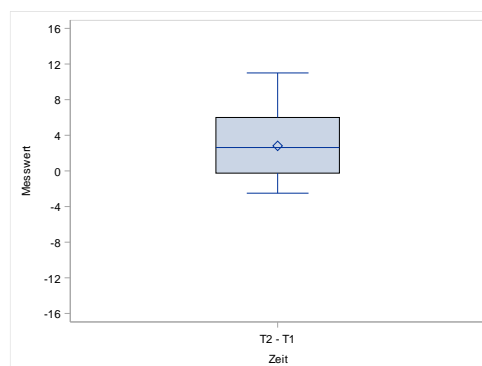
In Gruppe 2 wurden die Unterkiefer-Inzisivi durchschnittlich um 2,65 mm (p <0,0001) protrudiert. Bei 100% (17) der Jugendlichen lag eine Protrusion der Unterkiefer-Inzisivi vor. Die maximale Protrusion betrug 4,44 mm. Der Methodenfehler von 0,68 mm wurde berücksichtigt.



OK-Inzisivus-Position – Gruppe 2



UK-Inzisivus-Position – Gruppe 1



UK-Inzisivus-Position – Gruppe 2

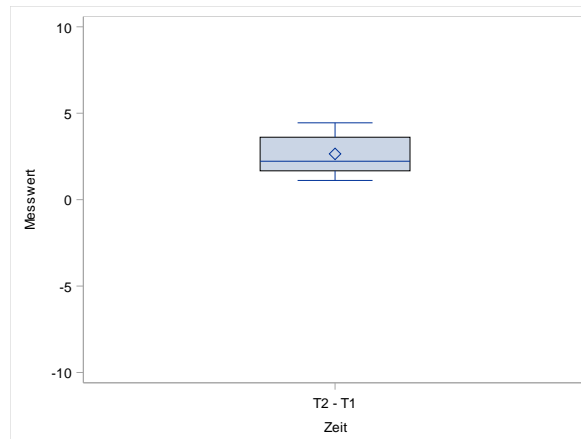
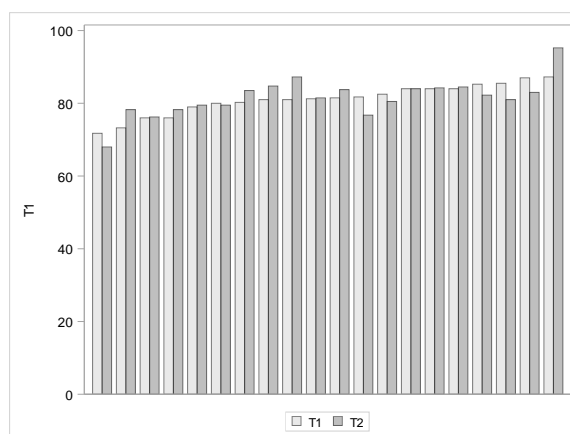
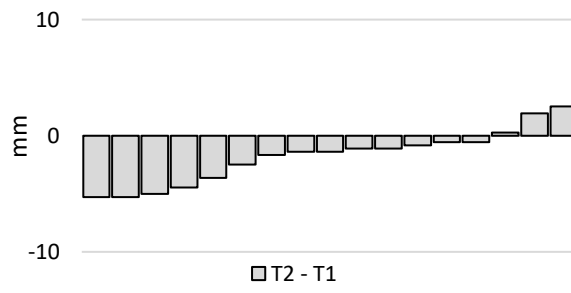


Abbildung 50: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Veränderungen der a) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 mit der Differenz (is/Olp(D) – A/Olp(D) und ii/Olp(D) – Pg/Olp(D)) vor und nach der Behandlung aller Patienten

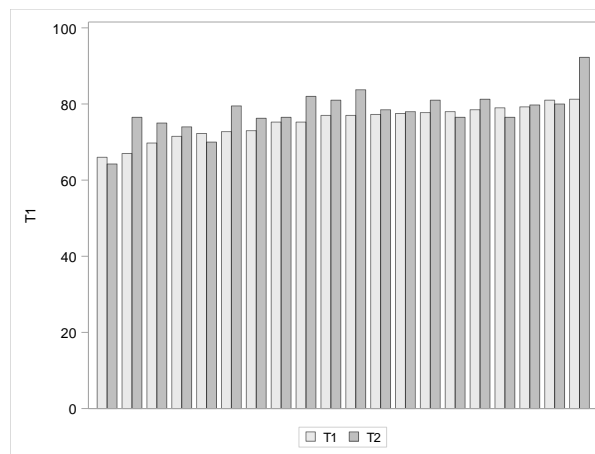
OK-Inzisivus-Position – Gruppe 1



OK-Inzisivus-Position – Gruppe 2



UK-Inzisivus-Position – Gruppe 1



UK-Inzisivus-Position – Gruppe 2

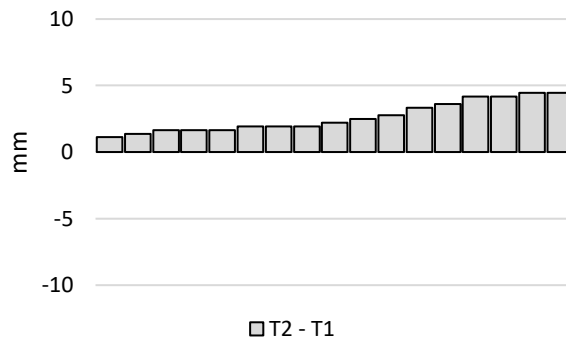


Abbildung 51: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Veränderung der a) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Inzisivus-Position von Gruppe 2 mit der Differenz (is/Olp(D) – A/Olp und ii/Olp – Pg/Olp) vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

OK-Molaren-Position (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 52, 53)

In Gruppe 1 wurden die Oberkiefer-Molaren durchschnittlich um 1,06 mm (p 0,1617) mesialisiert. Bei 65% (13) der Jugendlichen kam es zu einer Mesialisation der Oberkiefer-Molaren, während bei 30% (6) der Jugendlichen eine Distalisation festgestellt wurde. Bei 5% (1) der Jugendlichen wurde keine Veränderung beobachtet. Die maximale Distalisation betrug 3,00 mm und die maximale Mesialisation 11,50 mm. Der Methodenfehler von 1,44 mm wurde berücksichtigt.

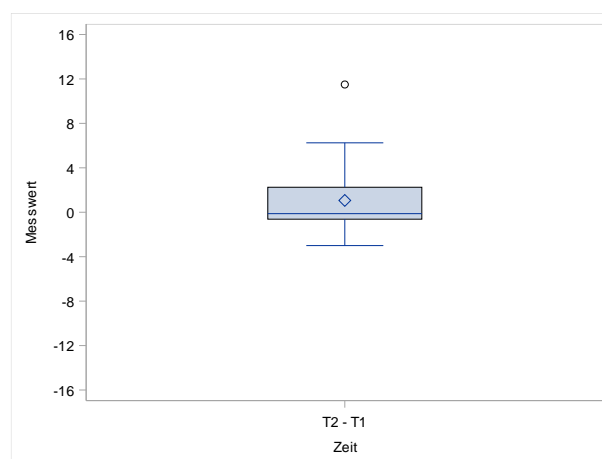
In Gruppe 2 wurden die Oberkiefer-Molaren durchschnittlich um 1,18 mm (p 0,0002) distalisiert. Bei 94% (16) der Jugendlichen kam es zu einer Distalisation der Oberkiefer-Molaren, während bei 6% (1) der Jugendlichen eine Mesialisation festgestellt wurde. Die maximale Distalisation betrug 3,89 mm und die maximale Mesialisation 0,56 mm. Der Methodenfehler von 0,74 mm wurde berücksichtigt.

UK-Molaren-Position (Tab. 3, 4, 11, 12, Abb. 52, 53)

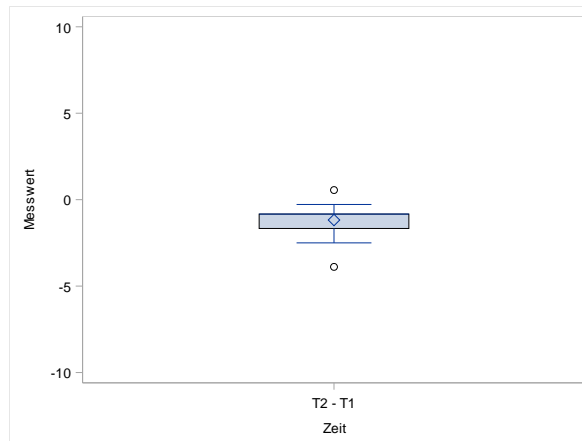
In Gruppe 1 wurden die Unterkiefer-Molaren durchschnittlich um 1,61 mm (p 0,0046) mesialisiert. Bei 15% (3) der Jugendlichen kam es zu einer Distalisation der Unterkiefer-Molaren, während bei 85% (17) der Jugendlichen eine Mesialisation festgestellt wurde. Die maximale Distalisation betrug 2,75 mm und die maximale Mesialisation 5,50 mm. Der Methodenfehler von 0,41 mm wurde berücksichtigt.

In Gruppe 2 wurden die Unterkiefer-Molaren durchschnittlich um 1,90 mm (p $<0,0001$) mesialisiert. Bei 6% (1) der Jugendlichen kam es zu einer Distalisation der Unterkiefer-Molaren, während bei 88% (15) der Jugendlichen eine Mesialisation festgestellt wurde. Bei 6% (1) der Jugendlichen wurde keine Veränderung vermerkt. Die maximale Distalisation betrug 0,56 mm und die maximale Mesialisation 4,44 mm. Der Methodenfehler von 0,83 mm wurde berücksichtigt.

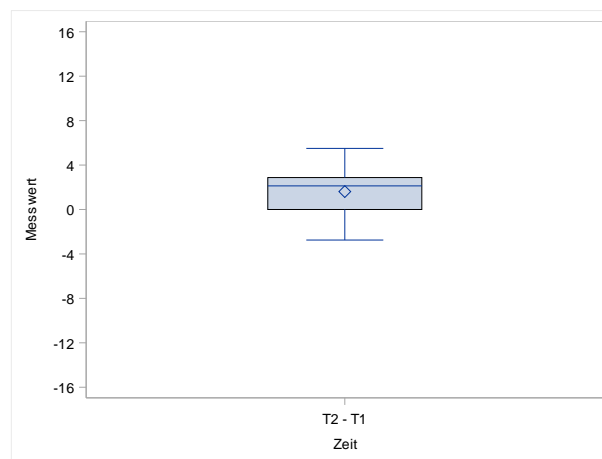
OK-Molaren-Position – Gruppe 1



OK-Molaren-Position – Gruppe 2



UK-Molaren-Position – Gruppe 1



UK-Molaren-Position – Gruppe 2

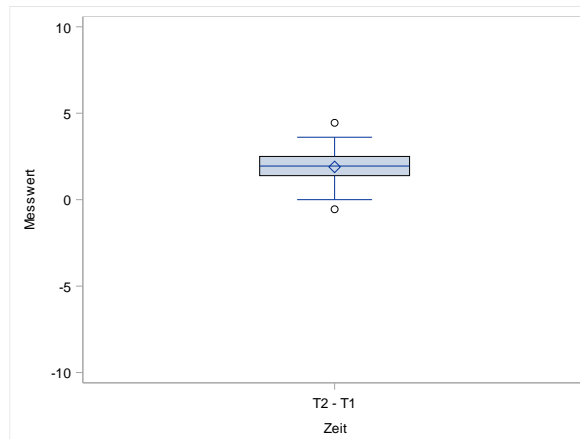
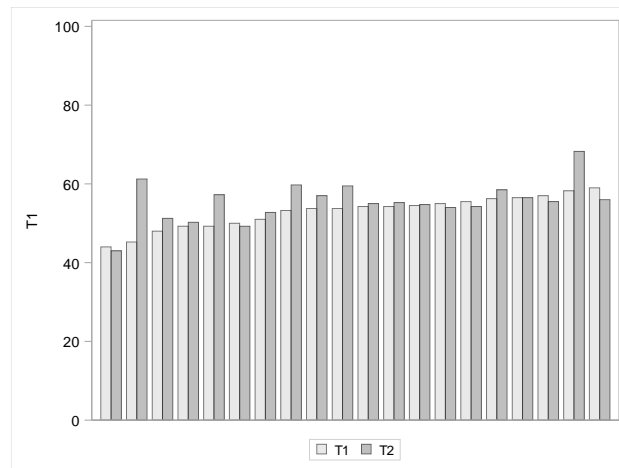
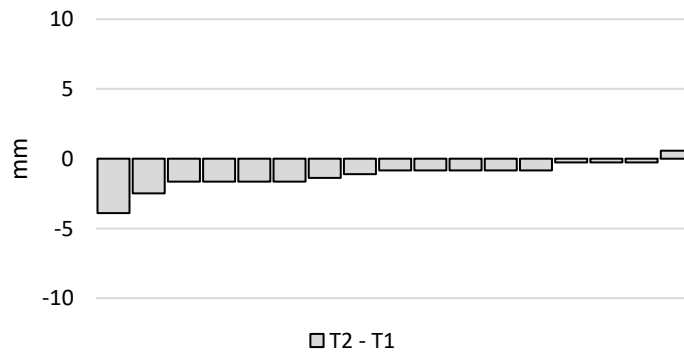


Abbildung 52: Darstellung des Boxplots und des jeweiligen Differenzboxplots zur Beschreibung der Veränderungen der a) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2 mit der Differenz ($ms/Olp(D) - A/Olp(D)$ bzw. $mi/Olp(D) - Pg/Olp(D)$) vor und nach der Behandlung aller Patienten

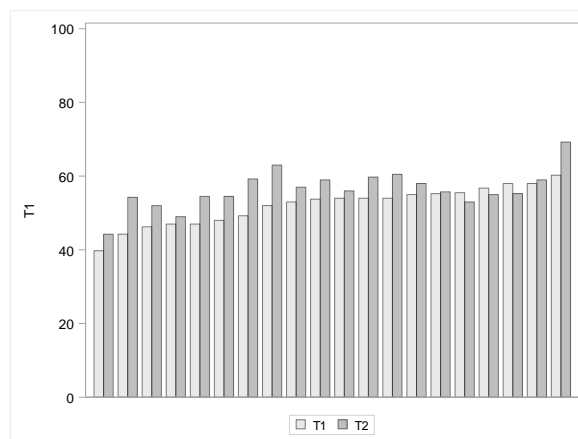
OK-Molaren-Position – Gruppe 1



OK-Molaren-Position – Gruppe 2



UK-Molaren-Position – Gruppe 1



UK-Molaren-Position – Gruppe 2

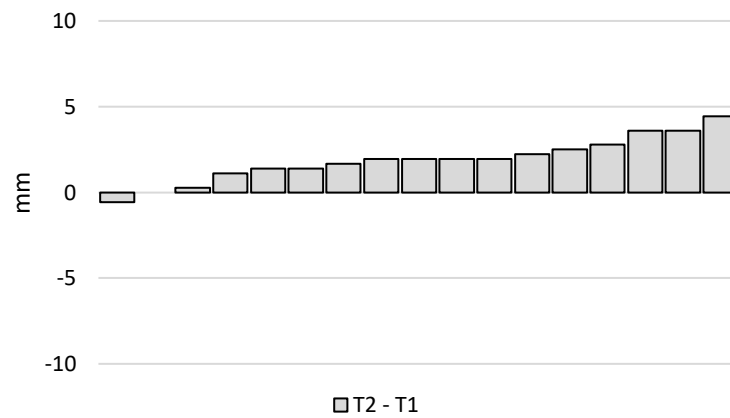


Abbildung 53: Darstellung des Histogramms zur Visualisierung der Veränderung der a) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 b) Oberkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2 c) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 1 d) Unterkiefer-Molaren-Position von Gruppe 2 mit der Differenz (ms/Olp(D) – A/Olp und mi/Olp – Pg/Olp vor (T1) und nach (T2) der Behandlung aller Patienten

5. Diskussion

5.1 Probandengut

Das Patientengut umfasste insgesamt 37 Patienten, die sich durch eine KI II/1 Anomalie mit Unterkieferrücklage, sogenannte mandibuläre Retrognathie, auszeichneten. Gruppe 1 bildeten 20 Patienten, Gruppe 2 bestand aus 17 Patienten. Beide Patientengruppen sind als klein anzusehen, jedoch als einheitlich einzustufen. Für alle Patienten galten die gleichen Einschlusskriterien. Das Patientengut musste eine uni- oder bilaterale KI II Okklusion von mindestens $\frac{1}{2}$ PB im Molarenbereich vorweisen. Zu Behandlungsbeginn betrug der Overjet ≥ 4 mm und alle Patienten hatten eine nahezu komplett durchgebrochene Dentition, bis auf das Vorhandensein der dritten Molaren oder der sich im Durchbruch befindenden zweiten Molaren und zweiten Prämolaren. Es durften keine Extraktionen vorliegen. Die Patienten befanden sich in gutem Allgemeinzustand und wiesen keine Syndrome oder sonstige Erkrankungen auf. Patienten aus Gruppe 1 wurden in der Praxis für Kieferorthopädie Dr. Thomas Drechsler in Wiesbaden mit der Aligner-Therapie (Invisalign- Teen®) in Kombination mit intermaxillären Klasse II Gummizügen behandelt. Patienten aus Gruppe 2 wurden in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz mit der gegossenen Herbst-Apparatur in Kombination mit einer Teil-Multibracket-Apparatur im Oberkiefer, gefolgt von einer Ober- und Unterkiefer Multibracket-Apparatur (0,22 Slot, Roth Prescription) therapiert. Der durchschnittliche Overjet zu Behandlungsbeginn betrug in der ersten Gruppe (1) 5,80 mm und in der zweiten Gruppe (2) 6,11 mm. Der ANB Winkel war in beiden Patientengruppen vergrößert, was ein typisches Merkmal für das Vorliegen einer Klasse II/1 darstellt. In der Gruppe 1 betrug der ANB Winkel anfänglich durchschnittlich 4,8 Grad, während Gruppe 2 einen Wert von 6,9 Grad aufwies. Durch die nahezu gleiche Geschlechterverteilung, in Gruppe 1 von w=10 zu m=10 und in Gruppe 2 von w=9 zu m=8, wurde keine Unterteilung in Bezug auf das Geschlecht vorgenommen. Die retrospektive Studie befasste sich speziell mit jugendlichen Patienten in bzw. kurz nach der Wachstumsphase in der kieferorthopädische Geräte üblicherweise ihre Anwendung finden (6, 9, 124). Die Literatur verweist auf eine hohe Behandlungseffizienz bei einem durchschnittlichen Alter der Patienten von 10,2 Jahren bis hin zu 16,0 Jahren bei der Behandlung mit KI. II Apparaturen (6, 7, 14, 23, 64). Folglich reichte das Pati-

entenalter in Gruppe 1 von 10- 18 Jahre, mit einem Durchschnittsalter von $13,08 \pm 2,6$ Jahren beim Einsetzen der Aligner-Apparatur. In Gruppe 2 umfasste das Patientenalter 11- 18 Jahre, mit einem Durchschnittsalter von $14,4 \pm 1,7$ Jahren bei Eingliederung der Herbst-Apparatur. Die Behandlungszeit in Gruppe 1 betrug durchschnittlich $3,08 \pm 0,9$ Jahre. Die kürzeste Behandlungsdauer betrug 1,69 Jahre und die längste Behandlungsdauer lag bei 5,92 Jahren. Die Dauer der Behandlung überschreitet damit die Angaben in der Literatur für eine Klasse II Behandlung mit Alignern (146). Die verlängerte Tragedauer könnte damit begründet werden, dass die Compliance zwischen Jugendlichen in der Pubertät, in der vorliegenden Studie, und Erwachsenen, in der Literatur, unterschiedlich ausfällt. Die Aligner wurden alle zwei Wochen gewechselt und die Patienten wurden instruiert die Aligner mindestens 22 Stunden pro Tag zu tragen, um den Behandlungserfolg zu ermöglichen. In der Literatur wird diskutiert, ob der gleiche Behandlungserfolg auch nach einer Woche Tragedauer gewährleistet sei (87). Dabei handelte es sich jedoch um erwachsene Patienten. Die Behandlungszeit in Gruppe 2 betrug durchschnittlich $9,8 \pm 2,2$ Monate und war somit länger als die in der Literatur durchschnittlich angegebenen 6 Monate für die Herbst-Apparatur (6). Ein wesentlicher Unterschied liegt im Patientenalter, denn sowohl Pancherz, als auch Valant und Jones et al. ermittelten in ihrer Studie gewonnenen Daten an Patienten, die bei Eingliederung der Apparatur im Durchschnitt jünger waren als in unserer Kohorte (6, 7, 9, 14, 22, 64). Eine mögliche Begründung der verlängerten Tragedauer könnte darauf zurückzuführen sein, dass das Patientengut an einer Universitätsmedizin meist eine komplexere Diagnose mit späterem Behandlungsbeginn und letztlich einer unsicheren Prognose aufweist, was folglich ungünstiger auf eine Behandlung anspricht. Somit ist die Betreuung dieser Patienten mit einer festsitzenden Apparatur, die compliance-unabhängig dauerhaft intraoral wirken kann, sinnvoll (107).

5.2 Methode

In die Studie wurden Röntgenbilder inkludiert, die alle eine angemessene Bildschärfe aufwiesen. Alle Bilder wurden mit einer standardisierten Aufnahmetechnik durchgeführt. Alle Röntgenbilder der Gruppe 1 entstanden mit dem gleichen DVT Gerät, alle

Röntgenbilder der Gruppe 2 wurden mit dem gleichen Fernröntgenseitengerät angefertigt. Dadurch lässt sich innerhalb der zwei Gruppen von gleicher Qualität der Aufnahmen ausgehen. Allerdings können während der Aufnahme, durch beispielsweise falsche Anordnung des Objekts, Verzerrungseffekte der Strukturen, Doppelkonturen oder Überlagerungen entstehen, die die Genauigkeit der Analyse reduzieren (147). Durch das Umschreiben eines dreidimensionalen Objekts in eine zweidimensionale Abbildung kommt es zwangsläufig zu einem Informationsverlust (148). Es lässt sich diskutieren, ob mit einer DVT-Aufnahme dieser Informationsverlust vermeidbar wäre. Allerdings lassen sich DVT-Aufnahmen nur mit einer zweidimensionalen Analyse auswerten und müssen deshalb umgeschrieben werden (87, 149). Dreidimensionale Analysen eines DVTs für eine kieferorthopädische Therapieplanung müssen noch entwickelt werden (150). Von entscheidender Bedeutung für die Genauigkeit der Analyse spielt die Tatsache, ob eine Reproduzierbarkeit der FRS-Auswertung gewährleistet ist. Dies ist davon abhängig, ob der Auswerter die nötige Übung und Erfahrung mit sich bringt (151). Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit des Auswerter wurden zu Beginn fünf Patienten im Abstand von zwei Wochen ausgewertet. Außerdem wurde von jedem Punkt der SO-Analyse und des FRS der Intrabeurteilerkorrelationskoeffizient (ICC) berechnet. Bei einem Wert von ≥ 0.950 kann von einer guten Beständigkeit ausgegangen werden. Alle Analysen wurden von einer Untersucherin im Abstand von zwei Wochen angefertigt. Dadurch konnte eine Intrabeurteilervarianz ausgeschlossen werden. Auch in der Literatur ist es üblich, dass eine Auswertung von derselben Person zwei Mal ausgewertet wird (152). Von den Werten der ersten und zweiten Auswertung wurde jeweils der Mittelwert gebildet und dieser für alle weiteren Berechnungen angewendet. Durch diese Vorgehensweise wurde der Methodenfehler minimiert (147). Die SO Analyse nach Pancherz (6) genießt eine weit verbreitete Anwendung in der Literatur um kieferorthopädisch relevante Veränderungen in der Sagittalebene zu veranschaulichen (9, 14, 59). Die SO-Analyse ermöglicht eine Erfassung und Quantifizierung der dentalen und skelettalen Veränderungen innerhalb beider Kiefer in Bezug auf die sagittale Okklusion. Weichgewebsveränderungen, sowie Veränderungen in der Vertikalen werden jedoch nicht abgedeckt (23). Bei der FRS-Analyse wurden alle Berechnungen vom Computer ausgeführt. Bei der SO-Analyse wurden hingegen alle Längenmessungen per Hand durchgeführt, was Ungenauigkeiten und Messfehler mit sich bringen kann. In der SO-

Analyse wird die Strecke Nasion-Sella als fixe Referenzlinie angesehen, über die die Röntgenbilder überlagert werden. Allerdings unterliegen auch diese Punkte wachstumsbedingten Veränderungen. Besonders N verändert sich nach anterior kranial oder kaudal, wie Pancherz in seinen Studien bei Patienten zwischen 10,8 – 16,1 Jahren feststellt (153, 154). Da es sich in der vorliegenden Studie allerdings um einen relativ kurzen Untersuchungszeitraum handelt, kann angenommen werden, dass der durch das Wachstum bedingte Fehler in vernachlässigbar geringem Maße ausfällt (153). Pancherz untersucht in seiner Studie einen kieferorthopädischen Behandlungszeitraum von 3 Jahren bei Patienten im Alter von 10 Jahren und beurteilt das geringe Ausmaß der Abweichungen als tolerierbar (153). You und Hagg vergleichen in ihrer Untersuchung die drei Analysemethoden von Ricketts, Björk und Pancherz und kommen zu dem Entschluss, dass die SO-Analyse nach Pancherz die effizienteste Methode darstellt, um kieferorthopädische Veränderungen aufzuführen (155). Trotz alledem sollte bedacht werden, dass die Punkte S und N wachstumsbedingten Veränderungen unterliegen und folglich kieferorthopädische Behandlungsergebnisse nichts als Behandlungserfolg missinterpretiert werden. Die Messzeiten, sowie die Anfertigung des FRS/ DVT unterteilten sich in folgende Abschnitte: Unmittelbar vor Insertion der kieferorthopädischen Apparaturen (T1) beider Gruppen, nach Beendigung der Aligner-Behandlung (T2) in Gruppe 1, sowie nach der Therapie mit der Herbst-Apparatur (T2) in Gruppe 2 unmittelbar vor dem Einsetzen der OK/UK-Multibracket-Apparatur. Es wurde sich bewusst dazu entschieden die reine Behandlung mit Herbst-Apparatur ohne jegliche Art der Vorbehandlung darzustellen, um die Effekte der Apparatur aufzeigen zu können.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Dentofaziale Morphologie

Sagittale Kieferrelation

In beiden Gruppen wurde das Therapieziel in Bezug auf die sagittale Ebene erreicht. Eine Klasse I Verzahnung wurde eingestellt. Es ist zu berücksichtigen, dass es sich

in der vorliegenden Studie um jugendliche Patienten handelt, die sich noch im Wachstum befanden.

Der Winkel SNA verkleinerte sich leicht in beiden Gruppen, wobei das Ausmaß in Gruppe 2 größer ausfiel. In der Gruppe der Herbst-Apparatur zeichnete sich eine durchschnittliche Verkleinerung von 0,69 Grad ab, während für Gruppe 1 eine durchschnittliche Minimierung von 0,39 Grad notiert werden konnte. In beiden Gruppen lag der Ausgangs- sowie Endwert allerdings durchschnittlich im Normbereich. Sowohl Valant, als auch Pancherz weisen in ihrer Studie daraufhin, dass die Wirkung des Herbstscharniers hinsichtlich der Kraftvektoren mit einem High- Pull Headgear Effekt verglichen werden kann (7, 107). Durch den Angriffspunkt der doppelseitigen Teleskope wirkt ein nach kranio-distal gerichteter Kraftvektor auf den Oberkiefer und bringt somit eine hemmende Wirkung auf die Maxilla mit sich, folglich auch auf den A Punkt. Valant konnte in seiner Studie zeigen, dass sich SNA um 0,7 Grad verkleinerte (7). Auch Pancherz notierte eine Minimierung des Winkels um 0,5 Grad (6) bis 0,7 Grad (71). De Almeida beobachtete eine Verkleinerung des SNA Winkels um 0,8 Grad (156). Bei allen angeführten Studien handelt es sich um eine Behandlungsdauer der Herbst-Apparatur von einem halben bis zu einem Jahr bei Patienten, die sich im Wachstum befinden. Zu beachten ist allerdings, dass Nasion wachstumsbedingten Veränderungen nach anterior unterliegt (153) und dadurch einen direkten Einfluss im Sinne einer Verkleinerung des SNA Winkels mit sich bringt.

In beiden Gruppen wird die initial protrudiert stehende Oberkiefer-Front bei Klasse II/1 Patienten retrudiert. Diese Veränderung der Inklination der Oberkieferinzisivi hat ebenfalls eine direkte Wirkung auf die Position des A-Punktes (147, 157) und somit auch auf den Winkel SNA. Zudem wird der A-Punkt in der Literatur oft als schwierig zu ermitteln beschrieben (158). Die Herbst-Apparatur bewirkt eine Vorverlagerung des Unterkiefers mit einhergehenden Umbauprozessen in der Fossa (8, 159). Dementsprechend verändert sich auch die Lage des B Punktes und Pogonion mit direkter Auswirkung auf die Winkel SNB, SNPg und ANB sowie den Wits-Wert. Die Winkel SNB und SNPg vergrößern sich, während sich ANB, ANPog und der Wits-Wert verkleinern. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung decken sich mit der Literatur (6, 159). So konnte besonders in Gruppe 2 eine Vergrößerung der Winkel SNB um durchschnittlich 1,03 Grad festgestellt werden. Ähnliche Werte stellte auch Valant

mit einer Vergrößerung des Winkels SNB um 1,3 Grad (7) und Pancherz um 1,4 Grad (6) fest. Zu beachten ist allerdings, dass die Stimulierung des Wachstums der Mandibula ausschließlich auf den Zeitraum begrenzt ist, in dem die Herbst-Apparatur eingegliedert ist und somit einen limitierten Faktor darstellt (160).

In Gruppe 1 fallen die Veränderungen in der sagittalen Kieferlagebeziehung in geringerem Maße aus. Es findet bei 60% des Patientenguts eine Verkleinerung des Wertes SNA statt, allerdings auch zu 40% eine Vergrößerung des Winkels. SNB vergrößert sich bei 55% der Patienten, verkleinert sich jedoch auch bei 40%. Hier ist zu vermuten, dass die Änderungen der Punkte wachstumsbedingten Prozessen unterliegen, da es durch die Aligner-Behandlung eher zu dentalen Bewegungen kommt (161). Auch in der Gruppe der Herbst-Apparatur verkleinert sich der SNB Winkel bei 35% der Patienten. Der SNB Winkel steht in direktem Bezug zum N Punkt, welcher wachstumsbedingten Veränderungen nach anterior kranial oder kaudal unterliegt, was bei den Ergebnissen berücksichtigt werden muss (153, 154). Besonders auffällig zwischen beiden Gruppen verhält sich der Wits-Wert. Während es bei der Herbst-Apparatur eine Verkleinerung des Wertes um 9,68 mm gab, verkleinerte sich der Wert in Gruppe 1 lediglich um 2,52 mm. Bei T1 war der Wits-Wert in Gruppe 2 bereits bedeutend größer als in Gruppe 1 und erreichte trotz alledem einen näheren Wert an der Norm als durch die Behandlung mit Alignern. Dies ist ein weiteres Zeichen dafür, dass die Herbst Apparatur einen größeren skelettalen Einfluss einnimmt als Invisalign®. Zu beachten ist allerdings auch, dass der Wits-Wert aus den Punkten A und B konstruiert wird und von der Okklusionsebene direkt abhängig ist. Wie bereits zuvor erwähnt, wird der A-Punkt in der Literatur als oft schwierig zu ermitteln beschrieben (158). Außerdem kommt es durch den High-Pull Headgear Effekt der Herbst-Apparatur zu einer Intrusion der Oberkiefermolaren, was zu einer clockwise Rotation der Okklusionsebene mit direkter Auswirkung auf den WITS-Wert führt (65).

Vertikale Kieferrelation

Sowohl in Gruppe 1, als auch in Gruppe 2 sind keine nennenswerten Veränderungen der vertikalen Kieferrelation durch die Apparaturen festzustellen. Variationen in der Vertikalen, bezogen auf die Kiefer, sind dentaler Natur bei einer Behandlung mit der Herbst-Apparatur (6, 71). Auch in der vorliegenden Studie wird keine starke unerwünschte Rotation des Unterkiefers nach posterior beobachtet, was auch Ruf und Pancherz in ihrer Studie feststellten (73). Auch in weiteren Studien von Pancherz werden keine signifikanten Veränderungen auf die Rotationen der Mandibula und Maxilla wahrgenommen (6, 159). Lediglich Valant stellte in seiner Studie eine minimale nach posterior gerichtete Rotation der Mandibula fest (7). Zu beachten ist, dass es zu einer Bissenkung kommen würde, wenn sich die Neigung der Maxilla zur vorderen Schädelbasis vergrößert, während sich die Neigung der Mandibula zur vorderen Schädelbasis fix verhalten würde. Dies ist in der vorliegenden Studie nicht der Fall. Zu berücksichtigen ist, dass sich der Punkt Nasion im Laufe des Wachstums verändert (153) und dadurch keinen fixen Punkt darstellt. In der Literatur wird mit von Fallberichten erläutert, dass es durch die Aligner-Behandlung nicht zu einer Vergrößerung des Mandibularebenenwinkels kam und dadurch dentale Veränderungen planbar sind (56, 161).

Frontzahnüberbiss

In Gruppe 1 kam es größtenteils zu einer Reduzierung des Overbites, was als Therapieziel galt. Erreicht wurde dies durch Interproximale Schmelzreduktion (IPR) bei Engständen und Intrusion der Frontzähne sowie einer Überkorrektur des Behandlungsergebnisses. Bereits im ClinCheck® wurde eine Intrusion der Ober- und Unterkieferinzisivi eingestellt, sowie zum Teil eine Extrusion der Seitenzähne. Durch sogenannte „Bite Ramps“ (Aufbisse) integriert in die Schienen, lokalisiert palatinal im Bereich der Oberkieferfront (von Zahn 12 bis 22), wurde durch Zubeißen die Unterkieferfront intrudiert und die Seitenzähne entlastet. Auch in der Literatur liegen Fallbe-

richte vor, in denen ein Tiefbiss erfolgreich mit Alignern behandelt wurde (56, 88, 89, 161-165). Die Behandlung von Tiefbisspatienten stellt allerdings bis heute eine Herausforderung in der Aligner Therapie dar. Durch die Schichtdicke der Aligner (0,7mm) besteht die Gefahr der Intrusion der Seitenzähne mit anterioren Vorkontakten der Inzisivi und posterior offenem Biss (166). Womack et al. stellte in seiner Studie eine posteriore Non-Okklusion von 0,25-0,5 mm fest (167). Auch Boyd erfasste dieselben Werte zu Behandlungsende (86). Bei 20% der Patienten wurde eine Vergrößerung des Overbites notiert. Diese Prozentzahl lässt sich vermutlich auf schlechte Compliance der Patienten in Bezug auf die Tragedauer der Aligner (93) und eine Verstärkung des tiefen Bisses bei Nichtbehandlung zurückführen (6, 71). Auch wurden nicht bei allen Patienten „Bite Ramps“ geplant, was einen posterior offenen Biss mit Vergrößerung des Overbites begünstigen kann.

In Gruppe 2 wurde der Overbite bei allen Patienten reduziert. Durch die compliance-unabhängige Wirkungsweise, kann die Apparatur 24h wirken, was folglich zu besseren Ergebnissen führt (107). Erreicht wurde das Therapieziel durch skelettale und dentale Veränderungen ausgehend von einer mandibulären Rücklage zu Behandlungsbeginn. Die Frontzähne wurden in eine konstruierte Kantenbissposition eingestellt. Die Herbst-Apparatur bewirkt dabei eine Intrusion der Unterkieferfront, der Oberkiefermolaren, sowie Extrusion der Unterkiefermolaren und dadurch eine Bissöffnung in der Front (6, 159). Als unerwünschten Nebeneffekt wird, wie auch in der Literatur oft beschrieben, die Unterkieferfront unkontrolliert protrudiert (14), was zu einer weiteren unerwünschten Verringerung des Overbites führt.

Gesichtshöhe

In beiden Gruppen kam es zu einer Vergrößerung der hinteren unteren und vorderen unteren Gesichtshöhe in Bezug auf die Gesamtgesichtshöhe. Dabei ist anzumerken, dass in beiden Gruppen die hintere untere Gesichtshöhe mehr extendiert ist als die vordere. Die Zunahme der Gesichtshöhe in Gruppe 2 erfolgt durch die Vorverlagerung der Mandibula, infolge des Teleskopmechanismus, mit einhergehender Extrusion der Molaren im Unterkiefer (168). Des Weiteren finden, bedingt durch die Herbst-

Apparatur, kondyläre Umbauprozesse statt (8). In Gruppe 1 könnte die Vergrößerung der Gesichtshöhen auf wachstumsbedingte Veränderungen zurückzuführen sein.

Profilkonvexität

Eine konvexe Gesichtsform ist typisch für die Klasse II Dysgnathie, bedingt durch eine Unterkieferrücklage. In Gruppe 2 vergrößerten sich die Winkel des Hart- und Weichgewebes, was darauf rückschließen lässt, dass eine Harmonisierung des Gesichtspröfils stattgefunden hat. Verursacht wird dies durch die überkorrigierte Vorverlagerung der Mandibula in einen frontalen Kopfbiss. Pogonion wird demnach weiter nach anterior verlagert. Durch die zusätzliche Verkleinerung von SNA beeinflussen diese skelettalen Veränderungen das umliegende Weichgewebsprofil positiv. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen mehrerer Studien, die den gleichen positiven Effekt der Herbst-Apparatur auf die Profilkonvexität der Klasse II Patienten nachweisen konnten (22, 159, 160, 169). Der Winkel, zur Bewertung des Weichgewebes mit Einbezug der Nasenspitze, verglichen mit den beiden anderen Winkeln ohne Einbezug der Nase, änderte sich nur geringfügig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Patienten in der Pubertät befinden, in der auch die Nase einem Wachstum unterliegt (170).

In Gruppe 1 verändern sich alle Winkel nur minimal. Dies könnte dadurch begründet sein, dass es durch die Aligner nicht zu einer skelettalen Vorverlagerung im Sinne einer funktionskieferorthopädischen Apparatur kommt, wie es bei der Herbst-Apparatur der Fall ist. Es handelt sich um rein dentale Bewegungen (161). Betrachtet man den Winkel, der die Nasenspitze mit einbezieht, kommt es sogar zu einer minimalen Rückverlagerung. Die Änderungen der Winkelwerte sind allerdings so gering, dass sie als nicht signifikant angesehen werden können. Ein geraderes Gesichtspröfil, wie es in Gruppe 2 erreicht wurde, ist hier nur unzureichend der Fall.

Lippenposition

In beiden Gruppen vergrößert sich die Strecke zwischen Esthetic-Line und Oberlippe (OI-E-Linie). In Gruppe 2 fällt das Ausmaß der Veränderung größer aus als in Grup-

pe 1. Dies ist damit zu begründen, dass es bei der Herbst-Apparatur zu einer skelettalen Vorverlagerung des Unterkiefers und somit auch des Weichteil Pogonions kam. Die gesamte Esthetic-Line, definiert durch die Weichteilpunkte der Nasenspitze (No) und Pogonion (PgS), verschiebt sich im Laufe der Behandlung nach anterior. Ebenfalls ist zu beachten, dass die protrudierte Oberkieferfront der Klasse II/1 während der Behandlung retrudiert wird und somit nicht mehr die Lippe nach anterior verdrängt. Betrachtet man den Abstand der Esthetic-Line zur Unterlippe (UI-E-Linie) finden in beiden Gruppen nur minimale Veränderungen statt. In Gruppe 2 fällt die Strecke weitaus geringer aus als in Gruppe 1. Dies lässt sich dadurch erklären, dass, wie bereits erwähnt, während der Vorverlagerung des Unterkiefers simultan auch Weichteil Pogonion nach anterior verschiebt wird. Des Weiteren kommt es durch den Verankerungsverlust bei der Herbst-Apparatur zu einer Protrusion der Unterkieferinzivi, die ebenfalls das untere Lippenprofil protrusiv beeinflusst. In der Literatur werden ähnliche Veränderungen bezüglich der Behandlung mit der Herbst-Apparatur, bezogen auf die Lippenposition, beschrieben (171).

In Gruppe 1 nimmt der Abstand der Unterlippe zur Esthetic-Line geringfügig zu. Es wird keine funktionskieferorthopädische Vorverlagerung mit den Alingern erzielt, wobei Weichteil Pogonion eher wachstumsbedingten Veränderungen unterliegt. Außerdem besteht kein Verankerungsverlust im Sinne der Protrusion der Unterkieferinzivi, wie es in Gruppe 2 der Fall war. Durch die Aligner ist eine Kontrolle und Planbarkeit der Inklination der Unterkieferfront gegeben. In der vorliegenden Studie kommt es sogar zu einer Retroklination, was eine Kraft nach anterior auf die Unterlippe verhindert. Bei allen Patienten der Gruppe 1 wurde keine Retrusion sowie auch keine Retroklination der gesamten Unterkieferfront aktiv im ClinCheck® geplant. Jeder Zahn wurde im ClinCheck® individuell an die für den Patienten optimale Position eingestellt. Durch die Verblockung der Zähne durch das Einsetzen und Tragen der Aligner, nahezu ganztägig, wurden so unerwünschte Nebeneffekte auf die Unterkieferfront verhindert.

Frontzahninklination und –position

In Gruppe 1 kam es zu einer minimalen Vergrößerung der Inklination der Oberkieferinzisivi (is- NA) mit einer Verkleinerung des Abstandes des maxillären Frontzahns zur NA-Linie (is_NA). Es gab keine Korrelation zwischen Winkel- und Millimetermessung. Eine Vergrößerung des Achsenneigungswinkel der Oberkieferinzisivi könnte auf einen geringen Verankerungsverlust, begründet durch eine schlechtere Compliance beim Tragen der Klasse II Gummizüge, zurückzuführen sein. Jeder Zahn wurde individuell auf die Bissituation des Patienten im ClinCheck® eingestellt, wodurch die Oberkieferfront zum Teil protrudiert, als auch retrudiert wurde. Die Inklinationsänderung wurde teilweise bis zu 20% überkompensiert. Auch könnte die „Trimmline“ der Aligner entscheidend für die erfolgreiche Übertragung des eingestellten Torques sein. So weisen Alignersysteme mit einem geraden Schnitt der 2 mm die Gingiva überdeckt eine höhere Retention auf, als Aligner die wellenförmig dem Gingivasaum folgen (172). Um den Torque adäquat auf den Zahn zu übertragen entwickelte Invisalign® 2007 sogenannte Power Ridges ab 3° Torque. Hierbei handelt es sich um innerhalb des Aligners befindliche Drucklinien, die vestibulär am Zahn kurz vor dem Gingivasaum lokalisiert sind. Durch die zentrierte Verformung der Schiene wird eine Kraft auf den Schneidezahn ausgeübt, die eine Lingualkippung bewirkt mit gleichzeitigem Gegendruck des Aligners palatinal-inzisal am Zahn, wodurch es zu einer palatinalen Wurzelbewegung kommen soll. Hinsichtlich des Frontzahntorques konnte Simon in ihrer Studie zeigen, dass die Bewegung mit einem Aligner in Kombination mit Power Ridges zwar möglich, allerdings als schwierig zu bewerten ist (173). Eine Überkompensierung des Torques oder sogenannte „Zusätzliche Aligner“ sind gegebenenfalls notwendig, um das Behandlungsziel zu erreichen (173). Im Unterkiefer kam es zu einer Reklination der Front (is-NB) mit einhergehender Vergrößerung des Abstandes des mandibulären Frontzahns zur NB-Linie (is_NB). Auch hier verliefen die Größen Gradzahl und Millimeter in entgegengesetzte Richtungen. Eine Retroklination der Unterkieferfront wurde im ClinCheck® nicht bei allen Patienten aktiv eingestellt, sondern wie auch im Oberkiefer an die Bissituation jedes einzelnen Patienten individuell angepasst. So beobachtete Fischer bereits,

dass es genügt die Zähne mit flexiblen, tiefgezogenen Schiene zu verblocken, um einem Verankerungsverlust entgegenzuwirken (174).

In Gruppe 2 kam es zu einer Reduzierung der Inklination der Oberkieferinzisivi (is_NA) und gleichzeitig auch zu einer Verkleinerung des Abstandes des maxillären Frontzahns zur NA-Linie (is_NA). Im Unterkiefer kam es zu einer Proklination mit Vergrößerung des Abstandes des mandibulären Frontzahns zur NB-Linie (is_NB). Durch dieses Zusammenspiel von Ober- und Unterkiefer wird ein physiologischer Overjet eingestellt. Es handelt sich jedoch bei der Proklination der Unterkieferinzisivi um die Folge eines Verankerungsverlustes, der unkontrolliert erfolgt. Betrachtet man die Relation der Werte der Maxilla und Mandibula fällt auf, dass der Achsneigungswinkel, sowie die Verschiebung in der Sagittalen im Unterkiefer eine größere Veränderung aufweisen als die des Oberkiefers. Dies spricht weiter dafür, dass die mandibulären Bewegungen in stark unkontrolliertem Ausmaß erfolgen. Die Literatur beschreibt ähnliche Ergebnisse (9, 126, 127, 145). So berichtet beispielsweise Pancherz von einer Inklinationszunahme der Unterkieferinzisivi von 5,4 bis 9,4 Grad (71, 127). In der Literatur werden einige Methoden beschrieben um den Verankerungsverlust, verursacht durch die Kräfte des Teleskopmechanismus, vollständig zu verhindern, jedoch ohne Erfolg (14, 126). Manni kombinierte in seiner Studie die Herbst-Apparatur mit Miniimplantaten und notierte eine geringere Proklination der Unterkieferinzisivi mit besserer Kontrollierbarkeit der Zahnbewegungen (14). Interessant ist, dass sowohl Manni als auch Valant in ihren Untersuchungen die Herbst-Apparatur mit einer Acrylschiene in der Unterkieferfront kombinierten, mit dem Gedanken so einen Verankerungsverlust zu vermeiden (7, 14). Auch Pancherz vermutete durch den Einsatz einer Acrylschiene, während der Behandlung mit Herbst-Apparatur, eine Minimierung unerwünschter Nebeneffekte (71). Einige Studien zeigen nun, dass durch Kombination der Herbst-Apparatur mit einer individualisierten lingualen Apparatur die Proklination genau im Voraus kontrolliert werden und sogar eine Reklination stattfinden kann (23, 131, 132, 175). Es wird jedoch eine bisher sehr geringe Patientenzahl aufgeführt. Weitere Studien unter Kombination dieser Apparaturen sind nötig, um die Verifizierung zu überprüfen. Diese Art von Verankerungsgewinn im Sinne einer Reklination, wie sie in den genannten Herbst-Studien beschrieben wurde, war in

Gruppe 1 der Fall. Die Aligner bieten einen neuen Ansatz die unerwünschte Proklination der Unterkieferinzisivi zu kontrollieren und zu vermeiden.

Resümierend lässt sich festhalten, dass die klinischen Untersuchungen, die Zahn-
bewegungen mit Alignern beschreiben, bisher gering ausfallen und es sich meist um
Fallberichte handelt, die als nicht signifikant für die Allgemeinheit zu betrachten sind
(176).

5.3.2 Sagittale Okklusionsveränderungen

Bei beiden Gruppen wurde der Overjet reduziert und eine neutrale Molaren-Relation
eingestellt. Die sagittalen Okklusionsveränderungen beinhalten dentale sowie ske-
lettale Einflüsse. Auffällig ist hierbei, dass bei der Herbst-Apparatur die dentalen
Komponenten überwiegen, wohingegen bei den Alignern die skelettalen Verände-
rungen einen größeren Einfluss einnehmen. Allerdings ist zu beachten, dass es sich
bei der SO-Analyse nach Pancherz um Längenmessungen handelt, die manuell
durchgezeichnet und ausgewertet werden. Die kephalometrische Auswertung weist
deutlich stärkere skelettale Einflüsse bei der Behandlung mit Herbst-Apparatur auf,
im Gegensatz zur Aligner Therapie. Diese These wird von der Tatsache unterstützt,
dass die Kl II Behandlung durch Vorverlagerung des Unterkiefers, sogenanntes „jum-
ping the bite“, therapiert wird (71). Allgemein lässt sich zudem festhalten, dass die
durchschnittlichen sagittalen Okklusionsveränderungen des Overjets und der Mo-
larenrelation in Gruppe 2 ein weitaus größeres Ausmaß annehmen als in Gruppe 1.

Der Overjet (Abb. 55) wurde in Gruppe 1 durchschnittlich um 2,33 mm reduziert. Da-
bei betragen die skelettalen Einflüsse 54%, während die übrigen 46% durch dentale
Kompensation erreicht wurden. Die dentale Korrektur des Overjets wurde zu 43%
durch Retrusion der Oberkieferfront und zu 3% durch eine minimale Protrusion der
Unterkieferfront erreicht. Zu beachten ist allerdings, dass es sich bei der SO-Analyse
um Längenmessungen handelt und somit eher von einer körperlichen Bewegung
ausgegangen werden kann. Da es sich bei den Alignern nicht um eine funktionskie-
ferorthopädische Apparatur handelt und das Patientengut Jugendliche umfasst, kann

davon ausgegangen werden, dass der skelettale Anteil von 54% wachstumsbedingten Veränderungen unterliegt.

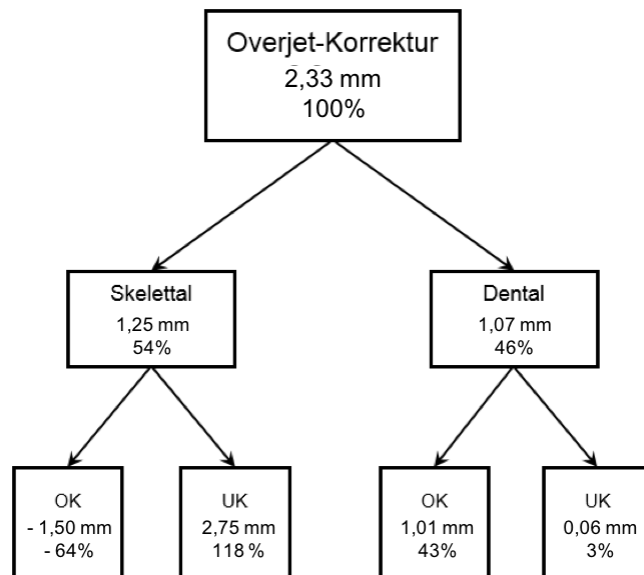


Abbildung 54: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 1 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Korrektur des Overjets. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine Verbesserung des Overjets wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Overjet-Korrektur.

In Gruppe 2 wurde der Overjet (Abb. 56) um durchschnittlich 6,8 mm reduziert. Hier betrug der skelettale Anteil 35% und eine dentale Kompensation fand zu 65% statt. Hier wird deutlich, dass die Herbst-Apparatur eine große Kraft auf die obere und untere Dentition ausübt, da beim Herbstscharnier orthopädische Kräfte 24h wirken (177), die mit intermaxillären Gummizügen nicht erreicht werden können (in diesem Fall 4,5 OZ). Die Verkleinerung des Overjets erfolgte zu 26% durch Retrusion der Oberkieferfront und zu 39% durch Protrusion der Unterkieferfront. Durch den Angriffspunkt des doppelseitigen Teleskops wirkt eine nach anterior gerichtete Kraft im Unterkiefer, die eine Mesialisierung der Seitenzähne und eine Proklinationszunahme der Unterkieferinzisivi bewirkt. Diese anteriore Bewegung der Unterkieferinzisivi ist das Resultat eines Verankerungsverlustes, der oft in der Literatur diskutiert wird (6, 14, 119, 126). Der skelettale Anteil von 35% ist auf die Vorverlagerung des Unterkiefers (159) zurückzuführen, sowie Umbauprozessen in der Fossa (8) mit einer Wir-

kung auf das sagittale Wachstum der Kondylen zugunsten einer nach posterior gerichteten Entwicklung, wobei das Wachstum in der Vertikalen der Kondylen unverändert bleibt (119, 178, 179). Auch durch die Wachstumshemmung der Herbst-Apparatur auf den Oberkiefer kommt es zu einem direkten Einfluss auf den A-Punkt falls natürliche wachstumsbedingte Einflüsse eine Rolle spielen.

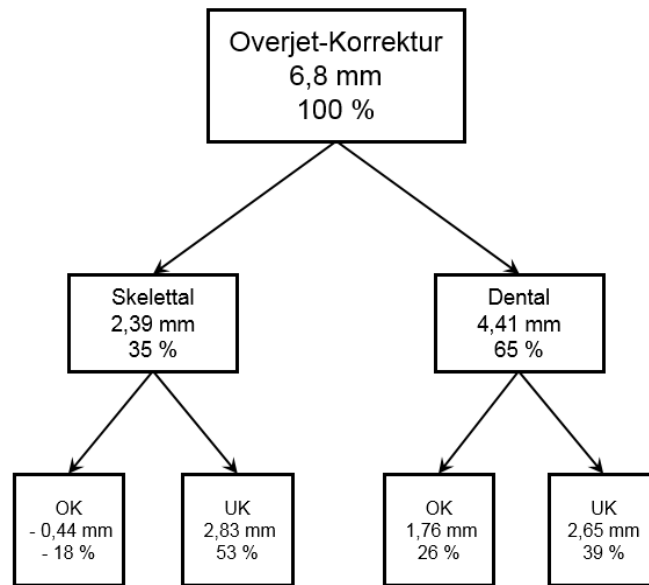


Abbildung 55: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 2 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Korrektur des Overjets. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine Verbesserung des Overjets wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Overjet-Korrektur.

Die Einstellung der Molaren-Relation (Abb.: 57) in Gruppe 1 betrug durchschnittlich 1,80 mm und unterlag zu 69% skelettalen Einflüssen und zu 31% einer dentalen Kompensation. Die Korrektur der Molaren-Relation in eine neutrale Verzahnung erfolgte durch eine leichte Mesialisierung der Oberkiefermolaren um 59% und einer Mesialisierung im Unterkiefer um 89%.

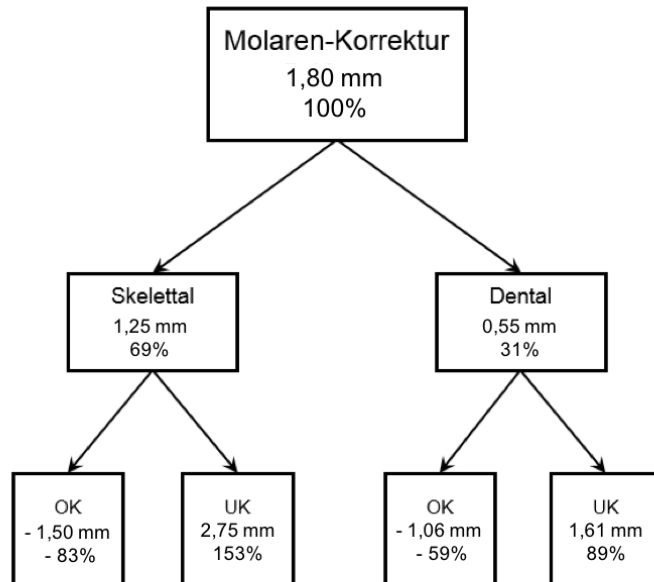


Abbildung 56: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 1 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Einstellung einer neutralen Molaren-Relation. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine Verbesserung zugunsten der Molaren-Relation wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Neutralisierung.

Eine dentale Bissverschiebung erfolgte durch Klasse II Gummizüge bei denen, im Gegensatz zur Herbst-Apparatur, die Kraftvektoren in entgegen gesetzter Richtung verlaufen und es sich um orthodontische Kräfte (4,5 OZ) und nicht um orthopädische Kräfte, wie bei der Herbst-Apparatur, handelt (177) (Abb. 54).

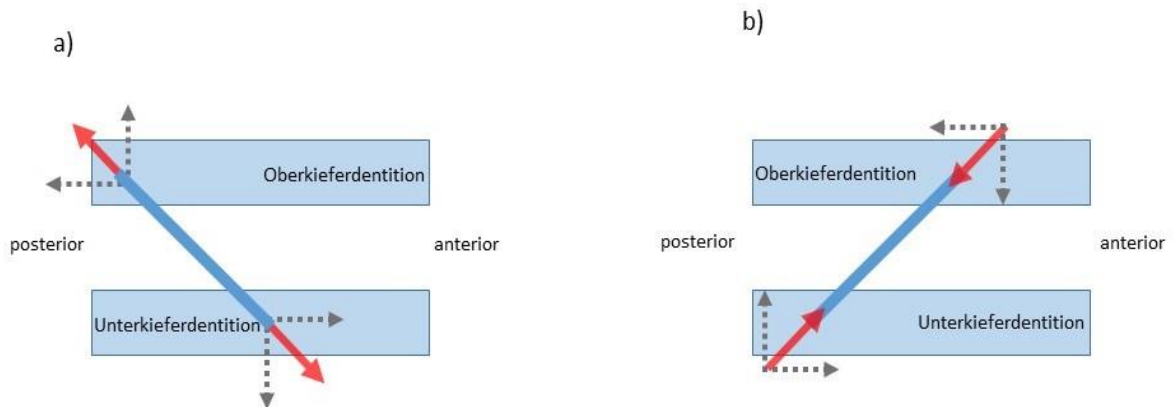


Abbildung 57: Kraftvektoren a) der Herbst-Apparatur b) von intermaxillären Klasse II- Elastics

Die intermaxillären Elastics werden in Regio der Oberkiefercanini zu den ersten Unterkiefermolaren befestigt, in diesem Fall mit Cuts innerhalb der Aligner. Die Gummizüge dienen als Verankerungselement zur Distalisation der Eckzähne, Reklination der Oberkieferinzisivi sowie zum Teil der Distalisation der Oberkiefermolaren (180). Zu beachten ist, dass auch diese kieferorthopädischen Hilfsmittel unerwünschte Nebeneffekte mit sich bringen. Durch die horizontalen und vertikalen Kräfte werden die Oberkiefercanini und Inzisivi extrudiert, die Unterkieferfront protrudiert, sowie die Unterkiefermolaren extrudiert unter Lingualkippung mit einhergehender Clockwise Rotation der Mandibula mit Verschlechterung des Weichgewebsprofil (180) (Abb. 54). Fischer beobachtet, dass durch die Verblockung der Zähne, sowie die Materialeigenschaften des flexiblen, tiefgezogenen Aligner einem Verankerungsverlust entgegenwirkt wird (174). Laut Nanda können die unerwünschten Nebeneffekte der intermaxillären Gummizüge durch Minimierung der Kraftapplikation sowie Reduzierung der Tragezeit supprimiert werden (180). In der vorliegenden Studie wurden Klasse II Elastics (ODS GmbH 4,5 Oz medium, 1/4“ oder 3/16“) verwendet, die Tragezeit betrug 20 – 22 Stunden. Die Elastics wurden mitsogenannten Cuts direkt an die Aligner angebracht. Andere Möglichkeiten wie Knöpfe oder Brackets können alternativ zur Befestigung der Gummizüge gewählt werden (174, 181). Eine neue Innovation von Invisalign® bietet durch die G3 Version eine virtuelle Planung der Cuts, mit direkter Herstellung in den Schienen. Die skelettalen Veränderungen sind auch hier wachstumsbedingten Umbauprozessen zuzuschreiben, da keine Vorverlagerung des Unterkie-

fers, wie bei der Herbst-Apparatur, gegeben ist. Die Mesialisierung der Oberkiefermolaren lässt sich daher herleiten, dass durch eine schlechte Compliance der Patienten die Gummizüge nicht wie vorgeschrieben 20- 22 h getragen wurden und es somit zu einem Verankerungsverlust im Bereich der Molaren kam. Im ClinCheck® wurde bei allen Patienten ein virtueller „Jump“ des Unterkiefers nach anterior geplant, für welchen der Einsatz von Klasse II Gummizügen essenziell ist. Auch spielt die „Trimmline“ der Aligner eine große Rolle in Bezug auf eine optimale Verankerung mit einhergehendem Behandlungsergebnis. Die Invisalign® Schienen sind so gestaltet, dass die Trimmränder wellenförmig am Zahnfleischsaum entlang die Zähne umfasst. Cowley untersuchte in seiner Studie durchsichtige Schienen hinsichtlich ihrer Retentivität und fand heraus, dass Aligner mit einer graden „Trimmline“, die die Gingiva um 2 mm überdeckt, doppelt so retentiv sind wie Aligner, die wellenförmig dem Zahnfleischsaum folgen (172). Die Problematik bei wellenförmigen Rändern besteht darin, dass die Aligner sich während der Zahnbewegung vom Zahn vertikal lösen mit einhergehender Kippung des Zahnes und somit die Kraftapplikation nicht akkurat erfolgen kann (172). Attachments sollen dieses Phänomen bei wellenförmigen Trimmrändern verhindern. So werden von Invisalign® verschiedene Formen von Attachments angeboten, wobei Dasy in ihrer Untersuchung herausfand, dass abgeschrägte Attachments die größte Retention aufweisen (182).

In Gruppe 2 wurde die Molaren-Relation (Abb. 58) um durchschnittlich 5,46 mm normalisiert, wobei der skelettale Anteil bei 44% lag und der dentale bei 56%. Die Einstellung der Molaren-Relation erfolgte dental durch Distalisierung der Oberkiefermolaren um 21% und einer Mesialisierung der Unterkiefermolaren um 35%. Diese Verschiebung der Molaren ist typisch für die Kraftvektoren des Teleskopmechanismus der Herbst-Apparatur (Abb. 54), die in der Literatur oft mit einem High-Pull-Headgear Effekt verglichen werden (7, 107). Der skelettale Anteil resultiert auch hier durch die Vorverlagerung der Mandibula mit einer gleichzeitigen Wachstumshemmung im Oberkiefer sowie Umbauprozessen in der Fossa (s. Diskussion Overjet SO-Analyse).

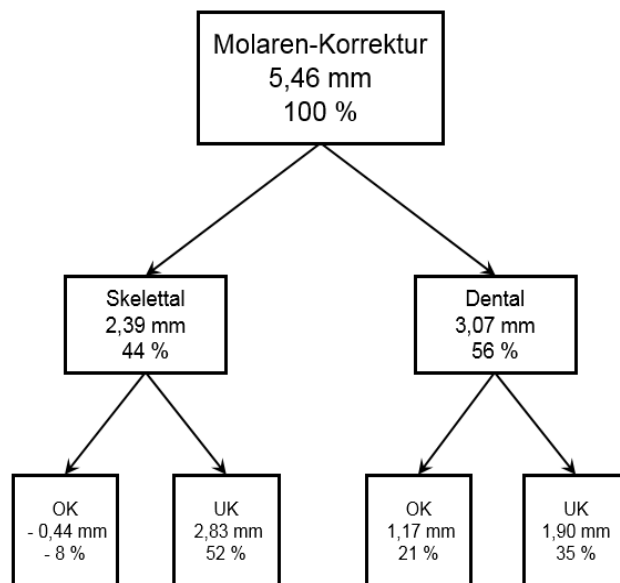


Abbildung 58: Darstellung der Veränderungen der sagittalen Okklusion (in mm) bei allen Patienten aus Gruppe 2 im Ober- und Unterkiefer bezogen auf die Einstellung einer neutralen Molaren-Relation. Ein positiver Wert (+) spiegelt eine Verbesserung zugunsten der Molaren-Relation wieder, ein negativer Wert (-) spricht gegen eine Neutralisierung.

In beiden Gruppen gab es skelettale sowie dentoalveoläre Veränderungen in der sagittalen Okklusion. Die skelettalen Effekte überwiegen in Gruppe 1, was sehr wahrscheinlich den natürlichen wachstumsbedingten Veränderungen zuzuschreiben ist, da die Behandlung mit KI II Elastics eher zu dentoalveolären Veränderungen führt (183). In Gruppe 2 nahm der dentale Anteil einen weitaus größeren Anteil innerhalb der Gruppe ein als die skelettalen Auswirkungen. Dies verdeutlicht, dass die funktionskieferorthopädische Apparatur nur einen geringen Einfluss auf den skelettalen Anteil der Therapie erzielt, was sich mit den Ergebnissen von Pancherz et al. deckt (40, 179). Es wird jedoch allumfassend ersichtlich, dass die sagittalen Okklusionsveränderungen in Gruppe 2 weitaus größer ausfallen als in Gruppe 1. Im Umkehrschluss stellt die Alignerbehandlung damit um den Wachstumsgipfel eine zufriedenstellende Behandlungsmöglichkeit dar, um eine leichte bis moderate KI. II/ 1 erfolg-

reich in eine neutrale Molarenrelation zu behandeln, bei deutlicher Verringerung unerwünschter Nebenwirkungen wie der Proklination der Unterkieferinzisivi.

6. Zusammenfassung

Ziel der retrospektiven Studie war es die dentalen und skelettalen Therapieeffekte, beim Einsatz von nahezu unsichtbaren Schienen, sogenannten Alignern (Invisalign®-Teen), in Kombination mit KL.II Gummizügen mit denen der gegossenen Herbst-Apparatur gefolgt von Multibracket-Apparatur-Therapie im Ober- und Unterkiefer bei jugendlichen Patienten mit einer Klasse II/1 Anomalie zu vergleichen. Besonderes Augenmerk galt hierbei der Inklinationsveränderung der Unterkieferinzisivi in beiden Gruppen. Das Patientengut umfasste insgesamt 37 Patienten, die in zwei Gruppen unterteilt wurden. Gruppe 1 bildeten 20 Patienten (w=10, m=10), die mit Alignern (Invisalign®-Teen) und KI II Gummizügen behandelt wurden. Zu Behandlungsbeginn entsprach das Durchschnittsalter der Patienten 13,08 Jahren ($\pm 2,6$ Jahre) bei einer durchschnittlichen Behandlungsdauer von 3,08 Jahre ($\pm 0,9$ Jahre). Gruppe 2 umfasste 17 Patienten (w=8, m=9), die nach Eingliederung einer Herbst-Apparatur, mit einer Multibracketappatur im Ober- und Unterkiefer therapiert wurden. Zu Behandlungsbeginn lag das Durchschnittsalter in Gruppe 2 bei 14,4 Jahren ($\pm 1,7$ Jahre) bei einer Behandlungsdauer mit ausschließlich der Herbst-Apparatur von durchschnittlich 9,8 Monaten ($\pm 2,2$ Monate). Mit der röntgenkephalometrischen Auswertung und der Analyse der sagittalen Okklusionsveränderungen (SO-Analyse nach Pancherz) konnte die Auswirkung auf die Inklination der Unterkieferinzisivi untersucht, sowie eine Reihe weiterer dentaler und skelettaler Parameter analysiert werden. Auch die Auswirkungen auf das Weichgewebsprofil konnten dargestellt werden.

Die Ergebnisse wesentlicher Behandlungseffekte wie Overbite, Frontzahninklination und -position, Overjet und Molarenrelation lassen sich in Durchschnittswerten wie folgt zusammenfassen:

Frontzahnüberbiss: Der Overbite reduzierte sich in Gruppe 1 um 1,23 mm ($p=0,0032$). In Gruppe 2 reduzierte sich der Overbite um 4,16 mm ($p < 0,0001$).

Frontzahninklination und -position: Der Achsenneigungswinkel des oberen ersten Frontzahns (is-NA) vergrößerte sich in Gruppe 1 um $0,56^\circ$ ($p=0,7245$), während sich der Abstand des oberen ersten Frontzahns zur Linie N-A (is_NA) um 0,60 mm ($p=0,2866$) verringerte. In Gruppe 2 verringerte sich der Achsenneigungswinkel (is-

NA) des oberen ersten Frontzahns um $6,11^\circ$ ($p= 0,0038$), während auch die Strecke des oberen ersten Frontzahns zur Linie N-A (is_NA) um 1,79 mm ($p= 0,0122$) abnahm. Der Achsenneigungswinkel des unteren ersten Frontzahns (ii- NB) verringerte sich im Unterkiefer bei Gruppe 1 um $0,05^\circ$ ($p= 0,9700$), während der Abstand des unteren ersten Frontzahns zur Linie N- B (ii_NB) sich um 0,54 mm ($p= 0,1050$) leicht vergrößerte. In Gruppe 2 vergrößerte sich der Achsenneigungswinkel des unteren ersten Frontzahns (ii- NB) um $9,22^\circ$ ($p < 0,0001$), während sich auch der Abstand des unteren ersten Frontzahns zur Linie N- B (ii_ NB) um 2,43 mm ($p= 0,0009$) vergrößerte. Die Strecke zwischen dem ersten Unterkieferfrontzahn und der Linie A- Pg (ii_Apg) vergrößerte sich in Gruppe 1 um 0,71 mm ($p= 0,0788$) und in Gruppe 2 um 4,15 mm ($p < 0,0001$).

Overjet-Korrektur: Der Overjet wurde in Gruppe 1 um 2,33 mm ($p < 0,0001$) reduziert, während er in Gruppe 2 um 6,80 mm ($p < 0,0001$) verringert wurde. Die Reduzierung des Overjets erfolgte in Gruppe 1 zu 54% durch skelettale Einflüsse und zu 46% durch dentale Veränderungen. In Gruppe 2 wurde der Overjet zu 65 % durch dentale und zu 35 % durch skelettale Veränderungen minimiert.

Korrektur der Molaren-Relation: Die Korrektur der Molaren- Relation wurde um 1,80 mm ($p= 0,0167$) verbessert, während sie sich in Gruppe 2 um 5,46 mm ($p < 0,0001$) normalisierte. Die Korrektur erfolgte in Gruppe 1 zu 69% skelettalen Einflüssen und zu 31% dentalen Veränderungen. In Gruppe 2 war die Verbesserung zu 44% skelettal bedingt und zu 56% dental.

Der vergrößerte Overjet der Kl. II/1 Anomalie konnte in beiden Gruppen deutlich reduziert und eine neutrale Molaren- Relation erfolgreich eingestellt werden. In Gruppe 1 konnten neben dentalen auch skelettale Veränderungen festgestellt werden, wobei hier wachstumsbedingte Einflüsse hervorzuheben sind. In Gruppe 2 dominierten die dentalen gegenüber der skelettalen Veränderungen. Allerdings ist anzumerken, dass die Umformungen beispielsweise in der Sagittalen mit von SNB nachweislich skelettaler Natur sind und weitaus größer bei der Behandlung mit der Herbst-Apparatur ausfallen im Gegensatz zu Alignern. Als Nebeneffekt tritt jedoch bei der Herbst-Apparatur eine unerwünschte Proklination der Unterkieferinzisivi ($9,22^\circ \pm 5,19^\circ$) auf. Im Gegensatz dazu erfolgte eine Retroklination der Unterkieferfront ($-0,05^\circ \pm 5,87^\circ$)

bei den Alignern. Die Aligner bieten somit einen neuen Ansatz, der bis heute noch nicht in der Literatur beschrieben wurde, den Verankerungsverlust in Form einer Proklination der Unterkieferfront, zu vermeiden. Weitere Studien, basierend auf vergleichbaren Analysemethoden, sind nötig, um die vorliegenden Ergebnisse zu überprüfen und zu verifizieren.

7. Literaturverzeichnis

1. Alhammadi MS, Halboub E, Fayed MS, Labib A, El-Saaidi C. Global distribution of malocclusion traits: A systematic review. *Dental Press J Orthod.* 2018;23(6):40.e1-.e10.
2. Alogaibi YA, Murshid ZA, Alsulimani FF, Linjawi AI, Almotairi M, Alghamdi M, et al. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment needs among young adults in Jeddah city. *J Orthod Sci.* 2020;9:3-.
3. Akbari M, Lankarani KB, Honarvar B, Tabrizi R, Mirhadi H, Moosazadeh M. Prevalence of malocclusion among Iranian children: A systematic review and meta-analysis. *Dent Res J (Isfahan).* 2016;13(5):387-95.
4. Helm S. Malocclusion in Danish children with adolescent dentition: An epidemiologic study. *American Journal of Orthodontics.* 1968;54(5):352-66.
5. McNamara JA, Jr. Components of class II malocclusion in children 8-10 years of age. *The Angle orthodontist.* 1981;51(3):177-202.
6. Pancherz H. The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *Am J Orthod.* 1982;82(2):104-13.
7. Valant JR, Sinclair PM. Treatment effects of the Herbst 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.* 1989;95(2):138-47.
8. LeCornu M, Cevidanes LH, Zhu H, Wu CD, Larson B, Nguyen T. Three-dimensional treatment outcomes in Class II patients treated with the Herbst appliance: a pilot study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 2013;144(6):818-30.
9. de Abreu Vigorito F, Dominguez GC, de Arruda Aidar LA. Dental and skeletal changes in patients with mandibular retrognathism following treatment with Herbst and pre-adjusted fixed appliance. *Dental Press J Orthod.* 2014;19(1):46-54.
10. Neves LS, Janson G, Caçado RH, de Lima KJ, Fernandes TM, Henriques JF. Treatment effects of the Jasper Jumper and the Bionator associated with fixed appliances. *Progress in orthodontics.* 2014;15(1):54.

11. Miethke RR, Brauner K. A Comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed lingual appliances. *J Orofac Orthop.* 2007;68(3):223-31.
12. Nedwed V, Miethke R-R. Motivation, acceptance and problems of Invisalign® patients. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie.* 2005;66(2):162-73.
13. Booij JW, Goeke J, Bronkhorst EM, Katsaros C, Ruf S. Class II treatment by extraction of maxillary first molars or Herbst appliance: dentoskeletal and soft tissue effects in comparison. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie.* 2013;74(1):52-63.
14. Manni A, Pasini M, Mazzotta L, Mutinelli S, Nuzzo C, Grassi FR, et al. Comparison between an Acrylic Splint Herbst and an Acrylic Splint Miniscrew-Herbst for Mandibular Incisors Proclination Control. *Int J Dent.* 2014;2014:173187.
15. Slutzkey S, Levin L. Gingival recession in young adults: occurrence, severity, and relationship to past orthodontic treatment and oral piercing. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 2008;134(5):652-6.
16. Renkema AM, Fudalej PS, Renkema A, Kiekens R, Katsaros C. Development of labial gingival recessions in orthodontically treated patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2013;143(2):206-12.
17. KG DGC. 100 Jahre Herbst Scharnier

<http://www.dentaurum.de>: DENTAURUM GmbH & Co. KG

01.07.2005

[Available from: http://www.dentaurum.de/deu/pressearchiv-13109_100-jahre-herbst-scharnier-6144.aspx.

18. Clements KM, Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 2: dental improvements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2003;124(5):502-8.
19. Bollen A-M, Huang G, King G, Hujoel P, Ma T. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 1: ability to complete treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics.* 2003;124(5):496-501.

20. Duncan LO, Piedade L, Lekic M, Cunha RS, Wiltshire WA. Changes in mandibular incisor position and arch form resulting from Invisalign correction of the crowded dentition treated nonextraction. *The Angle orthodontist*. 2015.
21. Pavoni C, Lione R, Lagana G, Cozza P. Self-ligating versus Invisalign: analysis of dento-alveolar effects. *Ann Stomatol (Roma)*. 2011;2(1-2):23-7.
22. Serbesis-Tsarudis C, Pancherz H. "Effective" TMJ and chin position changes in Class II treatment. *The Angle orthodontist*. 2008;78(5):813-8.
23. Bock NC, Ruf S, Wiechmann D, Jilek T. Dentoskeletal effects during Herbst-Multibracket appliance treatment: a comparison of lingual and labial approaches. *Eur J Orthod*. 2015.
24. EH A. Classification of malocclusion. *Dent Cosmos*. 1899.
25. Padure H, Negru AR, Stanciu D. The class II/1 anomaly of hereditary etiology vs. thumb-sucking etiology. *J Med Life*. 2012;5(2):239-41.
26. Kantorowicz A. Die Bedeutung des Lutschens für die Entstehung erworbener Fehlbildungen. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1955;16(2):109-21.
27. Tammoscheit U-G, Rassl RE. Sippenuntersuchungen zur Genetik der Angle-Klasse II, 1. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1979;40(6):515-9.
28. Neumann D. Untersuchungen zur Frage der durch das Lutschen entstandenen Gebisschäden. *Zahn-, Mund-und Kieferheilkunde in Vorträgen: Jugendzahnpflege München*. 1950.
29. Tammoscheit U-G. Klinisch-genetische Untersuchungen zur sogenannten Angle-Klasse II, 1. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1976;37(2):119-28.
30. Dreyfus S. Die Gesichts- und Schädelentwicklung in ihres Beziehung zur Nahrungsaufnahme des Säuglings. *Fortschritte der Orthodontik in Theorie und Praxis*. 1931;1(4):610-6.
31. Häupl K. Erbe und Funktion. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1962;23(3-4):433-46.
32. Lundström A. Tooth size and occlusion in twins 1948.
33. Kantorowicz A. Korkhaus (1926) Ätiologie der orthodontischen Anomalien. *Fortschr Zahnheilkunde*. 9:773-80.

34. Watson RM, Warren DW, Fischer ND. Nasal resistance, skeletal classification, and mouth breathing in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics*. 1968;54(5):367-79.
35. Shetty S, Munshi A. Oral habits in children--a prevalence study. *Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. 1998;16(2):61-6.
36. Gattinger B, Obwegeser J. Chirurgische Kieferorthopädie und kraniofaziale Fehlbildungschirurgie. *Spezielle Chirurgie, Bd. 2002;2:235-8*.
37. Krüger E. Fehlbildungen und Formveränderungen im Kiefer-Gesichts-Bereich. *Lehrbuch der chirurgischen Zahn-Mund-und Kieferheilkunde, Bd. 1993;3*.
38. Terrazas K, Dixon J, Trainor PA, Dixon MJ. Rare syndromes of the head and face: mandibulofacial and acrofacial dysostoses. *Wiley interdisciplinary reviews Developmental biology*. 2017;6(3).
39. Wiechers C, Buchenau W, Arand J, Oertel AF, Peters K, Müller-Hagedorn S, et al. Mandibular growth in infants with Robin sequence treated with the Tübingen palatal plate. *Head & face medicine*. 2019;15(1):17.
40. Konik M, Pancherz H, Hansen K. The mechanism of Class II correction in late Herbst treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1997;112(1):87-91.
41. Moyers RE, Riolo ML, Guire KE, Wainright RL, Bookstein FL. Differential diagnosis of class II malocclusions. Part 1. Facial types associated with class II malocclusions. *Am J Orthod*. 1980;78(5):477-94.
42. Rosenblum RE. Class II malocclusion: mandibular retrusion or maxillary protrusion? *The Angle orthodontist*. 1995;65(1):49-62.
43. Sassouni V. A classification of skeletal facial types. *American journal of orthodontics*. 1969;55(2):109-23.
44. Wylie WL. The assessment of anteroposterior dysplasia. *The Angle orthodontist*. 1947;17(3):97-109.
45. Angle EH. *Treatment of Malocclusion of the Teeth*: SS White dental manufacturing Company; 1907.
46. Bilgic F, Gelgor IE, Celebi AA. Malocclusion prevalence and orthodontic treatment need in central Anatolian adolescents compared to European and other nations' adolescents. *Dental Press J Orthod*. 2015;20:75-81.

47. Magnusson TE. An epidemiologic study of dental space anomalies in Icelandic schoolchildren. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1977;5(6):292-300.
48. Thilander B, Myrberg N. The prevalence of malocclusion in Swedish schoolchildren. *Scand J Dent Res.* 1973;81(1):12-21.
49. Ingervall B, Mohlin B, Thilander B. Prevalence and awareness of malocclusion in Swedish men. *Community Dent Oral Epidemiol.* 1978;6(6):308-14.
50. Lauc T. Orofacial analysis on the Adriatic islands: an epidemiological study of malocclusions on Hvar Island. *Eur J Orthod.* 2003;25(3):273-8.
51. Josefsson E, Bjerklin K, Lindsten R. Malocclusion frequency in Swedish and immigrant adolescents--influence of origin on orthodontic treatment need. *Eur J Orthod.* 2007;29(1):79-87.
52. Keski-Nisula K, Lehto R, Lusa V, Keski-Nisula L, Varrela J. Occurrence of malocclusion and need of orthodontic treatment in early 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.* 2003;124(6):631-8.
53. Harkness E. The prevalence of malocclusion in a random sample of 12-year-old Cardiff schoolgirls. *The Dental practitioner and dental record.* 1969;20(2):77.
54. Emrich RE, Brodie AG, Blayney JR. Prevalence of Class I, Class II, and Class III Malocclusions (Angle) in an Urban Population An Epidemiological Study. *Journal of Dental Research.* 1965;44(5):947-53.
55. Massler M, Frankel JM. Prevalence of malocclusion in children aged 14 to 18 years. *American Journal of Orthodontics.* 1951;37(10):751-68.
56. Boyd RL. Esthetic orthodontic treatment using the invisalign appliance for moderate to complex malocclusions. *Journal of dental education.* 2008;72(8):948-67.
57. Kannan A, Sathyanarayana HP, Padmanabhan S. Effect of functional appliances on the airway dimensions in patients with skeletal class II malocclusion: A systematic review. *J Orthod Sci.* 2017;6(2):54-64.

58. Kinzinger G, Diedrich P. Skeletal Effects in Class II Treatment with the Functional Mandibular Advancer (FMA)? *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2005;66(6):469-90.
59. Pancherz H, Ruf S, Erbe C, Hansen K. The mechanism of Class II correction in surgical orthodontic treatment of adult Class II, division 1 malocclusions. *The Angle orthodontist*. 2004;74(6):800-9.
60. Jayachandran S, Wiltshire WA, Hayasaki SM, Pinheiro FH. Comparison of AdvanSync and intermaxillary elastics in the correction of Class II malocclusions: A retrospective clinical study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2016;150(6):979-88.
61. Pasin E. The BioBiteCorrector®—A Modernized Herbst Appliance. *Informationen aus Orthodontie & Kieferorthopädie*. 2012;44(03):225-31.
62. Foncatti CF, Castanha Henriques JF, Janson G, Caldas W, Garib DG. Long-term stability of Class II treatment with the Jasper jumper 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*. 2017;152(5):663-71.
63. Heinig N, Goz G. Clinical application and effects of the Forsus spring. A study of a new Herbst hybrid. *J Orofac Orthop*. 2001;62(6):436-50.
64. Jones G, Buschang PH, Kim KB, Oliver DR. Class II non-extraction patients treated with the Forsus Fatigue Resistant Device versus intermaxillary elastics. *The Angle orthodontist*. 2008;78(2):332-8.
65. Oztoprak MO, Nalbantgil D, Uyanlar A, Arun T. A cephalometric comparative study of class II correction with Sabbagh Universal Spring (SUS(2)) and Forsus FRD appliances. *European journal of dentistry*. 2012;6(3):302-10.
66. Stromeyer EL, Caruso JM, DeVincenzo JP. A cephalometric study of the Class II correction effects of the Eureka Spring. *The Angle orthodontist*. 2002;72(3):203-10.
67. Frey DR, Hatch JP, Van Sickels JE, Dolce C, Rugh JD. Effects of surgical mandibular advancement and rotation on signs and symptoms of temporomandibular disorder: a 2-year follow-up study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2008;133(4):490.e1-8.

68. Firoozei G, Shahnaseri S, Momeni H, Soltani P. Evaluation of orthognathic surgery on articular disc position and temporomandibular joint symptoms in skeletal class II patients: A Magnetic Resonance Imaging study. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2017;9(8):e976-e80.
69. Ahmadian-Babaki F, Araghbidi-Kashani SM, Mokhtari S. A Cephalometric Comparison of Twin Block and Bionator Appliances in Treatment of Class II Malocclusion. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2017;9(1):e107-e11.
70. Bishara SE, Ziaja RR. Functional appliances: A review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1989;95(3):250-8.
71. Pancherz H. Treatment of Class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance: a cephalometric investigation. *American journal of orthodontics*. 1979;76(4):423-42.
72. Hemmatpour S, Molladavoodi P, Oliadarani FK, Bahrani H, Rakhshan V. Effects of Sabbagh Universal Spring 2 appliance on cephalometric indices in patients with Class II division 1 versus division 2 malocclusions: A preliminary before-after clinical trial. *Dent Res J (Isfahan)*. 2021;18:38.
73. Ruf S, Pancherz H. The effect of Herbst appliance treatment on the mandibular plane angle: a cephalometric roentgenographic study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1996;110(2):225-9.
74. Kesling HD. THE PHILOSOPHY OF THE TOOTH POSITIONING APPLIANCE. *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery* June, 1945.
75. Boersma H. The set-up (I). Placement of teeth on a model as an aid in prediction of therapy results. *Quintessence Int (Berl)*. 1970;1(10):45-8.
76. Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *Journal of clinical orthodontics : JCO*. 1993;27(1):37-45.
77. Lindauer SJ, Shoff RC. Comparison of Essix and Hawley retainers. *Journal of clinical orthodontics : JCO*. 1998;32(2):95-7.
78. Ponitz RJ. Invisible retainers. *Am J Orthod*. 1971;59(3):266-72.
79. McNamara JA, Kramer KL, Juenker JP. Invisible retainers. *Journal of clinical orthodontics : JCO*. 1985;19(8):570-8.

80. McNamara JA, Brudon WL. Orthodontic and orthopedic treatment in the mixed dentition: Needham Press; 1993.
81. Vlaskalic V, Boyd RL. Clinical evolution of the Invisalign appliance. J Calif Dent Assoc. 2002;30(10):769-76.
82. Vlaskalic V, Boyd R. Orthodontic treatment of a mildly crowded malocclusion using the Invisalign System. Aust Orthod J. 2001;17(1):41-6.
83. Giancotti A, Ronchin M. Pre-restorative treatment with the Invisalign system. Journal of clinical orthodontics : JCO. 2006;40(11):679-82.
84. Tuncay OC. The invisalign system: Quintessence Publishing; 2006.
85. Wong BH. Invisalign a to z. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2002;121(5):540-1.
86. BOYD RL, MILLER MRJ, VLASKALIC V. The Invisalign System in Adult Orthodontics: Mild Crowding and Space Closure Cases.
87. Drake CT, McGorray SP, Dolce C, Nair M, Wheeler TT. Orthodontic tooth movement with clear aligners. ISRN dentistry. 2012;2012:657973.
88. Haubrich J. Die Invisalign®-Behandlung als Bestandteil interdisziplinärer Therapie – Möglichkeiten und Grenzen des Systems. ZWR. 2013;122(07/08):372-6.
89. Joffe L. <Invisalign_Current_Products_and_Practice.pdf>. 2003.
90. www.invisalign.com.
91. Tuncay OC, Bowman S, Nicozisis JL, Amy BD. Effectiveness of a compliance indicator for clear aligners. Journal of clinical orthodontics : JCO. 2009;43(4):263-8.
92. Schott TC, Goz G. Color fading of the blue compliance indicator encapsulated in removable clear Invisalign TeenI aligners. The Angle orthodontist. 2011;81(2):185-91.
93. Xiem Phan PHL. Clinical Limitations of Invisalign. April 2007.
94. Honn M, Goz G. A premolar extraction case using the Invisalign system. J Orofac Orthop. 2006;67(5):385-94.
95. Göz G. <Stellungnahme_Aligner.pdf>. DGKFO. Jan, 2010.
96. Weimar S, Spitzbart J. KFO-Behandlung im parodontal vorgeschädigten Gebiss.

97. Miethke RR, Vogt S. A comparison of the periodontal health of patients during treatment with the Invisalign system and with fixed orthodontic appliances. *J Orofac Orthop.* 2005;66(3):219-29.
98. Spear F. The esthetic correction of anterior dental mal-alignment conventional vs. instant (restorative) orthodontics. *Journal of the California Dental Association.* 2004;32(2):133-41.
99. Miller KB, McGorray SP, Womack R, Quintero JC, Perelmuter M, Gibson J, et al. A comparison of treatment impacts between Invisalign aligner and fixed appliance therapy during the first week of treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2007;131(3):302. e1-. e9.
100. Verhandlungen des V. Internationalen Zahnärztlichen Kongresses August 1909
101. Herbst E. Dreissigjährige Erfahrungen mit dem Retentions-scharnier. *Zahnärztl Rundschau.* 1934;43:1515-24.
102. Schwarz AM. Erfahrungen mit dem Herbstschen Scharnier zur Behandlung des Distalbisses: Berlinische Verlagsanst.; 1934.
103. McNamara JA, Howe RP. Clinical management of the acrylic splint Herbst appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 1988;94(2):142-9.
104. Breads P, Abruzzo M. The Herbst appliance. *Quintessence of dental technology.* 1984;8(4):249-53.
105. Valant JR. Increasing maxillary arch length with a modified Herbst appliance. *Journal of clinical orthodontics : JCO.* 1989;23(12):810-4.
106. Ruf S. Einfluß der Herbst-Apparatur auf Kiefergelenkwachstum und-funktion: eine klinische, magnetresonanztomographische und kephalometrische Studie: BoD–Books on Demand; 2002.
107. Pancherz H, editor The effects, limitations, and long-term dentofacial adaptations to treatment with the herbst appliance. *Seminars in orthodontics;* 1997: Elsevier.
108. Hansen K, Iemamneisuk P, Pancherz H. Long-term effects of the Herbst appliance on the dental arches and arch relationships: a biometric study. *British journal of orthodontics.* 1995;22(2):123-34.
109. VanLaecken R, Martin CA, Dischinger T, Razmus T, Ngan P. Treatment effects of the edgewise Herbst appliance: a cephalometric and tomographic investigation. *American journal of orthodontics and*

dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics. 2006;130(5):582-93.

110. Hägglund P, Segerdal S, Forsberg C-M. The integrated Herbst appliance—treatment effects in a group of adolescent males with Class II malocclusions compared with growth changes in an untreated control group. *The European Journal of Orthodontics*. 2008;30(2):120-7.

111. Haegglund P, Segerdal S. The Swedish-style integrated Herbst appliance. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 1997;31(6):378-90.

112. Jasper JJ, McNamara JA, Jr. The correction of interarch malocclusions using a fixed force module. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1995;108(6):641-50.

113. Winsauer H, Muchitsch AP. The Flex Developer. Orthodontic treatment of the Class II noncompliant patient: Current principles and techniques Mosby, Edinburgh. 2006;2006:145-62.

114. Chayanupatkul A, Rabie ABM, Hägg U. Temporomandibular response to early and late removal of bite-jumping devices. *European Journal of Orthodontics*. 2003;25(5):465-70.

115. Ruf S, Pancherz H. Temporomandibular joint growth adaptation in Herbst treatment: a prospective magnetic resonance imaging and cephalometric roentgenographic study. *Eur J Orthod*. 1998;20(4):375-88.

116. Ruf S, Pancherz H. Does bite-jumping damage the TMJ? A prospective longitudinal clinical and MRI study of Herbst patients. *The Angle orthodontist*. 2000;70(3):183-99.

117. Ruf S, Pancherz H. Herbst/multibracket appliance treatment of Class II division 1 malocclusions in early and late adulthood. A prospective cephalometric study of consecutively treated subjects. *The European Journal of Orthodontics*. 2006;28(4):352-60.

118. Ruf S, Pancherz H. Orthognathic surgery and dentofacial orthopedics in adult Class II Division 1 treatment: Mandibular sagittal split osteotomy versus Herbst appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004;126(2):140-52.

119. Pancherz H. The Herbst appliance—Its biologic effects and clinical use. *American Journal of Orthodontics*. 1985;87(1):1-20.

120. Eveloff SE, Rosenberg CL, Carlisle CC, Millman RP. Efficacy of a Herbst mandibular advancement device in obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994;149(4 Pt 1):905-9.
121. Sarnäs K-V, Pancherz H, Rune B, Selvik G. Hemifacial microsomia treated with the Herbst appliance: report of a case analyzed by means of roentgen stereometry and metallic implants. *American journal of orthodontics*. 1982;82(1):68-74.
122. Shen G, Hägg U, Darendeliler M. Skeletal effects of bite jumping therapy on the mandible—removable vs. fixed functional appliances. *Orthodontics & craniofacial research*. 2005;8(1):2-10.
123. Siara-Olds NJ, Pangrazio-Kulbersh V, Berger J, Bayirli B. Long-term dentoskeletal changes with the Bionator, Herbst, Twin Block, and MARA functional appliances. *The Angle orthodontist*. 2010;80(1):18-29.
124. Cozza P, Baccetti T, Franchi L, De Toffol L, McNamara JA. Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: a systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2006;129(5):599. e1-. e12.
125. Pancherz H, Hensen K. Occlusal changes during and after Herbst treatment: a cephalometric investigation. *The European Journal of Orthodontics*. 1986;8(4):215-28.
126. Weschler D, Pancherz H. Efficiency of three mandibular anchorage forms in Herbst treatment: a cephalometric investigation. *The Angle orthodontist*. 2005;75(1):23-7.
127. Pancherz H, Hansen K. Mandibular anchorage in Herbst treatment. *European Journal of Orthodontics*. 1988;10(1):149-64.
128. Franchi L, Baccetti T, McNamara Jr JA. Treatment and posttreatment effects of acrylic splint Herbst appliance therapy. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1999;115(4):429-38.
129. Flores-Mir C, Ayeh A, Goswami A, Charkhandeh S. Skeletal and dental changes in Class II division 1 malocclusions treated with splint-type Herbst appliances. A systematic review. *The Angle orthodontist*. 2007;77(2):376-81.
130. Du X, Hägg U, Rabie ABM. Effects of headgear Herbst and mandibular step-by-step advancement versus conventional Herbst appliance and maximal jumping of the mandible. *European Journal of Orthodontics*. 2002;24(2):167-74.

131. Wiechmann D, Schwestka-Polly R, Pancherz H, Hohoff A. Control of mandibular incisors with the combined Herbst and completely customized lingual appliance--a pilot study. *Head & face medicine*. 2010;6:3.
132. Wiechmann D, Schwestka-Polly R, Hohoff A. Herbst appliance in lingual orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2008;134(3):439-46.
133. Rogers MB. Troubleshooting the Herbst appliance. *Journal of Clinical Orthodontics*. 2002;36(5):268-78.
134. Wennström JL, Lindhe J, Sinclair F, Thilander B. Some periodontal tissue reactions to orthodontic tooth movement in monkeys. *J Clin Periodontol*. 1987;14(3):121-9.
135. Kassab MM, Cohen RE. The etiology and prevalence of gingival recession. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 2003;134(2):220-5.
136. Smith RG. Gingival recession Reappraisal of an enigmatic condition and a new index for monitoring. *Journal of Clinical Periodontology*. 1997;24(3):201-5.
137. Lawrence HP, Hunt RJ, Beck JD. Three-year root caries incidence and risk modeling in older adults in North Carolina. *Journal of public health dentistry*. 1995;55(2):69-78.
138. Al-Wahadni A, Linden GJ. Dentine hypersensitivity in Jordanian dental attenders. A case control study. *J Clin Periodontol*. 2002;29(8):688-93.
139. Musskopf ML, Rocha JM, Rösing CK. Perception of smile esthetics varies between patients and dental professionals when recession defects are present. *Brazilian dental journal*. 2013;24(4):385-90.
140. Tieu LD, Saltaji H, Normando D, Flores-Mir C. Radiologically determined orthodontically induced external apical root resorption in incisors after non-surgical orthodontic treatment of class II division 1 malocclusion: a systematic review. *Progress in orthodontics*. 2014;15(1):48.
141. Lima KJ, Henriques JF, Janson G, Pereira SC, Neves LS, Cançado RH. Dentoskeletal changes induced by the Jasper jumper and the activator-headgear combination appliances followed by fixed orthodontic treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 2013;143(5):684-94.

142. Baysal A, Uysal T. Dentoskeletal effects of Twin Block and Herbst appliances in patients with Class II division 1 mandibular retrognathia. *European Journal of Orthodontics*. 2013;36(2):164-72.
143. Illing HM, Morris DO, Lee RT. A prospective evaluation of Bass, Bionator and Twin Block appliances. Part I--The hard tissues. *Eur J Orthod*. 1998;20(5):501-16.
144. Lund DI, Sandler PJ. The effects of Twin Blocks: a prospective controlled study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1998;113(1):104-10.
145. Hansen K, Koutsonas TG, Pancherz H. Long-term effects of Herbst treatment on the mandibular incisor segment: a cephalometric and biometric investigation. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1997;112(1):92-103.
146. Ravera S, Castroflorio T, Garino F, Daher S, Cugliari G, Deregibus A. Maxillary molar distalization with aligners in adult patients: a multicenter retrospective study. *Progress in orthodontics*. 2016;17:12.
147. Houston WJ. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod*. 1983;83(5):382-90.
148. Golshah A, Khavid A, Nikkerdar N, Goodini M, Imani MM, Mozafari N. Effect of Experience in Landmark Identification on 2D Lateral Cephalograms on Performance of Dental Students Concerning Landmark Identification on 3D Cone Beam Computed Tomography Scans. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*. 2020;20.
149. Schwartz JP, Raveli TB, Almeida KC, Schwartz-Filho HO, Raveli DB. Cone beam computed tomography study of apical root resorption induced by Herbst appliance. *J Appl Oral Sci*. 2015;23(5):479-85.
150. Pittayapat P, Limchaichana-Bolstad N, Willems G, Jacobs R. Three-dimensional cephalometric analysis in orthodontics: a systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2014;17(2):69-91.
151. Gliddon MJ, Xia JJ, Gateno J, Wong HT, Lasky RE, Teichgraeber JF, et al. The accuracy of cephalometric tracing superimposition. *J Oral Maxillofac Surg*. 2006;64(2):194-202.
152. Perillo M, Beideman R, Shofer F, Jacobsson-Hunt U, Higgins-Barber K, Laster L, et al. Effect of landmark identification on

- cephalometric measurements: guidelines for cephalometric analyses. *Clinical orthodontics and research*. 2000;3(1):29-36.
153. Pancherz H, Hansen K. The nasion-sella reference line in cephalometry: a methodologic study. *Am J Orthod*. 1984;86(5):427-34.
154. Pancherz H, Sack B. Kritische Analyse der Winkel SNA, SNB und ANB bei der Auswertung von kieferorthopädischen Behandlungen. *Fortschritte der Kieferorthopädie*. 1990;51(5):309-17.
155. You QL, Hägg U. A comparison of three superimposition methods. *Eur J Orthod*. 1999;21(6):717-25.
156. de Almeida MR, Henriques JF, de Almeida RR, Weber U, McNamara JA, Jr. Short-term treatment effects produced by the Herbst appliance in the mixed dentition. *The Angle orthodontist*. 2005;75(4):540-7.
157. Ricketts RM. A foundation for cephalometric communication. *American Journal of Orthodontics*. 1960;46(5):330-57.
158. Baumrind S, Frantz RC. The reliability of head film measurements. *American Journal of Orthodontics*. 60(2):111-27.
159. Pancherz H. Treatment of class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance. A cephalometric investigation. *Am J Orthod*. 1979;76(4):423-42.
160. Pancherz H, Fischer S. Amount and direction of temporomandibular joint growth changes in Herbst treatment: a cephalometric long-term investigation. *The Angle orthodontist*. 2003;73(5):493-501.
161. Boyd RL, Waskalic V. Three-dimensional diagnosis and orthodontic treatment of complex malocclusions with the invisalign appliance. *Seminars in Orthodontics*. 2001;7(4):274-93.
162. Miller RJ, Derakhshan M. The Invisalign System: Case report of a patient with deep bite, upper incisor flaring, and severe curve of spee. *Seminars in Orthodontics*. 2002;8(1):43-50.
163. Park J, Weon Kim T. Deep-bite correction using a clear aligner and intramaxillary elastics 2009. 152-7; quiz 83 p.
164. Schupp W, Haubrich J, Neumann I. Class II correction with the Invisalign system. *Journal of clinical orthodontics : JCO*. 2010;44(1):28-35.
165. Giancotti A, Mampieri G, Greco M. Correction of deep bite in adults using the Invisalign system 2009. 719-26; quiz 28 p.

166. Phan X, Ling PH. Clinical limitations of Invisalign. *Journal (Canadian Dental Association)*. 2007;73(3):263-6.
167. Womack WR, Ahn JH, Ammari Z, Castillo A. A new approach to correction of crowding. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2002;122(3):310-6.
168. Pancherz H. Vertical dentofacial changes during Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *Swed Dent J Suppl*. 1982;15:189-96.
169. Pancherz H, Ruf S, Kohlhas P. "Effective condylar growth" and chin position changes in Herbst treatment: a cephalometric roentgenographic long-term study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 1998;114(4):437-46.
170. Bhatia SN, Leighton BC. *A manual of facial growth: a computer analysis of longitudinal cephalometric growth data*. Oxford ; New York: Oxford University Press; 1993. x, 543 p. p.
171. Bock NC, Santo C, Pancherz H. Facial profile and lip position changes in adult Class II, Division 2 subjects treated with the Herbst-Multibracket appliance. A radiographic cephalometric pilot study. *J Orofac Orthop*. 2009;70(1):51-62.
172. Cowley DP, Mah J, O'Toole B. The effect of gingival-margin design on the retention of thermoformed aligners. *Journal of clinical orthodontics : JCO*. 2012;46(11):697-702; quiz 5.
173. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique--regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. *BMC oral health*. 2014;14:68.
174. Fischer K. Invisalign treatment of dental Class II malocclusions without auxiliaries 2010. 665-72; quiz 87 p.
175. Trexler A, Wiechmann D, Schwestka-Polly R. Auswirkungen der Herbstapparatur und einer vollständig individuellen lingualem Apparatur auf die Inklination der Unterkieferinzisivi und der Okklusionsebene. *Inf Orthod Kieferorthop*. 2012;44(02):75-9.
176. Lagravère MO, Flores-Mir C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners. *The Journal of the American Dental Association*. 136(12):1724-9.

177. Pancherz H, Fackel U. The skeletofacial growth pattern pre-and post-dentofacial orthopaedics. A long-term study of Class II malocclusions treated with the Herbst appliance. *European Journal of Orthodontics*. 1990;12(2):209-18.
178. Hagg U, Pancherz H. Dentofacial orthopaedics in relation to chronological age, growth period and skeletal development. An analysis of 72 male patients with Class II division 1 malocclusion treated with the Herbst appliance. *Eur J Orthod*. 1988;10(3):169-76.
179. Ruf S, Pancherz H. Dentoskeletal effects and facial profile changes in young adults treated with the Herbst appliance. *The Angle orthodontist*. 1999;69(3):239-46.
180. Nanda R, Tosun YS. *Biomechanics in orthodontics. Principles and practice* Hanover Park IL: Quintessence Publishing Co. 2010:38-9.
181. Guarneri M, Gracco A, Farina A, Schwarze J. Attachment of intermaxillary elastics to thermoformed aligners. *Journal of clinical orthodontics: JCO*. 2009;43(1):34.
182. Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee HF, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *The Angle orthodontist*. 2015;85(6):934-40.
183. Janson G, Sathler R, Fernandes TMF, Branco NCC, de Freitas MR. Correction of Class II malocclusion with Class II elastics: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;143(3):383-92.

