

Aus der
Poliklinik für Kieferorthopädie
Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. Andrea Wichelhaus

**Der Einfluss der orthodontischen Therapie mit selbstligierenden
Brackets auf die Achsenposition der Zähne im Hinblick auf Inklinaton
und Angulation**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Franziska Ost

aus
München

Jahr
2025

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Andrea Wichelhaus

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Christine Keul

Mitbetreuung durch die
promovierten Mitarbeiter: Dr. Corinna Seidel
PD Dr. Uwe Baumert

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 06.10.2025

In Liebe und Dankbarkeit meiner Mutter

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	Aufbau einer Multibracketapparatur	2
2.2	Biomechanik festsitzender Apparaturen.....	3
2.3	Behandlungstechniken.....	4
2.3.1	Standard-Edgewise-Technik.....	4
2.3.2	Straight-Wire-Technik.....	5
2.3.3	Auswirkungen der Vorprogrammierungen auf die Zahnstellung.....	6
2.3.4	Einflussfaktoren auf die Zahnbewegung in der Straight-Wire-Technik	7
2.4	Selbstligierende Brackets	9
2.4.1	Aufbau	9
2.4.2	Friktion in der Behandlung mit selbstligierenden Brackets	9
2.4.3	Biomechanische Eignung der selbstligierenden Brackets	10
2.5	Relevanz korrekter Achsenneigung der Zähne.....	10
2.6	Unerwünschte Wirkungen durch Veränderungen der Zahnachsen	11
2.7	Veränderungen der Achsenstellung der Zähne durch die Behandlung mit selbstligierenden Brackets	12
3	Fragestellung.....	15
4	Patienten und Methodik.....	16
4.1	Patienten	16
4.1.1	Behandlungsgruppe	16
4.1.2	Kontrollgruppe	18
4.1.3	Patientenselektion: Kontrolle der Einschlusskriterien.....	19
4.2	Methodik.....	22
4.2.1	Analyse der Fernröntgenseitenbilder.....	22
4.2.2	Analyse der Orthopantomogramme	27
4.2.3	Analyse der digitalisierten Modelle.....	28
4.2.4	Statistische Auswertung	31
5	Ergebnisse	33
5.1	Auswertung der Fernröntgenseitenbilder	33

5.1.1	Geschlechtsspezifische Unterschiede innerhalb der Gruppen zum Zeitpunkt T1	33
5.1.2	Vergleich der FRS-Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe	33
5.1.3	Geschlechtsspezifische Unterschiede der FRS-Werte zum Zeitpunkt T2 innerhalb der Behandlungsgruppe	40
5.1.4	Vergleich der FRS-Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe	41
5.1.5	Geschlechtsspezifische Unterschiede der FRS-Werte zum Zeitpunkt T2 innerhalb der Kontrollgruppe	44
5.1.6	Vergleich der Veränderungen der FRS-Werte zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe	45
5.2	Auswertung der Orthopantomogramme	52
5.2.1	Geschlechtsspezifische Unterschiede zum Zeitpunkt T1	52
5.2.2	Vergleich der Angulationswerte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2	53
5.2.3	Geschlechtsspezifische Unterschiede zum Zeitpunkt T2	56
5.3	Auswertung der digitalen Modellanalyse- Angulationsveränderungen	57
5.3.1	Geschlechtsspezifische Unterschiede der Angulationswerte zum Zeitpunkt T1	57
5.3.2	Vergleich der Angulationswerte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2	58
5.3.3	Geschlechtsspezifische Unterschiede zum Zeitpunkt T2	60
5.4	Auswertung der digitalen Modellanalyse- Inklinationsveränderungen	60
5.4.1	Geschlechtsspezifische Unterschiede der Inklinationswerte zum Zeitpunkt T1	60
5.4.2	Vergleich der Inklinationswerte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2	61
5.4.3	Geschlechtsspezifische Unterschiede der Inklinationswerte zum Zeitpunkt T2	63
6	Diskussion.....	64
6.1	Patienten und Kontrollgruppe.....	64
6.2	Diskussion der Methodik.....	65
6.2.1	Auswertung der Fernröntgenseitenbilder	65
6.2.2	Auswertung der Orthopantomogramme	66
6.2.3	Auswertung der digitalen Modelle	67
6.3	Diskussion der Ergebnisse.....	69
6.3.1	Auswertung der Fernröntgenseitenbilder, Veränderung der Inklination der Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers	69

6.3.2	Auswertung der Orthopantomogramme, Veränderung der Angulation der Schneide- und Seitenzähne in der Behandlungsgruppe.....	71
6.3.3	Auswertung der digitalen Modelle, Veränderung der Inklination der Schneide- und Seitenzähne in der Behandlungsgruppe.....	72
6.3.4	Auswertung der digitalen Modelle, Veränderung der Angulation der Schneide- und Seitenzähne in der Behandlungsgruppe.....	74
6.4	Limitationen der Studie	74
7	Schlussfolgerungen	76
	Zusammenfassung	79
	Literaturverzeichnis	81
	Tabellenverzeichnis	90
	Abbildungsverzeichnis.....	93
	Abkürzungsverzeichnis	98
	Anhang.....	99
	Danksagung	119
	Eidesstattliche Versicherung	120

1 Einleitung

Ziel der kieferorthopädischen Therapie ist die Korrektur von Zahn- und Kieferfehlstellungen, welche unbehandelt zu beeinträchtigenden funktionellen Störungen oder ästhetischen Problemen führen können (Koskela et al. 2021; Kunz et al. 2019; Martins-Júnior et al. 2012). Diese Fehlstellungen sind zum Teil genetisch/epigenetisch bedingt (Huh et al. 2013), können aber auch durch exogene Faktoren entstehen. Dazu zählen z.B. Mundatmung (Harari et al. 2010; Paolantonio et al. 2019), Zungenfehlfunktionen (Ichida et al. 1999; Proffit 1978), Lutschangewohnheiten (Belitz et al. 2022; Ling et al. 2018) oder vorzeitiger Milchzahnverlust (Fadel et al. 2022; Miyamoto et al. 1976). Die vom Institut der Deutschen Zahnärzte durchgeführte „Sechste Deutsche Mundgesundheitsstudie“ bestätigt die Wichtigkeit kieferorthopädischer Behandlungen. Je nach Einstufungsrichtlinie wurde bei 40,4% - 44,2 % der untersuchten Studienteilnehmer (8- und 9-jährige Kinder) eine Zahn- oder Kieferfehlstellung festgestellt, die eine kieferorthopädische Behandlung erfordert (Jordan et al. 2021). Die realen Zahlen sind jedoch noch höher, da in dieser Studie keine röntgenologische Diagnostik durchgeführt wurde, wodurch weitere behandlungsbedürftige Anomalien, wie verlagerte Zähne, nicht erkannt werden konnten. Zum anderen entstehen einige Anomalien erst im Laufe der Kindheit und Jugend.

Kieferorthopädische Behandlungen können mit herausnehmbaren oder festsitzenden Apparaturen durchgeführt werden. Zu den festsitzenden Apparaturen zählen Multibracketapparaturen, welche körperliche Zahnbewegungen ermöglichen, wohingegen mit herausnehmbaren Geräten nur kippende Bewegungen erzielt werden können. In der orthodontischen Behandlung kommen vielfältige Bracketsysteme zum Einsatz, wie beispielsweise konventionelle Zwillingsbrackets oder sogenannte selbstligierende Brackets. Insbesondere in der orthodontischen Therapie ist die Kenntnis der Biomechanik essenziell, um unerwünschte Effekte zu vermeiden. Äußerst relevant ist die Wirkung auf die Zahnbögen im Hinblick auf die Achsenstellung der Zähne. Als Angulation bezeichnet man die Achsenstellung der Zähne in mesio-distaler Richtung, als Inklination die in bucco-palatinaler Richtung. Eine korrekte Angulation und Inklination sind die Grundvoraussetzungen für ein funktionell und ästhetisch zufriedenstellendes Behandlungsergebnis und beeinflussen zudem dessen zu erwartende Stabilität (Pontes et al. 2015; Ugur und Yukay 1997).

2 Literaturübersicht

2.1 Aufbau einer Multibracketapparatur

Eine Multibracketapparatur besteht aus Brackets oder Bändern und kieferorthopädischen Bögen. Darüber hinaus können Hilfselemente, wie beispielsweise Gummizüge, Druck- oder Zugfedern, Verblockungen und Gummiketten verwendet werden.

Mit Hilfe der Brackets werden Kräfte und Drehmomente auf die Zähne übertragen. Sie bestehen aus einer Basis mit Retentionen für eine gute Verbindung zwischen Komposit und Zahn sowie aus dem Bracketkörper. Dieser enthält einen horizontalen Slot, in dem der Bogen verläuft. Der Slot hat einen rechteckigen Querschnitt in den Maßen 0,018“ × 0,022“ oder 0,022“ × 0,028“. Die Slotweite wird in Inch angegeben. Hierbei entsprechen 0,018“ bzw. 0,022“ (Inch) 0,45 bzw. 0,55 mm (Williams et al. 2000). Brackets werden aus unterschiedlichen Materialien, z.B. Edelstahl, Keramik oder Kunststoff gefertigt, womit Vor- und Nachteile einhergehen. Keramikbrackets gelten als biologisch inert (Eliades 2007). Keramik ist allerdings sehr spröde und hart, sodass es zu Frakturen der Zähne des Gegenkiefers oder des Brackets selbst kommen kann (Sander et al. 2011b). Beim Entfernen des Brackets sind zudem Schmelzausrisse am betreffenden Zahn möglich (Ghafari 1992). Kunststoffbrackets sind oft nicht stabil genug, um die nötigen Kräfte und Drehmomente zu übertragen (Brauchli et al. 2012; Feldner et al. 1994; Sadat-Khonsari et al. 2004). Auf den Molaren werden teilweise Bänder statt Brackets verwendet, an die Attachments mit Röhrchen zur Aufnahme des Bogens oder Hilfsröhrchen aufgeschweißt werden (Grohmann 2005).

Kieferorthopädische Bögen sind Drähte aus Edelstahl, Kobalt-Chrom, Nickel-Titan oder anderen Titanlegierungen. Sie sind im Querschnitt rund, quadratisch oder rechteckig (Grohmann 2005). Die Dimension eines Drahtes lässt erkennen, ob es sich um einen Kant- oder einen Rundbogen handelt. Runde Bögen werden mit nur einem Zahlenwert angegeben, z.B. 0,012“ (Durchmesser), wohingegen Vierkantbögen mit zwei Zahlenwerten angegeben werden, z.B. 0,016“ × 0,022“ (Höhe x Tiefe). Meist wird in der Anfangsphase der Behandlung (Nivellierungsphase) mit einem hochelastischen Nickel-Titan-Bogen kleiner Dimension begonnen und die Stärke sowie die Starrheit des Bogens im Laufe der Behandlung (Führungs- und Kontraktionsphase) gesteigert (Sander et al. 2011b).

2.2 Biomechanik festsitzender Apparaturen

In der Behandlung mit festsitzenden Apparaturen werden Zähne durch definierte Kräfte und Momente in ihre gewünschte Position bewegt.

Der physikalische Begriff Kraft beschreibt die Einwirkung auf einen Körper, die diesen verformen oder in seinem Bewegungszustand (Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit) ändern kann. Die Maßeinheit für Kraft ist im internationalen Einheitensystem (SI) das Newton (N). Ein Newton ist definiert als Kraft, die benötigt wird, um einen Körper mit der Masse 1 kg innerhalb einer Sekunde um einen Meter pro Sekunde zu beschleunigen: $1\text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$

Der Naturwissenschaftler Isaac Newton definierte drei Gesetze:

1. Ein Körper behält seinen Bewegungszustand in Betrag und Richtung bei, sofern er nicht von äußeren Kräften dazu gezwungen wird, diesen Zustand zu ändern.
2. Zu einer Änderung der Bewegung eines Körpers der Masse m bedarf es einer Kraft F . Die Änderung der Bewegung erfolgt in Richtung der Kraft mit einer Geschwindigkeit proportional der Kraftgröße ($m = F \times a$).
3. Die vom Körper A auf einen Körper B ausgehende Kraft F_1 bewirkt eine vom Körper B wirkende Gegenkraft F_2 . F_2 besitzt dabei den gleichen Betrag, aber entgegengesetzte Richtung (Actio = Reactio) (Rebhan 2006).

Um eine Kraft zu beschreiben, benötigt man die Kraftgröße und Krafrichtung. Man bezeichnet das als vektorielle Größe und kann diese im Koordinatensystem als Pfeil darstellen (Sander et al. 2011a). Zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte oder eine Kraft mit Abstand zum Widerstandszentrum lösen eine Drehbewegung eines Körpers aus. Der Abstand der beiden Kraftlinien ist die Hebelarmlänge (h). Das Hebelgesetz lautet: $M = h \times F$.

Ein Zahn verformt sich unter den in der Kieferorthopädie verwendeten Kräften nicht und verhält sich deswegen als starrer Körper mit einem Widerstandszentrum. Wirkt eine Kraft an diesem Widerstandszentrum, bewegt sich der Körper translatorisch, setzt sie außerhalb an, bewegt sich der Körper im Sinne einer Rotation (Harzer 2011). Ein Zahn kann sich nicht frei im Raum bewegen, da er durch den Zahnhalteapparat im Alveolarknochen verankert ist. Bei der Anwendung von Kräften und Momenten entsteht ein Zusammenspiel zwischen Zahnhalteapparat und Zahn. Für jeden Zahn lässt sich ein Widerstandszentrum

definieren, dessen Lage von der Oberfläche, Form und Anzahl der Wurzeln sowie dem Zustand des knöchernen und bindegewebigen Attachments abhängt. Als Definition gilt: Für einen einwurzeligen Zahn liegt das Widerstandszentrum zwischen zervikalem und mittlerem Drittel der Wurzellänge, für einen mehrwurzeligen Zahn 1-2 mm apikal der Furkation (Sander et al. 2011a).

Werden an einem Bracket Einzelkräfte angewendet, so wirken diese peripher des Widerstandszentrums an der Zahnkrone und führen zu einer kippenden Zahnbewegung um ein imaginäres Rotationszentrum im Raum. Je weiter die Krafteinleitung vom Widerstandszentrum entfernt ist, desto näher liegen das Rotations- und Widerstandszentrum beieinander und desto kippender wird die Bewegung (Mulligan 1982).

Wenn man eine körperliche Zahnbewegung erreichen möchte, ist die gezielte, kombinierte und in einem korrekten Verhältnis zueinanderstehende Anwendung von Kräften und Momenten nötig (Wichelhaus und Eichenberg 2013).

2.3 Behandlungstechniken

2.3.1 Standard-Edgewise-Technik

Eine der ersten in der Multibracketbehandlung angewandten Techniken ist die Standard-Edgewise-Technik nach Edward Hartley Angle (Angle 1907). Dabei werden in einen kieferorthopädischen Bogen bestimmte Biegungen eingebracht, die die Zähne derotieren und auf die gewünschte Höhe und in die korrekte Achsenneigung bringen. Diese Biegungen werden als Biegungen erster, zweiter und dritter Ordnung bezeichnet (Sander et al. 2011a). Biegungen erster Ordnung sind alle Biegungen des Bogens in der Horizontalebene und führen zur Ausrotation der Zähne. Biegungen zweiter Ordnung dienen der Korrektur der Front- und Seitenzähne in mesio-distaler Richtung. Zu den Biegungen dritter Ordnung gehört der Torque. Dabei wird ein Vierkantbogen verdrillt. Wenn sich der Bogen dann im Slot versucht zurückzustellen, kommt es zu einer Kraftapplikation auf den Zahn in Form eines Drehmoments (Rauch 1959). Dadurch wird die Achsenstellung der Zähne in bukkopalatinaler Richtung verändert. Dieses Kraftmoment wird als Torqueexpression bezeichnet (Einheit: $N \times mm$). Um wie viel Grad der Draht dabei verdreht wird, gibt der Twist-Winkel an (Archambault et al. 2010).

2.3.2 Straight-Wire-Technik

1972 entwickelte Andrews die Straight-Wire-Brackets. Anders als bei der Standard-Edgewise-Technik sind die Informationen zur Stellung der Zähne in den Brackets einprogrammiert. Jedes Bracket ist dem jeweiligen Zahn angepasst. Unterschiedliche Höhen der Bracketbasen ersetzen die Biegungen erster Ordnung. Die Basen sind der Zahnoberfläche entsprechend konturiert und die Bracketslots sind voranguliert. Durch die Neigung der Bracketbasen oder Bracketslots ist die Achsenneigung in bukko-palatinaler Richtung integriert. Die Anwendung dieser vorprogrammierten Brackets soll die Biegungen weitgehend ersetzen, so dass möglichst mit einem geraden Bogen (Straight-Wire) behandelt werden kann. Doch selbst laut Andrews sind für einen 0,018“ × 0,025“-Bogen in einem 0,022“-Slot Biegungen nötig, um aktive Drehmomente zu erreichen (Andrews 1989).

Die Werte der Brackets wurden nach Untersuchungen der Zahnstellungen an gesunden Gebissen festgelegt. Andrews (1972) definierte sechs relevante Voraussetzungen für eine funktionale Okklusion („Sechs Schlüssel der Normalokklusion“):

- Beziehung der Molaren
- Kronenangulation (mesio-distale Stellung der Zähne)
- Kronenneigung (bukko-palatinal/ bukko-linguale Stellung der Zähne)
- keine Rotationen
- keine Lücken
- korrekte Spee-Kurve

Bekannte Kieferorthopäden wie Roth, McLaughlin, Bennett und Trevisi veränderten Andrews ursprüngliche Werte in unterschiedlichem Ausmaß (**Tabelle 2.1**).

Andrews (1979) entwickelte verschiedene Brackets für unterschiedliche Behandlungsaufgaben (Extraktions- oder Nichtextraktionsbehandlungen). Roth (1976) entwickelte seine Apparatur, um das System von Andrews zu vereinfachen. Seine Brackets sollten für eine breite Patientengruppe geeignet sein. Bennett und McLaughlin (1990) wollten ein Lingualkippen der Oberkieferschneidezähne bei der Retraktion und ein Labialkippen der Unterkieferfront beim Nivellieren der Spee-Kurve entgegenwirken und passten ihre Preskription dementsprechend an. Das System ist laut Autoren für die Gleitbogenmechanik entwickelt worden und soll mit leichten Kräften funktionieren.

Tabelle 2.1: Verschiedene Vorprogrammierungen der Angulations- und Inklinationswerte (°) in der Behandlung mit Straight-Wire-Brackets.

Angulation (°)	MBT	Roth	Andrews
Oberkiefer, Zahn			
1	4°	5°	5°
2	8°	9°	9°
3	8°	13°	11°
4	0°	0°	2°
5	0°	0°	2°
6	0°	0°	5°
Unterkiefer, Zahn			
1	0°	2°	2°
2	0°	2°	2°
3	3°	7°	5°
4	2°	-1°	2°
5	2°	-1°	2°
6	0°	-1°	2°
Inklination (°)	MBT	Roth	Andrews
Oberkiefer, Zahn			
1	17°	12°	7°
2	10°	8°	3°
3	-7°	-2°	-7°
4	-7°	-7°	-7°
5	-7°	-7°	-7°
6	-14°	-14°	-9°
Unterkiefer, Zahn			
1	-6°	-1°	-1°
2	-6°	-1°	-1°
3	-6°	-11°	-11°
4	-12°	-17°	-17°
5	-17°	-22°	-22°
6	-20°	-30°	-30°

2.3.3 Auswirkungen der Vorprogrammierungen auf die Zahnstellung

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Preskriptionen in der orthodontischen Behandlung wurde untersucht. So verglichen beispielsweise Soboku et al. (2019) die Unterschiede des Behandlungsergebnisses bei der Anwendung von MBT-Brackets (0,022“-Slot) und Roth-Brackets (0,018“-Slot). Ein signifikanter Unterschied wurde an den unteren Eckzähnen gemessen. Die Roth-Preskription führte zu einer stärkeren Angulation nach mesial als die MBT-Brackets. In einer anderen Studie (Mittal et al. 2015) konnten

die Autoren keine signifikanten Unterschiede in der Frontzahnstellung nach der orthodontischen Behandlung mit MBT- und Roth-Brackets feststellen.

2.3.4 Einflussfaktoren auf die Zahnbewegung in der Straight-Wire-Technik

Es gibt einige Faktoren, die die Übertragung der Kräfte und Drehmomente auf die Zähne beeinflussen können. Daher kommt es trotz vorprogrammierter Brackets oft nicht zur gewünschten Zahnstellung (Creekmore und Kunik 1993).

Zum einen unterscheiden sich die Konturen der Zahnoberflächen von Mensch zu Mensch, was eine entscheidende Rolle in der Torqueübertragung spielt (Germane et al. 1989; Miethke und Melsen 1999; Smith et al. 2007). Diese Variationen sind bei Molaren und Prämolaren ausgeprägter als im anterioren Zahnbogen (Germane et al. 1989).

Auch die Position der Brackets ist diesbezüglich relevant, weil sich je nach Höhe auf der Zahnkrone die Kontur der Zahnoberfläche ändert. Die Torquewerte sind also unter anderem abhängig vom Abstand zwischen Inzisalkante und Bracket (van Loenen et al. 2005). Bei vertikaler Veränderung der korrekten Bracketposition um einen Millimeter kommt es zu einer Abweichung des Torquewertes von vier (Miethke und Melsen 1999) bis zu zehn Grad (Germane et al. 1989). In einer Metaanalyse wurde die Genauigkeit der indirekten Bracketpositionierung mittels Übertragungsschienen untersucht. Die durchschnittliche lineare Genauigkeit der Bracketplatzierung lag zwischen 0,08 mm und 0,14 mm. Die Winkelabweichungen lagen zwischen $0,93^\circ$ und $1,13^\circ$. Alle diese Abweichungen waren klinisch akzeptabel (Sabbagh et al. 2022).

Zum anderen variiert das Spiel zwischen Bogen und Slot je nach Bogendimension und Slotweite. In geringem Maß ist dieses Spiel notwendig, damit der Bogen problemlos ein- und ausligiert werden kann (Creekmore und Kunik 1993). Ein zu großes Spiel kann dazu beitragen, dass die vorprogrammierten Werte nicht erreicht werden. Mit einem $0,017'' \times 0,025''$ -Bogen in einem $0,018''$ -Slot wurden höhere Torquemomente gemessen als bei einem $0,019'' \times 0,025''$ -Bogen in einem $0,022''$ -Slot (Sifakakis et al. 2014). Rein theoretisch sind Torqueverluste von $6,0^\circ$ bei einem $0,017'' \times 0,025''$ -Edelstahlbogen und $0,018''$ -Slot und $10,5^\circ$ bei einem $0,019'' \times 0,025''$ -Edelstahlbogen und $0,022''$ -Slot zu erwarten, wobei die gemessenen Werte um einiges höher lagen (Sebanc et al. 1984). Eine Reihe weiterer Studien bestätigen diese Problematik (Creekmore und Kunik 1993; Lombardo et al. 2015; Meling et al. 1998). Mit stärkerer Kantenverrundung sinkt die Torqueexpression zusätzlich (Meling et al. 1997; Sebanc et al. 1984). Die Studie von

Wichelhaus et al. (2024) untersuchte den Einfluss verschiedener Bracket- Bogen- Kombinationen auf das Slotspiel (0,022“-Slot). Je nach Bracket lag das Slotspiel bei einem 0,016“ × 0,022“- Edelstahlbogen zwischen 20,06° und 32,50° (palatinaler Torque) bzw. 20,64° und 34,90° (bukkaler Torque). Bei einem 0,018“ × 0,025“- Edelstahlbogen wurde ein Slotspiel zwischen 12,83° und 21,11° (palatinaler Torque) bzw. 11,93° und 20,56° (bukkaler Torque) gemessen. Dieses lag bei 0,019“ × 0,025“- Edelstahlbögen zwischen 8,39° und 18,73° (palatinaler Torque) bzw. 6,63° und 18,54° (bukkaler Torque).

Ebenso spielen Materialeigenschaften, wie die Steifigkeit des Drahtes, eine Rolle. Bei der gleichen Slotweite (0,018“) wurden mit 0,017“ × 0,025“-Edelstahlbögen höhere Torquemomente im Vergleich zu Titan-Molybdän-Bögen der gleichen Dimension gemessen (Sifakakis et al. 2014). Edelstahlbögen generieren die höchsten Torquemomente. Es folgen Titan-Molybdän- und Nickel-Titan-Bögen (Archambault et al. 2010).

Auch Ungenauigkeiten im Herstellungsprozess der Brackets und Bögen wirken sich auf das Erreichen der vorprogrammierten Werte aus. In einer Studie wurden die Abweichungen der tatsächlichen Slot- und Bogengröße im Vergleich zu den Herstellerangaben gemessen. Die Untersuchungen diverser Brackets verschiedener Hersteller ergaben allesamt zu große Bracketslots (5-17%), was wiederum zu ungenügender Übertragung von Momenten führen kann (Cash et al. 2004). Andere Autoren haben Abweichungen der Bogendimensionen von durchschnittlich -10% im Vergleich zu den Herstellerangaben gemessen (Fischer-Brandies et al. 2000).

Des weiteren untersuchten einige Studien den Einfluss verschiedener Ligaturmechanismen auf die Übertragung von Drehmomenten und Kräften. Elastische Ligaturen eignen sich weniger für Derotationsbewegungen oder Inklinationsänderungen (Taloumis et al. 1997). Dies liegt daran, dass ihre Elastizität nach dem Einligieren nachlässt. Der Kraftverlust beträgt in den ersten 24 Stunden durchschnittlich 62% (Taloumis et al. 1997) bis 85,1% (Masoud et al. 2016). Nach 28 Tagen ist ein Nachlassen der Kraft um bis zu 93,04% messbar (Masoud et al. 2016). Bezüglich der Eignung für die Übertragung von Torquemomenten gab es in der Studie von Badawi et al. (2008) Unterschiede zwischen aktiven und passiven selbstligierenden Brackets. Bei den aktiven selbstligierenden Brackets konnten die Autoren klinisch relevante Torquemomente (5-20 Nmm) ab 15° Torsion messen. Verglichen dazu brauchte es bei den passiven selbstligierenden Brackets mindestens 22,5°. Vermutlich verringert der Verschlussmechanismus der aktiven

Brackets das Spiel zwischen Draht und Slot. Doch dies wird, wie weiter unten beschrieben, in der Literatur diskutiert.

2.4 Selbstligierende Brackets

2.4.1 Aufbau

Selbstligierende Brackets besitzen einen integrierten Verschlussmechanismus. Aktiv selbstligierende Brackets haben einen elastischen, federnden Clip, mit dem der Bogen in den Slot gedrückt wird. Bei passiv selbstligierenden Brackets wird ein Schieber oder ein aufklappbares Bracketelement zugeschoben.

2.4.2 Friktion in der Behandlung mit selbstligierenden Brackets

In der Behandlung mit einer Multibracketapparatur entsteht zwischen Bracket, Bogen und Ligatur Reibung. Es sind ca. 50 Prozent der aufgebrachten Kräfte nötig, um diese Friktion zu überwinden und Zähne zu bewegen (Kusy und Whitley 1997; Proffit et al. 2018). Dies führt dementsprechend dazu, dass größere Kräfte angewendet werden müssen, was zu einer Überlastung und Verbiegung des Bogens führen kann. Dies wiederum kann zu unerwünschten Zahnbewegungen führen (Brauchli et al. 2011). Mit passiven selbstligierenden Brackets soll die Friktion möglichst verringert werden, um ein besseres Gleiten des Bogens im Bracketslot zu ermöglichen und gleichzeitig geringere Kräfte anwenden zu können (Damon 1998; Harradine 2003; Pizzoni et al. 1998; Shivapuja und Berger 1994). Dies soll eine schnellere und schmerzarme Zahnbewegung ermöglichen (Berger 1990; Damon 1998).

Die Friktion in der Behandlung mit selbstligierenden Brackets wird jedoch viel diskutiert und hängt davon ab, ob passiv oder aktiv selbstligierende Brackets angewendet werden und ob dünne Rundbögen oder slotfüllende Vierkantbögen benutzt werden. So konnte in einigen Studien in der Nivellierungsphase mit dünnen Rundbögen bei der Verwendung passiv selbstligierender Brackets eine geringere Gleitreibung im Vergleich zu konventionellen Brackets gemessen werden (Dragomirescu et al. 2022; Gómez et al. 2016). Auch bei der Verwendung eines Vierkantbogens (0,019“ × 0,025“-Edelstahl) in einem 0,022“-Slot haben Vartolomei et al. (2022) die geringsten Friktionswerte mit passiven Brackets festgestellt. Bei der Verwendung aktiver Brackets lag die Friktion in dieser Studie jedoch über der konventioneller Brackets mit Stahlligaturen. Andere Autoren konnten bei 0,019“ × 0,025“-Edelstahl-Bögen keinen Unterschied zwischen passiv selbstligierenden

Brackets und konventionellen Brackets mit Stahlligatur messen (Dragomirescu et al. 2022). Faizee et al. (2011) haben unabhängig von der Bogendimension die geringsten Friktionswerte bei passiv selbstligierenden Brackets gemessen. Sie verwendeten Rund- und Vierkantbögen. In einer weiteren Studie wurden die geringsten Friktionswerte bei der Anwendung von passiven Brackets gemessen. Die höchsten Friktionswerte hatten aktiv selbstligierende Brackets und konventionelle Brackets mit Gummiligaturen (Szczupakowski et al. 2016).

2.4.3 Biomechanische Eignung der selbstligierenden Brackets

Auch bezüglich der unterschiedlichen Eignung für die Übertragung von Kräften und Momenten gibt es unterschiedliche Meinungen. Laut Herstellern bieten die aktiven selbstligierenden Brackets aufgrund des Hineinpressens des Bogens in den Bracketslot eine gute Rotations- und Torquekontrolle. Einige Studien bestätigen diese biomechanischen Eigenschaften (Archambault et al. 2010; Badawi et al. 2008; Katsikogianni et al. 2015; Pandis et al. 2006). Demgegenüber wurde in einer Literaturübersichtsarbeit zusammenfassend beobachtet, dass konventionelle Brackets den selbstligierenden Brackets hinsichtlich der Torqueübertragung überlegen sind. Dabei gab es zwischen aktiven und passiven selbstligierenden Brackets keine Unterschiede (Al-Thomali et al. 2017). Andere Autoren sehen hinsichtlich der Torqueübertragung keine klinisch relevanten Unterschiede zwischen den beiden Arten von selbstligierenden Brackets (Brauchli et al. 2012; Major et al. 2011). In der Studie von Wichelhaus et al. (2024) erzielten die aktiven selbstligierenden Brackets bei Torquewerten von 5° bzw. 10° höhere Torquemomente als passive selbstligierende Brackets. Ab 15° kehrte sich dies jedoch um. Ein aktives selbstligierendes Bracket zeigte unabhängig vom Torquewinkel die beste Übertragung der Momente, sodass die Autoren auch einen Einfluss des Herstellers und nicht nur der Art des Brackets vermuten.

2.5 Relevanz korrekter Achsenneigung der Zähne

Sowohl die korrekte Angulation als auch die korrekte Inklination sind von großer Bedeutung für die Funktion und Ästhetik der Zähne und der Kiefer.

Die korrekte oro-vestibuläre Frontzahnstellung gilt als bedeutender Faktor einer harmonischen Okklusion. Der richtige Frontzahnüberbiss ist beispielsweise wichtig, um eine unerwünschte Elongation der Schneidezähne zu vermeiden und lässt sich nur mit korrekter Schneidezahninklination erreichen (Andrews 1972). Eine zu steil stehende Front

verhindert außerdem eine neutrale Okklusion der Seitenzähne (Andrews 1972). Die Front- und Eckzahnangulation beeinflusst den Kontakt zwischen oberen und unteren Schneide- und Eckzähnen und ist deshalb wichtig für ausgewogene Protrusions- und Laterotrusionsbewegungen (Capelozza Filho et al. 1999).

Die korrekte Angulation und Inklination der Zähne sind auch für eine gleichmäßige Platzverteilung im Zahnbogen relevant. Laut Hussels und Nanda (1987) ist der Platzverbrauch im Zahnbogen umso größer, je größer die Angulation der Schneidezähne ist. Dies ist bei der Platzanalyse zu beachten. Pontes et al. (2015) bestätigen dies. Sie stellten fest, dass der Platzverbrauch der Schneide- und Eckzähne größer ist, wenn diese anguliert stehen, vor allem in der Wurzelgegend. Eine zu starke Angulation der oberen Eckzähne führt laut weiterer Autoren außerdem zu einer ungünstigen Nähe der Wurzeln der Eckzähne und ersten Prämolaren sowie zu einem Verankerungsverlust in der orthodontischen Behandlung (Capelozza Filho et al. 1999; McLaughlin et al. 1997).

Die Zahnachsen beeinflussen zudem die Ästhetik des Behandlungsergebnisses (Hussels und Nanda 1987; Thomas et al. 2003). Gesichter mit orthoinklinierten Frontzähnen werden als attraktiv angesehen (Riedel 1957).

Des Weiteren sind prokliniert stehende Schneidezähne, vor allem im Oberkiefer, exponiert und somit anfälliger für Frontzahntraumata (Brin et al. 2000; Petti und Tarsitani 1996).

Auch die Langzeitstabilität einer Behandlung wird durch Veränderungen in der Achsenneigung beeinflusst. Vor allem stellte sich eine starke Proklation der Unterkieferschneidezähne als instabil heraus (Burke et al. 1998; Glenn et al. 1987; Little 1999; Mills 1966).

2.6 Unerwünschte Wirkungen durch Veränderungen der Zahnachsen

Die Anwendung einer Multibracketapparatur kann die Achsenstellung der Zähne jedoch auch so verändern, dass unerwünschte Effekte auftreten. Zum Beispiel kann beim Auflösen von Engständen oder rotierten Zähnen eine Proklation der Schneidezähne oder das Erweitern des Zahnbogens indiziert sein. Zahnbewegungen wie die Proklation der Schneidezähne oder das Bukkalkippen der Seitenzähne können hierbei jedoch einen möglichen Risikofaktor für orthodontische Nebenwirkungen darstellen. In einer Studie beobachteten die Autoren eine Minderung der bukkalen Knochenbedeckung, Knochenfenster

und gingivale Rezessionen (Almeida et al. 2015) Vor allem die Proklination der Unterkieferschneidezähne scheint in Zusammenhang mit gingivalen Rezessionen zu stehen (Allais und Melsen 2003; Yared et al. 2006).

Eine weitere mögliche Nebenwirkung in der Behandlung mit festsitzender Apparatur sind Wurzelresorptionen. Insbesondere wenn Prämolaren extrahiert wurden, ist das Risiko für Wurzelresorptionen an den Frontzähnen besonders hoch (Harris et al. 2001; Sameshima und Sinclair 2001). Es wurde mehrfach untersucht, wie Wurzelresorptionen mit bestimmten Zahnbewegungen in Zusammenhang stehen. Körperliche Zahnbewegungen erzeugen weniger häufig Wurzelresorptionen im Vergleich zu kippenden Bewegungen (Brezniak und Wasserstein 2002). Andere Autoren deklarieren die Intrusion als besonders riskant (Beck und Harris 1994; Han et al. 2005). Vor allem die Schneidezahnintrusion mit einer Lingualkipfung der Wurzel muss als Ursache für Resorptionen betrachtet werden (Parker und Harris 1998).

Aus genannten Gründen ist es für den Behandler äußerst wichtig, die genauen Auswirkungen der angewandten therapeutischen Mittel auf die Zahnstellung zu kennen.

2.7 Veränderungen der Achsenstellung der Zähne durch die Behandlung mit selbstligierenden Brackets

Die Veränderung der Inklination und Angulation der Schneide- und Seitenzähne durch die Behandlung mit selbstligierenden Brackets wurde in verschiedenen Studien beschrieben:

In einer Studie wurde die Schneidezahn- und Eckzahninklination der Unterkieferzähne vor und nach der Behandlung mit selbstligierenden Brackets untersucht. Die Patienten wurden in zwei Gruppen aufgeteilt (Behandlung mit aktiv vs. passiv selbstligierendem System). Es wurden DVT-Aufnahmen vor und nach der Behandlung vermessen. Die Autoren haben den Winkel zwischen der Längsachse der Zähne (definiert als Verbindung zwischen koronalem und apikalem Punkt der Zahnpulpa) und der Okklusionsebene (nach Björk) gemessen. Die Eckzähne proklinierten um $3,9^\circ$ (passives System) und $3,2^\circ$ (aktive Brackets). Die seitlichen Schneidezähne proklinierten um $6,9^\circ$ (passive Brackets) und $7,0^\circ$ (aktive Brackets), die mittleren Schneidezähne um $6,6^\circ$ (passives System) und $6,3^\circ$ (aktive Brackets). Die Unterschiede zwischen T1 und T2 waren jeweils signifikant. Innerhalb der Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede (Cattaneo et al. 2013).

Andere Autoren (Mario et al. 2021) untersuchten Inklinations- und Angulationsveränderungen durch die Behandlung mit passiv selbstligierenden Brackets an digitalisierten Gipsmodellen. Die Patienten waren jugendlich und hatten teilweise eine funktionskieferorthopädische Vorbehandlung. Patienten mit einer Angle Klasse II (mehr als 2 mm) und einer Angle Klasse III wurden ausgeschlossen. Klasse-II-Gummizüge wurden kurzzeitig angewandt. Die Autoren nutzten die faziale Kronenachse (FACC) und eine Referenzebene, die in einer Arbeit publiziert wurde (Huanca Ghislanzoni et al. 2013). Es gab hier keinen Vergleich zu unbehandelten Personen, sondern nur zu einer Gruppe mit konventionellen Brackets. Signifikante Veränderungen der Inklinationswerte wurden an folgenden Zähnen gemessen: OK 2er: $+4,24^\circ$, OK 4er: $+5,27^\circ$, OK 5er: $+5,97^\circ$, UK 1er $+4,87^\circ$, UK 2er: $+8,46^\circ$, UK 3er: $+5,69^\circ$, UK 4er: $+6,98^\circ$, UK 5er: $+5,65^\circ$. Signifikante Veränderungen der Angulationswerte stellten die Autoren an folgenden Zähnen fest: UK 2er: $+4,16^\circ$, UK 3er: $+3,56^\circ$, UK 4er: $-2,67^\circ$, UK 5er: $-3,2^\circ$, UK 6er: $-6,21^\circ$ (Mario et al. 2021).

Lineberger et al. (2016) nutzten digitalisierte Modelle (3Shape R700 3D Scanner, ESM Digital Solution Ltd, Dublin, Ireland) und eine Software (VAM, Vectra, Canfield Scientific, Fairfield, New Jersey, USA), um Veränderungen der Inklination durch die Behandlung mit passiv selbstligierenden Brackets zu untersuchen. Die Autoren maßen die Winkel zwischen der fazialen Kronenachse (FACC) und einer Referenzlinie, die nahezu parallel zur Okklusionsebene ist (Huanca Ghislanzoni et al. 2013). Intermaxilläre Gummizüge wurden während der Behandlung verwendet. Die Ergebnisse wurden mit Daten unbehandelter Probanden der Wachstumsstudie von Riolo et al. (1974) verglichen. Signifikante Unterschiede im Vergleich zur unbehandelten Kontrollgruppe wurden im Bereich der Prämolaren im Oberkiefer festgestellt: Der erste Prämolare zeigte eine Inklinationsänderung um $+5,8^\circ$ ($+4,6^\circ$ im Vergleich zur unbehandelten Gruppe), der zweite Prämolare zeigte eine Inklinationsänderung um $+5,1^\circ$ ($+3,9^\circ$ im Vergleich zur Kontrollgruppe) (Lineberger et al. 2016).

Pandis et al. (2010) untersuchten anhand von Fernröntgenseitenbildern (FRS) die Effekte von passiv selbstligierenden Brackets auf die Unterkieferschneidezähne. Patienten mit einer Angle Klasse I, II und III wurden in die Studie eingeschlossen. Die unteren mittleren Schneidezähne proklinierten durchschnittlich um $3,1^\circ$.

Fleming et al. (2009) analysierten ebenfalls die Wirkung von selbstligierenden Brackets (aktiv selbstligierend) auf die Schneidezahninklination des Unterkiefers. Auch sie

werteten Fernröntgenseitenbilder vor und nach der Behandlung aus. Die Patienten waren zum Start der Behandlung zwischen 11 und 21 Jahre alt. Es handelte sich um eine prospektive Studie. Es wurden keine intermaxillären Gummizüge, Aufbisse, Lingualbögen oder Antispee-Bögen angewandt. Die Bögen wurden distal nicht umgebogen. Die UK-Front proklinierte um durchschnittlich $4,41^\circ$. Das Alter der Patienten hatte keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Eine zu Beginn stärker prokliniert stehende Front führte zu weniger Proklation während der Behandlung.

In einer weiteren Arbeit wurde der Effekt von aktiven und passiven selbstligierenden Brackets auf die Inklination der oberen und unteren Schneidezähne untersucht. Die Autoren verwendeten anterior-posteriore und laterale FRS zur Auswertung. In der Gruppe der Patienten mit aktivem System war die Proklation der Oberkiefer- und Unterkieferschneidezähne signifikant, in der Gruppe der Patienten mit passiven selbstligierenden Brackets die Proklation der Unterkieferschneidezähne. Die oberen ersten Molaren kippten in beiden Gruppen signifikant nach bukkal (Atik et al. 2016).

Die Studie von Hegele et al. (2021) untersuchte unter anderem die Inklinationsveränderungen der Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers durch die Behandlung mit zwei selbstligierenden Bracketsystemen. Die Schneidezähne des Ober- wie auch Unterkiefers standen vor der Behandlung prokliniert. Nach der Behandlung konnten die Autoren im Ober- wie im Unterkiefer eine weitere Proklation der Schneidezähne messen. In der Gruppe mit konfektionierten selbstligierenden Brackets waren die Veränderungen im Ober- und Unterkiefer signifikant. In der Gruppe mit individualisierten Brackets zeigte sich eine Proklation der Oberkieferschneidezähne, wenn auch nicht signifikant. Im Unterkiefer war auch hier die Proklation der Schneidezähne durch die Behandlung signifikant.

3 Fragestellung

Bis auf die oben beschriebene Studie von Lineberger et al. (2016) fehlen in der Literatur Vergleichsstudien, in denen die Wirkungen der Behandlung mit selbstligierenden Brackets mit den natürlichen Veränderungen der Zahnachsen während des Wachstums in Relation gesetzt werden. Lineberger et al. (2016) verglichen ihre Ergebnisse hierbei mit den Daten der Wachstumsstudien von Riolo et al. (1974). Dadurch ist jedoch nicht sichergestellt, dass die Methodik der Datengewinnung die gleiche ist, was zu Fehlern im Vergleich führen kann.

Ziel dieser Arbeit war, folgende Fragestellungen zu beantworten:

Wie verändern sich die Inklinations- und Angulationswerte der Front- und Seitenzähne durch die orthodontische Behandlung mit selbstligierenden Brackets?

Es sollte außerdem herausgefunden werden, ob es signifikante Unterschiede in der Veränderung der Schneidezahninklination im Vergleich zu einer Kontrollgruppe unbehandelter Probanden gab. Dadurch sollten mögliche wachstumsbedingte Veränderungen aufgedeckt und von den Einflüssen der Wirkung der selbstligierenden Brackets abgegrenzt werden.

Die Nullhypothese lautete: Eine orthodontische Behandlung mit selbstligierenden Brackets führt zu keiner signifikanten Veränderung der Schneidezahninklination im Vergleich zu kieferorthopädisch unbehandelten Probanden.

Die Alternativhypothese lautete: Eine orthodontische Behandlung mit selbstligierenden Brackets führt zu einer signifikanten Veränderung der Schneidezahninklination im Vergleich zu kieferorthopädisch unbehandelten Probanden.

4 Patienten und Methodik

4.1 Patienten

Diese retrospektive Studie wurde gemäß der dem Votum der Ethikkommission (Datum der Genehmigung: 18.12.2020) an der LMU München zugrundeliegenden Projektbeschreibung (Projekt-Nr. 20-1057) durchgeführt und umfasst Patienten, die zwischen dem 01.01.2009 und dem 29.11.2020 in der Poliklinik für Kieferorthopädie behandelt wurden. Die Patientenselektion erfolgte anhand vorher definierter Ein- und Ausschlusskriterien, die im Folgenden vorgestellt werden.

4.1.1 Behandlungsgruppe

Die Behandlungsgruppe bestand aus 30 pseudonymisierten Patienten (15 weiblich, 15 männlich) der Privatambulanz der Poliklinik für Kieferorthopädie der Ludwig-Maximilians-Universität München. Die Behandlung der Patienten erfolgte durch denselben Kieferorthopäden. Zum Start der Multibracketbehandlung (Zeitpunkt T1) waren die Patienten zwischen 11,7 und 17,5 Jahre alt (durchschnittlich 13,4 Jahre). Die Behandlungsdauer mit der Multibracketapparatur betrug zwischen 1,2 und 5,1 Jahre (durchschnittlich 2,9 Jahre).

Einschlusskriterien:

- Anlage aller bleibenden Zähne (Weisheitszähne wurden nicht beachtet)
- Vollständige Behandlungsunterlagen bestehend aus den Röntgenaufnahmen Orthopantomogramm (OPG) und Fernröntgenseitenaufnahme (FRS) und den diagnostischen Modellpaaren (Alginat-Abformungen)
- Funktionskieferorthopädische Vorbehandlung möglich
- Skelettale Klasse I zu Beginn der Multibracketbehandlung (ANB zwischen 0° und 4° im FRS)
- Behandlung mit selbstligierenden Brackets (MBT-System)
- Multibracketapparatur im Ober- und Unterkiefer vestibulär

Ausschlusskriterien:

- Syndrompatienten
- Nichtanlagen (außer Weisheitszähne)
- verlagerte Zähne
- Extraktionsfälle
- Patienten mit kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Behandlung
- Implantate
- Erkrankungen des Kiefergelenkes
- Verwendung von Torque- und Antispee-Bögen
- Skelettale Klasse II oder III zu Beginn der Multibracketbehandlung

Alle Patienten wurden mit selbstligierenden Brackets behandelt, deren vorprogrammierte Angulations- und Inklinationswerte denen des MBT-Systems entsprechen (**Tabelle 4.1**).

Tabelle 4.1: Vorprogrammierte Angulations- und Inklinationswerte (°) des MBT-Systems.

Angulation (°)		Inklination (°)	
Oberkiefer, Zahn		Oberkiefer, Zahn	
1	4°	1	17°
2	8°	2	10°
3	8°	3	-7°
4	0°	4	-7°
5	0°	5	-7°
6	0°	6	-14°
Unterkiefer, Zahn		Unterkiefer, Zahn	
1	0°	1	-6°
2	0°	2	-6°
3	3°	3	-6°
4	2°	4	-12°
5	2°	5	-17°
6	0°	6	-20°

4.1.2 Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe setzte sich aus kieferorthopädisch unbehandelten Mädchen und Jungen aus Wachstumsstudien der Universitäten Iowa, Oregon und Denver („Craniofacial Growth Legacy Collections Project“ der „American Association of Orthodontics Foundation“ (AAOF))¹ zusammen.

Es wurde jedem Patienten der Behandlungsgruppe ein nach Alter (+/- sechs Monate) und Geschlecht korrespondierender unbehandelter Studienteilnehmer zugeordnet. Jede Person der Kontrollgruppe hatte zum Zeitpunkt T1 eine skelettale Klasse I (ANB 0-4°). Passende Datensätze wurden den folgenden Wachstumsstudien der „AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection“ entnommen:

The University of Oklahoma Denver Growth Study:

In dieser Wachstumsstudie wurden von insgesamt 303 kieferorthopädisch unbehandelten Mädchen und Jungen im Zeitraum zwischen 1927 und 1967 unter anderem Fernröntgenseitenbilder (im Durchschnitt 11,5 pro Person) aufgenommen. Eine Pilotstudie schloss 57 Jungen und 56 Mädchen (6-18 Jahre) ein. Pro Person wurden mindestens vier Fernröntgenseitenbilder angefertigt (Curator: G. Fräns Currier DDS, MSD, Med; Institution: Department of Orthodontics - Dental School, University of Oklahoma).

The Iowa Facial Growth Study:

Diese Studie wurde im Zeitraum von 1946 bis 1960 durchgeführt. Die Entwicklung des Gesichts, des Schädels, des Rumpfes und der Gliedmaßen von 92 Jungen und 91 Mädchen wurden dokumentiert. Fernröntgenseitenbilder wurden bis zum fünften Lebensjahr der Studienteilnehmer vierteljährlich, zwischen dem fünften und zwölften Lebensjahr halbjährlich und dann bis zum 18. Lebensjahr jährlich aufgenommen (Curator: Shankar Rengasamy Venugopalan, DDS, DMSc, CAGE (Ortho), PhD; Institution: Department of Orthodontics - College of Dentistry, University of Iowa).

The Oregon Growth Study:

Die Aufnahmen aus dieser Wachstumsstudie wurden zwischen den späten 1950er Jahren und Mitte der 1970er Jahre angefertigt. Die Studie schloss 357 Mädchen und Jungen zwischen drei und 18 Jahren ein. Fernröntgenseitenbilder wurden halbjährlich bis jährlich

¹ URL: https://www.aaoflegacycollection.org/aaof_home.html (letzter Zugriff: 25.07.2024)

aufgenommen (Curator: Steve Duckworth BM, MM, MLIS; Institution: Department of Orthodontics - School of Dentistry, Oregon Health and Science University).

4.1.3 Patientenselektion: Kontrolle der Einschlusskriterien

Zunächst wurde überprüft, ob es zum Zeitpunkt T1 innerhalb der Gruppen signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede der FRS-Parameter gab. Im Ergebnis konnten signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede ausgeschlossen werden (**Anhang 1**).

Um zu bestätigen, dass sowohl die Studienteilnehmer als auch die Probanden der Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T1 eine skelettale Klasse I (ANB $0^\circ - 4^\circ$) aufwiesen, wurde eine deskriptive Statistik durchgeführt. Die Werte stammten aus der FRS-Analyse zum Zeitpunkt T1 (**Anhang 2**). Der ANB der Behandlungsgruppe war im Durchschnitt $2,3^\circ \pm 1,1^\circ$, der der Kontrollgruppe $2,5^\circ \pm 1,1^\circ$ (**Abbildung 4.2**).

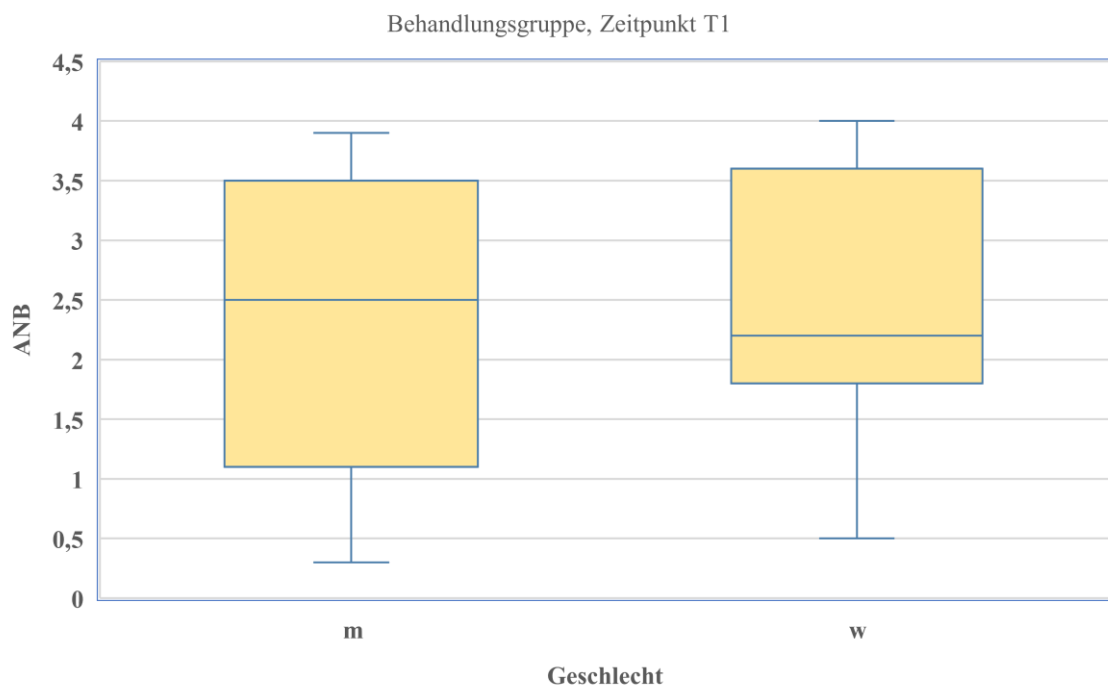


Abbildung 4.1: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes ANB ($^\circ$) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w) entsprechend des Einschlusskriteriums „skelettale Klasse I“ (ANB $0^\circ - 4^\circ$), Behandlungsgruppe.

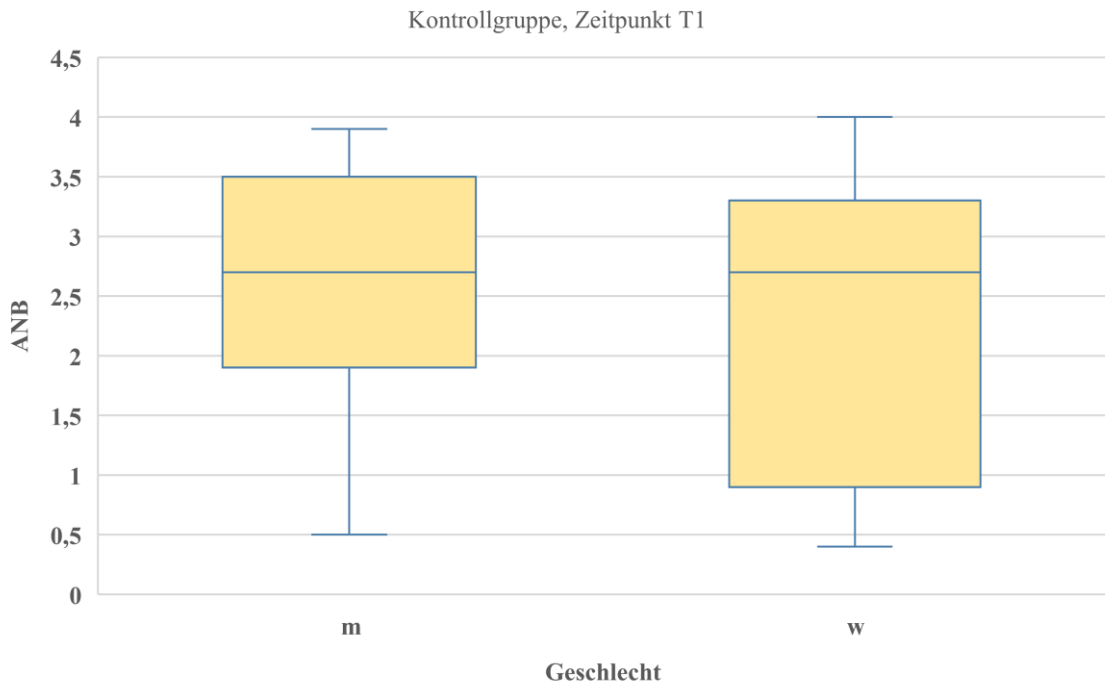


Abbildung 4.2: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes ANB (°) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w) entsprechend des Einschlusskriteriums „skelettale Klasse I“ (ANB 0° - 4°), Kontrollgruppe.

Es war wichtig zu überprüfen, ob es signifikante Unterschiede der FRS-Parameter zwischen der Behandlungs- und Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T1 gab (**Anhang 2**).

Signifikante Unterschiede wurden an folgenden Werten gemessen:

Bei den Mädchen der Kontrollgruppe war der Schneidezahnwinkel OK1-NL um 3,7° größer als bei den Mädchen der Behandlungsgruppe ($116,1^\circ \pm 5,3^\circ$ vs. $112,4^\circ \pm 5,3^\circ$, $p = 0,008$) (**Abbildung 4.3**). Auch der Winkel OK1-NSL war bei den Mädchen der Kontrollgruppe um 4,4° größer als bei den Mädchen der Behandlungsgruppe ($108,0^\circ \pm 7,0^\circ$ vs. $103,6^\circ \pm 7,2^\circ$, $p = 0,032$) (**Abbildung 4.4**). Dies bedeutete, dass die Oberkieferfront der Mädchen der Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T1 durchschnittlich proklinierter standen als bei den Mädchen der Behandlungsgruppe.

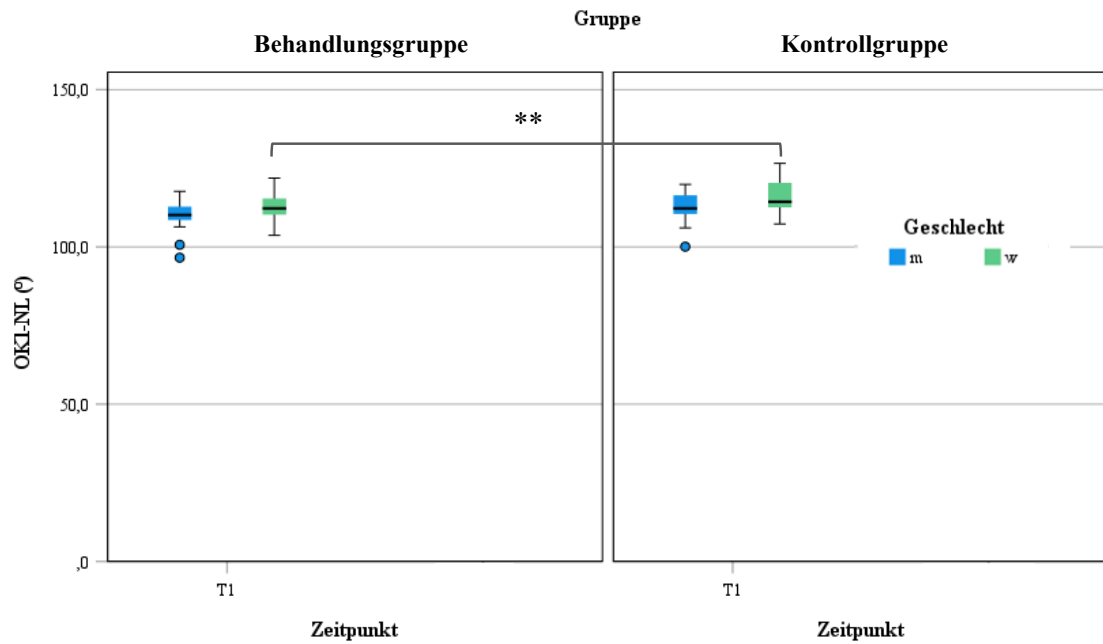


Abbildung 4.3: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes OK1-NL (°) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w), Vergleich zwischen Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

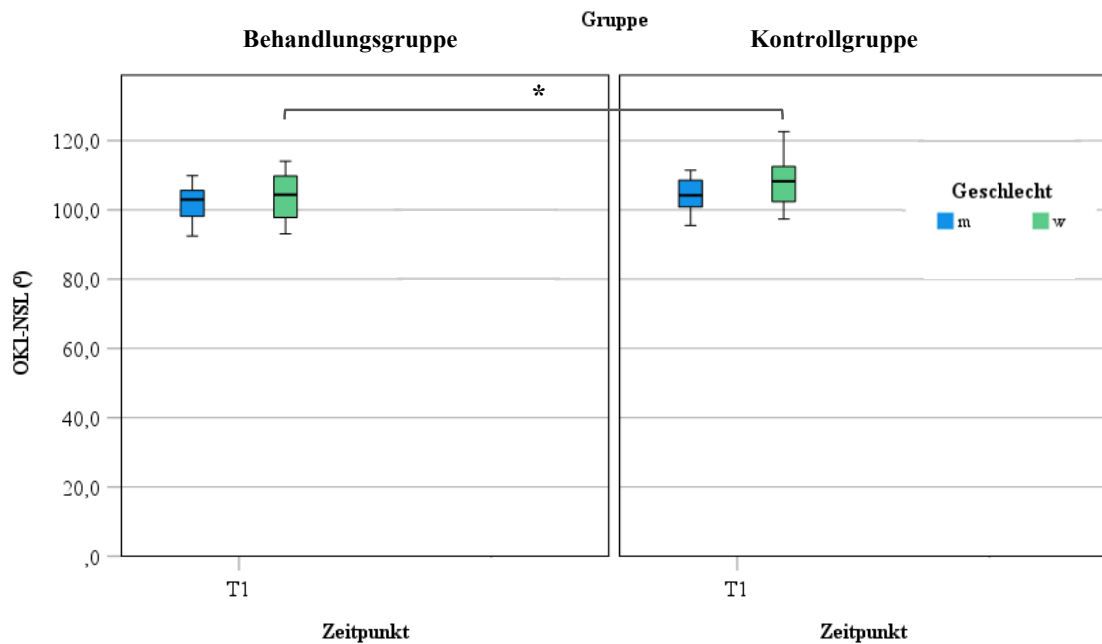


Abbildung 4.4: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes OKI-NSL (°) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w), Vergleich zwischen Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)).

4.2 Methodik

4.2.1 Analyse der Fernröntgenseitenbilder

Fernröntgenseitenbilder sind laterale Röntgenaufnahmen des Schädels, die unter anderem Aussagen über das Wachstumsmuster der Kiefer, der sagittalen Lage der Kiefer zueinander und der Inklination der Schneidezähne ermöglichen.

Von jedem Patienten wurden Fernröntgenseitenbilder zu zwei verschiedenen Zeitpunkten vermessen:

- T1: Vor Kleben der Brackets zu Beginn der orthodontischen Behandlung
- T2: Nach bzw. kurz vor Entfernen der Brackets, mindestens ein Jahr nach Eingliedern der Brackets

Die Poliklinik für Kieferorthopädie der LMU München arbeitet zur Herstellung der Bilder mit dem Gerät „CS 9000 Extraoral Imaging System“ (Kodak, Rochester, USA). Die lateralen Aufnahmen wurden digital angefertigt. Bei dieser Aufnahmetechnik beträgt der Fokus-Film-Abstand 1,5 bis 4,0 m. Der Zentralstrahl verläuft durch den *Porus acusticus externus*.

Die Fernröntgenseitenbilder wurden mit der Diagnostiksoftware „FR win professional“ (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland) ausgewertet. Zur Analyse der Bilder setzte der Untersucher definierte kephalometrische Punkte auf anatomische Strukturen des knöchernen Schädels und der umgebenden Weichteile. Das Setzen der Punkte erfolgte entsprechend der Analyse nach Segner und Hasund (1998).

Nachfolgend sind die Punkte der FRS-Analyse, die zur Messung der benötigten Winkel dienten, in **Tabelle 4.2** aufgeführt. Graphisch dargestellt sind sie außerdem in **Abbildung 4.5**.

Tabelle 4.2: Für die vorliegende Arbeit relevante Punkte der kephalometrischen Analyse.

Abkürzung	Bezeichnung	Definition
N	Nasion	„[...] anteriorste(r) Punkt der Sutura naso-frontalis“ (Segner und Hasund 1998, S. 15).
S	Sella	„[...] Zentrum der knöchernen Krypte der Sella turcica“ (Segner und Hasund 1998, S. 14).
A	A-Punkt	„[...] tiefste(r) Punkt der anterioren Kontur des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes in der Median-Sagittal-Ebene“ (Segner und Hasund 1998, S. 17).
B	B-Punkt	„[...] tiefste(r) Punkt der anterioren Kontur des Unterkiefer-Alveolarfortsatzes in der Median-Sagittal-Ebene“ (Segner und Hasund 1998, S. 20).
Spa	Spina nasalis anterior	„[...] der am weitesten anterior gelegene Punkt der knöchernen Spina nasalis anterior“ (Segner und Hasund 1998, S. 17).
Pm	Pterygomaxillare	„[...] Schnittpunkt der dorsalen Kontur des Corpus maxillae mit der Kontur des harten bzw. weichen Gaumens“ (Segner und Hasund 1998, S. 18).
Me	Menton	„[...] kaudalste(r) Punkt der Unterkiefersymphyse in der Median-Sagittal-Ebene“ (Segner und Hasund 1998, S. 21).
T1	Tangentenpunkt 1 (Ramus-Tangentenpunkt)	„[...] posteriore Auswölbung des Kieferwinkels“ (Segner und Hasund 1998, S. 23).
T2	Tangentenpunkt 2 (Mandibular-Linien-Tangentenpunkt)	„[...] untere Auswölbung des Kieferwinkels“ (Segner und Hasund 1998, S. 23).

Abkürzung	Bezeichnung	Definition
Is	Inzision superius	„[...] am weitesten inzisal gelegene(r) Punkt des am anteriorsten stehenden oberen mittleren Schneidezahnes“ (Segner und Hasund 1998, S.19).
Isa	Inzisivus superius apicale	„[...] apikalste(r) Punkt der Wurzel des am weitesten anterior stehenden mittleren Oberkiefer- Schneidezahnes“ (Segner und Hasund 1998, S.19).
Ii	Inzision inferius	„[...] am weitesten inzisal gelegene(r) Punkt des am anteriorsten stehenden unteren mittleren Schneidezahnes“ (Segner und Hasund 1998, S. 21).
Iia	Inzisivus inferius apicale	„[...] apikalste(r) Punkt der Wurzel des am weitesten anterior stehenden mittleren Unterkiefer- Schneidezahnes“ (Segner und Hasund 1998, S. 21).

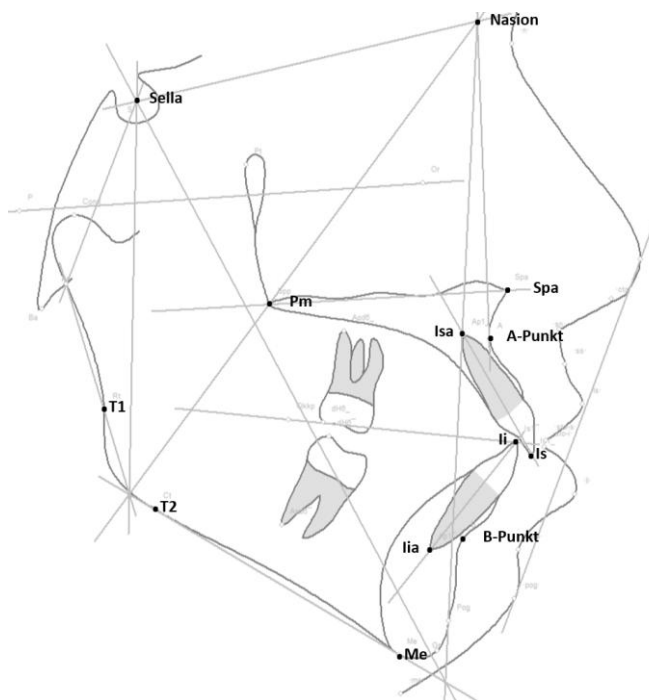


Abbildung 4.5: Analyse eines Fernröntgenseitenbildes in der Software „FR win professional“ (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland); hervorgehoben sind die für die vorliegende Arbeit relevanten kephalometrischen Punkte.

In **Tabelle 4.3** sind die Winkel der FRS-Analyse, die für die Beantwortung der Fragestellungen relevant waren, aufgelistet.

Tabelle 4.3: Für die vorliegende Arbeit relevante Winkel der kephalometrischen Analyse.

Abkürzung	Bezeichnung	Bedeutung
SNA	SNA-Winkel	„[...] Ausdruck der anterior-posterioren Position des A-Punktes in Relation zur anterioren Schädelbasis in Form von NSL. [...] (bezeichnet) klinisch die sagittale Position der Maxilla [...]“ (Segner und Hasund 1998, S. 47).
SNB	SNB-Winkel	„[...] anterior-posteriore Lage der Mandibula in Relation zur anterioren Schädelbasis [...]“ (Segner und Hasund 1998, S. 48).
ANB	ANB-Winkel	„[...] sagittale Position der Maxilla in Relation zur Mandibula [...]“ (Segner und Hasund 1998, S. 49).
ML-NSL	ML-NSL-Winkel	„[...] Neigung der Mandibula in Bezug auf die anteriore Schädelbasis [...]“ (Segner und Hasund 1998, S.53).
ML-NL	ML-NL-Winkel, Basiswinkel	„[...] Neigungswinkel der Mandibula (ML) relativ zur Oberkieferbasis (Nasallinie NL) [...]. [...] wird auch als Interbasiswinkel bezeichnet und drückt die Divergenz der Kieferbasen aus“ (Segner und Hasund 1998, S. 56).
NL-NSL	NL-NSL-Winkel	„[...] Neigungsgrad der Maxilla in Bezug auf die anteriore Schädelbasis [...]“ (Segner und Hasund 1998, S. 55).
OK1-UK1	Interinzisalwinkel	„[...] wird zur Beschreibung der Schneidezahnstellung [...] verwendet“ (Segner und Hasund 1998, S. 63).
OK1-NSL	Oberkiefer-1-NSL-Winkel	Zahnachse des am stärksten anterior stehenden Oberkiefer-Schneidezahnes in Beziehung zur vorderen Schädelbasis

Abkürzung	Bezeichnung	Bedeutung
OK1-NL	Oberkiefer-1-NL-Winkel	Zahnachse des am stärksten anterior stehenden Oberkiefer-Schneidezahnes in Beziehung zur Oberkiefergrundebene
UK1-ML	Unterkiefer-1-ML-Winkel	Zahnachse des am stärksten anterior stehenden Unterkiefer-Schneidezahnes in Beziehung zur Unterkieferbasis

4.2.2 Analyse der Orthopantomogramme

Zu den Zeitpunkten T1 und T2 wurden neben den FRS auch Orthopantomogramme (OPG) erstellt. Ein OPG ist eine frontale Panoramaröntgenaufnahme der Kiefer und der umliegenden anatomischen Strukturen. Die Aufnahmen wurden mit dem Gerät „CS 9000 Extraoral Imaging System“ (Kodak, Rochester, USA) angefertigt.

Die Orthopantomogramme wurden mit der Software „FR win professional“ (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland) ausgewertet. Die Messung der Angulationswerte der Zähne im OPG wurde nach einer Methode durchgeführt, die Ursi et al. (1990) in einer Studie verwendet haben. Als Referenzlinien dienten die Verbindungslinien zwischen den kaudalsten Punkten der Orbitae und den Nervenaustrittspunkten des *Nervus mentalis*. Die nach mesial gerichteten Winkel zwischen diesen Referenzlinien und den Zahnlängsachsen wurden zur Bestimmung der Angulation der Front- und Seitenzähne ausgewertet. Eine Verkleinerung des gemessenen Winkels entsprach demzufolge einer Verstärkung der Angulation nach mesial wohingegen eine Vergrößerung des Winkels eine Angulationsänderung nach distal bedeutete. Die Zahnlängsachsen wurden durch den Verlauf der Pulpa definiert. Bei den oberen Prämolaren wurde die Mitte der bukkalen und palatinalen Wurzel herangezogen, bei den oberen Molaren der palatinale Wurzelkanal und bei den unteren Molaren die Mitte der mesialen und distalen Wurzelkanäle. **Abbildung 4.6** stellt graphisch die Winkelmessung in der Auswertung der Orthopantomogramme dar.

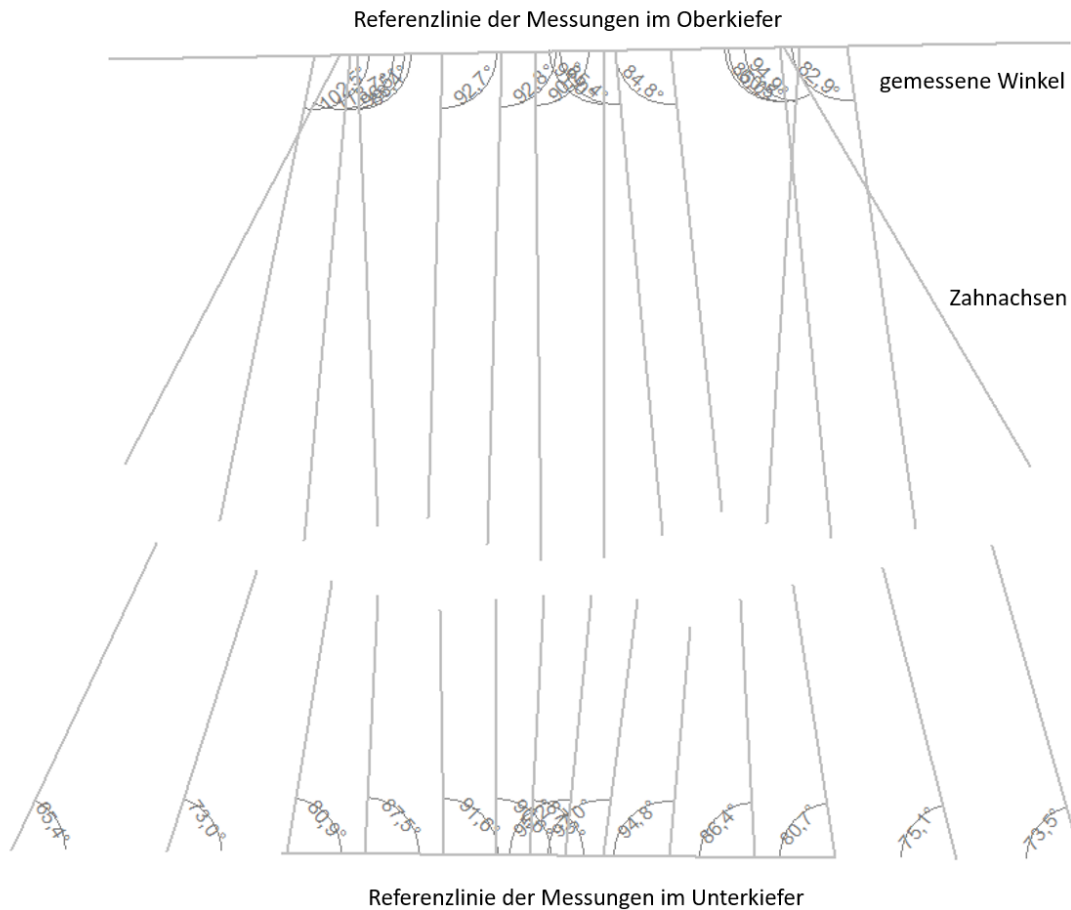


Abbildung 4.6: Darstellung der Winkelmessungen, Auswertung eines Orthopantomogrammes, Analyse nach Ursi et al. (1990), Software „FR win professional“ (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland).

4.2.3 Analyse der digitalisierten Modelle

Neben der Analyse der Fernröntgenseitenbilder und der Orthopantomogramme wurde eine digitale Vermessung eingescannter Gipsmodelle durchgeführt.

Die Gipsmodelle wurden zur Diagnostik und zur Überprüfung des Behandlungsverlaufes mittels Alginatabformung hergestellt. Für die Studie wurden Gipsmodelle ausgewählt, die zu den entsprechenden Zeitpunkten der Röntgenaufnahmen angefertigt wurden. Diese wurden mit dem Modellscanner „S 300 Ortho“ (Zirkonzahn Worldwide, Gais, Italien) digitalisiert. Die 3D-Daten (.stl-Daten) wurden in der Diagnostiksoftware „OnyxCeph^{3TM}“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) mit dem Tool Segmentierung bearbeitet. Hierbei setzt der Untersucher Punkte auf die Mitte der Zahnkronen

bzw. Inzisalkanten. Die Software erkennt dann virtuell die einzelnen Zahnkronen (**Abbildung 4.7**).

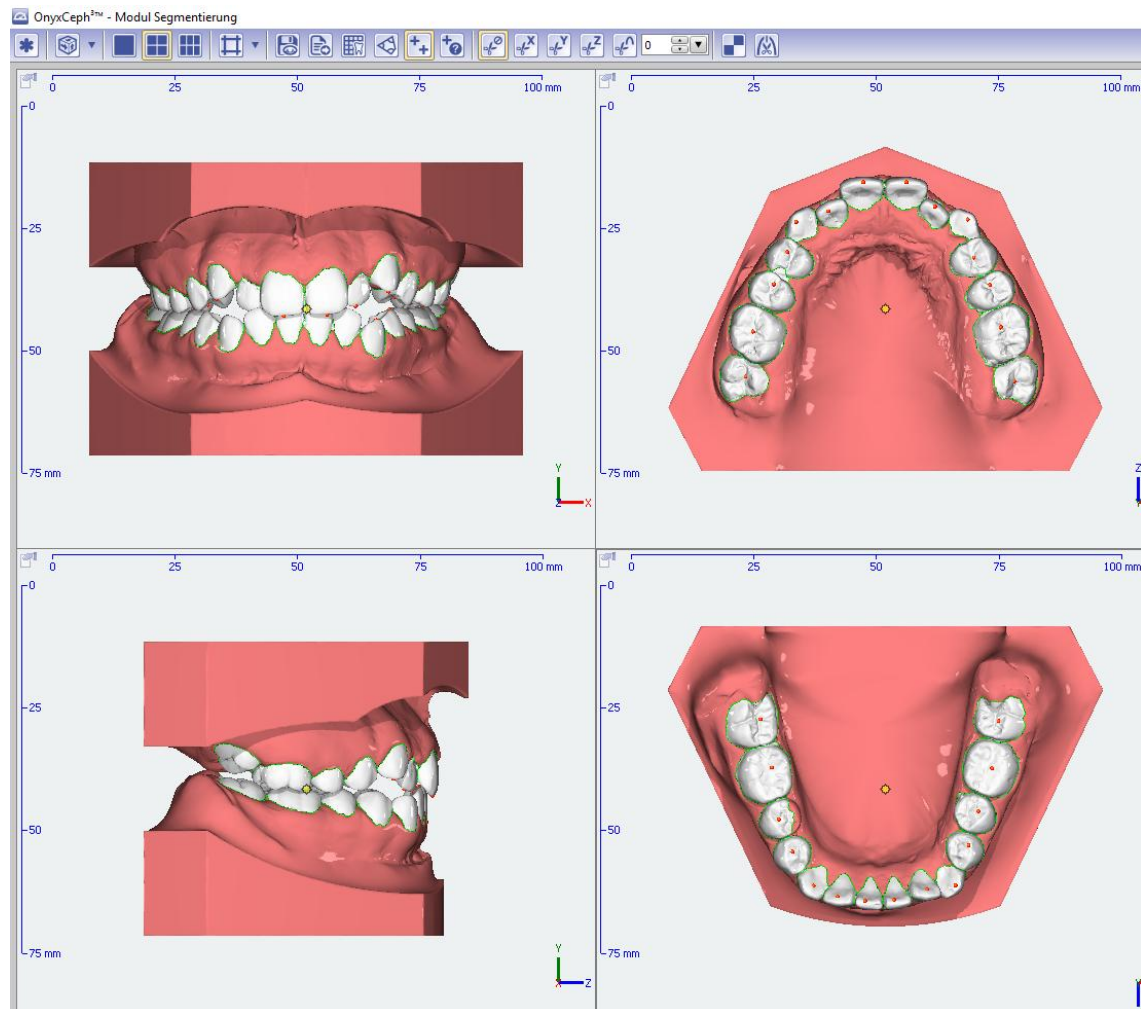


Abbildung 4.7: 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph³™“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der 3D-Modelle im Tool „Segmentierung“.

Die Inklinations- und Angulationswerte ($^{\circ}$) wurden als Winkel zwischen der fazialen Kronenachse (FACC) und einer Senkrechten auf die Okklusionsebene berechnet (**Abbildung 4.8**, **Abbildung 4.9**, **Abbildung 4.10**). Die FACC wurde durch den am weitesten gingival liegenden Punkt der klinischen Zahnkrone und den Inzisalpunkt/ mittlerer Höckerpunkt bei Molaren gebildet. Die Okklusionsebene war definiert durch die Verbindung der Mittelpunkte der unteren mittleren Inzisivi und der mesio-bukkalen Höckerspitzen der unteren ersten Molaren.

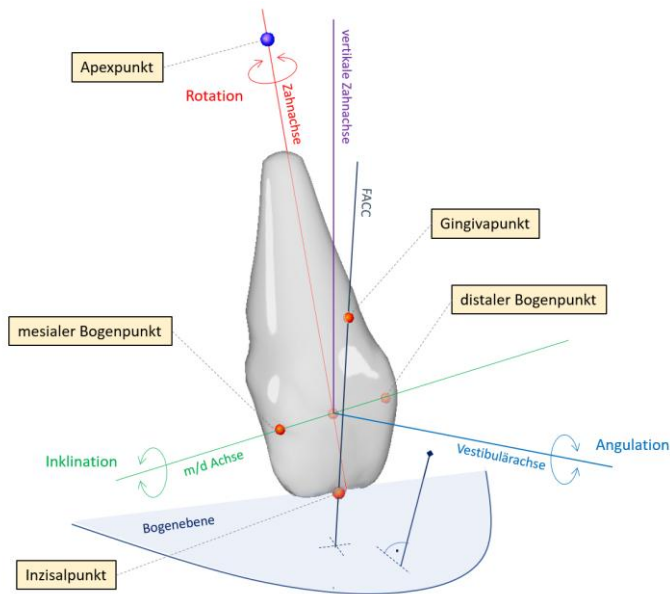


Abbildung 4.8: 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph^{3TM}“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der fazialen Kronenachse (FACC) und der Okklusionsebene (Bogenebene). Mit freundlicher Genehmigung der Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland, Quelle: <https://www.onyxwiki.net/> (letzter Zugriff: 06.08.2024).

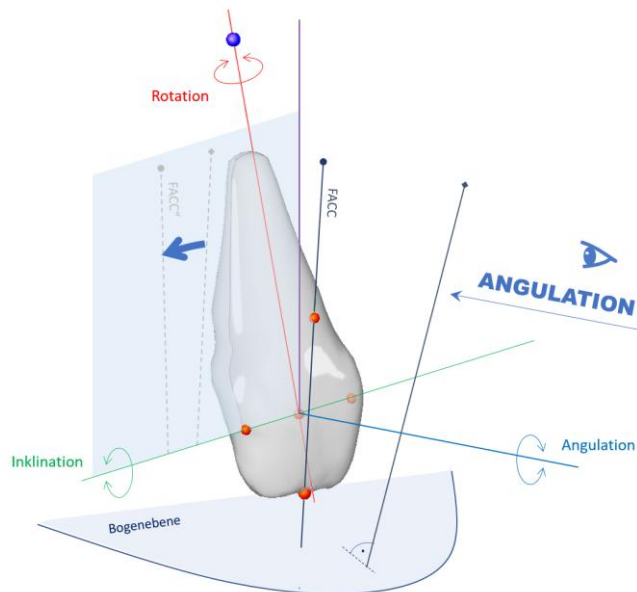


Abbildung 4.9: 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph^{3TM}“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der Messung der Angulation. Mit freundlicher Genehmigung der Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland, Quelle: <https://www.onyxwiki.net/> (letzter Zugriff: 06.08.2024).

Eine Vergrößerung der gemessenen Angulationswinkel entsprach einer Verstärkung der Angulation, dementsprechend einer Achsenänderung nach mesial. Eine Verkleinerung des Winkels hingegen bedeutete eine Veränderung der Angulation nach distal.

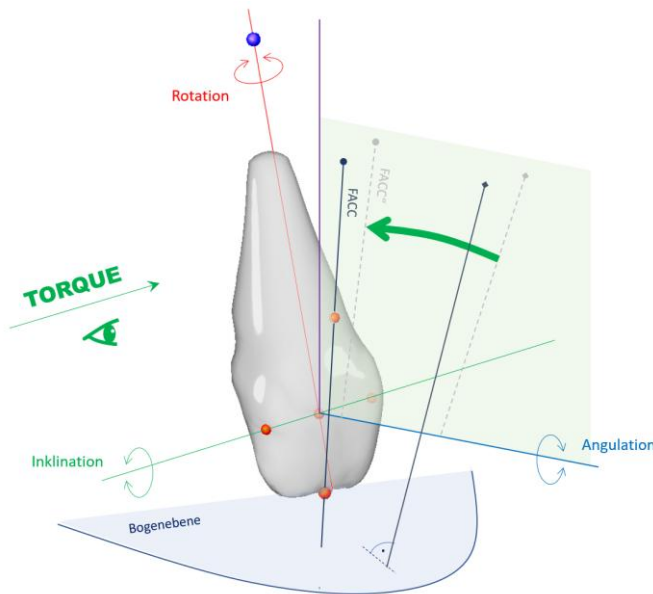


Abbildung 4.10: 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph^{3TM}“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der Messung der Inklination. Mit freundlicher Genehmigung der Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland, Quelle: <https://www.onyxwiki.net/> (letzter Zugriff: 06.08.2024).

Eine Vergrößerung der Inklinationswerte entsprach einer Verstärkung der Neigung der Zähne nach bukkal bzw. labial (Proklination), eine Verkleinerung der Inklinationswerte entsprach einer Veränderung der Achsenneigung nach palatinal bzw. lingual (Reklination).

4.2.4 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der Messergebnisse wurde das Programm „IBM SPSS Statistics“ (IBM Corp., Armonk, USA) verwendet. Für die deskriptive Statistik für intervallskalierte Daten wurden Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum berechnet. Nominal-skalierte Daten wurden mit Prozentangaben und Anzahl/ Gesamtzahl beschrieben. Graphische Darstellungen erfolgten mittels Boxplots.

Mittels Shapiro-Wilk-Test wurde jeder Datensatz zunächst auf Normalverteilung getestet. Falls Normalverteilung gegeben war, wurde mit parametrischen Verfahren (T-Test für zwei unabhängige oder gepaarte Variablen) getestet, während für Variablen, die nicht

einer Normalverteilung folgten (Shapiro-Wilk; $p > 0,05$), mit nicht-parametrischen Verfahren (Mann-Whitney U-Test für zwei unabhängige oder gepaarte Variablen) auf mögliche Unterschiede getestet wurde.

Die Signifikanzniveaus wurden wie folgt festgelegt: $p \geq 0,05$ = nicht signifikant (n.s.); $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

Zur Überprüfung der Intraratergenauigkeit (Reliabilität) wurden zehn Fernröntgenseitenbilder und zehn Orthopantomogramme im Abstand von mindestens sechs Wochen zweimal durch den gleichen Untersucher ausgewertet. Dann wurde der relative technische Messfehler jeder für die Studie relevanten Variable berechnet (Oliveira et al. 2005). Ein relativer technischer Messfehler von unter 15% wurde akzeptiert. Im Ergebnis lag dieser bei sämtlichen Werten unter 15%. Mit Ausnahme des ANB-Winkels lag der relative technische Messfehler sogar unter 5%.

5 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Ergebnisse der verschiedenen Messmethoden dieser Arbeit beschrieben und graphisch dargestellt. Die Durchschnittswerte beziehen sich jeweils auf den Mittelwert. Zusätzlich ist die Standardabweichung angegeben.

5.1 Auswertung der Fernröntgenseitenbilder

5.1.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede innerhalb der Gruppen zum Zeitpunkt T1

Um mögliche Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen innerhalb der Gruppen hinsichtlich der Werte der FRS-Analyse zu erkennen, wurde zunächst eine deskriptive Statistik durchgeführt:

Zum Zeitpunkt T1 konnten weder in der Behandlungs- noch in der Kontrollgruppe signifikante Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen erkannt werden (**Anhang 1**).

5.1.2 Vergleich der FRS-Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe

Ziel der weiteren Analyse war es zu überprüfen, ob es in der Behandlungsgruppe Variablen der FRS-Analyse gab, die sich während der Behandlung mit der Multibracketapparatur signifikant veränderten (**Anhang 4**).

Vertikale Komponenten:

Nach der Multibracketbehandlung wurden kleinere ML-NL-Winkel als vor der Behandlung gemessen. Der Wert änderte sich von $23,6^\circ \pm 5,2^\circ$ zu $23,1^\circ \pm 5,2^\circ$ ($p = 0,048$). Die Neigung der Kieferbasen zueinander verstärkte sich (**Abbildung 5.1**).

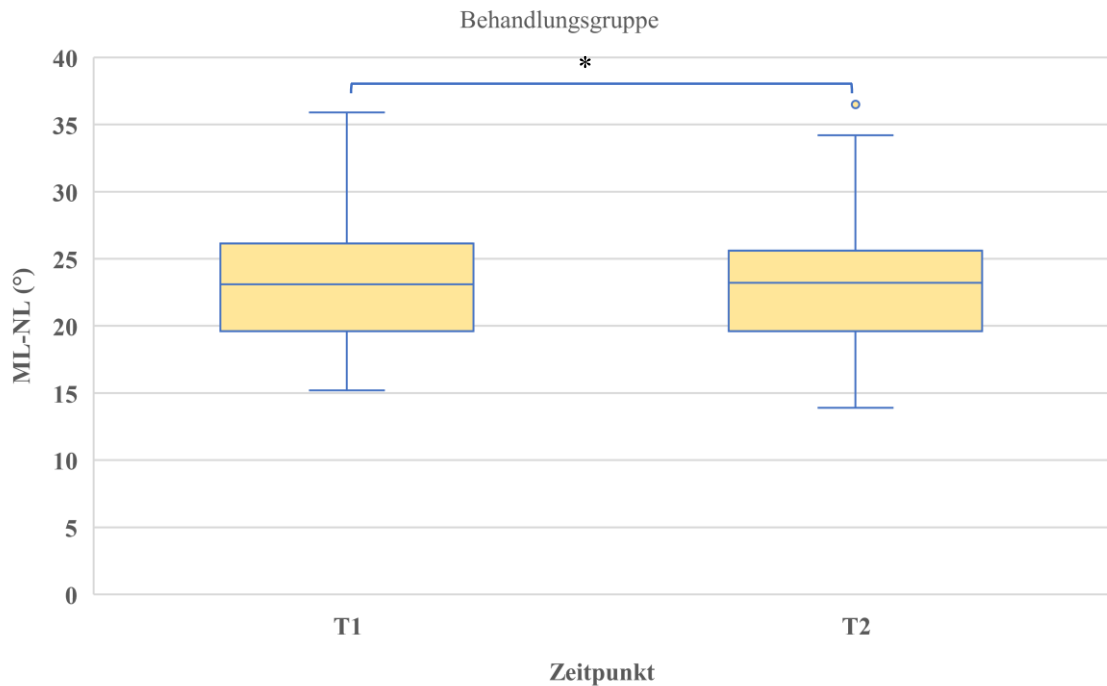


Abbildung 5.1: Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes ML-NL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

Sagittale Komponenten:

Der SNA-Winkel war nach der Behandlung durchschnittlich um $0,5^\circ$ größer als davor ($79,8^\circ \pm 2,6^\circ$ vs. $80,3^\circ \pm 2,8^\circ$; $p = 0,034$). Der SNB-Winkel war nach der Multibracket-behandlung ebenfalls um $0,6^\circ$ größer als vorher ($77,4^\circ \pm 2,6^\circ$ vs. $78,0^\circ \pm 2,6^\circ$; $p = 0,014$) (**Abbildung 5.2, Abbildung 5.3**). Der ANB-Winkel zeigte keine signifikante Veränderung vor vs. nach der Behandlung ($0,0^\circ \pm 0,6^\circ$).

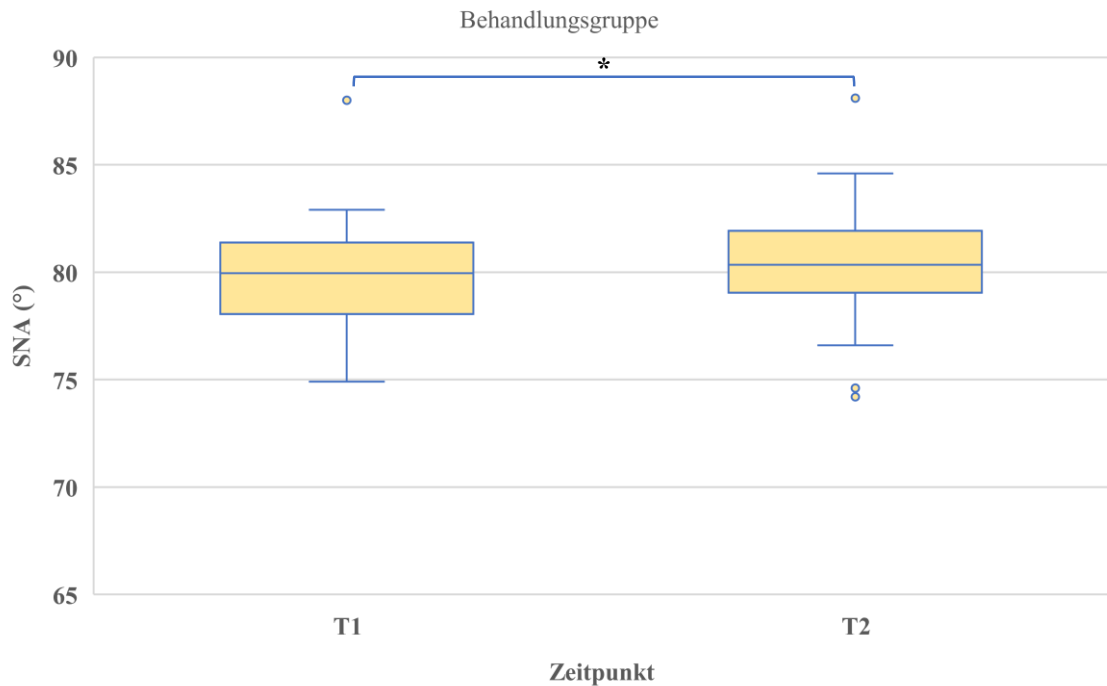


Abbildung 5.2: Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes SNA (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)).

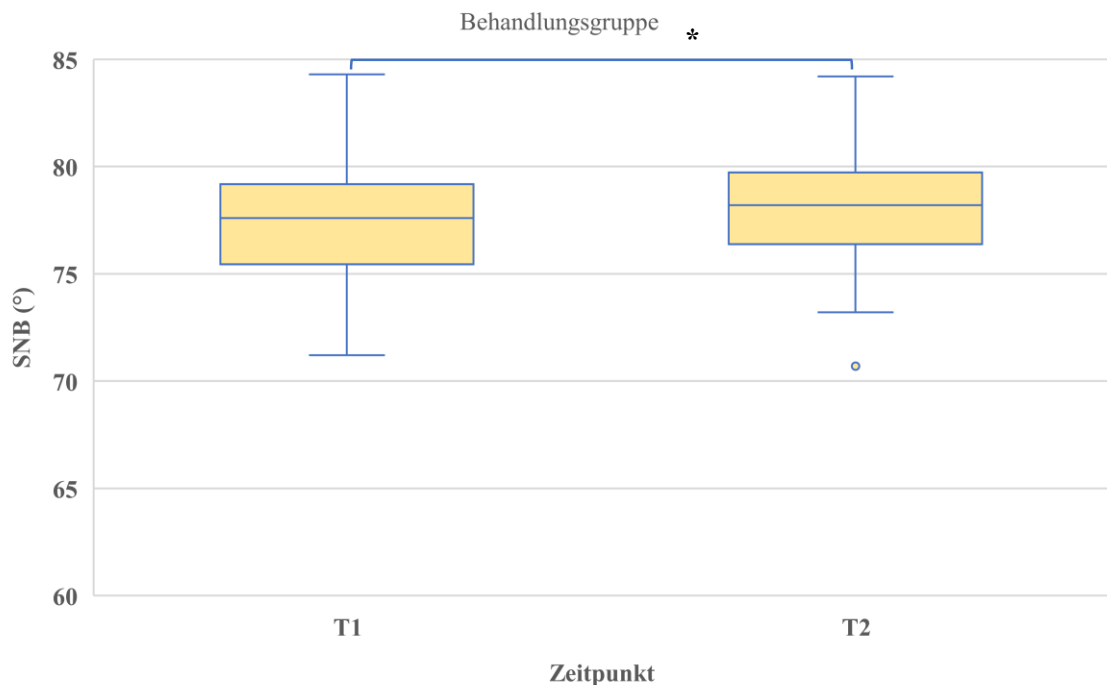


Abbildung 5.3: Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes SNB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)).

Schneidezahninklination:

Sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer proklinierten die Fronten signifikant zwischen den Zeiträumen T1 und T2, also während der Multibracketbehandlung. Der Winkel OK1-NL vergrößerte sich durchschnittlich um $3,8^\circ$ von $111,1^\circ \pm 5,5^\circ$ auf $114,9^\circ \pm 4,4^\circ$ ($p = 0,001$) (**Abbildung 5.4**). Der Winkel OK1-NSL vergrößerte sich durchschnittlich um $3,7^\circ$ von $102,8^\circ \pm 6,4^\circ$ auf $106,5^\circ \pm 5,4^\circ$ ($p = 0,004$) (**Abbildung 5.5**). Auch der Winkel UK1-ML war nach der Behandlung um $4,4^\circ$ größer ($95,3^\circ \pm 6,7^\circ$ vs. $99,7^\circ \pm 6,5^\circ$; $p < 0,001$) (**Abbildung 5.6**).

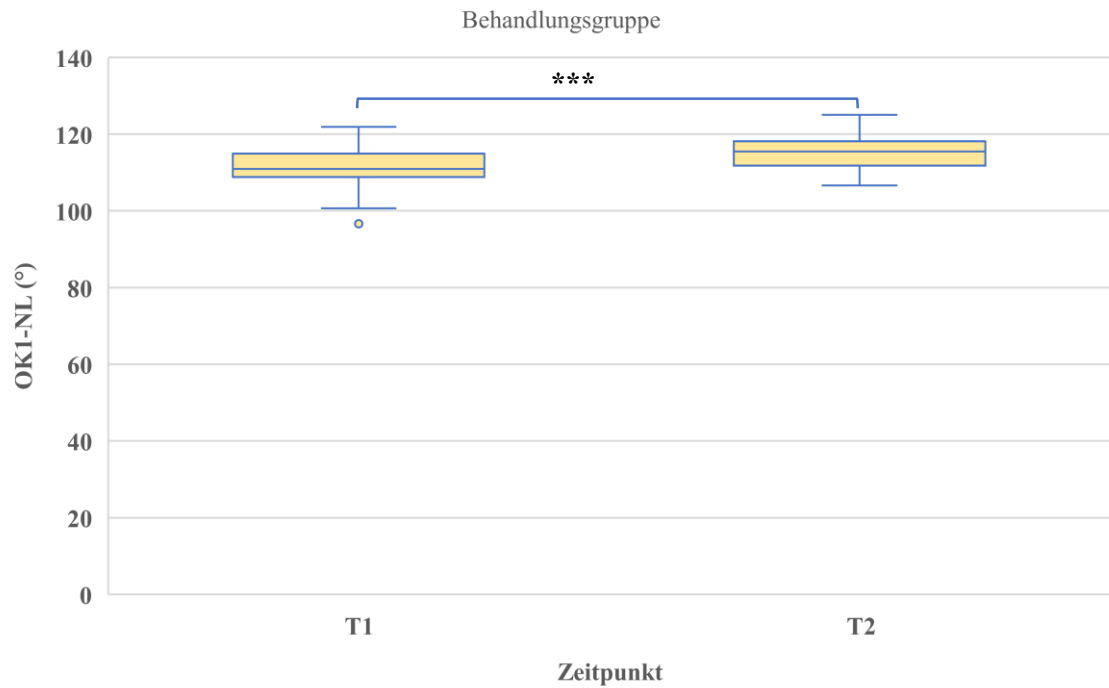


Abbildung 5.4: Graphische Boxplot-Darstellung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OK1-NL (°), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

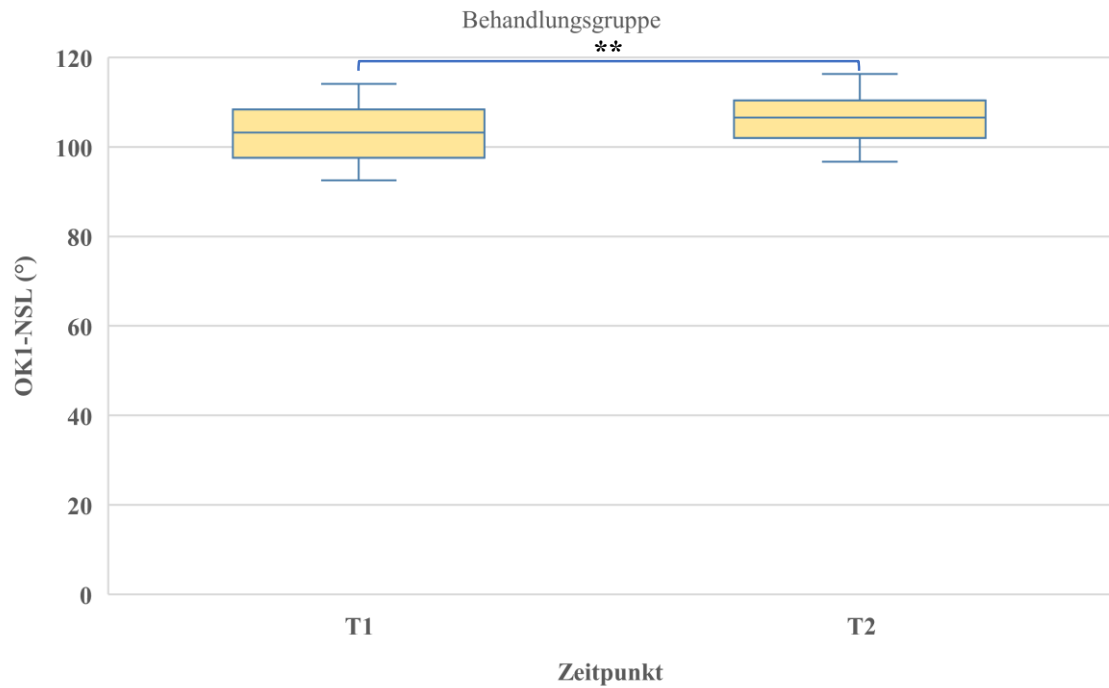


Abbildung 5.5: Graphische Boxplot-Darstellung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OK1-NSL (°), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***) .

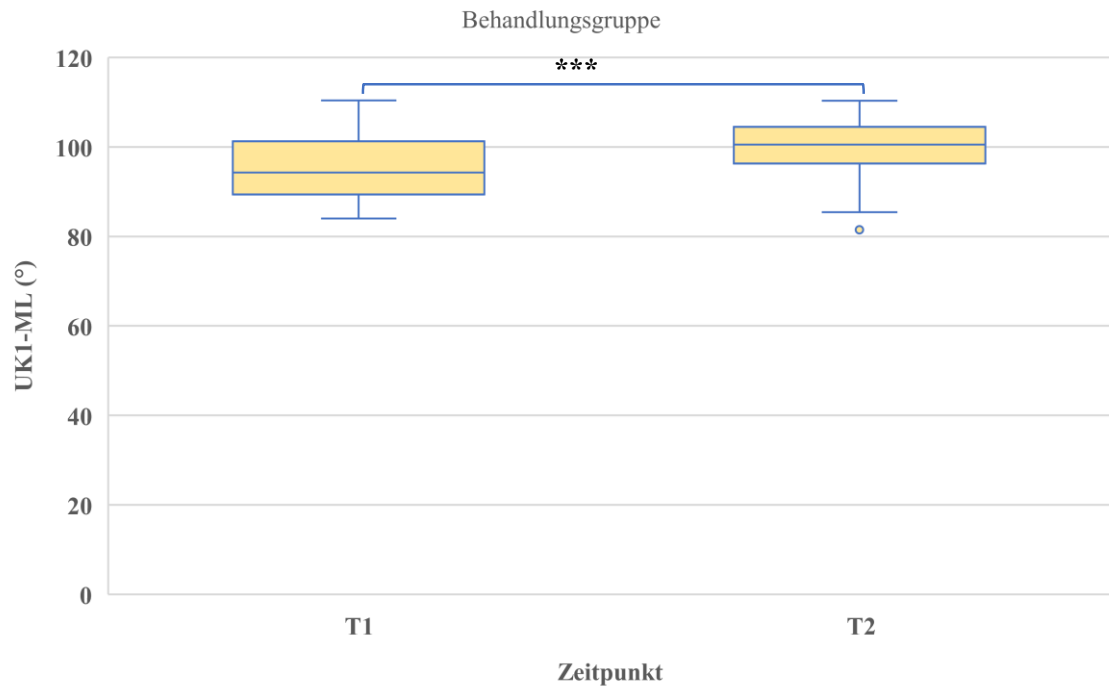


Abbildung 5.6: Graphische Boxplot-Darstellung der Schneidezahninklination des Unterkiefers gemessen anhand des kephalometrischen Wertes UK1-ML (°), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

Im Folgenden wurde mittels T-Test für unabhängige Proben überprüft, ob sich die Veränderungen der FRS-Werte zwischen den Jungen und Mädchen signifikant unterscheiden. Es wurden die Veränderungen über den gesamten Zeitraum T1 bis T2 betrachtet sowie die Veränderungen pro Jahr (**Anhang 5**).

Messung über die gesamte Behandlungsdauer (T1 bis T2):

Die Proklination der Schneidezähne des Oberkiefers war bei den Jungen signifikant stärker. Dies zeigten die kephalometrischen Werte OK1-NL und OK1-NSL, die sich bei den Jungen signifikant stärker veränderten. Der OK1-NL vergrößerte sich bei den Jungen um $6,5^\circ \pm 6,1^\circ$, bei den Mädchen vergrößerte sich dieser Wert um $1,2^\circ \pm 4,7^\circ$ ($p = 0,012$). Der OK1-NSL vergrößerte sich bei den Jungen um $6,6^\circ \pm 6,1^\circ$ und bei den Mädchen um $0,7^\circ \pm 5,3^\circ$ ($p = 0,009$).

Das sagittale Unterkieferwachstum war bei Jungen signifikant ausgeprägter als bei Mädchen. Der SNB vergrößerte sich bei den Jungen um $1,0^\circ \pm 1,3^\circ$, bei den Mädchen um $0,1^\circ \pm 0,9^\circ$ ($p = 0,049$).

Änderung pro Jahr:

Auch bei der Messung über die Dauer eines Jahres waren die Veränderungen bei den Jungen stärker ausgeprägt. Der OK1-NL vergrößerte sich pro Jahr bei den Jungen um $2,6^\circ \pm 2,4^\circ$, bei den Mädchen vergrößerte sich der Wert um $0,5^\circ \pm 1,6^\circ$ ($p = 0,011$) pro Jahr.

Der OK1-NSL vergrößerte sich bei den Jungen jährlich um $2,7^\circ \pm 2,5^\circ$ und bei den Mädchen um $0,3^\circ \pm 2,0^\circ$ ($p = 0,008$) pro Jahr.

Der SNA vergrößerte sich bei den Jungen um $0,4^\circ \pm 0,5^\circ$ und änderte sich bei den Mädchen um $0,0^\circ \pm 0,4^\circ$ ($p = 0,037$) pro Jahr.

Der SNB vergrößerte sich bei den Jungen jährlich um $0,4^\circ \pm 0,5^\circ$ und bei den Mädchen um $0,0^\circ \pm 0,3^\circ$ ($p = 0,020$) pro Jahr.

5.1.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede der FRS-Werte zum Zeitpunkt T2 innerhalb der Behandlungsgruppe

Um auch zum Zeitpunkt T2 mögliche Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen innerhalb der Behandlungsgruppe hinsichtlich der Werte der FRS-Analyse zu erkennen, wurde eine deskriptive Statistik durchgeführt:

In der Behandlungsgruppe zeigten die Mädchen im Vergleich zu den Jungen zum Zeitpunkt T2 einen um $4,3^\circ$ kleineren OK1-NSL-Winkel. Dieser Unterschied war signifikant (Mädchen: $104,3^\circ \pm 4,7^\circ$ vs. Jungen: $108,6^\circ \pm 5,3^\circ$, $p = 0,027$). Hier standen dementsprechend bei den Mädchen die Frontzähne des Oberkiefers retrudierter als bei den Jungen (**Anhang 3, Abbildung 5.7**).

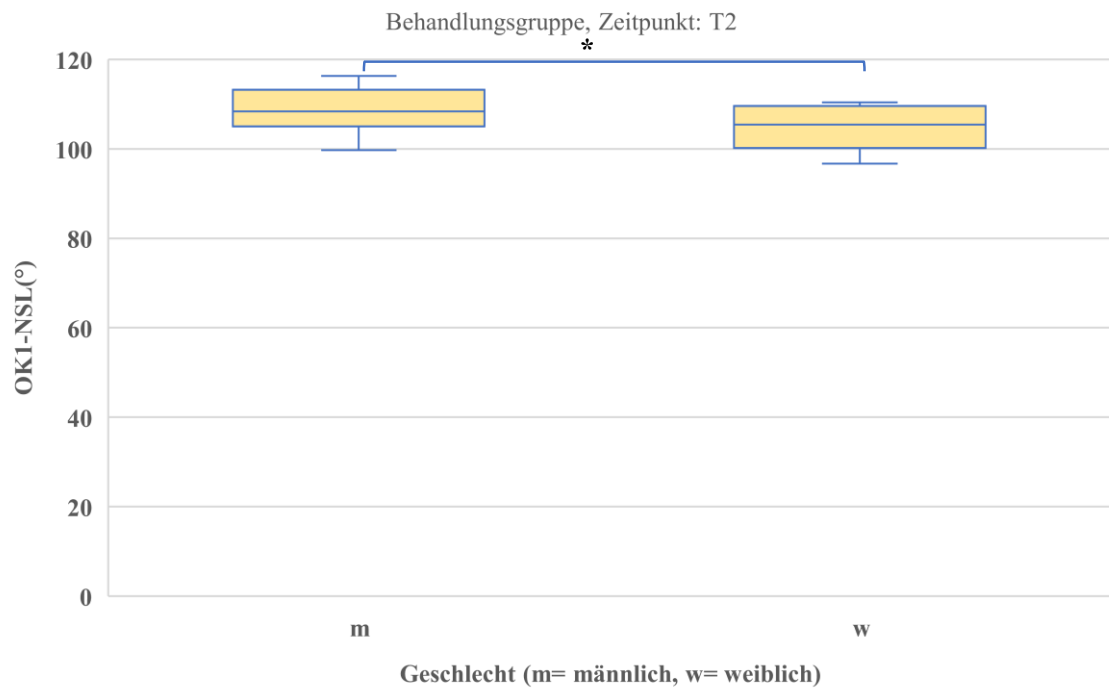


Abbildung 5.7: Graphische Boxplot-Darstellung des geschlechtsspezifischen Unterschiedes der Oberkieferfrontzahninklination gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OKI-NSL (°) innerhalb der Behandlungsgruppe zum Zeitpunkt T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)).

5.1.4 Vergleich der FRS-Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe

Interessant war es zu messen, ob es auch in der Gruppe der kieferorthopädisch unbehandelten Probanden signifikante Veränderungen der FRS-Werte zwischen den Zeiträumen T1 und T2 gab. Die Auswertung der FRS-Analysen zeigte signifikante Veränderungen (Anhang 4).

Vertikale Komponenten:

Der Winkel NL-NSL war zum Zeitpunkt T1 um $0,8^\circ$ größer als zum Zeitpunkt T2 (T1: $8,1^\circ \pm 3,6^\circ$ vs. T2: $7,3^\circ \pm 3,5^\circ$ ($p = 0,027$)). Die Veränderung des Wertes bedeutete, dass die Oberkiefergrundebene im Laufe des Zeitraumes nach kranial schwenkte (Abbildung 5.8).

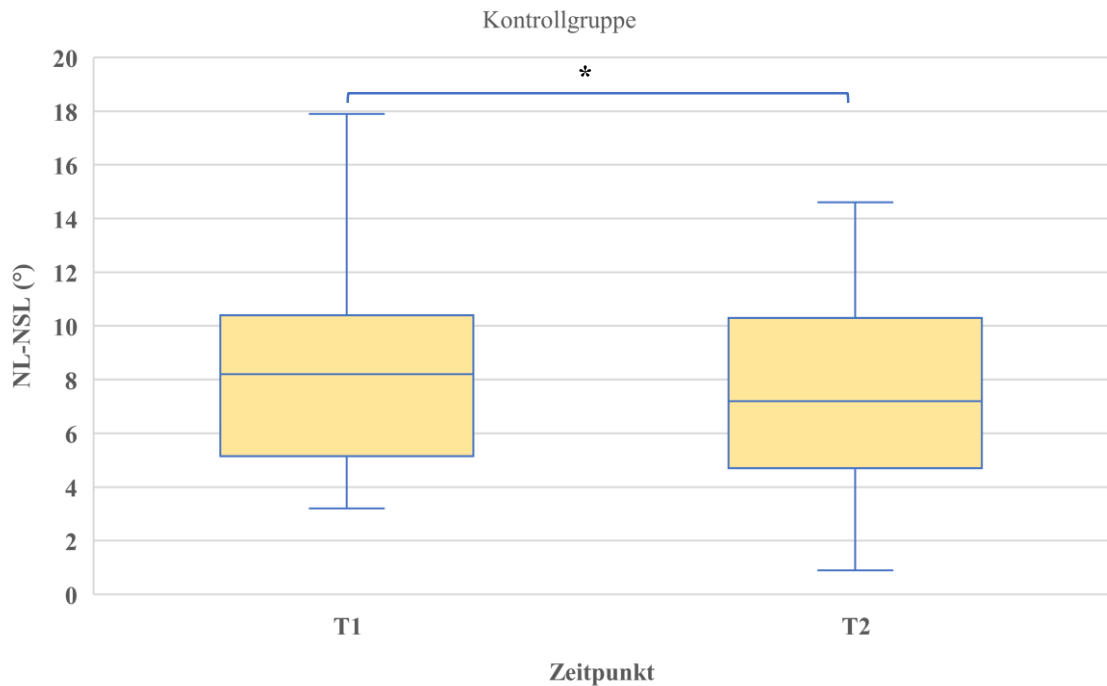


Abbildung 5.8: Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes NL-NSL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

Sagittale Komponenten:

Der SNB-Winkel vergrößerte sich bei den unbehandelten Probanden durchschnittlich um $0,6^\circ$ von $79,1^\circ \pm 3,8^\circ$ zu $79,7^\circ \pm 3,7^\circ$ ($p = 0,009$) (**Abbildung 5.9**). Der ANB-Winkel verkleinerte sich durchschnittlich um $0,4^\circ$ von $2,5^\circ \pm 1,1^\circ$ zu $2,1^\circ \pm 1,3^\circ$ ($p = 0,001$). Beide Veränderungen sprechen für ein mesiales Wachstum des Unterkiefers (**Abbildung 5.10**).

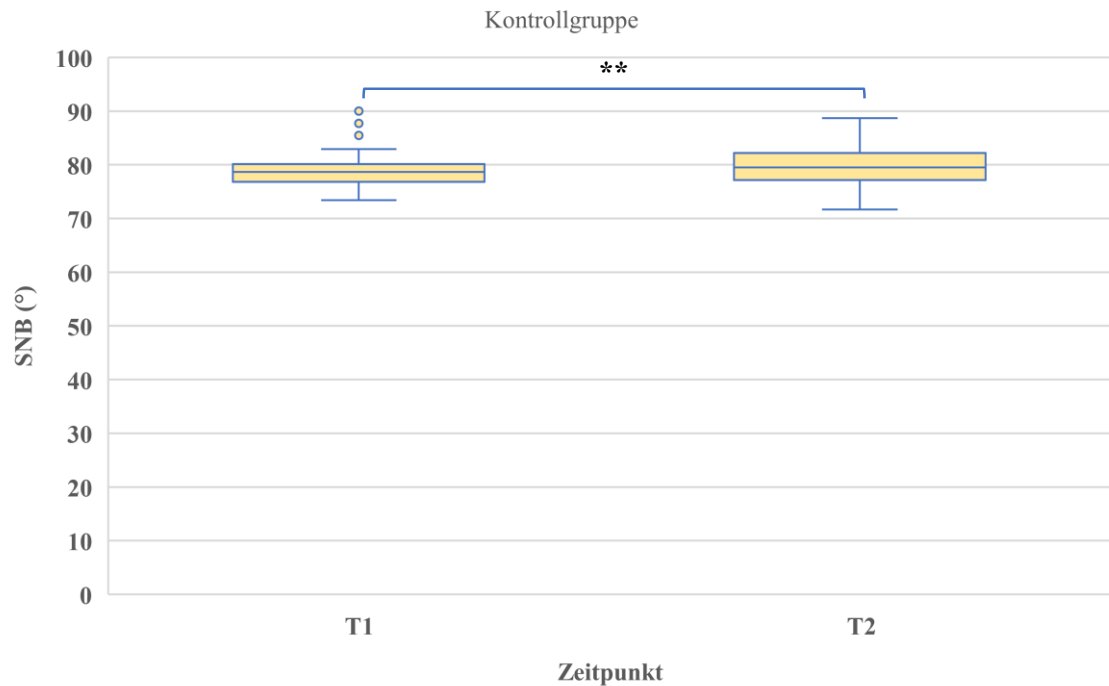


Abbildung 5.9: Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes SNB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

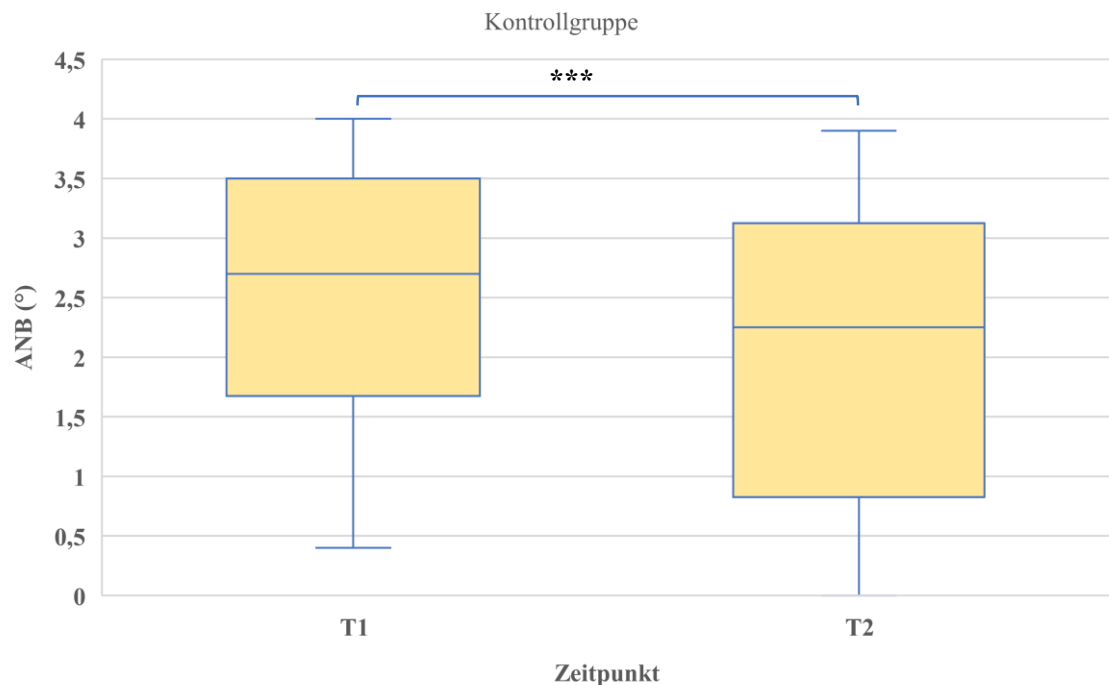


Abbildung 5.10: Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes ANB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

Vergleicht man die Veränderungen innerhalb des Zeitraumes T1 bis T2 sowie die innerhalb eines Jahres zwischen den Mädchen und Jungen, konnte in der Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied gemessen werden (**Anhang 5**).

5.1.5 Geschlechtsspezifische Unterschiede der FRS-Werte zum Zeitpunkt T2 innerhalb der Kontrollgruppe

Um auch zum Zeitpunkt T2 mögliche Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen innerhalb der Kontrollgruppe hinsichtlich der Werte der FRS-Analyse zu erkennen, wurde eine deskriptive Statistik durchgeführt:

In der Kontrollgruppe hatten die Jungen im Vergleich zu den Mädchen zum Zeitpunkt T2 einen um $5,4^\circ$ kleineren OK1-NL-Winkel. Dieser Unterschied war signifikant (Jungen: $110,3^\circ \pm 5,6^\circ$ vs. Mädchen: $115,7^\circ \pm 5,8^\circ$, $p = 0,016$). Dies bedeutete, dass die Frontzähne des Oberkiefers bei den Jungen der Kontrollgruppe retrudierter standen als bei den Mädchen (**Anhang 3, Abbildung 5.11**).

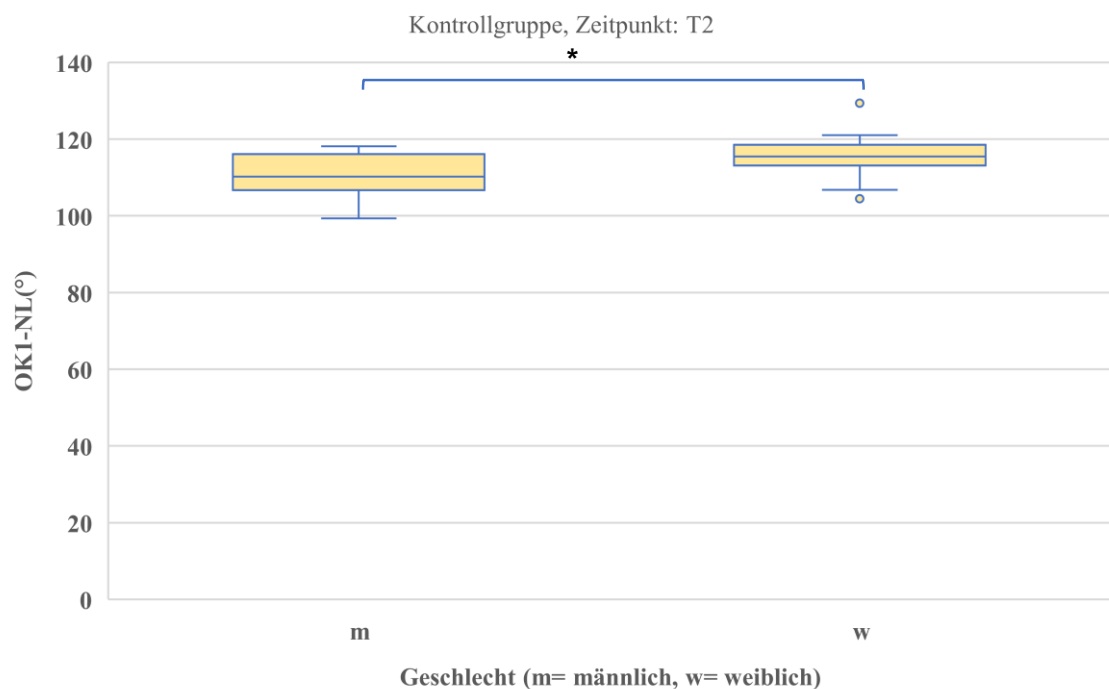


Abbildung 5.11: Graphische Boxplot-Darstellung des geschlechtsspezifischen Unterschiedes der Oberkieferfrontzahninklination gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OK1-NL (°) innerhalb der Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

5.1.6 Vergleich der Veränderungen der FRS-Werte zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe

Die Unterschiede zwischen der Behandlungs- und Kontrollgruppe hinsichtlich der Veränderungen der FRS-Werte wurden überprüft. Auch hier wurden die Veränderungen über den gesamten Zeitraum T1 bis T2 sowie die Veränderungen pro Jahr getrennt voneinander betrachtet (**Anhang 6**).

Vergleich der Veränderungen der Schneidezahninklination über den Zeitraum T1 bis T2:

Der Vergleich der Veränderungen der Schneidezahninklination der Behandlungs- und Kontrollgruppe ergab signifikante Unterschiede sowohl im Ober- als auch Unterkiefer. In der Behandlungsgruppe wurde eine Proklination der Schneidezähne nach der Behandlung festgestellt, während diese in der Kontrollgruppe nicht auftrat.

In der Behandlungsgruppe wurden nach der Behandlung (T2) um $3,8^\circ \pm 6,0^\circ$ größere OK1-NL-Winkel im Vergleich zu T1 gemessen. In der Gruppe der unbehandelten Probanden verkleinerte sich dieser Wert ($-1,4^\circ \pm 3,8^\circ$). Dieser Unterschied war signifikant ($p < 0,001$). Dies bedeutet eine durchschnittliche Zunahme der Inklination der Oberkieferfrontzähne von $+5,2^\circ$ in der Behandlungsgruppe (**Abbildung 5.12**).

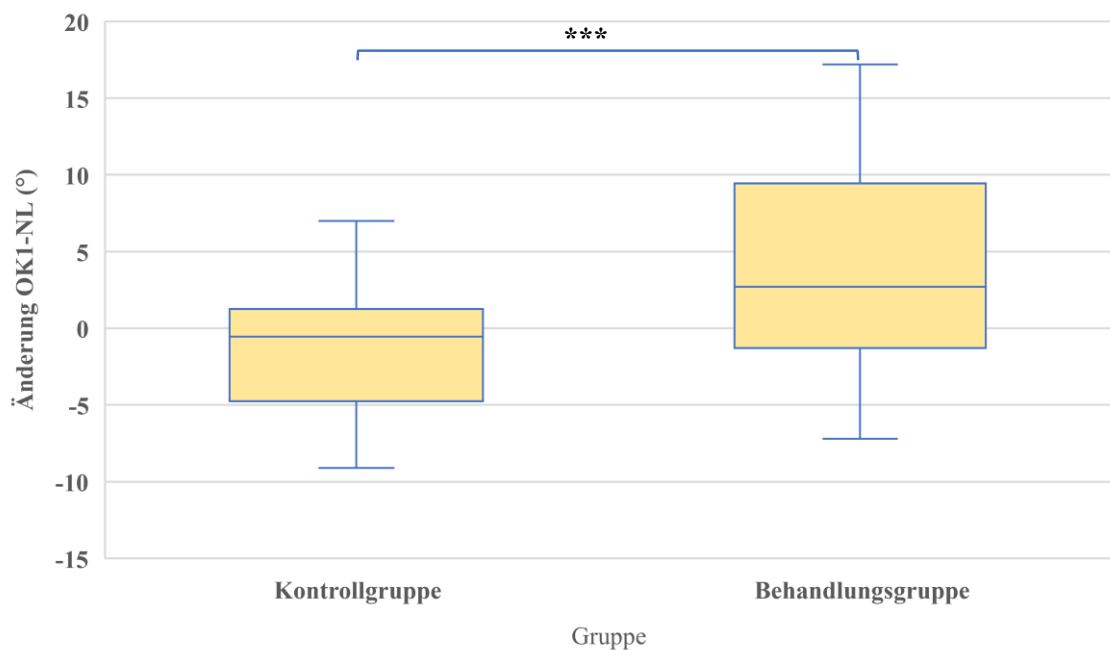


Abbildung 5.12: Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)).

Auch der Schneidezahnwinkel OK1-NSL vergrößerte sich bei den behandelten Patienten um durchschnittlich $3,7^\circ \pm 6,4^\circ$, bei den unbehandelten Personen verkleinerte er sich um durchschnittlich $0,6^\circ$ ($-0,6^\circ \pm 3,4^\circ$) ($p = 0,003$). Dies bedeutet eine durchschnittliche Zunahme der Oberkieferfrontzahninklination von $+4,3^\circ$ in der Behandlungsgruppe (**Abbildung 5.13**).



Abbildung 5.13: Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NSL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)).

Ebenso vergrößerte sich der Schneidezahnwinkel des Unterkiefers (UK1-ML) in der Behandlungsgruppe um $4,4^\circ \pm 4,7^\circ$, während er sich in der Kontrollgruppe um durchschnittlich $0,4^\circ$ verkleinerte ($-0,4^\circ \pm 2,9^\circ$) ($p < 0,001$). Dies bedeutet eine durchschnittliche Zunahme der Unterkieferfrontzahninklination von $+4,8^\circ$ in der Behandlungsgruppe (**Abbildung 5.14**).

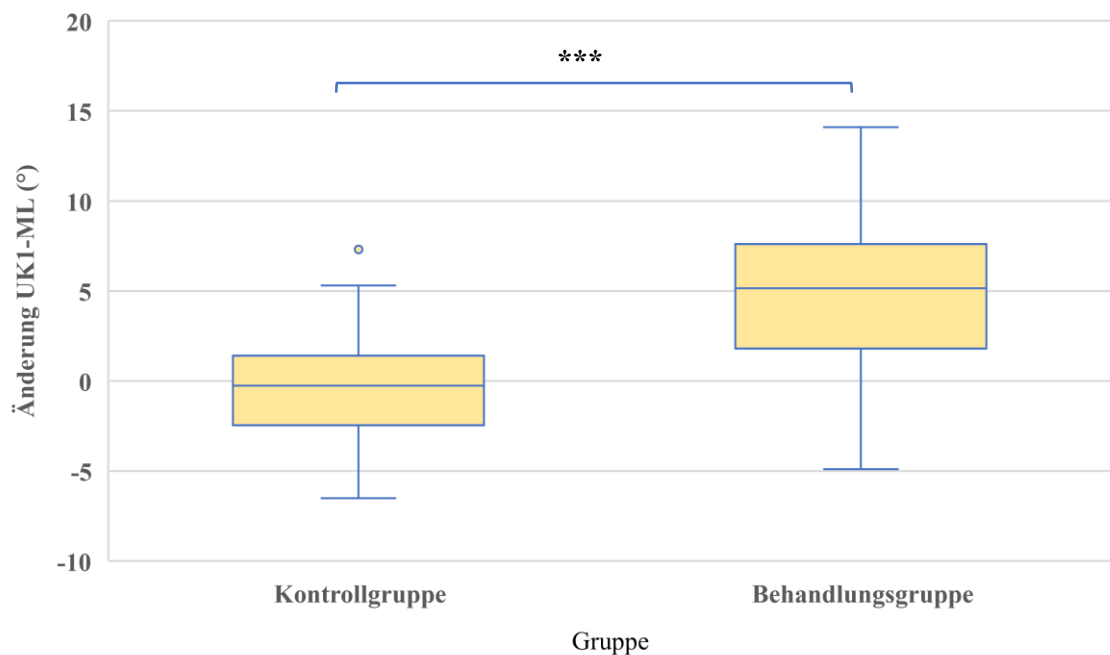


Abbildung 5.14: Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Unterkiefers gemessen am kephalometrischen Wert UK1-ML (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

Vergleich der Veränderungen der Schneidezahninklination über den Zeitraum eines Jahres:

Auch bei der Betrachtung des Zeitraumes von einem Jahr waren die Unterschiede der Inklinationsveränderungen der Schneidezähne zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe signifikant.

Der OK1-NL vergrößerte sich in der Behandlungsgruppe um $+1,6^\circ \pm 2,3^\circ$ pro Jahr und verkleinerte sich in der Kontrollgruppe um $0,4^\circ \pm 1,3^\circ$ ($p < 0,001$) (**Abbildung 5.15**).

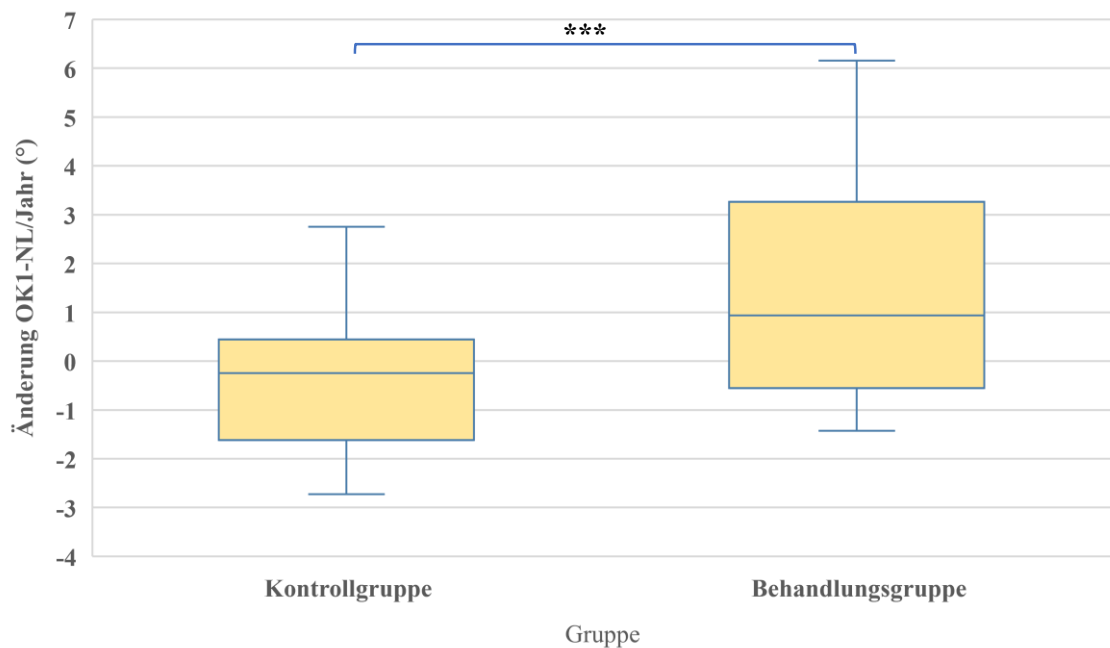


Abbildung 5.15: Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NL (°) im Zeitraum eines Jahres, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

Der OK1-NSL vergrößerte sich in der Behandlungsgruppe um $+1,5^\circ \pm 2,5^\circ$ pro Jahr und verkleinerte sich in der Kontrollgruppe um $-0,1^\circ \pm 1,1^\circ$ jährlich ($p = 0,003$) (**Abbildung 5.16**).

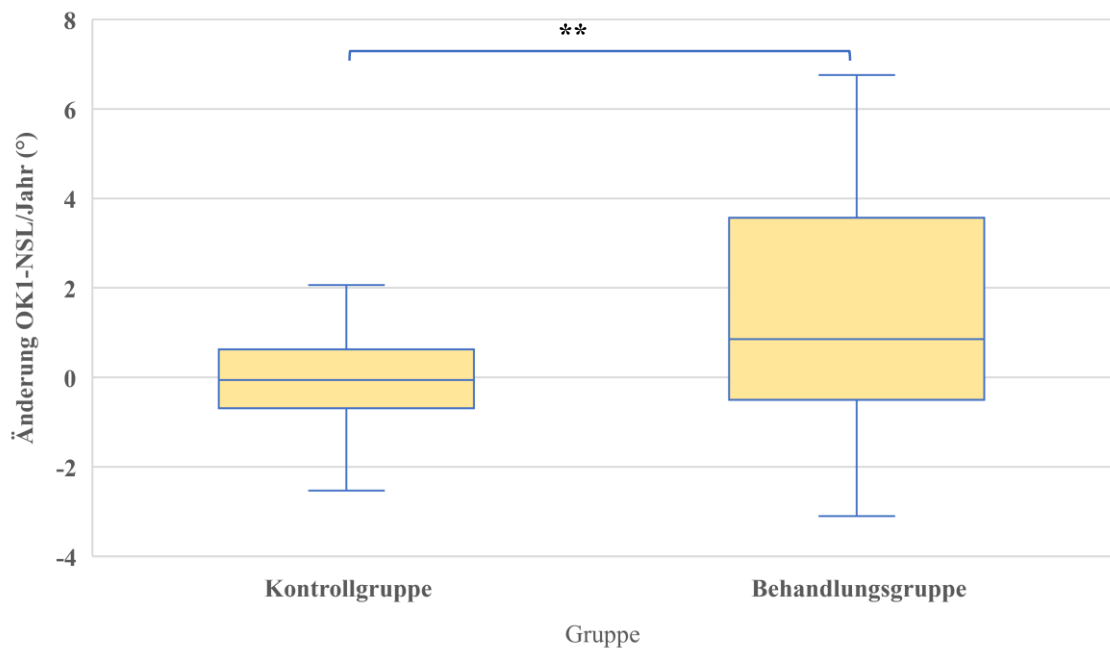


Abbildung 5.16: Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NSL (°) im Zeitraum eines Jahres, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

Der UK1-ML vergrößerte sich in der Behandlungsgruppe um $1,4^\circ \pm 1,9^\circ$ pro Jahr und verkleinerte sich in der Kontrollgruppe um $-0,2^\circ \pm 1,4^\circ$ jährlich ($p < 0,001$) (**Abbildung 5.17**).

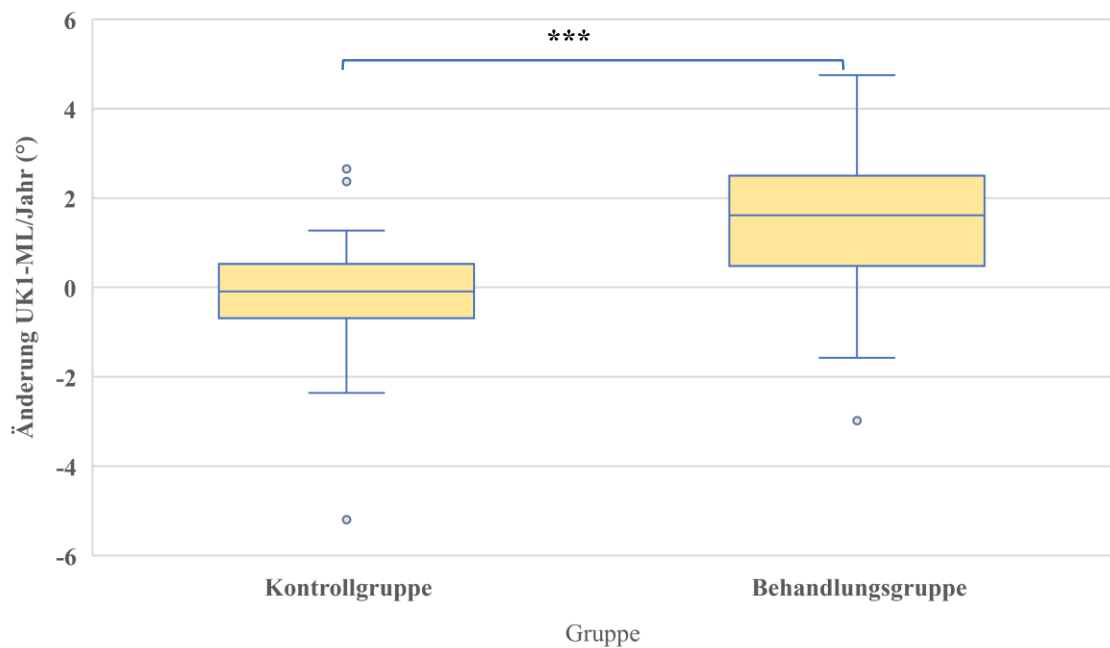


Abbildung 5.17: Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Unterkiefers gemessen am kephalometrischen Wert UK1-ML (°) im Zeitraum eines Jahres, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

Vergleich der sagittalen Veränderungen über den Zeitraum T1 bis T2:

Der ANB blieb in der Behandlungsgruppe konstant $0,0^\circ \pm 0,6^\circ$, in der Kontrollgruppe verkleinerte er sich um durchschnittlich $0,4^\circ$ ($-0,4^\circ \pm 0,6^\circ$) ($p = 0,031$) (**Abbildung 5.18**).

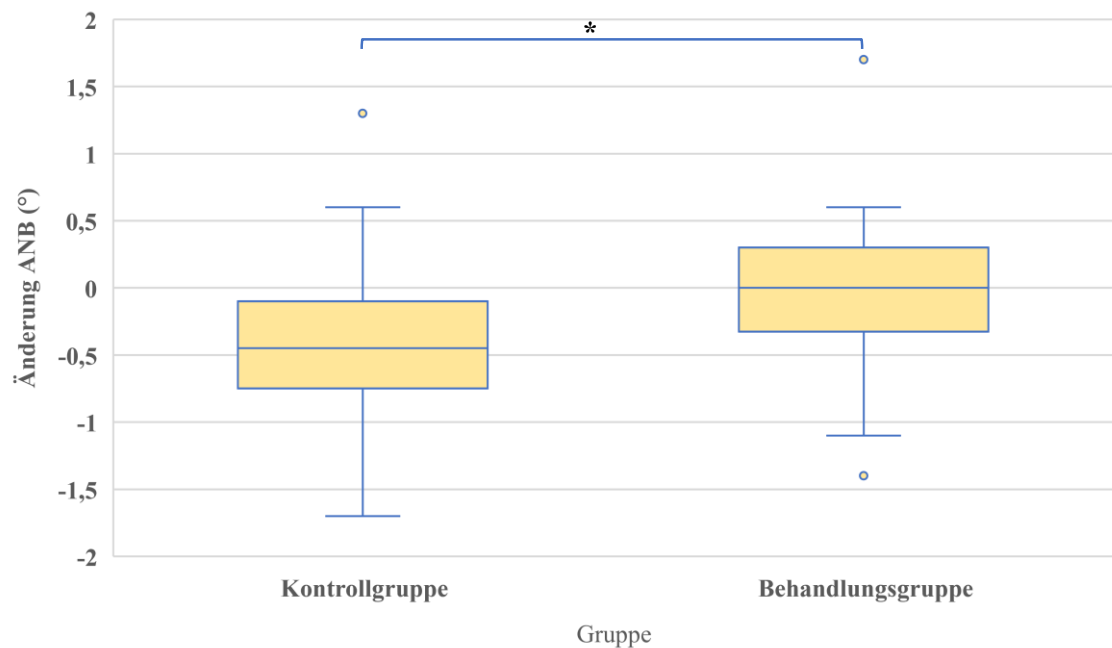


Abbildung 5.18: Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung des kephalometrischen Wertes ANB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

5.2 Auswertung der Orthopantomogramme

Für die Auswertung der Orthopantomogramme wurden lediglich die Veränderungen in der Behandlungsgruppe untersucht.

5.2.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede zum Zeitpunkt T1

Um mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Angulationswerte zum Zeitpunkt T1 zu erkennen, wurde ein Students T-Test durchgeführt (**Anhang 7**).

Bis auf den Zahn 22 konnten zum Zeitpunkt T1 keine statistisch signifikanten Unterschiede der Angulationswerte zwischen Jungen und Mädchen festgestellt werden (**Abbildung 5.19**).

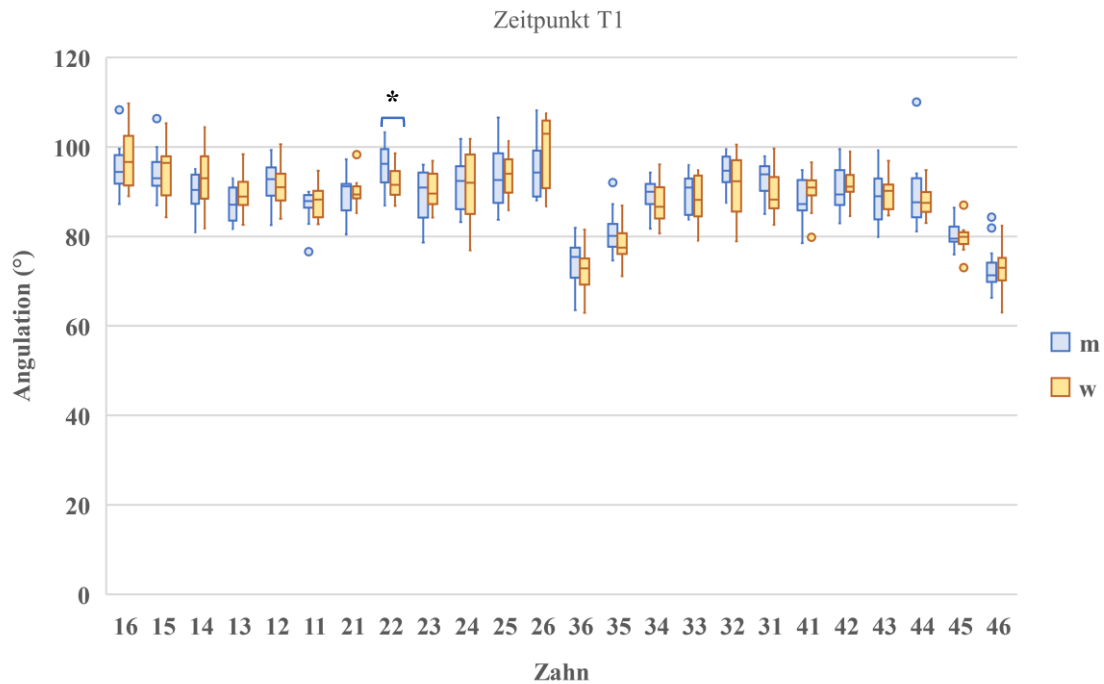


Abbildung 5.19: Graphische Boxplot-Darstellung der geschlechtsspezifischen Unterschiede der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Zeitpunkt T1, Behandlungsgruppe, m= männlich, w= weiblich, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

5.2.2 Vergleich der Angulationswerte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2

Zunächst wurde untersucht, wie sich die Angulation der Zähne zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 unterschied (**Anhang 8**). Bei der Analyse der OPGs wurden die nach mesial gerichteten Winkel zwischen den Zahnlängsachsen und den Referenzebenen gemessen. Eine Verkleinerung des gemessenen Winkels entsprach demzufolge einer Verstärkung der Angulation nach mesial wohingegen eine Vergrößerung des Winkels eine Angulationsänderung nach distal bedeutete. An folgenden Zähnen konnten signifikante Unterschiede zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 festgestellt werden (**Abbildung 5.20**):

Oberkiefer:

Die Angulation des Zahnes 11 veränderte sich um $1,9^\circ$ nach distal ($87,3^\circ \pm 3,4^\circ$ vs. $89,2^\circ \pm 2,7^\circ$; $p=0,002$).

Zahn 23 war nach der Multibracketbehandlung um $2,5^\circ$ stärker nach mesial anguliert ($89,8^\circ \pm 4,6^\circ$ vs. $87,4^\circ \pm 5,0^\circ$; $p = 0,020$).

An beiden ersten Molaren konnte eine Kippung um durchschnittlich $2,75^\circ$ nach mesial gemessen werden (16: $96,2^\circ \pm 5,9^\circ$ vs. $93,5^\circ \pm 6,6^\circ$ ($p = 0,030$); 26: $97,0^\circ \pm 7,0^\circ$ vs. $94,2^\circ \pm 7,7^\circ$ ($p = 0,027$)).

Unterkiefer:

Im Unterkiefer waren beide Eckzähne nach der Behandlung stärker nach mesial anguliert. Der gemessene Winkel des Zahnes 33 verkleinerte sich um $5,5^\circ$ von $89,1^\circ \pm 4,7^\circ$ zu $83,6^\circ \pm 4,4^\circ$ ($p < 0,001$). Im vierten Quadranten verkleinerte sich der gemessene Winkel des Zahnes 43 durchschnittlich um $3,5^\circ$ von $89,0^\circ \pm 4,7^\circ$ zu $85,5^\circ \pm 4,5^\circ$ ($p = 0,002$).

Der an 34 gemessene Winkel verkleinerte sich durchschnittlich um $2,8^\circ$ von $88,4^\circ \pm 3,9^\circ$ zu $85,6^\circ \pm 4,7^\circ$ ($p = 0,004$). Der Zahn veränderte seine Angulation ebenfalls nach mesial.

Die ersten Molaren des Unterkiefers zeigten nach der Behandlung eine um $3,5^\circ$ (36) bzw. $3,7^\circ$ (46) stärkere Angulation nach distal als vor der Behandlung (36: $73,4^\circ \pm 4,9^\circ$ zu $76,9^\circ \pm 4,8^\circ$) ($p = 0,001$); 46: $72,8^\circ \pm 4,8^\circ$ zu $76,5^\circ \pm 6,0^\circ$ ($p = 0,013$)).

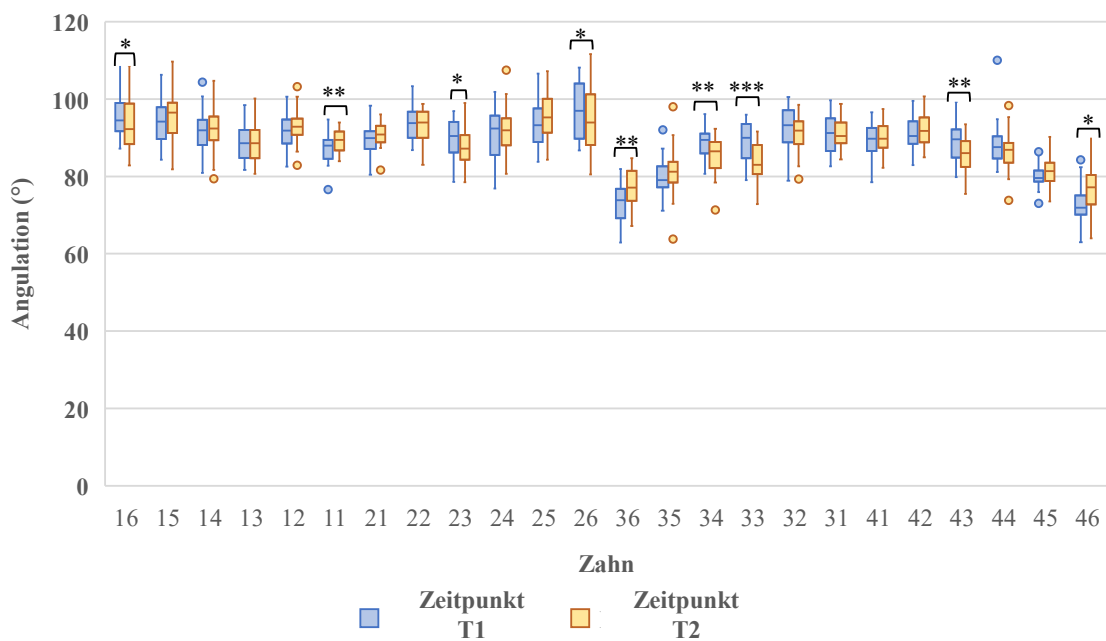


Abbildung 5.20: Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

Mittels T-Test für unabhängige Stichproben wurde getestet, ob es zwischen den Mädchen und Jungen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Veränderungen der Angulationswerte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 gab (**Anhang 9**).

Folgende signifikante Unterschiede konnten gemessen werden (**Abbildung 5.21**):

Bei den Jungen verkleinerte sich der gemessene Winkel an Zahn 22 um durchschnittlich $2,8^\circ \pm 5,7^\circ$, dieser veränderte sich dementsprechend nach mesial. Bei den Mädchen vergrößerte sich der Wert um durchschnittlich $1,1^\circ \pm 3,0^\circ$, was einer Angulationsveränderung nach distal entspricht ($p=0,031$).

Auch an Zahn 24 wurden gegensätzliche Bewegungen gemessen. Bei den Jungen war dieser nach der Behandlung stärker nach mesial anguliert ($-2,4^\circ \pm 4,9^\circ$), bei den Mädchen nach distal ($+3,1^\circ \pm 7,2^\circ$) ($p = 0,021$).

Die Angulation des Zahnes 31 veränderte sich bei den Jungen nach mesial ($-1,8^\circ \pm 3,6^\circ$) und bei den Mädchen nach distal ($+1,9^\circ \pm 6,0^\circ$) ($p = 0,046$).

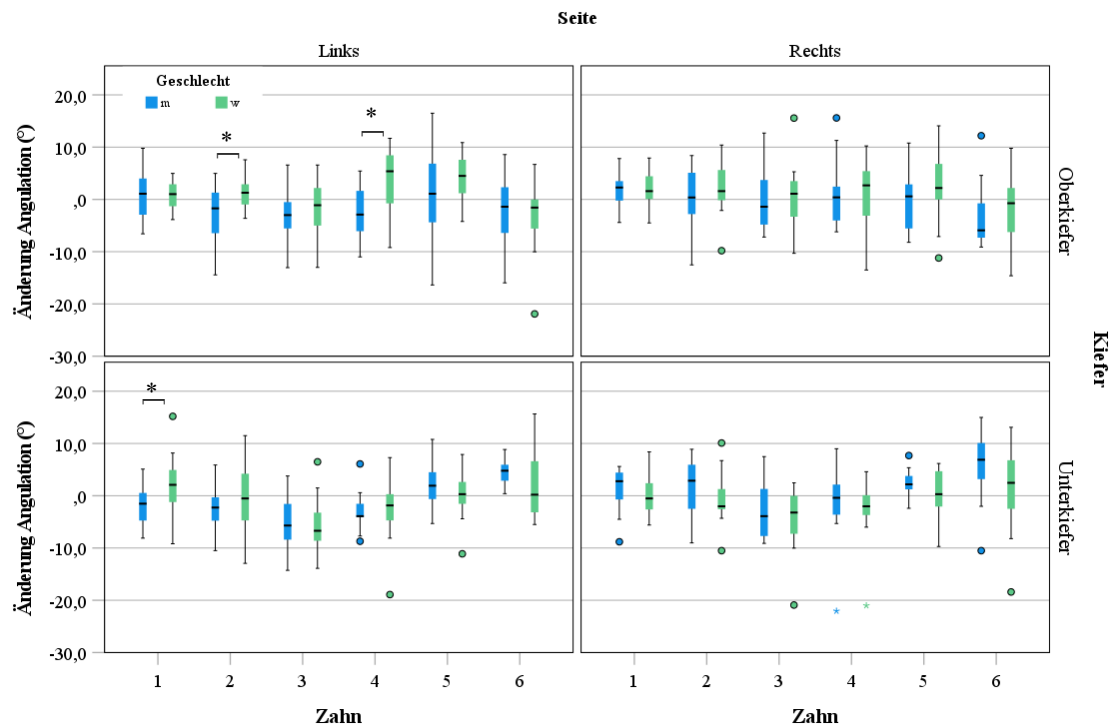


Abbildung 5.21: Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Vergleich der Änderung der Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 zwischen Jungen und Mädchen, Behandlungsgruppe, m= männlich, w= weiblich, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

Außerdem wurde getestet, ob es signifikante Unterschiede gab, wenn man nur den Zeitraum eines Jahres betrachtet. Dies war nicht der Fall. Über den Zeitraum eines Jahres waren die Veränderungen der Angulationswerte zwischen Jungen und Mädchen nicht signifikant unterschiedlich.

5.2.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede zum Zeitpunkt T2

Um auch zum Zeitpunkt T2 mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Angulationswerte zu erkennen, wurde ein Students T-Test durchgeführt (**Anhang 7**).

An den Zähnen 24, 36, 45 und 46 konnten zum Zeitpunkt T2 statistisch signifikante Unterschiede der Angulationswerte zwischen Jungen und Mädchen festgestellt werden (**Abbildung 5.22**).

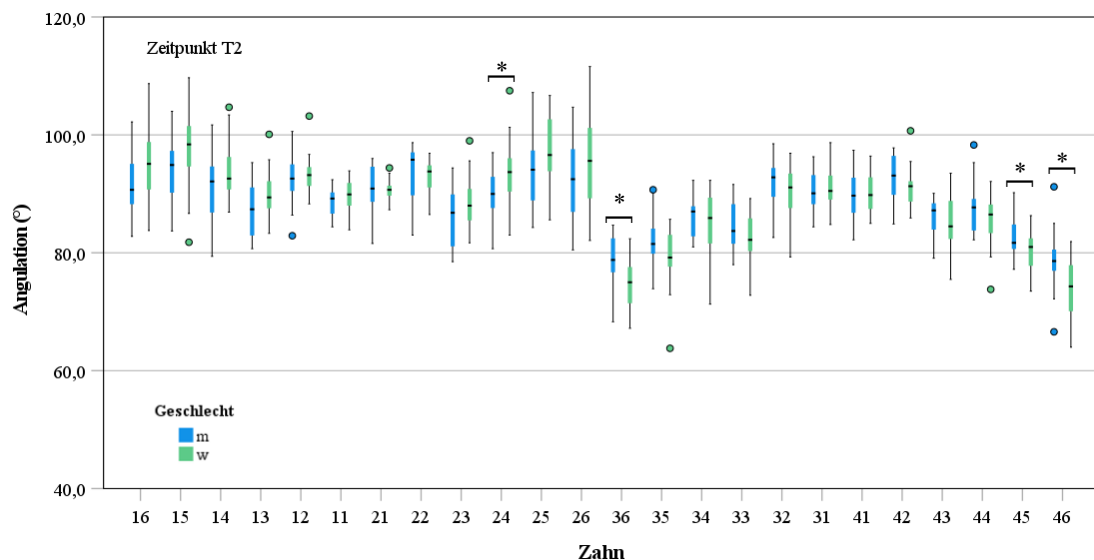


Abbildung 5.22: Graphische Boxplot-Darstellung der geschlechtsspezifischen Unterschiede der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Zeitpunkt T2, Behandlungsgruppe, m= männlich, w= weiblich, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***) .

5.3 Auswertung der digitalen Modellanalyse- Angulationsveränderungen

Die Daten der Auswertung der digitalen Modellanalyse stammen aus der Behandlungsgruppe.

5.3.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede der Angulationswerte zum Zeitpunkt T1

Zur Überprüfung signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschiede der Angulationswerte zum Zeitpunkt T1 wurde ein Students T-Test durchgeführt. Mittels Levene-Test wurde vorab die Varianzgleichheit überprüft. Bis auf wenige Ausnahmen ($p > 0,05$) konnte Varianzgleichheit angenommen werden. Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede traten zum Zeitpunkt T1 lediglich an den Zähnen 16 und 12 auf (**Anhang 10, Abbildung 5.23**).

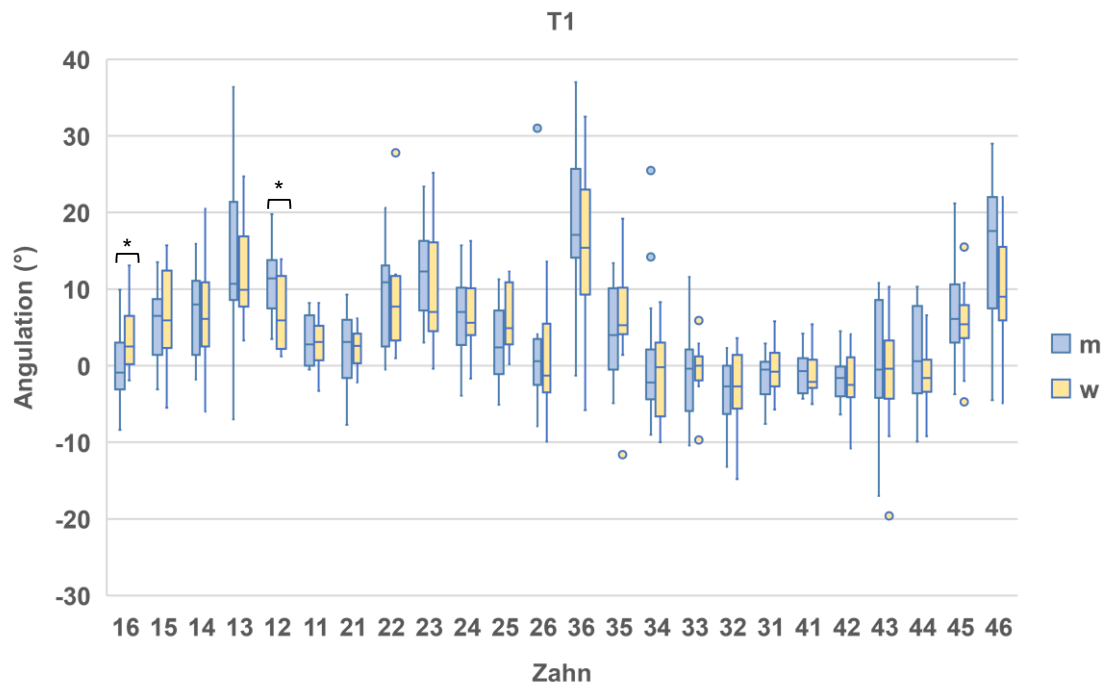


Abbildung 5.23: Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers zum Zeitpunkt T1 gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen Jungen (m) und Mädchen (w), $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)).

5.3.2 Vergleich der Angulationswerte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2

Um zu überprüfen, wie sich die Angulationswerte der Front- und Seitenzähne zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 unterschieden, wurde ein Students T-Test für verbundene Stichproben durchgeführt (**Anhang 12**).

Eine Vergrößerung der gemessenen Winkel entsprach einer Verstärkung der Angulation, also einer Achsenänderung nach mesial. Eine Verkleinerung des Winkels hingegen bedeutete eine Veränderung der Angulation nach distal.

Signifikante Veränderungen der Angulationswerte im Vergleich vor und nach der Multibracketbehandlung wurden an folgenden Zähnen gemessen (**Abbildung 5.24**).

Oberkiefer:

Im Oberkiefer wurden nach der Behandlung an den Zähnen 13, 14 und 24 kleinere Angulationswinkel gemessen. Der Eckzahn 13 zeigte eine Distalkippung um $5,8^\circ$. Die oberen Prämolaren 14 und 24 zeigten eine Distalkippung um $2,7^\circ$ und $3,2^\circ$ ($13: 12,9^\circ \pm 8,9^\circ$

vs. $7,1^\circ \pm 5,5^\circ$ ($p = 0,006$); 14: $6,6^\circ \pm 6,7^\circ$ vs. $3,9^\circ \pm 4,5^\circ$ ($p = 0,030$); 24: $6,6^\circ \pm 4,9^\circ$ vs. $3,4^\circ \pm 4,7^\circ$ ($p = 0,004$)).

Unterkiefer:

Im Unterkiefer verstärkte sich die Angulation der seitlichen Schneidezähne, der Eckzähne und des Prämolaren 34. Die Schneidezähne 32 und 42 waren nach der Behandlung um $3,5^\circ$ bzw. $2,0^\circ$, die Eckzähne 33 und 43 um $5,4^\circ$ bzw. $4,5^\circ$ und der Prämolare 34 um $3,8^\circ$ stärker nach mesial anguliert als vor der Behandlung (32: $-3,1^\circ \pm 4,5^\circ$ vs. $0,4^\circ \pm 3,7^\circ$ ($p < 0,001$); 42: $-1,9^\circ \pm 3,4^\circ$ vs. $0,1^\circ \pm 3,9^\circ$ ($p = 0,023$); 33: $-0,4^\circ \pm 5,2^\circ$ vs. $5,0^\circ \pm 3,9^\circ$ ($p < 0,001$); 43: $-0,3^\circ \pm 7,5^\circ$ vs. $4,2^\circ \pm 5,1^\circ$ ($p < 0,001$); 34: $-0,2^\circ \pm 7,4^\circ$ vs. $3,6^\circ \pm 5,1^\circ$ ($p = 0,003$)).

Die einzig signifikante Veränderung nach distal wurde im Unterkiefer an Zahn 46 gemessen. Dieser zeigte eine Distalkippung um $4,6^\circ$ ($12,5^\circ \pm 8,6^\circ$ vs. $7,9^\circ \pm 9,1^\circ$ ($p = 0,048$)).

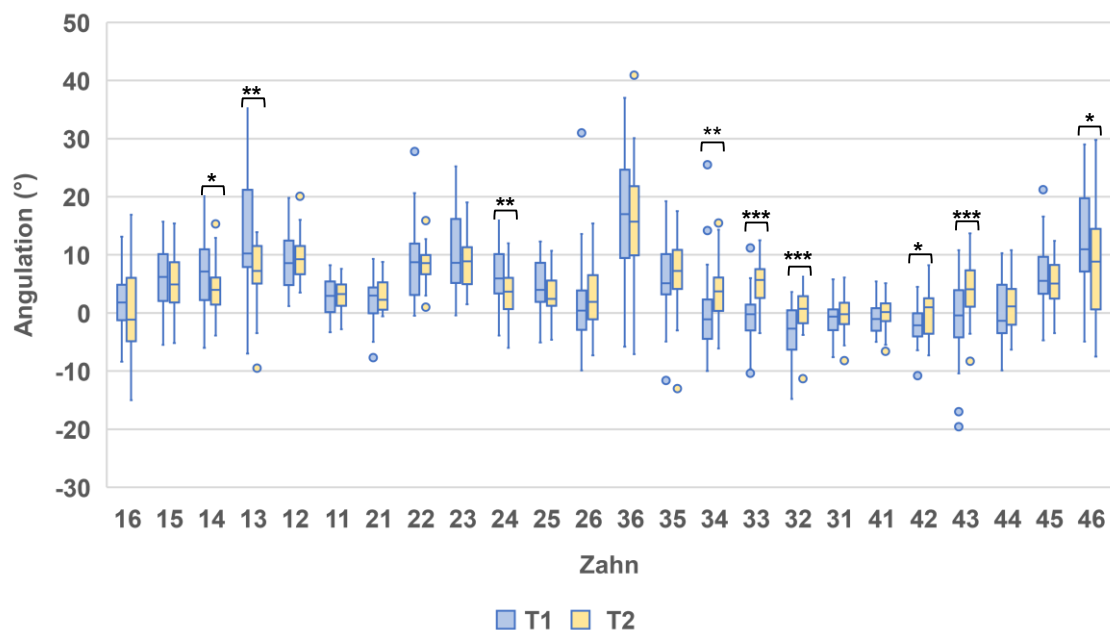


Abbildung 5.24: Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

5.3.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede zum Zeitpunkt T2

Zur Überprüfung signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschiede der Angulationswerte zum Zeitpunkt T2 wurde ein Students T-Test durchgeführt (**Anhang 11**). Es konnten im Ergebnis keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede der Angulationswerte zum Zeitpunkt T2 gemessen werden.

5.4 Auswertung der digitalen Modellanalyse-Inklinationsveränderungen

Die Daten der Auswertung der digitalen Modellanalyse stammen aus der Behandlungsgruppe.

5.4.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede der Inklinationswerte zum Zeitpunkt T1

Zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Inklinationswerte zum Zeitpunkt T1 wurde ein Students-T-Test durchgeführt. Mittels Levene-Test wurde vorab die Varianzgleichheit überprüft. Bis auf wenige Ausnahmen ($p > 0,05$) konnte Varianzgleichheit angenommen werden (**Anhang 14**).

Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede der Inklinationswerte traten zum Zeitpunkt T1 lediglich an den Zähnen 34 und 46 auf (**Abbildung 5.25**).

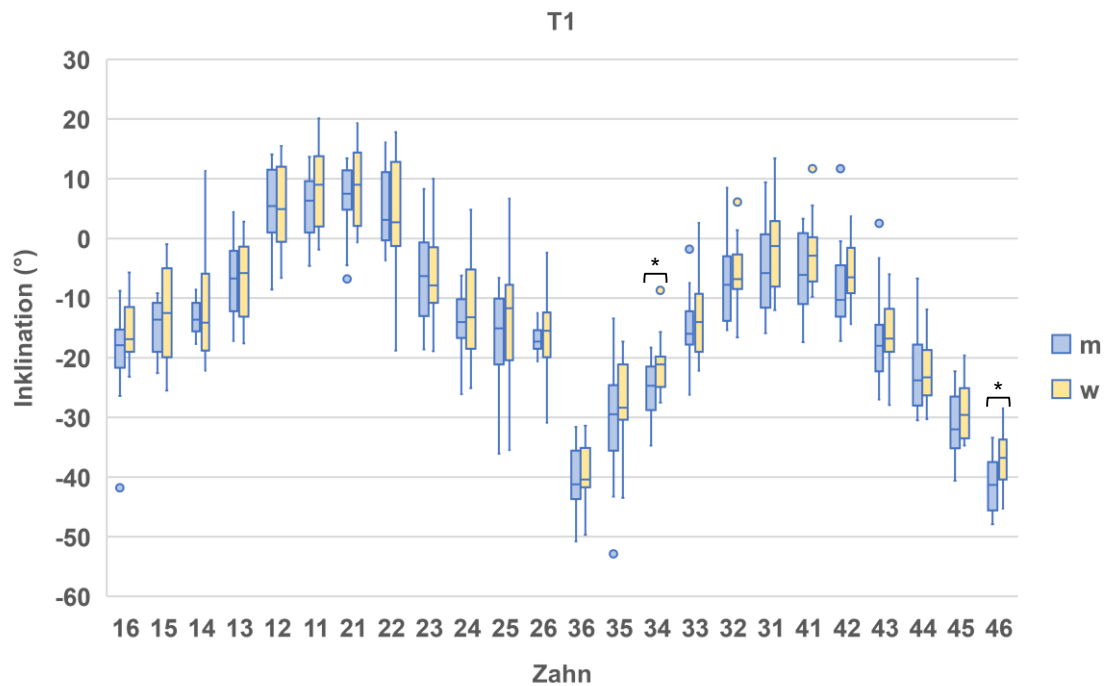


Abbildung 5.25: Graphische Boxplot-Darstellung der Inklinationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers zum Zeitpunkt T1 gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen Jungen (m) und Mädchen (w), $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***) .

5.4.2 Vergleich der Inklinationswerte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2

Um zu überprüfen, wie sich die Inklinationswerte der Schneide- und Seitenzähne zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 unterschieden, wurde ein Students T-Test für verbundene Stichproben durchgeführt (**Anhang 16**).

Eine Vergrößerung der Inklinationswerte entsprach einer Verstärkung der Neigung der Zähne nach bukkal bzw. labial (Proklination), eine Verkleinerung der Inklinationswerte entsprach einer Veränderung der Achsenneigung nach palatinal bzw. lingual (Reklination).

Signifikante Unterschiede der Inklinationswerte wurden an folgenden Zähnen gemessen (**Abbildung 5.26**):

Oberkiefer:

Im Oberkiefer wurde eine Vergrößerung der Inklination der Prämolaren 24 und 25 um $2,1^\circ$ und $4,0^\circ$ gemessen (24: $-13,1^\circ \pm 7,0^\circ$ vs. $-11,0^\circ \pm 6,1^\circ$ ($p = 0,042$); 25: $-14,9^\circ \pm 9,2^\circ$ vs. $-10,9^\circ \pm 6,4^\circ$ ($p = 0,005$)). Die Angulation verstärkte sich nach bukkal.

Unterkiefer:

Im Unterkiefer proklinierten die Schneidezähne 31 um $6,2^\circ$, 32 um $5,0^\circ$, 41 um $6,5^\circ$ und 42 um $8,0^\circ$ während des Zeitraumes der Behandlung. Die Inklinationen werten sich vor und nach der Behandlung wie folgt: 31: $-3,5^\circ \pm 6,9^\circ$ vs. $+2,7^\circ \pm 6,0^\circ$ ($p < 0,001$); 32: $-6,2^\circ \pm 6,5^\circ$ vs. $-1,2^\circ \pm 5,2^\circ$ ($p < 0,001$); 41: $-4,0^\circ \pm 6,1^\circ$ vs. $+2,5^\circ \pm 5,5^\circ$ ($p < 0,001$); 42: $-6,7^\circ \pm 6,3^\circ$ vs. $-1,3^\circ \pm 5,9^\circ$ ($p < 0,001$).

Auch die Zähne 43 und 45 zeigten nach der Behandlung signifikant größere Inklinationen; 43 um $2,2^\circ$ und 45 um $2,8^\circ$ (43: $-16,2^\circ \pm 6,9^\circ$ vs. $-14,0^\circ \pm 4,9^\circ$ ($p = 0,027$); 45: $-30,1^\circ \pm 5,3^\circ$ vs. $-27,3^\circ \pm 5,5^\circ$ ($p = 0,018$)).

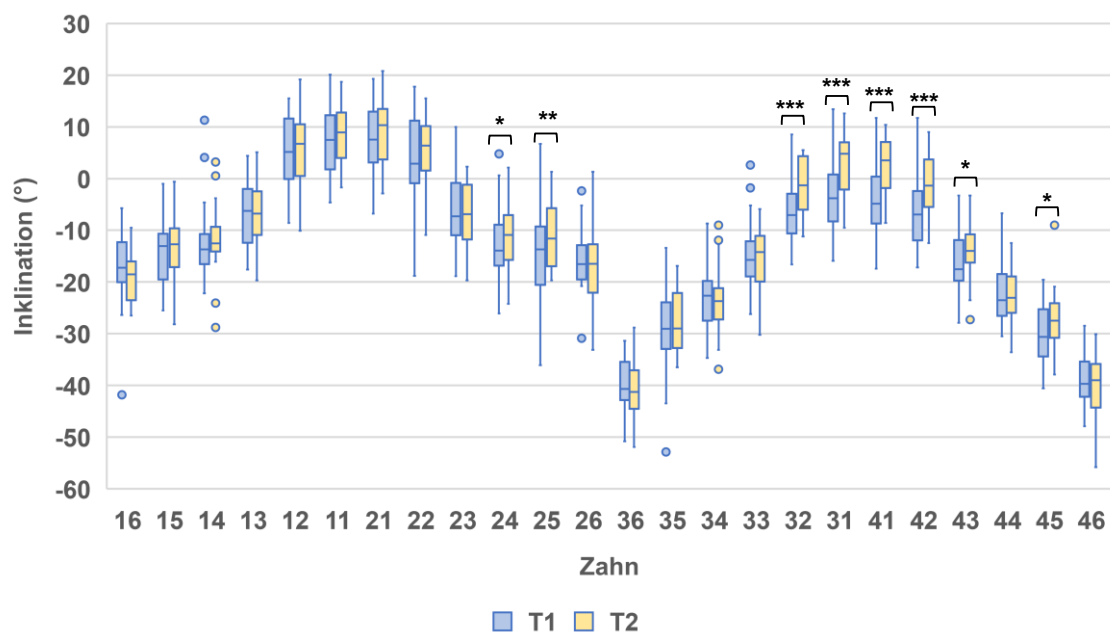


Abbildung 5.26: Graphische Boxplot-Darstellung der Inklinationen der Zähne des Ober- und Unterkiefers gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).

5.4.3 Geschlechtsspezifische Unterschiede der Inklinationwerte zum Zeitpunkt T2

Um auch zum Zeitpunkt T2 geschlechtsspezifische Unterschiede der Inklinationwerte zu erkennen, wurde ein Students-T-Test durchgeführt. Mittels Levene-Test wurde vorab die Varianzgleichheit überprüft. Bis auf wenige Ausnahmen ($p > 0,05$) konnte Varianzgleichheit angenommen werden (**Anhang 15**).

Ein signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied der Inklinationwerte konnte an Zahn 45 gemessen werden. Die Inklination des Zahnes 45 lag bei den Jungen durchschnittlich bei $-29,5^\circ \pm 5,0^\circ$, während sie bei den Mädchen bei durchschnittlich $-25,1^\circ \pm 5,3^\circ$ lag ($p = 0,028$) (**Abbildung 5.27**).

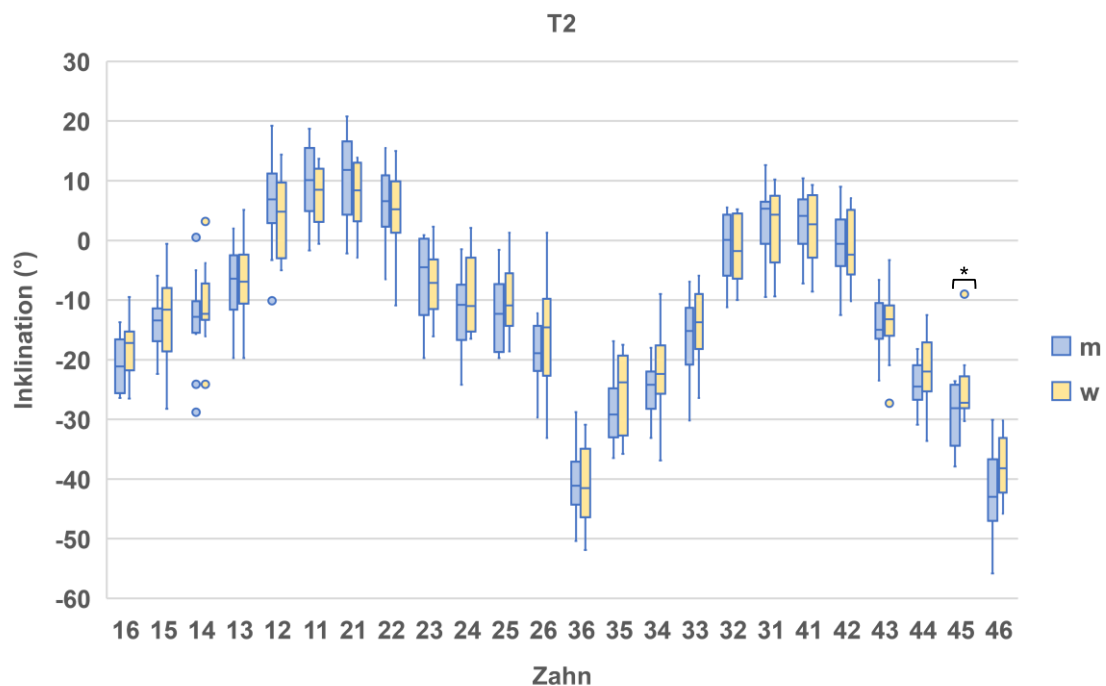


Abbildung 5.27: Graphische Boxplot-Darstellung der Inklinationwerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers zum Zeitpunkt T2 gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen Jungen (m) und Mädchen (w), $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)

6 Diskussion

Im Folgenden werden die Auswahl der Probandengruppen dieser Arbeit sowie die angewandten Messmethoden kritisch beleuchtet. Außerdem werden die Ergebnisse diskutiert und mit denen anderer Autoren verglichen.

6.1 Patienten und Kontrollgruppe

Um Homogenität innerhalb der Gruppen zu gewährleisten, wurden alle Patienten der Behandlungsgruppe von demselben Behandler therapiert. So konnte ein potenzieller Einfluss durch unterschiedliche Therapiewege ausgeschlossen werden. Die Bogenreihenfolge war standardisiert. Der letzte Bogen, der eingesetzt wurde, war ein 0,016“ × 0,022“-Edelstahlbogen. Die Patienten hatten allesamt selbstligierende Brackets mit einem 0,022“-Slot mit der Vorprogrammierung des MBT-Systems.

Die Anzahl der Mädchen und Jungen der Behandlungsgruppe war identisch (15 männlich, 15 weiblich). Die Zuordnung der Probanden der Kontrollgruppe erfolgte für jeden Patienten nach Geschlecht und Alter (+/- sechs Monate). Dementsprechend waren die Gruppen sehr gut miteinander vergleichbar.

Die Behandlungsdauer betrug durchschnittlich 2,9 Jahre (SD: 1,0 Jahre). Der zeitliche Abstand der Röntgenbilder der Kontrollgruppe betrug ebenfalls 2,9 Jahre (SD: 1,1 Jahre).

Der Vergleich der FRS-Variablen zwischen der Behandlungs- und Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T1 zeigte eine tendenziell geringere Inklination der oberen Schneidezähne der Probanden der Behandlungsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe. Der Unterschied bei den Mädchen war signifikant. Hier wurde bei den Mädchen der Kontrollgruppe im Vergleich zu den Mädchen der Behandlungsgruppe ein signifikant größerer OK1-NL gemessen ($116,1^\circ \pm 5,3^\circ$ vs. $112,4^\circ \pm 5,3^\circ$). Auch der OK1-NSL war bei den Mädchen der Kontrollgruppe im Vergleich zu den Mädchen der Behandlungsgruppe signifikant größer ($108,0^\circ \pm 7,0^\circ$ vs. $103,6^\circ \pm 7,2^\circ$). Es besteht die Möglichkeit, dass die Patienten der Behandlungsgruppe vor der Multibracketbehandlung mit einer funktionskieferorthopädischen Apparatur vorbehandelt wurden. Eine Nebenwirkung funktionskieferorthopädischer Geräte zur Korrektur einer skelettalen Klasse II oder Angle Klasse 2 ist die Retroinklination der Schneidezähne des Oberkiefers (Martina et al.

2013; Wichelhaus und Sander 1995). Dies könnte eine Erklärung für die geringeren Inklinationswerte in der Behandlungsgruppe zum Zeitpunkt T1 sein.

6.2 Diskussion der Methodik

6.2.1 Auswertung der Fernröntgenseitenbilder

Eine in dieser Arbeit angewandte Methodik zur Analyse der Veränderungen der Schneidezahninklination des Ober- und Unterkiefers war die Auswertung digital angefertigter FRS. Die Validität und Reproduzierbarkeit von kephalometrischen Analysen wurde in verschiedenen Studien belegt. Das Setzen der anatomischen Punkte durch unterschiedliche Untersucher stellt eine Fehlerquelle in der kephalometrischen Analyse dar (Houston et al. 1986; Kamoen et al. 2001). Kamoen et al. (2001) fanden heraus, dass die Unterschiede beim Setzen der anatomischen Punkte zwischen zwei Behandlern größer sind, als wenn ein Behandler zweimal das gleiche Bild auswertet. In der vorliegenden Arbeit wurden deshalb alle FRS von einem einzigen Untersucher ausgewertet. Zudem erfolgte eine Evaluation der Intraratergenauigkeit. Der relative technische Messfehler lag bei allen Werten außer des ANB-Winkels bei unter 5%. Ein relativer technischer Messfehler unter 15% wurde akzeptiert. Die höhere Abweichung bei der zweimaligen Messung des ANB-Winkels lag daran, dass dessen numerischer Wert sehr klein (einstellig, hier 0° - 4°) ist und deshalb Unterschiede stark ins Gewicht fallen. Klinische Relevanz hatte die Abweichung jedoch nicht. In dieser Arbeit wurden digital erstellte FRS direkt in die Diagnostiksoftware „FR win professional“ (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland) geladen und dann digital ausgewertet. Die Reproduzierbarkeit digital analysierter FRS ist belegt worden (Albarakati et al. 2012; Goracci und Ferrari 2014; Navarro et al. 2013; Polat-Ozsoy et al. 2009). Albarakati et al. (2012) bewiesen die Reliabilität von digital ausgewerteten FRS. Ebenso zeigte sich in einer anderen Studie (Yu et al. 2008) eine sehr gute Reliabilität bei der digitalen Auswertung. Laut Sandler (1988) hat die Methode der digitalen Auswertung digital aufgenommener FRS die höchste Reproduzierbarkeit im Vergleich zu manuell durchgezeichneten FRS oder digitalisierten analog aufgenommenen FRS. Sommer et al. (2009) beschrieben, dass die digitale Auswertung von FRS genauso präzise Ergebnisse liefert wie die manuelle Durchzeichnung und eine hohe Reliabilität aufweist.

Cooke und Wei (1991) stellten fest, dass gerade die Frontzahnachsen am schwierigsten zu bestimmen sind und die geringste Reproduzierbarkeit haben. Generell seien Werte in

der mittleren Sagittalebene am ungenauesten. Die Intraratergenauigkeit bei den Werten OK1-NSL (°) und UK1-ML (°) war in der vorliegenden Arbeit jedoch sehr gut. Der relative technische Messfehler bei wiederholter Messung der Werte OK1-NSL (°) und OK1-NL (°) lag bei jeweils 0,50%. Für den kephalometrischen Wert UK1-ML (°) lag der relative technische Messfehler bei 0,43%.

6.2.2 Auswertung der Orthopantomogramme

In dieser Arbeit wurden die Zahnangulationen auf den OPGs mit einer Methode analysiert, die Ursi et al. (1990) in einer Arbeit beschrieben. Als Referenzlinien dienten im Oberkiefer die Verbindung der kaudalsten Punkte der Orbitae, im Unterkiefer eine Verbindungslinie der zentralsten Punkte des rechten und linken *Foramen mentale*. Die Zahn-längsachsen wurden durch den Verlauf der Pulpa definiert.

Ursi et al. (1990) verglichen die Angulationswerte auf OPGs derselben Personen, die mit unterschiedlichen Geräten aufgenommen wurden. Bis auf die Werte an drei Zähnen waren die Unterschiede zwischen den beiden Messungen alle unter der Grenze der klinischen Relevanz von 5°. Die Messmethode wurde daher von den Autoren als sehr genau und gut reproduzierbar beschrieben. Andere Autoren (Jesuino et al. 2010) kritisierten dieses Verfahren, weil das *Foramen mentale* im Wechselgebiss bei Kindern und Jugendlichen in weniger als 20% der Fälle gut erkennbar sei. Ein Grund dafür sei laut der Autoren (Jesuino et al. 2010) die Überlagerung mit Zahnkeimen. In der vorliegenden Studie wurden jedoch die Zahnachsen von Patienten ausgewertet, deren bleibende Zähne bis auf die zweiten Molaren vollständig durchgebrochen waren. Die Intraraterreliabilität war bei allen Messwerten sehr gut, der relative technische Messfehler lag unter 5%.

Ein Nachteil an der Vermessung von OPGs ist die Verzerrung der Zahnwurzeln/ Zahnachsen und dadurch die Gefahr einer falschen Interpretation der Bilder (McKee et al. 2002; Owens und Johal 2008; Samawi und Burke 1984). In unterschiedlichen Studien wurden die tatsächlichen Wurzelangulationen eines Typodonten mit den gemessenen Angulationen auf den OPGs verglichen. Die größten Abweichungen konnten die Autoren im Oberkiefer im Eckzahn- und Prämolarenbereich feststellen. Die Wurzeln schienen divergent. Generell schienen die anterioren Wurzeln mehr nach mesial und die posterioren mehr nach distal anguliert zu sein. Im Unterkiefer war jeweils die Region der seitlichen Schneidezähne und der Eckzähne betroffen. Die Zahnwurzeln erschienen mehr konvergent als sie tatsächlich waren (McKee et al. 2002; Owens und Johal 2008). Samawi und

Burke (1984) konnten Ähnliches feststellen. Laut diesen Autoren kommt es im Ober- und Unterkiefer im Eckzahn- und Prämolarenbereich zu den größten Verzerrungen der Zahnachsen.

Generell verändern sich die scheinbaren Zahnachsen im OPG durch die Kopfposition des Patienten (McKee et al. 2001). So konnten in einer weiteren Studie (McKee et al. 2001) signifikante Unterschiede gemessen werden, je nachdem wie der Patient positioniert war. Die Abweichungen kamen schon bei einer Veränderung der Kopfneigung von 5° zu tragen (McKee et al. 2001).

Trotz der Kritik der genannten Studien (McKee et al. 2001; McKee et al. 2002; Owens und Johal 2008; Samawi und Burke 1984) an der Vermessung von OPGs ist hervorzuheben, dass OPGs einen wichtigen Bestandteil der Diagnostik in der kieferorthopädischen Behandlung darstellen. Sie sind neben der Beurteilung von Zahnanlagen oder des Zahndurchbruchs unerlässlich zur Einschätzung der Wurzelstellung. Laut dem American Board of Orthodontics dienen OPGs der Überprüfung der Inklination und Parallelität der Zahnwurzeln nach der Behandlung (Casko et al. 1998). Außerdem konnten in dieser Arbeit durch die verschiedenen Auswertungsmethodiken aussagekräftige Ergebnisse geschaffen werden.

6.2.3 Auswertung der digitalen Modelle

Die in dieser Studie vermessenen Modelle wurden zur Diagnostik und zur Überprüfung des Behandlungsverlaufes mittels Alginatabformung hergestellt. Für diese retrospektive Studie wurden Gipsmodelle ausgewählt, die zu den entsprechenden Zeitpunkten der Röntgenaufnahmen angefertigt wurden (vor und nach der Multibracketbehandlung). Die Gipsmodelle wurden mit dem Modellscanner „S 300 Ortho“ (Zirkonzahn Worldwide, Gais, Italien) digitalisiert.

Gül Amuk et al. (2019) verglichen die Genauigkeit und Reliabilität von Messungen der Zahnbreiten, Zahnbogenbreiten und Bolton-Diskrepanzen an digitalen Modellen eingescannter Gipsmodelle, eingescannter Abformungen und an Gipsmodellen selbst. Bei allen drei Varianten zeigten die Messergebnisse eine hohe Reliabilität. Die Messergebnisse unterschieden sich zudem zwischen den Methoden nicht signifikant. Vogel et al. (2015) bestätigten die Genauigkeit extraoral eingescannter Gipsmodelle im Vergleich zu Gipsmodellen per se.

In der vorliegenden Arbeit wurden die 3D-Daten (STL-Daten) der eingescannten Modelle in die Diagnostiksoftware „OnyxCeph^{3TM}“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) übertragen. Mit Hilfe des Tools „Segmentierung“ wurden die einzelnen Zahnkronen dargestellt und die fazialen Kronenachsen definiert. Die Inklinations- und Angulationswerte (°) wurden als Winkel zwischen der fazialen Kronenachse (FACC) und einer Senkrechten auf die Okklusionsebene berechnet. Die FACC wurde durch den am weitesten gingival liegenden Punkt der klinischen Zahnkrone und den Inzisalpunkt/mittlerer Höckerpunkt bei Molaren gebildet. Die Okklusionsebene war definiert durch die Verbindung der Mittelpunkte der unteren mittleren Inzisivi und der mesio-bukkalen Höckerspitzen der unteren ersten Molaren.

In einer Arbeit von Radeke et al. (2014) verglichen die Autoren die mittels Schiebelehre an Gipsmodellen ermittelten Zahnbreiten des Ober- und Unterkiefers mit den Messwerten, die sie an digitalen Modellen (mit einem Streifenlichtscanner eingescannte Gipsmodelle) ermittelten. Die digitalen Modelle wurden mit der Diagnostiksoftware „OnyxCeph^{3TM}“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland) vermessen. Die Ergebnisse beider Methoden unterschieden sich nicht signifikant.

Huanca Ghislanzoni et al. (2013) publizierten eine Methodik, lineare Messungen sowie Messungen der Angulation und Inklination an digitalen Modellen mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit durchführen zu können. Sie scannten Gipsmodelle mit einem Modellscanner ein und benutzten die Diagnostiksoftware VAM (Vectra, Canfield Scientific, Fairfield, NJ, USA) zum Vermessen der gewünschten Werte. Die Autoren verwendeten eine Referenzebene, die an den lingualen Gingivapunkten der Zähne des Unterkiefers verläuft und nahezu parallel zur Okklusionsebene ist. Die Okklusionsebene ist laut Autoren abhängig von der Wilson-Kurve, Spee-Kurve oder Inklination der Zähne und damit zu variabel.

In einer weiteren Studie verglichen die Autoren die Inklinationswerte nach manueller Messung an Gipsmodellen und digitaler Messung. Es gab keine signifikanten Unterschiede. Die Reproduzierbarkeit dieses Verfahrens wurde auch in dieser Studie bestätigt (Nouri et al. 2014).

6.3 Diskussion der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammenfassend dargestellt und diskutiert.

6.3.1 Auswertung der Fernröntgenseitenbilder, Veränderung der Inklination der Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers

Veränderungen in der Behandlungsgruppe:

In der Behandlungsgruppe proklinierten die Schneidezähne des Oberkiefers zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 signifikant. Dies wurde durch eine signifikante Vergrößerung der kephalometrischen Werte OK1-NL ($+3,8^\circ$) und OK1-NSL ($+3,7^\circ$) gemessen. Auch in der Studie von Hegele et al. (2021) wurde in zwei Behandlungsgruppen, die mit selbstligierenden Brackets therapiert wurden, eine Proklation der Oberkieferschneidezähne gemessen. In einer der Gruppen war diese Proklation signifikant. In der vorliegenden Arbeit gab es geschlechtsspezifisch signifikante Unterschiede bezüglich der Proklation der Oberkieferschneidezähne. Sowohl der kephalometrische Wert OK1-NL als auch der OK1-NSL vergrößerten sich bei den Jungen der Behandlungsgruppe stärker als bei den Mädchen (OK1-NL: Jungen: $+6,5^\circ \pm 6,1^\circ$ vs. Mädchen: $+1,2^\circ \pm 4,7^\circ$; OK1-NSL: Jungen: $+6,6^\circ \pm 6,1^\circ$ vs. Mädchen: $+0,7^\circ \pm 5,3^\circ$). Eine mögliche Erklärung für die geringere Proklation der oberen Schneidezähne bei den Mädchen könnte sein, dass diese bereits vor der Behandlung proklinierter standen (OK1-NL zum Zeitpunkt T1: Mädchen $112,4^\circ \pm 5,3^\circ$ vs. Jungen $109,8^\circ \pm 5,5^\circ$; OK1-NSL zum Zeitpunkt T1: Mädchen $103,6^\circ \pm 7,2^\circ$ vs. Jungen $101,9^\circ \pm 5,5^\circ$). Dieser Zusammenhang konnte jedenfalls in einer Studie für den Unterkiefer festgestellt werden (Fleming et al. 2009). Die Proklation der unteren Schneidezähne durch die Behandlung mit selbstligierenden sowie konventionellen Brackets war in dieser Studie geringer, wenn sie schon vor der Behandlung proklinierter standen (Fleming et al. 2009).

Im Unterkiefer wurde bei den Patienten der Behandlungsgruppe eine signifikante Vergrößerung des Schneidezahnwinkels UK1-ML ($+4,4^\circ$) bei Vergleich der Zeitpunkte T1 und T2 festgestellt. Auch hier kam es also zu einer Proklation der Front. Es wurde diesbezüglich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen Jungen und Mädchen gemessen. Auch in einer Studie von anderen Autoren wurden nach der Behandlung mit selbstligierenden Brackets größere UK1-ML-Winkel ($+3,1^\circ$), also eine Proklation der unteren mittleren Schneidezähne, gemessen. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede

zwischen Patienten, die mit selbstligierenden Brackets behandelt wurden und denjenigen, die mit konventionellen Zwillingsbrackets behandelt wurden (Pandis et al. 2010). Auch Fleming et al. (2009) stellten eine Proklination der unteren Inzisivi durch die Behandlung mit selbstligierenden Brackets fest (UK1-ML: $+4,41^\circ$). Es wurden in dieser Studie keine signifikanten Unterschiede zu einer Gruppe mit konventionellen Brackets dargestellt. In der Studie von Hegele et al. (2021) zeigte sich in beiden Patientengruppen, die mit selbstligierenden Brackets behandelt wurden (ein individualisiertes und ein konfektioniertes System), ebenfalls eine signifikante Proklination der Unterkieferschneidezähne.

Veränderungen in der Kontrollgruppe:

In der vorliegenden Arbeit konnte in der Kontrollgruppe weder im Ober- noch im Unterkiefer eine signifikante Veränderung der Frontzahninklination zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 gemessen werden. OK1-NL und OK1-NSL zeigten tendenziell eher kleinere Werte bei T2 im Vergleich zu T1 (OK1-NL: $-1,4^\circ$; OK1-NSL: $-0,6^\circ$), d.h. die Oberkieferfrontzähne standen bei T2 retrudierter als bei T1. Ebenso zeigten die Unterkieferfrontzähne durchschnittlich um $0,4^\circ$ kleinere UK1-ML-Werte als vor der Behandlung, standen also nach der Behandlung auch retrudierter.

Vergleich der Veränderungen der Behandlungsgruppe und Kontrollgruppe:

Vergleicht man die Veränderungen der Schneidezahninklination der Behandlungsgruppe und der Kontrollgruppe, konnte festgestellt werden: OK1-NL und OK1-NSL veränderten sich in der Behandlungsgruppe im Sinne einer Proklination, während sich diese Werte in der Kontrollgruppe sogar verkleinerten. Dieser Unterschied war signifikant. Auch die Unterkieferfront proklinierte in der Behandlungsgruppe, während in der Kontrollgruppe negative Veränderungen, also eine Reklination, gemessen wurde. Dies zeigte sich sowohl über den Beobachtungszeitraum T1 bis T2 als auch über die Messdauer eines Jahres. Die Nullhypothese der Arbeit muss dementsprechend abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen werden. Die Ergebnisse sprechen für eine behandlungsbedingte Proklination der Oberkiefer- und Unterkieferfrontzähne. Die in der Behandlungsgruppe für den Oberkiefer gemessene Proklination bei T2 (OK1-NL: $+3,8^\circ$ und OK1-NSL: $+3,7^\circ$) und die in der Kontrollgruppe gemessene Reklination der Front (OK1-NL: $-1,4^\circ$ und OK1-NSL: $-0,6^\circ$) führt zu einer Vergrößerung der Differenz zwischen den Gruppen und bedeutet eine klinisch relevante Proklination der Oberkieferfrontzähne von ca. $4-5^\circ$.

Für den Unterkiefer entspricht die gemessene Reklination bei T2 in der Kontrollgruppe (UK1-ML: $-0,4^\circ$) und die gemessene Proklination in der Behandlungsgruppe bei T2 (UK1-ML: $+4,4^\circ$) eine klinisch relevante Proklination der Unterkieferfrontzähne von ca. 5° .

6.3.2 Auswertung der Orthopantomogramme, Veränderung der Angulation der Schneide- und Seitenzähne in der Behandlungsgruppe

Schneidezähne: Die einzige signifikante Änderung der Angulation im Schneidezahnbereich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 wurde an Zahn 11 gemessen. Hier wurden nach der Behandlung signifikant größere Winkel zwischen der Zahnachse und der Referenzebene gemessen ($+1,9^\circ$). Zahn 11 wurde also nach distal gekippt.

Eckzähne: An Zahn 23 wurden signifikant kleinere Winkel gemessen ($-2,4^\circ$). Ebenso an den unteren Eckzähnen 33 und 43 (33: $-5,5^\circ$; 43: $-3,5^\circ$). Die Angulationen veränderten sich dementsprechend nach mesial.

Prämolaren: 34 war der einzige Prämolare, an dem signifikante Veränderungen festgestellt wurden. Der gemessene Winkel verkleinerte sich um durchschnittlich $2,8^\circ$, was einer Mesialkipfung entsprach.

Molaren: Im Oberkiefer wurden signifikant kleinere Winkel an den 6ern gemessen. Zahn 16 kippte um durchschnittlich $2,7^\circ$ nach mesial, Zahn 26 um $2,8^\circ$. Im Unterkiefer wurde Gegenteiliges gemessen. Zahn 36 kippte um $3,5^\circ$ nach distal, Zahn 46 um $3,7^\circ$.

In der Literatur konnten keine Studien gefunden werden, in denen die Veränderungen der Achsenstellungen durch die Behandlung mit einer Multibracketapparatur anhand von Orthopantomogrammen vermessen wurden. Ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren war deshalb nicht möglich.

Ein direkter quantitativer Vergleich der in dieser Arbeit angewandten Methoden zur Messung der Angulationsänderungen (Orthopantomogramme und digitalisierte Modelle) war nicht möglich. Dazu müssten die gemessenen Winkel übereinstimmen. In der Auswertung der Orthopantomogramme wurden allerdings die Zahnachsen in Relation zu zwei Referenzlinien vermessen, die nicht der Okklusionsebene (digitale Modellvermessung) gleichen. Außerdem wurde in der Modellvermessung statt der Zahnachse die faciale Kronenachse verwendet und diese in Relation zu einer Senkrechten auf die Okklusionsebene vermessen.

Beim qualitativen Vergleich der Ergebnisse der Auswertung der Orthopantomogramme und der 3D-Analyse der digitalisierten Modelle gab es Übereinstimmungen. In beiden Analysen wurde eine Mesialkipfung der unteren Eckzähne 33 und 43 sowie der Zähne 34 und 32 innerhalb des Zeitraumes T1 bis T2 beobachtet. Eine Distalkippung der oberen Prämolaren 14, 24, 15 und 25 sowie beider erster Unterkiefermolaren 36 und 46 zeigte sich ebenfalls in beiden Messmethoden.

6.3.3 Auswertung der digitalen Modelle, Veränderung der Inklination der Schneide- und Seitenzähne in der Behandlungsgruppe

Im Oberkiefer konnte in der Auswertung der digitalen Modellanalyse zwar eine Vergrößerung der Inklinationswerte der Schneidezähne zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 gemessen werden, diese war jedoch nicht signifikant. Die Inklination des Zahnes 11 änderte sich von $7,1^\circ$ auf $8,7^\circ$ ($+1,6^\circ$), die des Zahnes 12 von $4,8^\circ$ auf $5,6^\circ$ ($+0,5^\circ$), die des Zahnes 21 von $7,3^\circ$ auf $9,2^\circ$ ($+1,9^\circ$) und die des Zahnes 22 von $4,2^\circ$ auf $5,4^\circ$ ($+1,2^\circ$).

Die einzigen signifikanten Veränderungen im Oberkiefer wurden an den Zähnen 24 und 25 gemessen. Hier wurde eine signifikante Vergrößerung der Inklinationswerte gemessen, was bedeutet, dass sie nach bukkal kippten (24: $+2,1^\circ \pm 5,5^\circ$, 25: $+4,0^\circ \pm 7,2^\circ$).

Im Unterkiefer proklinierten die Schneidezähne zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 signifikant (32: $+5,0^\circ \pm 5,6^\circ$; 31: $+6,2^\circ \pm 6,3^\circ$; 41: $+6,5^\circ \pm 6,4^\circ$; 42: $+5,4^\circ \pm 5,3^\circ$). Außerdem wurde eine signifikant größere Inklination an den Zähnen 43 und 45 gemessen, d.h. der Eckzahn und zweite Prämolare im 4. Quadranten zeigten eine Vestibulärkipfung (43: $+2,3^\circ \pm 5,3^\circ$; 45: $+2,7^\circ \pm 6,0^\circ$).

Lineberger et al. (2016) analysierten ebenfalls digitalisierte Gipsmodelle. Sie verglichen die Werte von Patienten, die mit selbstligierenden Brackets behandelt wurden mit denen unbehandelter Probanden. Die Autoren haben eine sehr ähnliche Methodik wie in der vorliegenden Arbeit angewendet. Die Inklinationswinkel wurden zwischen der FACC und einer Referenzlinie nach Huanca Ghislanzoni et al. (2013) gemessen. Die behandelten Patienten in der Studie von Lineberger et al. (2016) zeigten eine signifikant größere bukkale Inklination der ersten und zweiten Prämolaren des Oberkiefers im Vergleich zu der unbehandelten Gruppe ($+4,6^\circ$ und $+3,9^\circ$). Der erste Prämolare zeigte eine bukkale Inklinationsänderung von $+5,8^\circ$, der zweite Prämolare von $+5,1^\circ$. Diese Werte passen zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Eine signifikante Proklination der Unterkieferschneidezähne konnten die Autoren jedoch nicht messen. Es sei angemerkt, dass

Lineberger et al. (2016) die unteren seitlichen Schneidezähne nicht gemessen haben. Außerdem wurde in der Studie ein Bogensystem benutzt, bei dem die Unterkieferbögen identisch zu den Oberkieferbögen sind. Im Vergleich zu den unbehandelten Probanden der Studie haben die Autoren signifikante Vergrößerungen der Zahnbogenbreiten im Ober- und Unterkiefer der behandelten Patienten gemessen. Vermutlich wurde hier ein Unterkieferengstand durch Verbreiterung der Zahnbögen statt durch Proklination aufgelöst.

Auch Mario et al. (2021) untersuchten Inklinationsveränderungen durch die Multibracketbehandlung mit selbstligierenden Brackets an digitalisierten Gipsmodellen. Sie nutzten die Methodik nach Huanca Ghislanzoni et al. (2013). Es gab in der Studie von Mario et al. (2021) jedoch keinen Vergleich zu unbehandelten Personen, sondern nur zu einer Gruppe von Patienten, die mit konventionellen Brackets behandelt wurden. Die Veränderungen der Inklinationswerte durch die Behandlung mit selbstligierenden Brackets passen zur vorliegenden Studie. Im Oberkiefer wurden ebenfalls signifikante Vergrößerungen der Inklinationswerte an den ersten und zweiten Prämolaren gemessen (OK 4er: $+5,27^\circ$, OK 5er: $+5,97^\circ$). Passend zur vorliegenden Studie wurde im Unterkiefer eine signifikante Vergrößerung der Inklinationswerte der Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren gemessen (UK 1er: $+4,87^\circ$, UK 2er: $+8,46^\circ$, UK 3er: $+5,69^\circ$, UK 4er: $+6,98^\circ$, UK 5er: $+5,65^\circ$).

In einer weiteren Studie (Cattaneo et al. 2011) wurden bukkale Inklinationsänderungen von $11,7^\circ$ und $13,5^\circ$ für die oberen Prämolaren gemessen. Quantitativ vergleichbar ist diese Studie jedoch nicht, da die Autoren anhand von DVT-Bildern die Zahnachsen (Apex bis zentrale Grube der Krone) gemessen haben und nicht wie in der vorliegenden Arbeit die faziale Kronenachse.

Die Ergebnisse einer anderen Arbeit des Autors (Cattaneo et al. 2013) passen zur vorliegenden Studie. Auch hier proklinierten die unteren Schneidezähne und Eckzähne signifikant innerhalb der Behandlung mit selbstligierenden Brackets. Ein quantitativer Vergleich ist ebenfalls nicht möglich, da die Autoren anhand von DVT-Aufnahmen die Zahnlängsachsen im Verhältnis zur Okklusionsebene vermessen haben. Der Vergleich mit einer unbehandelten Kontrollgruppe fehlt. Ebenso fehlen Angaben zu möglicher Vorbehandlung oder der Verwendung intermaxillärer Gummizüge.

6.3.4 Auswertung der digitalen Modelle, Veränderung der Angulation der Schneide- und Seitenzähne in der Behandlungsgruppe

Im Oberkiefer verkleinerten sich die Angulationswerte an den Zähnen 13, 14 und 24 signifikant (13: $-5,8^\circ \pm 10,6^\circ$; 14: $-2,7^\circ \pm 6,5^\circ$; 24: $-3,2^\circ \pm 5,6^\circ$). Die Zahnkronen waren stärker nach distal gekippt als vor der Behandlung. In der Arbeit von Mario et al. (2021) konnten keine signifikanten Angulationsänderungen der Oberkieferzähne durch eine Behandlung mit selbstligierenden Brackets festgestellt werden. Jedoch gab es einen Trend. Die Angulation der Zähne verkleinerte sich bei allen Zähnen des Oberkiefers bis auf die seitlichen Schneidezähne. An diesen blieb die Angulation unverändert.

Im Unterkiefer konnte in der vorliegenden Arbeit eine signifikante Vergrößerung der Angulationswerte der unteren seitlichen Schneidezähne und der unteren Eckzähne (32: $+3,4^\circ \pm 4,5^\circ$; 33: $+5,4^\circ \pm 6,0^\circ$; 42: $+1,9^\circ \pm 4,4^\circ$; 43: $+1,3^\circ \pm 5,3^\circ$) gemessen werden. Sie kippten alle nach mesial. Die Angulation des Zahnes 46 verkleinerte sich um durchschnittlich $4,6^\circ$, der Zahn kippte also nach distal. Diese Ergebnisse passen zur Studie von Mario et al. (2021). Die Autoren haben signifikante Veränderungen der Angulationswerte an folgenden Zähnen gemessen: UK 2er: $+4,16^\circ$, UK3er: $+3,56^\circ$, UK 4er: $-2,67^\circ$, UK 5er: $-3,2^\circ$, UK 6er: $-6,21^\circ$.

6.4 Limitationen der Studie

Limitationen der Studie ergeben sich durch das Studiendesign. Es handelte sich um eine retrospektive Studie, die mit bekannten Nachteilen, wie beispielsweise einem Selektionsbias, einhergehen kann. Zudem kann bei einem retrospektiven Studiendesign das Fehlen von Informationen zur Behandlung nicht ausgeschlossen werden.

Während einer Multibracketbehandlung gibt es verschiedene Faktoren, die Auswirkungen auf die Achsenstellung der Zähne haben können. So beeinflusst das Tragen intermaxillärer Gummizüge je nach Zugrichtung, Stärke und Tragedauer die Veränderung der Achsenstellung. Klasse-II-Gummizüge haben folgende Nebeneffekte auf die Zahnachsen: Rotation der Okklusionsebene im Uhrzeigersinn, eine Retrusion der Oberkiefer-schneidezähne, eine Proklination der Unterkieferschneidezähne, eine Distalkippung der oberen Seitenzähne und eine Mesialkipfung der unteren Seitenzähne. Beim Anwenden der Klasse-III-Gummizüge werden folgende Veränderungen der Zahnachsen beobachtet: Rotation der Okklusionsebene gegen den Uhrzeigersinn, Aufrichten der

Unterkieferschneidezähne, Mesialkipfung der oberen Seitenzähne und Distalkippung der Unterkieferseitenzähne (Farret 2023).

Außerdem wurden Patienten mit vorangegangener funktionskieferorthopädischer Behandlung nicht ausgeschlossen. Solche Behandlungen wirken sich ebenfalls teilweise auf die Achsenstellung der Zähne aus. Eine Nebenwirkung funktionskieferorthopädischer Geräte zur Korrektur einer skelettalen Klasse II oder Angle Klasse II ist die Retroinklination der Schneidezähne des Oberkiefers und die Proklination der Schneidezähne des Unterkiefers (Martina et al. 2013; Wichelhaus und Sander 1995).

7 Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurden anhand von Fernröntgenseitenbildern, Orthopantomogrammen und digitalen Modellen die Veränderungen der Zahnachsen durch die Behandlung mit selbstligierenden Brackets untersucht. Eine Gruppe kieferorthopädisch unbehandelter Probanden diente als Vergleichsgruppe, um Wachstumsveränderungen von den Veränderungen durch die Multibracketapparatur abgrenzen zu können.

Hinsichtlich der Inklinationen der Frontzähne zeigte die Auswertung der Fernröntgenseitenbilder eine signifikante Proklination der Oberkiefer- und Unterkieferfront in der Behandlungsgruppe zwischen den Zeitpunkten T1 und T2. Dies wurde durch eine signifikante Änderung der entsprechenden kephalometrischen Werte (OK1-NL: $+3,8^\circ$; OK1-NSL: $+3,7^\circ$; UK1-ML: $+4,4^\circ$) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 bestätigt. Bei den Jungen waren diese Veränderungen im Oberkiefer stärker ausgeprägt als bei den Mädchen. Die Veränderung des Wertes OK1-NL war um $+5,3^\circ$ und die des Wertes OK1-NSL um $+5,9^\circ$ höher als bei den Mädchen. Die kieferorthopädische Behandlung mit selbstligierenden Brackets führte daher bei Jungen zu einer stärkeren Proklination der Oberkieferfrontzähne bei den Mädchen. Der Vergleich der Veränderungen der Schneidezahnwinkel zwischen der Behandlungs- und Kontrollgruppe war signifikant. Die Patienten, die mit selbstligierenden Brackets (MBT-System) behandelt wurden, zeigten zu T2 signifikant stärker prokliniert stehende Schneidezähne im Ober- und Unterkiefer (OK1-NL: $+5,2^\circ$; OK1-NSL: $+4,3^\circ$; UK1-ML: $4,8^\circ$) im Vergleich zur Kontrollgruppe. In der Kontrollgruppe wurde bei T2 eine Retrusion der Oberkieferfrontzähne beobachtet. Dies führte zu dem Schluss, dass die in der Behandlungsgruppe gemessene Proklination der orthodontischen Behandlung zuzuschreiben ist. Wachstumsbedingte Veränderungen konnten durch den Vergleich mit der Kontrollgruppe ausgeschlossen werden. Auch die Auswertung der digitalen Modelle zeigte in der Ober- wie auch Unterkieferfront eine Proklination im Vergleich der Zeitpunkte T1 und T2. Die Veränderungen im Oberkiefer waren jedoch nicht signifikant. Die Proklination der Unterkieferfront war signifikant (32: $+5,0^\circ$; 31: $+6,2^\circ$; 41: $+6,5^\circ$; 42: $+8,0^\circ$).

Bezüglich der Inklinationsveränderungen im Seitenzahnbereich konnte anhand der digitalen Modellanalyse eine signifikante Vergrößerung der Inklination der Oberkieferprämolaren 24 und 25, also eine Bukkalkippung (24: $+2,1^\circ$; 25: $+4,0^\circ$), nach kieferorthopädischer Behandlung mit selbstligierenden Brackets gezeigt werden. Ähnliche

Veränderungen wurden im ersten Quadranten an den Zähnen 14 und 15 gemessen. Die Zähne 43 und 45 kippten signifikant nach bukkal (43: $+2,2^\circ$; 45: $+2,8^\circ$). Die oberen Eckzähne (13 und 23) sowie der Unterkiefer Eckzahn 33 kippten nach palatinal/lingual, die ersten Prämolaren im Unterkiefer (34 und 44) sowie alle ersten Molaren (16, 26, 36, 46) kippten nach lingual, Zahn 35 kippte nach bukkal. Mit dem Wissen der Auswirkungen der orthodontischen Behandlung auf die Achsenstellung der Zähne kann der Behandler seine Brackets sinnvoller und gezielter auswählen. Nicht immer ist eine Proklination der Schneidezähne gewünscht. Bei zu starker Proklination besteht, vor allem im Unterkiefer, die Gefahr der Gingivarezessionen. Zu stark prokliniert stehende Schneidezähne können zudem zu einer Behinderung des Mundschlusses beitragen. Auch bei einer skelettalen Klasse III ist eine Proklination der Unterkieferschneidezähne eher nicht gewünscht, um einen frontalen Kreuzbiss zu vermeiden. Auch das Bukkalkippen der oberen Prämolaren ist mit dem Risiko von Attachmentverlust verbunden und gilt als eine instabile Bewegung.

Die Auswertung der Orthopantomogramme der Behandlungsgruppe zeigte eine signifikante Angulationsänderung der Oberkiefermolaren 16 um $2,7^\circ$ und 26 um $2,8^\circ$ nach mesial. Die ersten Molaren im Unterkiefer veränderten ihre Angulation signifikant nach distal (36 um $3,5^\circ$; 46 um $3,7^\circ$). Im Unterkiefer wurde eine signifikante Angulationsänderung der Eckzähne 33 um $5,5^\circ$ und 43 um $3,5^\circ$ nach mesial gemessen. Weiter änderte sich die Angulation des Zahnes 11 signifikant um $1,9^\circ$ nach distal und die der Zähne 23 um $2,5^\circ$ und 34 um $2,8^\circ$ nach mesial. Angulationsänderungen, die nicht signifikant waren, waren wie folgt: Ein Mesialkippen erfuhren die Zähne 22, 32 und 44, eine Distalkippung die Zähne 21, 31, 41, 12, 42, 13, 14, 24, 15, 25, 35 und 45. Die Veränderungen der Angulationswerte wurden auch anhand der digitalisierten Modelle gemessen. Im Oberkiefer zeigte sich eine signifikante Änderung der Angulation des Eckzahnes 13 und der ersten Prämolaren 14 und 24 nach distal (13 um $5,8^\circ$; 14 um $2,7^\circ$; 24 um $3,2^\circ$). Im Unterkiefer waren die Veränderungen der seitlichen Schneidezähne 32 und 42, der Eckzähne 33 und 43 und des Prämolaren 34 nach mesial sowie die distale Angulationsänderung des Zahnes 46 signifikant (32 um $3,5^\circ$; 42 um $2,0^\circ$; 33 um $5,4^\circ$; 43 um $4,5^\circ$; 34 um $3,8^\circ$; 46 um $4,6^\circ$). Angulationsänderungen nach mesial, die nicht signifikant waren, wurden an folgenden Zähnen gemessen: 11, 21, 31, 41, 12, 44, 35 und 26. Angulationsänderungen nach distal, die nicht signifikant waren, betrafen die Zähne 22, 23, 15, 25, 45, 16 und 36.

Der Vergleich der beiden Messmethoden der Angulationswerte (Orthopantomogramme und digitalisierte Modelle) ergab teilweise Differenzen. Eine mögliche Erklärung dafür könnte die eingeschränkte Eignung der Orthopantomogramme zur Winkelmessung aufgrund der zweidimensionalen Darstellung von dreidimensionalen Strukturen sein. Es zeigten sich jedoch auch Übereinstimmungen in den Ergebnissen: Beide Messmethoden zeigten eine Mesialkipfung der unteren Eckzähne 33 und 43 sowie der ersten Prämolaren des Unterkiefers (34 und 44) und des Schneidezahnes 32. Eine Distalkipfung der oberen Prämolaren 14, 24, 15 und 25 sowie beider erster Unterkiefermolaren 36 und 46 zeigte sich ebenfalls in beiden Messmethoden. Eine Mesialkipfung der unteren Eckzähne kann indiziert sein, wenn diese vor der Behandlung nach distal gekippt stehen. Andererseits kann ein Mesialkippen der Unterkiefereckzähne jedoch auch einen frontalen Engstand begünstigen. Ein Mesialkippen der Zähne 16 und 26 ist bei einer Klasse II Behandlung nicht gewünscht, da dies zu einem Verankerungsverlust führen und damit eine Distalverzahnung begünstigen kann.

Unsere Studie liefert wichtige Informationen zu Veränderungen der Achsenstellungen der Zähne durch eine orthodontische Behandlung mit selbstligierenden Brackets mit MBT-System und 0,022“-Slot. Für Behandler ist dieses Wissen bei der Auswahl eines für jeden Patienten individuell geeigneten Bracketsystems von Bedeutung. Zudem liefert diese Arbeit mit ihren Ergebnissen relevante Erkenntnisse zur Weiterentwicklung neuer Brackets und stellt eine wichtige Basis für weitere Studien dar. Folgestudien, welche beispielsweise die Auswirkungen von konventionellen Brackets, Lingualbrackets sowie Brackets mit anderen Preskriptionen untersuchen, könnten weitere wichtige Informationen zur Entscheidungsfindung zur individuellen biomechanischen Behandlungsplanung liefern.

Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel: Eine regelrechte Angulation und Inklination der Zähne sind für die Funktion und eine regelrechte Okklusion entscheidend und beeinflussen die Gesamtstabilität einer kieferorthopädischen Behandlung. Selbstligierende Brackets erleichtern das Einsetzen kieferorthopädischer Bögen und beschleunigen die Nivellierung. Ziel dieser Arbeit war, die Veränderungen der Achsenstellungen der Schneide- und Seitenzähne durch die orthodontische Behandlung mit selbstligierenden Brackets im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrollgruppe zu analysieren. Ziel war es, wachstumsbedingte Inklinationsveränderungen der Schneidezähne von den Auswirkungen der orthodontischen Behandlung abzugrenzen.

Patienten und Methodik: In diese retrospektive Studie wurden 30 jugendliche Patienten der Poliklinik für Kieferorthopädie der LMU München eingeschlossen. Sie wurden mit einer Multibracketapparatur mit selbstligierenden Brackets (MBT-System, 0,022“ Slot) behandelt. Vor (T1) und nach der Behandlung (T2) wurden Fernröntgenseitenbilder, Orthopantomogramme sowie digitale Kiefermodelle erstellt. Anhand dieser wurden die Veränderungen der Zahnachsen durch die orthodontische Behandlung analysiert. Unbehandelte Probanden aus Wachstumsstudien der AAOF-Collection, die nach Alter und Geschlecht den Patienten der Behandlungsgruppe zugeordnet wurden, dienten als Kontrollgruppe. Von ihnen wurden Fernröntgenseitenbilder im jeweils entsprechenden Alter ausgewertet.

Ergebnisse: In der Analyse der Fernröntgenseitenbilder konnte in der Behandlungsgruppe im Ober- sowie im Unterkiefer eine signifikante Proklination der Schneidezähne zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 gemessen werden (OK1-NL: +3,8°; OK1-NSL: +3,7°; UK1-ML: +4,4°). Bei den Jungen war diese Veränderung im Oberkiefer signifikant stärker als bei den Mädchen. Zum Zeitpunkt T2 standen die Oberkieferschneidezähne bei den Jungen um +5,3° (OK1-NL) und +5,9° (OK1-NSL) proklinierter im Vergleich zu den Mädchen. In der Kontrollgruppe zeigte sich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 keine signifikante Veränderung der Inklination der Schneidezähne. Der Vergleich der Ergebnisse der Behandlungs- und Kontrollgruppe zeigte insgesamt einen Proklinationseffekt von +5,2° bzw. +4,3° auf die oberen Schneidezähne (OK1-NL bzw. OK1-NSL) und von +4,8° auf die unteren Schneidezähne (UK1-ML) durch die kieferorthopädische Behandlung mit selbstligierenden Brackets. Die Auswertung der digitalen Modelle

der Patienten der Behandlungsgruppe zeigte ebenfalls eine Proklination der Oberkieferfront innerhalb des Zeitraumes T1 bis T2. Im Unterkiefer wurde eine signifikante Proklination der Schneidezähne 31, 32, 41 und 42 durch die kieferorthopädische Behandlung mit selbstligierenden Brackets bestätigt (32: $+5,0^\circ$; 31: $+6,2^\circ$; 41: $+6,5^\circ$; 42: $+8,0^\circ$). Zudem stellte sich eine signifikante Bukkalkippung der oberen Prämolaren 24 und 25 sowie der Zähne 43 und 45 im Ergebnis dar. Es wurde zudem eine Palatinal-/Lingualkippung der oberen Eckzähne ($-0,7^\circ$), der oberen ersten Molaren ($-2,2^\circ$), der unteren ersten Prämolaren ($-0,6^\circ$) und der unteren ersten Molaren (-1°) dargestellt. Es zeigte sich eine Bukkalkippung der oberen ersten und zweiten Prämolaren ($+0,7^\circ$ bzw. $+3,1^\circ$) und der unteren zweiten Prämolaren ($+2,4^\circ$).

Hinsichtlich der Angulationen wurden signifikante Unterschiede durch die orthodontische Behandlung mit selbstligierenden Brackets dargestellt. Bei der Analyse der Orthopantomogramme war eine signifikante Veränderung der Angulation der oberen ersten Molaren nach mesial und der unteren ersten Molaren nach distal messbar. Bei der Vermessung der digitalen Modelle konnte an Zahn 13, an den oberen ersten Prämolaren (14, 24) und an Zahn 46 eine signifikante Angulationsänderung nach distal gemessen werden. An den unteren seitlichen Schneidezähnen (32, 42), an den unteren Eckzähnen (33, 43) sowie am unteren Prämolare 34 zeigte sich eine signifikante Veränderung nach mesial. Insgesamt zeigte sich eine Distalkippung der oberen Eckzähne ($-3,9^\circ$), der ersten und zweiten oberen Prämolaren (-3° bzw. $-1,4^\circ$) und der unteren Molaren ($-3,2^\circ$) sowie eine Mesialkipfung der unteren Eckzähne ($+4,9^\circ$).

Schlussfolgerungen: Bei einer orthodontischen Behandlung mit selbstligierenden Brackets entsteht insgesamt ein klinisch relevanter Protrusionseffekt von $+5,2^\circ$ bzw. $+4,3^\circ$ auf die oberen Schneidezähne (OK1-NL bzw. OK1-NSL) und $+4,8^\circ$ auf die unteren Schneidezähne (UK1-ML) im Vergleich zu Kontrollen. Angulations- und Inklinationsveränderungen sowie geschlechtsspezifische Unterschiede sind bei der kieferorthopädischen Behandlungsplanung in Abhängigkeit der Anomalie zu berücksichtigen. Biomechanische Therapiekonzepte, wie beispielsweise die Applikation von Torque und die Verankerung, müssen entsprechend angepasst werden.

Literaturverzeichnis

- Al-Thomali Y, Mohamed R-N, Basha S (2017). Torque expression in self-ligating orthodontic brackets and conventionally ligated brackets: A systematic review. *J Clin Exp Dent*; 9(1):e123.
- Albarakati SF, Kula KS, Ghoneima AA (2012). The reliability and reproducibility of cephalometric measurements: a comparison of conventional and digital methods. *Dentomaxillofac Radiol*; 41(1):11-7.
- Allais D, Melsen B (2003). Does labial movement of lower incisors influence the level of the gingival margin? A case-control study of adult orthodontic patients. *Eur J Orthod*; 25(4):343-52.
- Almeida MR, Futagami C, Conti AC, Oltramari-Navarro PV, Navarro Rde L (2015). Dentoalveolar mandibular changes with self-ligating versus conventional bracket systems: A CBCT and dental cast study. *Dental Press J Orthod*; 20(3):50-7.
- Andrews LF (1972). The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod*; 62(3):296-309.
- Andrews LF (1979). The straight-wire appliance. *Br J Orthod*; 6(3):125-43.
- Andrews LF (1989). *Straight Wire: The Concept and Appliance*. L.A. Wells.
- Angle EH (1907). *Treatment of malocclusion of the teeth: Angle's system*. White Dental Manufacturing Company.
- Archambault A, Major TW, Carey JP, Heo G, Badawi H, Major PW (2010). A comparison of torque expression between stainless steel, titanium molybdenum alloy, and copper nickel titanium wires in metallic self-ligating brackets. *Angle Orthod*; 80(5):884-9.
- Atik E, Akarsu-Guven B, Kocadereli I, Ciger S (2016). Evaluation of maxillary arch dimensional and inclination changes with self-ligating and conventional brackets using broad archwires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 149(6):830-7.
- Badawi HM, Toogood RW, Carey JP, Heo G, Major PW (2008). Torque expression of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 133(5):721-8.
- Beck BW, Harris EF (1994). Apical root resorption in orthodontically treated subjects: analysis of edgewise and light wire mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 105(4):350-61.
- Belitz GS, Furlan LJN, Knorst JK, Berwig LC, Ardenghi TM, Ferrazzo VA, Marquezan M (2022). Association between malocclusion in the mixed dentition with breastfeeding and past nonnutritive sucking habits in school-age children. *Angle Orthod*; 92(5):669-76.
- Bennett JC, McLaughlin RP (1990). Controlled space closure with a preadjusted appliance system. *J Clin Orthod*; 24(4):251-60.
- Berger JL (1990). The influence of the SPEED bracket's self-ligating design on force levels in tooth movement: a comparative in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 97(3):219-28.
- Brauchli LM, Senn C, Wichelhaus A (2011). Active and passive self-ligation-a myth? *Angle Orthod*; 81(2):312-8.

- Brauchli LM, Steineck M, Wichelhaus A (2012). Active and passive self-ligation: a myth? Part 1: torque control. *Angle Orthod*; 82(4):663-9.
- Brezniak N, Wasserstein A (2002). Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part II: The clinical aspects. *Angle Orthod*; 72(2):180-4.
- Brin I, Ben-Bassat Y, Heling I, Brezniak N (2000). Profile of an orthodontic patient at risk of dental trauma. *Dental Traumatology*; 16(3):111-115.
- Burke SP, Silveira AM, Goldsmith LJ, Yancey JM, Van Stewart A, Scarfe WC (1998). A meta-analysis of mandibular intercanine width in treatment and postretention. *Angle Orthod*; 68(1):53-60.
- Capelozza Filho L, Silva Filho O, Ozawaka T, Cavassan A (1999). Brackets individualization in straight-wire technique: concepts review and suggestions for prescribed use. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*; 4(4):78-106.
- Cash AC, Good SA, Curtis RV, McDonald F (2004). An evaluation of slot size in orthodontic brackets--are standards as expected? *Angle Orthod*; 74(4):450-3.
- Casko JS, Vaden JL, Kokich VG, Damone J, James RD, Cangialosi TJ, Riolo ML, Owens SE, Bills ED (1998). Objective grading system for dental casts and panoramic radiographs. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*; 114(5):589-599.
- Cattaneo PM, Treccani M, Carlsson K, Thorgeirsson T, Myrda A, Cevidane LH, Melsen B (2011). Transversal maxillary dento-alveolar changes in patients treated with active and passive self-ligating brackets: a randomized clinical trial using CBCT-scans and digital models. *Orthod Craniofac Res*; 14(4):222-33.
- Cattaneo PM, Salih RA, Melsen B (2013). Labio-lingual root control of lower anterior teeth and canines obtained by active and passive self-ligating brackets. *Angle Orthod*; 83(4):691-7.
- Cooke MS, Wei SH (1991). Cephalometric errors: a comparison between repeat measurements and retaken radiographs. *Aust Dent J*; 36(1):38-43.
- Creekmore TD, Kunik RL (1993). Straight wire: the next generation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 104(1):8-20.
- Damon DH (1998). The Damon low-friction bracket: a biologically compatible straight-wire system. *J Clin Orthod*; 32(11):670-80.
- Downs WB (1948). Variations in facial relationships; their significance in treatment and prognosis. *Am J Orthod*; 34(10):812-40.
- Dragomirescu AO, Bencze MA, Vasilache A, Teodorescu E, Albu CC, Popoviciu NO, Ionescu E (2022). Reducing Friction in Orthodontic Brackets: A Matter of Material or Type of Ligation Selection? In-Vitro Comparative Study. *Materials (Basel)*; 15(7).
- Eliades T (2007). Orthodontic materials research and applications: part 2. Current status and projected future developments in materials and biocompatibility. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 131(2):253-62.
- Fadel MAV, Santos BZ, Antoniazzi RP, Koerich L, Bosco VL, Locks A (2022). Prevalence of malocclusion in public school students in the mixed dentition phase

- and its association with early loss of deciduous teeth. *Dental Press J Orthod*; 27(4):e2220120.
- Faizee KSH, Thomas S, Krishnaswamy NR (2011). Frictional characteristics of active and passive self-ligation bracket systems: an in vitro study. *Journal of Indian Orthodontic Society*; 45(4):154-159.
- Farret MM (2023). Orthodontic biomechanics with intermaxillary elastics. *Dental Press J Orthod*; 28(3):e23spe3.
- Feldner JC, Sarkar NK, Sheridan JJ, Lancaster DM (1994). In vitro torque-deformation characteristics of orthodontic polycarbonate brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 106(3):265-72.
- Fischer-Brandies H, Orthuber W, Es-Souni M, Meyer S (2000). Torque Transmission between Square Wire and Bracket as a Function of Measurement, Form and Hardness Parameters. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*; 61(4):258-265.
- Fleming PS, DiBiase AT, Sarri G, Lee RT (2009). Comparison of mandibular arch changes during alignment and leveling with 2 preadjusted edgewise appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 136(3):340-7.
- Germane N, Bentley BE, Jr., Isaacson RJ (1989). Three biologic variables modifying faciolingual tooth angulation by straight-wire appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 96(4):312-9.
- Ghafari J (1992). Problems associated with ceramic brackets suggest limiting use to selected teeth. *Angle Orthod*; 62(2):145-52.
- Glenn G, Sinclair PM, Alexander RG (1987). Nonextraction orthodontic therapy: posttreatment dental and skeletal stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 92(4):321-8.
- Gómez SL, Montoya Y, Garcia NL, Virgen AL, Botero JE (2016). Comparison of frictional resistance among conventional, active and passive selfligating brackets with different combinations of arch wires: a finite elements study. *Acta Odontol Latinoam*; 29(2):130-136.
- Goracci C, Ferrari M (2014). Reproducibility of measurements in tablet-assisted, PC-aided, and manual cephalometric analysis. *Angle Orthod*; 84(3):437-42.
- Grohmann U (2005). *Kieferorthopädische Apparaturen. Bildatlas*. Darmstadt: Steinkopff.
- Gül Amuk N, Karsli E, Kurt G (2019). Comparison of dental measurements between conventional plaster models, digital models obtained by impression scanning and plaster model scanning. *Int Orthod*; 17(1):151-158.
- Han G, Huang S, Von den Hoff JW, Zeng X, Kuijpers-Jagtman AM (2005). Root resorption after orthodontic intrusion and extrusion: an intraindividual study. *Angle Orthod*; 75(6):912-8.
- Harari D, Redlich M, Miri S, Hamud T, Gross M (2010). The effect of mouth breathing versus nasal breathing on dentofacial and craniofacial development in orthodontic patients. *Laryngoscope*; 120(10):2089-93.
- Harradine NW (2003). Self-ligating brackets: where are we now? *J Orthod*; 30(3):262-73.

- Harris EF, Boggan BW, Wheeler DA (2001). Apical root resorption in patients treated with comprehensive orthodontics. *J Tenn Dent Assoc*; 81(1):30-3.
- Harzer W (2011). *Kieferorthopädie*. Stuttgart: Thieme.
- Hegele J, Seitz L, Claussen C, Baumert U, Sabbagh H, Wichelhaus A (2021). Clinical effects with customized brackets and CAD/CAM technology: a prospective controlled study. *Prog Orthod*; 22(1):40.
- Houston WJ, Maher RE, McElroy D, Sherriff M (1986). Sources of error in measurements from cephalometric radiographs. *Eur J Orthod*; 8(3):149-51.
- Huanca Ghislanzoni LT, Lineberger M, Cevitanes LH, Mapelli A, Sforza C, McNamara JA, Jr. (2013). Evaluation of tip and torque on virtual study models: a validation study. *Prog Orthod*; 14:19.
- Huh A, Horton MJ, Cuenco KT, Raoul G, Rowleron AM, Ferri J, Sciote JJ (2013). Epigenetic influence of KAT6B and HDAC4 in the development of skeletal malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 144(4):568-76.
- Hussels W, Nanda RS (1987). Effect of maxillary incisor angulation and inclination on arch length. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 91(3):233-9.
- Ichida T, Takiguchi R, Yamada K (1999). Relationship between the lingual-palatal contact duration associated with swallowing and maxillofacial morphology with the use of electropalatography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 116(2):146-51.
- Jesuino FA, Costa LR, Valladares-Neto J (2010). Mesiodistal root angulation of permanent teeth in children with mixed dentition and normal occlusion. *J Appl Oral Sci*; 18(6):625-9.
- Jordan A, Kuhr K, Ohm C, Frenzel Baudisch N, Kirschneck C (2021). Sechste Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS 6), Zahn- und Kieferfehlstellungen bei Kindern. doi: 10.23786 / S-2021-01.
- Kamoen A, Dermaut L, Verbeeck R (2001). The clinical significance of error measurement in the interpretation of treatment results. *Eur J Orthod*; 23(5):569-78.
- Katsikogianni EN, Reimann S, Weber A, Karp J, Bourauel C (2015). A comparative experimental investigation of torque capabilities induced by conventional and active, passive self-ligating brackets. *Eur J Orthod*; 37(4):440-6.
- Koskela A, Neittaanmäki A, Rönnerberg K, Palotie A, Ripatti S, Palotie T (2021). The relation of severe malocclusion to patients' mental and behavioral disorders, growth, and speech problems. *Eur J Orthod*; 43(2):159-164.
- Kunz F, Platte P, Keß S, Geim L, Zeman F, Proff P, Hirschfelder U, Stellzig-Eisenhauer A (2019). Impact of specific orthodontic parameters on the oral health-related quality of life in children and adolescents : A prospective interdisciplinary, multicentre, cohort study. *J Orofac Orthop*; 80(4):174-183.
- Kusy RP, Whitley JQ (1997). Friction between different wire-bracket configurations and materials. *Semin Orthod*; 3(3):166-77.
- Lineberger MB, Franchi L, Cevitanes LH, Huanca Ghislanzoni LT, McNamara JA, Jr. (2016). Three-dimensional digital cast analysis of the effects produced by a passive self-ligating system. *Eur J Orthod*; 38(6):609-614.

- Ling HTB, Sum F, Zhang L, Yeung CPW, Li KY, Wong HM, Yang Y (2018). The association between nutritive, non-nutritive sucking habits and primary dental occlusion. *BMC Oral Health*; 18(1):145.
- Little RM (1999). Stability and relapse of mandibular anterior alignment: University of Washington studies. *Semin Orthod*; 5(3):191-204.
- Lombardo L, Arreghini A, Bratti E, Mollica F, Spedicato G, Merlin M, Fortini A, Siciliani G (2015). Comparative analysis of real and ideal wire-slot play in square and rectangular archwires. *Angle Orthod*; 85(5):848-58.
- Major TW, Carey JP, Nobes DS, Heo G, Major PW (2011). Mechanical effects of third-order movement in self-ligated brackets by the measurement of torque expression. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 139(1):e31-44.
- Mario P, Pietro P, Francesca C, Giorgio Alfredo S, Virginia S, Paolo A (2021). Effect of Conventional Versus Passive Self-Ligating Vestibular Appliances on Torque, Tip and Transverse Dental Changes in Patients Affected by Class I Malocclusion: A Retrospective Study. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*; 21.
- Martina R, Cioffi I, Galeotti A, Tagliaferri R, Cimino R, Michelotti A, Valletta R, Farella M, Paduano S (2013). Efficacy of the Sander bite-jumping appliance in growing patients with mandibular retrusion: a randomized controlled trial. *Orthod Craniofac Res*; 16(2):116-26.
- Martins-Júnior PA, Marques LS, Ramos-Jorge ML (2012). Malocclusion: social, functional and emotional influence on children. *J Clin Pediatr Dent*; 37(1):103-8.
- Masoud AI, Bulic M, Viana G, Bedran-Russo AK (2016). Force decay and dimensional changes of thermoplastic ligatures and novel thermoset elastomeric ligatures. *Angle Orthod*; 10.2319/082815-581.1.
- McKee IW, Glover KE, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Major PW (2001). The effect of vertical and horizontal head positioning in panoramic radiography on mesiodistal tooth angulations. *Angle Orthod*; 71(6):442-51.
- McKee IW, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Glover KE, Major PW (2002). The accuracy of 4 panoramic units in the projection of mesiodistal tooth angulations. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*; 121(2):166-175.
- McLaughlin R, Bennett J, Trevisi H (1997). A clinical review of the MBT orthodontic treatment program. *Orthod Perspec*; 4(2):3-15.
- Meling TR, Odegaard J, Meling EO (1997). On mechanical properties of square and rectangular stainless steel wires tested in torsion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 111(3):310-20.
- Meling TR, Odegaard J, Seqner D (1998). On bracket slot height: a methodologic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 113(4):387-93.
- Miethke RR, Melsen B (1999). Effect of variation in tooth morphology and bracket position on first and third order correction with preadjusted appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 116(3):329-35.
- Mills JR (1966). The long-term results of the proclination of lower incisors. *Br Dent J*; 120(8):355-63.

- Mittal M, Thiruvengkatachari B, Sandler PJ, Benson PE (2015). A three-dimensional comparison of torque achieved with a preadjusted edgewise appliance using a Roth or MBT prescription. *Angle Orthod*; 85(2):292-297.
- Miyamoto W, Chung CS, Yee PK (1976). Effect of Premature Loss of Deciduous Canines and Molars on Malocclusion of the Permanent Dentition. *J Dent Res*; 55(4):584-590.
- Mulligan TF (1982). *Common Sense Mechanics*. Phoenix: CSM.
- Navarro RdL, Oltramari-Navarro PVP, Fernandes TMF, Oliveira GFd, Conti ACdCF, Almeida MRd, Almeida RRd (2013). Comparison of manual, digital and lateral CBCT cephalometric analyses. *J Appl Oral Sci*; 21.
- Nouri M, Abdi AH, Farzan A, Mokhtarpour F, Baghban AA (2014). Measurement of the buccolingual inclination of teeth: manual technique vs 3-dimensional software. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 146(4):522-9.
- Oliveira T, Oliveira G, Ornellas J, Oliveira F (2005). Technical error of measurement in anthropometry (English version). *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*; 11:81-85.
- Owens AM, Johal A (2008). Near-end of treatment panoramic radiograph in the assessment of mesiodistal root angulation. *Angle Orthod*; 78(3):475-81.
- Pandis N, Strigou S, Eliades T (2006). Maxillary incisor torque with conventional and self-ligating brackets: a prospective clinical trial. *Orthod Craniofac Res*; 9(4):193-8.
- Pandis N, Polychronopoulou A, Makou M, Eliades T (2010). Mandibular dental arch changes associated with treatment of crowding using self-ligating and conventional brackets. *Eur J Orthod*; 32(3):248-53.
- Paolantonio EG, Ludovici N, Saccomanno S, La Torre G, Grippaudo C (2019). Association between oral habits, mouth breathing and malocclusion in Italian preschoolers. *Eur J Paediatr Dent*; 20(3):204-208.
- Parker RJ, Harris EF (1998). Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 114(6):677-83.
- Petti S, Tarsitani G (1996). Traumatic injuries to anterior teeth in Italian schoolchildren: prevalence and risk factors. *Dental Traumatology*; 12(6):294-297.
- Pizzoni L, Ravnholt G, Melsen B (1998). Frictional forces related to self-ligating brackets. *Eur J Orthod*; 20(3):283-91.
- Polat-Ozsoy O, Gokcelik A, Toygar Memikoglu TU (2009). Differences in cephalometric measurements: a comparison of digital versus hand-tracing methods. *Eur J Orthod*; 31(3):254-9.
- Pontes LF, Cecim RL, Machado SM, Normando D (2015). Tooth angulation and dental arch perimeter-the effect of orthodontic bracket prescription. *Eur J Orthod*; 37(4):435-9.
- Proffit WR (1978). Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *Angle Orthod*; 48(3):175-86.

- Proffit WR, Fields H, Larson B, Sarver DM (2018). Contemporary Orthodontics. St. Louis: Mosby.
- Radeke J, von der Wense C, Lapatki BG (2014). Comparison of orthodontic measurements on dental plaster casts and 3D scans. *J Orofac Orthop*; 75(4):264-74.
- Rauch ED (1959). Torque and its application to orthodontics. *Am J Orthod*; 45(11):817-830.
- Rebhan E (2006). Theoretische Physik: Mechanik. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Riedel RA (1957). An analysis of dentofacial relationships. *Am J Orthod*; 43(2):103-119.
- Riolo ML, Moyers RE, McNamara JA, Hunter WS (1974). An Atlas of craniofacial growth: cephalometric standards from the University school growth study, the University of Michigan. Michigan: Center for Human Growth and Development.
- Roth RH (1976). The maintenance system and occlusal dynamics. *Dent Clin North Am*; 20(4):761-88.
- Sabbagh H, Khazaei Y, Baumert U, Hoffmann L, Wichelhaus A, Janjic Rankovic M (2022). Bracket Transfer Accuracy with the Indirect Bonding Technique-A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*; 11(9).
- Sadat-Khonsari R, Moshtaghy A, Schlegel V, Kahl-Nieke B, Möller M, Bauss O (2004). Torque deformation characteristics of plastic brackets: a comparative study. *J Orofac Orthop*; 65(1):26-33.
- Samawi SSB, Burke PH (1984). Angular Distortion in the Orthopantomogram. *Br J Orthod*; 11(2):100-107.
- Sameshima GT, Sinclair PM (2001). Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 119(5):511-5.
- Sander FG, Sander FM, Sander C (2011a). Biomechanik In: Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg.). *Kieferorthopädie. [Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde]* 2. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme; S. 314-323.
- Sander FG, Sander FM, Sander C (2011b). Multibandapparatur. In: Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M (Hrsg.). *Kieferorthopädie. [Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde]* 2. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme; S. 239-312.
- Sandler PJ (1988). Reproducibility of cephalometric measurements. *Br J Orthod*; 15(2):105-10.
- Sebanc J, Brantley WA, Pincsak JJ, Conover JP (1984). Variability of effective root torque as a function of edge bevel on orthodontic arch wires. *Am J Orthod*; 86(1):43-51.
- Segner D, Hasund A (1998). Individualisierte Kephhalometrie. Hamburg: Segner.
- Shivapuja PK, Berger J (1994). A comparative study of conventional ligation and self-ligation bracket systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 106(5):472-80.
- Sifakakis I, Pandis N, Makou M, Eliades T, Katsaros C, Bourauel C (2014). Torque efficiency of different archwires in 0.018- and 0.022-inch conventional brackets. *Angle Orthod*; 84(1):149-54.

- Smith RN, Karmo M, Russell J, Brook AH (2007). The variability of the curvature of the labial surface of the upper anterior teeth along the facial axis of the clinical crown. *Arch Oral Biol*; 52(11):1037-42.
- Soboku T, Motegi E, Sueishi K (2019). Effect of Different Bracket Prescriptions on Orthodontic Treatment Outcomes Measured by Three-dimensional Scanning. *Bull Tokyo Dent Coll*; 60(2):69-80.
- Sommer T, Ciesielski R, Erbersdobler J, Orthuber W, Fischer-Brandies H (2009). Precision of cephalometric analysis via fully and semiautomatic evaluation of digital lateral cephalographs. *Dentomaxillofac Radiol*; 38(6):401-6.
- Szczupakowski A, Reimann S, Dirk C, Keilig L, Weber A, Jäger A, Bourauel C (2016). Friction behavior of self-ligating and conventional brackets with different ligature systems. *J Orofac Orthop*; 77(4):287-95.
- Taloumis LJ, Smith TM, Hondrum SO, Lorton L (1997). Force decay and deformation of orthodontic elastomeric ligatures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 111(1):1-11.
- Thomas JL, Hayes C, Zawaideh S (2003). The effect of axial midline angulation on dental esthetics. *Angle Orthod*; 73(4):359-64.
- Ugur T, Yukay F (1997). Normal faciolingual inclinations of tooth crowns compared with treatment groups of standard and pretorqued brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 112(1):50-7.
- Ursi WJ, Almeida RR, Tavano O, Henriques JF (1990). Assessment of mesiodistal axial inclination through panoramic radiography. *J Clin Orthod*; 24(3):166-73.
- van Loenen M, Degrieck J, De Pauw G, Dermaut L (2005). Anterior tooth morphology and its effect on torque. *Eur J Orthod*; 27(3):258-62.
- Vartolomei A-C, Serbanoiu D-C, Ghiga D-V, Moldovan M, Cuc S, Pollmann MCF, Pacurar M (2022). Comparative Evaluation of Two Bracket Systems' Kinetic Friction: Conventional and Self-Ligating. *Materials*; 15(12):4304.
- Vogel AB, Kilic F, Schmidt F, Rübel S, Lapatki BG (2015). Dimensional accuracy of jaw scans performed on alginate impressions or stone models: A practice-oriented study. *J Orofac Orthop*; 76(4):351-65.
- Wichelhaus A, Sander FG (1995). [The dental and skeletal effects of the jumping-the-bite plate and high-pull headgear combination. A clinical study of treated patients]. *Fortschr Kieferorthop*; 56(4):202-15.
- Wichelhaus A, Eichenberg T (2013). *Kieferorthopädie- Therapie Band 1. [Farbatlanten der Zahnmedizin]*. Stuttgart: Thieme.
- Wichelhaus A, Guggenbühl S, Hötzel L, Seidel CL, Sabbagh H, Hoffmann L (2024). Comparing Torque Transmission of Different Bracket Systems in Combination with Various Archwires Considering Play in the Bracket Slot: An In Vitro Study. *Materials*; 17(3):684.
- Williams JK, Cook PA, Isaacson KG, Thom AR (2000). *Festsitzende Kieferorthopädische Apparaturen. Grundlagen und klinische Anwendung*. Stuttgart: Thieme.
- Yared KF, Zenobio EG, Pacheco W (2006). Periodontal status of mandibular central incisors after orthodontic proclination in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 130(1):6.e1-8.

- Yu SH, Nahm DS, Baek SH (2008). Reliability of landmark identification on monitor-displayed lateral cephalometric images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*; 133(6):790.e1-6; discussion e1.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Verschiedene Vorprogrammierungen der Angulations- und Inklinationswerte (°) in der Behandlung mit Straight-Wire-Brackets.	6
Tabelle 4.1: Vorprogrammierte Angulations- und Inklinationswerte (°) des MBT-Systems.	17
Tabelle 4.2: Für die vorliegende Arbeit relevante Punkte der kephalometrischen Analyse.....	24
Tabelle 4.3: Für die vorliegende Arbeit relevante Winkel der kephalometrischen Analyse.....	26
Anhang 1: FRS-Analyse; deskriptive Statistik zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede zum Zeitpunkt T1; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	99
Anhang 2: FRS-Analyse, deskriptive Statistik zur Überprüfung des Einschlusskriteriums „skelettale Klasse I“ (ANB 0-4°) und zur Überprüfung möglicher Unterschiede zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T1; T-Test für gepaarte Proben; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	100
Anhang 3: FRS-Analyse; deskriptive Statistik zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede zum Zeitpunkt T2; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	101
Anhang 4: Unterschiede der FRS-Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Gruppen; T-Test für gepaarte Stichproben; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert für den zweiseitigen Vergleich und Signifikanzniveau.	102
Anhang 5: Geschlechtsspezifische Unterschiede der Veränderungen der FRS-Werte über den Zeitraum T1 bis T2 und pro Jahr; T-Test für unabhängige Proben; Levene-Test auf Varianzgleichheit ($p > 0,05$); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	103
Anhang 6: FRS-Analyse, dargestellt sind die Differenzen zwischen den Zeitpunkten T1 bis T2 und pro Jahr; Vergleich Behandlungs- und Kontrollgruppe; T-Test für abhängige Proben, zweiseitig; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	105

Anhang 7: Auswertung der Orthopantomogramme; Test auf geschlechtsspezifische Unterschiede der Angulationswerte (°) zu den Zeitpunkten T1 und T2; T-Test nach Student; Levene-Test der Varianzgleichheit ($p > 0,05$); bis auf eine Ausnahme kann Varianzgleichheit angenommen werden; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	106
Anhang 8: Auswertung der Orthopantomogramme; Unterschiede der Angulationswerte (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2; T-Test für verbundene Stichproben; zweiseitiges P; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	108
Anhang 9: Auswertung der Orthopantomogramme; Geschlechtsspezifische Unterschiede der Veränderungen der Angulationswerte (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 und pro Jahr; T-Test für unabhängige Stichproben; nach Levene-Test auf Varianzgleichheit; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	109
Anhang 10: 3D- Modellanalyse; Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Angulationswerte (°) zum Zeitpunkt T1; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	111
Anhang 11: 3D- Modellanalyse; Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Angulationswerte (°) zum Zeitpunkt T2; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	112
Anhang 12: 3D- Modellanalyse; Vergleich der Angulationswerte (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	113
Anhang 13: 3D-Modellanalyse, Angulationsänderung (°) innerhalb des Zeitraumes T1 bis T2 sowie die jährliche Änderung des Wertes, angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum.....	114
Anhang 14: 3D- Modellanalyse, Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Inklinationswerte (°) zum Zeitpunkt T1; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	115

Anhang 15:	3D- Modellanalyse, Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Inklinationswerte (°) zum Zeitpunkt T2; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	116
Anhang 16:	3D- Modellanalyse, Vergleich der Inklination (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.....	117
Anhang 17:	3D- Modellanalyse, Inklinationsänderung (°) über die Dauer des Zeitraumes T1 bis T2 sowie jährliche Änderung, angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum.....	118

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.1: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes ANB (°) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w) entsprechend des Einschlusskriteriums „skelettale Klasse I“ (ANB 0° - 4°), Behandlungsgruppe.	19
Abbildung 4.2: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes ANB (°) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w) entsprechend des Einschlusskriteriums „skelettale Klasse I“ (ANB 0° - 4°), Kontrollgruppe.	20
Abbildung 4.3: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes OK1-NL (°) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w), Vergleich zwischen Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)	21
Abbildung 4.4: Graphische Boxplot-Darstellung des kephalometrischen Wertes OK1-NSL (°) zu Behandlungsbeginn (T1) bei Jungen (m) und Mädchen (w), Vergleich zwischen Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)	22
Abbildung 4.5: Analyse eines Fernröntgenseitenbildes in der Software „FR win professional“ (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland); hervorgehoben sind die für die vorliegende Arbeit relevanten kephalometrischen Punkte.	25
Abbildung 4.6: Darstellung der Winkelmessungen, Auswertung eines Orthopantomogrammes, Analyse nach Ursi et al. (1990), Software „FR win professional“ (Computer Konkret AG, Falkenstein, Deutschland).	28
Abbildung 4.7: 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph ^{3TM} “ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der 3D-Modelle im Tool „Segmentierung“	29
Abbildung 4.8: 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph ^{3TM} “ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der fazialen Kronenachse (FACC) und der Okklusionsebene (Bogenebene). Mit freundlicher Genehmigung der Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland, Quelle: https://www.onyxwiki.net/ (letzter Zugriff: 06.08.2024).	30
Abbildung 4.9: 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph ^{3TM} “ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der Messung der Angulation. Mit freundlicher Genehmigung der Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland, Quelle: https://www.onyxwiki.net/ (letzter Zugriff: 06.08.2024).....	30

- Abbildung 4.10:** 3D-Modellvermessung, Programm: „Onyx Ceph^{3TM}“ (Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland), Darstellung der Messung der Inklinatation. Mit freundlicher Genehmigung der Image Instruments GmbH, Chemnitz, Deutschland, Quelle: <https://www.onyxwiki.net/> (letzter Zugriff: 06.08.2024)..... 31
- Abbildung 5.1:** Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes ML-NL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 34
- Abbildung 5.2:** Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes SNA (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 35
- Abbildung 5.3:** Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes SNB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 35
- Abbildung 5.4:** Graphische Boxplot-Darstellung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OK1-NL (°), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 37
- Abbildung 5.5:** Graphische Boxplot-Darstellung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OK1-NSL (°), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 38
- Abbildung 5.6:** Graphische Boxplot-Darstellung der Schneidezahninklination des Unterkiefers gemessen anhand des kephalometrischen Wertes UK1-ML (°), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 39
- Abbildung 5.7:** Graphische Boxplot-Darstellung des geschlechtsspezifischen Unterschiedes der Oberkieferfrontzahninklination gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OK1-NSL (°) innerhalb der Behandlungsgruppe zum Zeitpunkt T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 41
- Abbildung 5.8:** Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes NL-NSL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 42
- Abbildung 5.9:** Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes SNB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***)...... 43

Abbildung 5.10:	Graphische Boxplot-Darstellung des Vergleichs des kephalometrischen Wertes ANB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Kontrollgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	43
Abbildung 5.11:	Graphische Boxplot-Darstellung des geschlechtsspezifischen Unterschiedes der Oberkieferfrontzahninklination gemessen anhand des kephalometrischen Wertes OK1-NL (°) innerhalb der Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	44
Abbildung 5.12:	Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	46
Abbildung 5.13:	Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NSL (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	47
Abbildung 5.14:	Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Unterkiefers gemessen am kephalometrischen Wert UK1-ML (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	48
Abbildung 5.15:	Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NL (°) im Zeitraum eines Jahres, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	49
Abbildung 5.16:	Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Oberkiefers gemessen am kephalometrischen Wert OK1-NSL (°) im Zeitraum eines Jahres, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	50
Abbildung 5.17:	Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung der Schneidezahninklination des Unterkiefers gemessen am kephalometrischen Wert UK1-ML (°) im Zeitraum eines Jahres, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***).	51

- Abbildung 5.18:** Graphische Boxplot-Darstellung der Änderung des kephalometrischen Wertes ANB (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Vergleich der Kontroll- und Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 52
- Abbildung 5.19:** Graphische Boxplot-Darstellung der geschlechtsspezifischen Unterschiede der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Zeitpunkt T1, Behandlungsgruppe, m= männlich, w= weiblich, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 53
- Abbildung 5.20:** Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, Behandlungsgruppe, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 55
- Abbildung 5.21:** Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Vergleich der Änderung der Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 zwischen Jungen und Mädchen, Behandlungsgruppe, m= männlich, w= weiblich, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 56
- Abbildung 5.22:** Graphische Boxplot-Darstellung der geschlechtsspezifischen Unterschiede der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers entsprechend den Messungen im Orthopantomogramm nach Ursi et al. (1990), Zeitpunkt T2, Behandlungsgruppe, m= männlich, w= weiblich, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 57
- Abbildung 5.23:** Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers zum Zeitpunkt T1 gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen Jungen (m) und Mädchen (w), $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 58
- Abbildung 5.24:** Graphische Boxplot-Darstellung der Angulationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 59
- Abbildung 5.25:** Graphische Boxplot-Darstellung der Inklinationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers zum Zeitpunkt T1 gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen Jungen (m) und Mädchen (w), $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 61

- Abbildung 5.26:** Graphische Boxplot-Darstellung der Inklinationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen den Zeitpunkten T1 und T2, $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 62
- Abbildung 5.27:** Graphische Boxplot-Darstellung der Inklinationswerte der Zähne des Ober- und Unterkiefers zum Zeitpunkt T2 gemessen in der 3D-Modellanalyse, Vergleich zwischen Jungen (m) und Mädchen (w), $p < 0,05$ = signifikant (*); $p \leq 0,01$ = sehr signifikant (**); $p \leq 0,001$ = hoch signifikant (***). 63

Abkürzungsverzeichnis

AAOF	American Association of Orthodontics Foundation
DVT	Digitale Volumentomographie
FACC	Faziale Achse der klinischen Krone
FRS	Fernröntgenseitenbild
Max	Maximum
Min	Minimum
MW	Mittelwert
OK	Oberkiefer
OPG	Orthopantomogramm
SD	Standardabweichung
UK	Unterkiefer

Anhang

Anhang 1: FRS-Analyse; deskriptive Statistik zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede zum Zeitpunkt T1; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

	Variable (°)	Jungen			Mädchen						T-Test				
		MW	SD	Me- dian	Min	Max	MW	SD	Me- dian	Min	Max	Diff. MW	T	P	Sign.
Kontrollgruppe	ANB	2,6	1	2,7	0,5	3,9	2,3	1,2	2,7	0,4	4	-0,3	0,81	0,425	n.s.
	ML-NL	23,8	5,9	23,2	13,1	34,4	24,9	5,4	25	14,6	32,8	1,1	-0,516	0,61	n.s.
	ML-NSL	31,9	6	32,6	22,6	42,1	33	6,9	34,9	22,8	42,1	1,1	-0,449	0,657	n.s.
	NL-NSL	8,1	4,1	7,5	3,2	17,9	8,1	3,3	8,4	3,4	14,6	0	0,01	0,992	n.s.
	OK1-NL	112,6	5,4	112,3	100,1	119,9	116,1	5,3	114,4	107,3	126,6	3,5	-1,824	0,079	n.s.
	OK1-NSL	104,5	5	104,2	95,5	111,5	108	7	108,3	97,4	122,6	3,5	-1,581	0,125	n.s.
	SNA	81,4	3,2	81,1	76,9	89,9	81,7	4,4	80,6	76,9	92	0,3	-0,176	0,862	n.s.
	SNB	78,8	3,3	78,8	73,4	87,7	79,4	4,4	77,3	73,4	90	0,6	-0,405	0,689	n.s.
	UK1-ML	97,3	5,3	98,1	84,1	103,4	93,4	8,6	91,4	80	106,7	-3,9	1,467 ^a	0,156	n.s.
Behandlungs- gruppe	ANB	2,3	1,2	2,5	0,3	3,9	2,4	1,1	2,2	0,5	4	0,1	-0,297	0,769	n.s.
	ML-NL	24,8	5,1	24,3	16,6	35,9	22,4	5,1	21,4	15,2	34,8	-2,4	1,263	0,217	n.s.
	ML-NSL	32,6	5,5	32,7	22,7	44,8	31,3	6,5	31,6	21,3	45,4	-1,3	0,632	0,533	n.s.
	NL-NSL	7,9	4,1	8,6	1,8	19,4	8,8	3,5	10,1	0,9	13,5	0,9	-0,702	0,488	n.s.
	OK1-NL	109,8	5,5	110,2	96,6	117,7	112,4	5,3	112,3	103,7	121,9	2,6	-1,344	0,19	n.s.
	OK1-NSL	101,9	5,5	103	92,5	109,9	103,6	7,2	104,4	93,1	114,1	1,7	-0,712	0,482	n.s.
	SNA	79,3	2,5	79,8	74,9	82,9	80,2	2,8	80,1	75,5	88	0,9	-0,993	0,329	n.s.
	SNB	77	2,5	77,5	71,2	80,5	77,9	2,8	78,3	73,8	84,3	0,9	-0,879	0,387	n.s.
	UK1-ML	94,4	6,8	93,8	84	110,4	96,3	6,7	95,3	86,9	108,6	1,9	-0,783	0,44	n.s.

Anhang 2: FRS-Analyse, deskriptive Statistik zur Überprüfung des Einschlusskriteriums „skelettale Klasse I“ (ANB 0-4°) und zur Überprüfung möglicher Unterschiede zwischen Behandlungs- und Kontrollgruppe zum Zeitpunkt T1; T-Test für gepaarte Proben; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

Variable(°)	Geschl.	Kontrollgruppe					Behandlungsgruppe					T-Test			
		MW	SD	Median	Min	Max	MW	SD	Median	Min	Max	Diff. MW	T	p	Sign.
ANB	m	2,6	1	2,7	0,5	3,9	2,3	1,2	2,5	0,3	3,9	-0,3	-0,904	0,381	n.s.
	w	2,3	1,2	2,7	0,4	4	2,4	1,1	2,2	0,5	4	0,1	0,236	0,817	n.s.
	Ges.	2,5	1,1	2,7	0,4	4	2,3	1,1	2,4	0,3	4	-0,2	-0,515	0,611	n.s.
ML-NL	m	23,8	5,9	23,2	13,1	34,4	24,8	5,1	24,3	16,6	35,9	1	0,445	0,663	n.s.
	w	24,9	5,4	25	14,6	32,8	22,4	5,1	21,4	15,2	34,8	-2,5	-1,475	0,162	n.s.
	Ges.	24,3	5,6	24,1	13,1	34,4	23,6	5,2	23,1	15,2	35,9	-0,7	-0,518	0,608	n.s.
ML-NSL	m	31,9	6	32,6	22,6	42,1	32,6	5,5	32,7	22,7	44,8	0,7	0,37	0,717	n.s.
	w	33	6,9	34,9	22,8	42,1	31,3	6,5	31,6	21,3	45,4	-1,7	-0,78	0,449	n.s.
	Ges.	32,4	6,4	33,2	22,6	42,1	31,9	5,9	32	21,3	45,4	-0,5	-0,333	0,741	n.s.
NL-NSL	m	8,1	4,1	7,5	3,2	17,9	7,9	4,1	8,6	1,8	19,4	-0,2	-0,203	0,842	n.s.
	w	8,1	3,3	8,4	3,4	14,6	8,8	3,5	10,1	0,9	13,5	0,7	0,54	0,598	n.s.
	Ges.	8,1	3,6	8,2	3,2	17,9	8,3	3,8	8,6	0,9	19,4	0,2	0,247	0,806	n.s.
OK1-NL	m	112,6	5,4	112,3	100,1	119,9	109,8	5,5	110,2	96,6	117,7	-2,8	-1,979	0,068	n.s.
	w	116,1	5,3	114,4	107,3	126,6	112,4	5,3	112,3	103,7	121,9	-3,7	-3,106	0,008	**
	Ges.	114,3	5,5	113,8	100,1	126,6	111,1	5,5	110,9	96,6	121,9	-3,2	-3,563	0,001	**
OK1-NSL	m	104,5	5	104,2	95,5	111,5	101,9	5,5	103	92,5	109,9	-2,6	-1,294	0,217	n.s.
	w	108	7	108,3	97,4	122,6	103,6	7,2	104,4	93,1	114,1	-4,4	-2,389	0,032	*
	Ges.	106,2	6,3	107,6	95,5	122,6	102,8	6,4	103,2	92,5	114,1	-3,4	-2,602	0,014	*
SNA	m	81,4	3,2	81,1	76,9	89,9	79,3	2,5	79,8	74,9	82,9	-2,1	-1,863	0,084	n.s.
	w	81,7	4,4	80,6	76,9	92	80,2	2,8	80,1	75,5	88	-1,5	-1,03	0,32	n.s.
	Ges.	81,6	3,8	80,8	76,9	92	79,8	2,6	80	74,9	88	-1,8	-2,011	0,054	n.s.
SNB	m	78,8	3,3	78,8	73,4	87,7	77	2,5	77,5	71,2	80,5	-1,8	-1,639	0,124	n.s.
	w	79,4	4,4	77,3	73,4	90	77,9	2,8	78,3	73,8	84,3	-1,5	-1,119	0,282	n.s.
	Ges.	79,1	3,8	78,7	73,4	90	77,4	2,6	77,6	71,2	84,3	-1,7	-1,934	0,063	n.s.
UK1-ML	m	97,3	5,3	98,1	84,1	103,4	94,4	6,8	93,8	84	110,4	-2,9	-1,391	0,186	n.s.
	w	93,4	8,6	91,4	80	106,7	96,3	6,7	95,3	86,9	108,6	2,9	1,046	0,313	n.s.
	Ges.	95,4	7,3	96	80	106,7	95,3	6,7	94,3	84	110,4	-0,1	-0,025	0,981	n.s.

Anhang 3: FRS-Analyse; deskriptive Statistik zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede zum Zeitpunkt T2; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

Gruppe	Variable (°)	Jungen					Mädchen					T-Test		
		MW	SD	Me- dian	Min	Max	MW	SD	Me- dian	Min	Max	Diff. MW	T	P
Kontrollgruppe	ANB	2,4	1,2	2,9	0,2	3,9	1,7	1,2	2,2	0	3,4	-0,7	1,715	0,097 n.s.
	ML-NL	23,8	5,7	24,5	11,6	33,6	24,9	5,6	24,3	15,2	33,3	1,1	-0,55	0,587 n.s.
	ML-NSL	30,8	6,1	31,2	22	42	32,6	7	36,3	21,8	41,4	1,8	-0,734	0,469 n.s.
	NL-NSL	7	3,7	6,7	0,9	14,6	7,6	3,5	8,7	1,1	12	0,6	-0,485	0,632 n.s.
	OK1-NL	110,3	5,6	110,2	99,3	118,1	115,7	5,8	115,5	104,5	129,4	5,4	-2,577	0,016 *
	OK1-NSL	103,3	5,8	103,5	95	110,9	108,1	7,3	105,6	96,6	124,7	4,8	-1,971	0,059 n.s.
	SNA	81,8	3,7	82,1	74,9	89,9	81,7	3,9	80,7	77,2	89,5	-0,1	0,116	0,909 n.s.
	SNB	79,4	3,5	79,8	71,7	86,4	80	4	78,5	74,9	88,7	0,6	-0,431	0,67 n.s.
	UK1-ML	97,3	5,3	97,2	85,5	105,7	92,6	9	89,5	79	107,1	-4,7	1,742 ^a	0,095 n.s.
Behandlungs- gruppe	ANB	2,2	1,3	2,6	0,3	3,8	2,4	1,1	2,6	0,5	3,9	0,2	-0,259	0,797 n.s.
	ML-NL	24,2	5	23,9	15,6	36,5	21,9	5,2	21,6	13,9	34,2	-2,3	1,213	0,235 n.s.
	ML-NSL	31,9	5,7	32	19,2	45,5	31,2	6,9	31,8	20,5	44	-0,7	0,296	0,769 n.s.
	NL-NSL	7,7	3,3	7,6	3,6	15,6	9,3	3,7	9,5	2	14,8	1,6	-1,241	0,225 n.s.
	OK1-NL	116,3	4,6	116,8	108,9	125	113,6	4	115	106,6	119,9	-2,7	1,691	0,102 n.s.
	OK1-NSL	108,6	5,3	108,4	99,7	116,3	104,3	4,7	105,4	96,7	110,4	-4,3	2,33	0,027 *
	SNA	80,2	2,9	80,6	74,2	84,6	80,4	2,7	80,2	74,6	88,1	0,2	-0,116	0,909 n.s.
	SNB	78	2,7	78,6	70,7	81,3	78	2,7	77,3	73,2	84,2	0	0,014	0,989 n.s.
	UK1-ML	99,8	6,6	100,7	81,5	107,8	99,6	6,5	100,2	85,4	110,3	-0,2	0,078	0,939 n.s.

Anhang 4: Unterschiede der FRS-Werte zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 innerhalb der Gruppen; T-Test für gepaarte Stichproben; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert für den zweiseitigen Vergleich und Signifikanzniveau.

Gruppe	Variable (°)	Zeitpunkt T1					Zeitpunkt T2					T-Test (gepaart)			
		MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sig n.
Kon- troll- gruppe	ANB	2,5	1,1	2,7	0,4	4	2,1	1,3	2,3	0	3,9	-0,4	3,572	0,001	*
	ML-NL	24,3	5,6	24,1	13,1	34,4	24,4	5,6	24,4	11,6	33,6	0,1	-0,081	0,936	n.s.
	ML-NSL	32,4	6,4	33,2	22,6	42,1	31,7	6,5	32,2	21,8	42	-0,7	2,031	0,052	n.s.
	NL-NSL	8,1	3,6	8,2	3,2	17,9	7,3	3,5	7,2	0,9	14,6	-0,8	2,324	0,027	*
	OK1-NL	114,3	5,5	113,8	100,1	126,6	113	6,3	113,9	99,3	129,4	-1,3	1,949	0,061	n.s.
	OK1- NSL	106,2	6,3	107,6	95,5	122,6	105,7	6,9	105,6	95	124,7	-0,5	0,894	0,379	n.s.
	SNA	81,6	3,8	80,8	76,9	92	81,8	3,7	81,4	74,9	89,9	0,2	-0,858	0,398	n.s.
	SNB	79,1	3,8	78,7	73,4	90	79,7	3,7	79,5	71,7	88,7	0,6	-2,806	0,009	**
Be- hand- lungs- gruppe	UK1-ML	95,4	7,3	96	80	106,7	94,9	7,7	95,5	79	107,1	-0,5	0,786	0,438	n.s.
	ANB	2,3	1,1	2,4	0,3	4	2,3	1,2	2,6	0,3	3,9	0	0,443	0,661	n.s.
	ML-NL	23,6	5,2	23,1	15,2	35,9	23,1	5,2	23,2	13,9	36,5	-0,5	2,062	0,048	*
	ML-NSL	31,9	5,9	32	21,3	45,4	31,5	6,2	31,9	19,2	45,5	-0,4	1,32	0,197	n.s.
	NL-NSL	8,3	3,8	8,6	0,9	19,4	8,5	3,5	8,5	2	15,6	0,2	-0,448	0,657	n.s.
	OK1-NL	111,1	5,5	110,9	96,6	121,9	114,9	4,4	115,5	106,6	125	3,8	-3,506	0,001	**
	OK1- NSL	102,8	6,4	103,2	92,5	114,1	106,5	5,4	106,6	96,7	116,3	3,7	-3,164	0,004	**
	SNA	79,8	2,6	80	74,9	88	80,3	2,8	80,4	74,2	88,1	0,5	-2,231	0,034	*
	SNB	77,4	2,6	77,6	71,2	84,3	78	2,6	78,2	70,7	84,2	0,6	-2,609	0,014	*
	UK1-ML	95,3	6,7	94,3	84	110,4	99,7	6,5	100,5	81,5	110,3	4,4	-5,086	<0,001	***

Anhang 5: Geschlechtsspezifische Unterschiede der Veränderungen der FRS-Werte über den Zeitraum T1 bis T2 und pro Jahr; T-Test für unabhängige Proben; Levene-Test auf Varianzengleichheit ($p > 0,05$); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

Gruppe	Variable (°)	Jungen					Mädchen					T-Test		
		MW	SD	Median	Min.	Max	MW	SD	Median	Min.	Max.	T	P	Sign.
Kontrollgruppe Zeitraum T1 bis T2	ANB	-0,2	0,7	-0,3	-1,7	1,3	-0,6	0,5	-0,6	-1,5	0,3	1,961	0,060	n.s.
	ML-NL	0,0	3,0	-0,8	-4,5	6,3	0,1	1,9	-0,1	-4,2	3,9	-0,065	0,949	n.s.
	ML-NSL	-1,1	2,5	-1,0	-4,8	3,0	-0,4	1,5	-0,6	-2,9	1,7	-0,929	0,361	n.s.
	NL-NSL	-1,1	2,2	-0,9	-5,7	1,9	-0,5	1,5	-0,3	-2,7	2,3	-0,958	0,346	n.s.
	OK1-NL	-2,3	3,7	-2,1	-9,1	4,7	-0,4	3,8	0,0	-8,4	7,0	-1,338	0,192	n.s.
	OK1-NSL	-1,2	2,5	-1,1	-5,7	3,3	0,1	4,2	0,5	-7,8	7,3	-0,979	0,336	n.s.
	SNA	0,4	1,3	0,1	-2,0	3,9	0,0	1,3	0,5	-2,6	1,4	0,854	0,400	n.s.
	SNB	0,6	1,4	0,9	-1,7	3,6	0,6	1,1	0,8	-1,7	1,8	-0,029	0,977	n.s.
	UK1-ML	0,0	3,8	0,1	-6,5	7,3	-0,9	1,8	-1,0	-4,4	1,8	0,819 ^a	0,422	n.s.
Zeitraum ein Jahr	ANB	-0,1	0,3	-0,1	-0,5	0,6	-0,3	0,3	-0,2	-1,1	0,2	1,991	0,056	n.s.
	ML-NL	-0,1	1,0	-0,2	-1,7	1,6	0,1	0,7	0,0	-1,4	1,1	-0,386	0,702	n.s.
	ML-NSL	-0,4	0,9	-0,2	-1,9	0,9	-0,1	0,8	-0,3	-1,7	1,7	-1,202	0,240	n.s.
	NL-NSL	-0,4	0,9	-0,3	-1,9	1,5	-0,1	0,6	-0,2	-1,2	0,9	-0,873	0,390	n.s.
	OK1-NL	-0,8	1,3	-0,7	-2,6	1,5	0,0	1,3	0,0	-2,7	2,8	-1,472	0,152	n.s.
	OK1-NSL	-0,4	0,7	-0,3	-1,8	0,9	0,1	1,3	0,5	-2,5	2,1	-1,276	0,212	n.s.
	SNA	0,2	0,4	0,0	-0,5	1,3	0,0	0,8	0,3	-2,5	0,5	0,898	0,377	n.s.
	SNB	0,2	0,5	0,3	-0,6	1,2	0,2	0,6	0,4	-1,3	0,9	0,023	0,982	n.s.
	UK1-ML	-0,1	1,8	0,0	-5,2	2,6	-0,3	0,8	-0,3	-2,4	0,7	0,510	0,614	n.s.
Behandlungsgruppe Zeitraum T1 bis T2	ANB	0,0	0,4	0,0	-1,1	0,6	-0,1	0,7	0,0	-1,4	1,7	0,062	0,951	n.s.
	ML-NL	-0,6	1,4	-0,6	-3,2	1,5	-0,5	1,5	-0,6	-3,1	1,9	-0,180	0,859	n.s.
	ML-NSL	-0,8	2,0	-1,2	-4,3	2,8	-0,1	1,4	-0,1	-2,0	1,9	-1,132	0,267	n.s.
	NL-NSL	-0,2	1,7	0,0	-3,8	2,2	0,4	1,3	0,2	-1,6	3,0	-1,081	0,289	n.s.
	OK1-NL	6,5	6,1	6,7	-3,2	17,2	1,2	4,7	0,1	-7,2	12,4	2,689	0,012	*
	OK1-NSL	6,6	6,1	7,2	-2,9	15,6	0,7	5,3	1,4	-8,4	13,2	2,823	0,009	**

Gruppe	Variable (°)	Jungen					Mädchen					T-Test		
		MW	SD	Me- dian	Min.	Max	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	T	P	Sign.
	SNA	0,9	1,4	0,7	-1,7	3,2	0,1	1,0	0,2	-2,2	1,5	1,852	0,075	n.s.
	SNB	1,0	1,3	1,1	-1,7	3,4	0,1	0,9	0,0	-1,5	1,5	2,055	0,049	*
	UK1- ML	5,4	5,0	6,3	-4,9	14,1	3,3	4,3	3,2	-4,0	8,4	1,242	0,224	n.s.
Zeitraum ein Jahr	ANB	0,0	0,2	0,0	-0,6	0,2	0,0	0,2	0,0	-0,5	0,4	-0,071	0,944	n.s.
	ML-NL	-0,2	0,6	-0,2	-1,4	0,5	-0,2	0,7	-0,2	-1,8	1,2	-0,275	0,785	n.s.
	ML- NSL	-0,3	0,7	-0,4	-1,9	0,9	0,0	0,5	-0,1	-0,6	0,8	-1,601	0,121	n.s.
	NL- NSL	-0,1	0,6	0,0	-1,1	0,8	0,2	0,6	0,1	-0,6	1,8	-1,239	0,226	n.s.
	OK1- NL	2,6	2,4	2,9	-0,8	6,2	0,5	1,6	0,0	-1,4	3,3	2,755 ^a	0,011	*
	OK1- NSL	2,7	2,5	2,1	-0,7	6,8	0,3	2,0	0,4	-3,1	3,7	2,832	0,008	**
	SNA	0,4	0,5	0,4	-0,5	1,4	0,0	0,4	0,1	-1,0	0,4	2,186	0,037	*
	SNB	0,4	0,5	0,4	-0,5	1,5	0,0	0,3	0,0	-0,6	0,5	2,459	0,020	*
	UK1- ML	1,9	1,8	1,9	-1,6	4,7	0,9	1,9	1,0	-3,0	3,9	1,421	0,166	n.s.

^a, nach Levene-Test Varianzenungleichheit

Anhang 6: FRS-Analyse, dargestellt sind die Differenzen zwischen den Zeitpunkten T1 bis T2 und pro Jahr; Vergleich Behandlungs- und Kontrollgruppe; T-Test für abhängige Proben, zweiseitig; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

	Kontrollgruppe					Behandlungsgruppe					T-Test		
	MW	SD	Median	Min.	Max.	MW	SD	Median	Min.	Max.	T	P	Sign.
Zeitraum T1 bis T2													
ANB (°)	-0,4	0,6	-0,4	-1,7	1,3	0,0	0,6	0,0	-1,4	1,7	2,264	0,031	*
ML-NL (°)	0,0	2,5	-0,2	-4,5	6,3	-0,5	1,4	-0,6	-3,2	1,9	-1,093	0,284	n.s.
ML-NSL (°)	-0,8	2,1	-0,8	-4,8	3,0	-0,4	1,7	-0,3	-4,3	2,8	0,898	0,377	n.s.
NL-NSL (°)	-0,8	1,8	-0,5	-5,7	2,3	0,1	1,5	0,1	-3,8	3,0	2,032	0,051	n.s.
OK1-NL (°)	-1,4	3,8	-0,6	-9,1	7,0	3,8	6,0	2,7	-7,2	17,2	3,760	<0,001	***
OK1-NSL (°)	-0,6	3,4	-0,1	-7,8	7,3	3,7	6,4	2,4	-8,4	15,6	3,306	0,003	**
SNA (°)	0,2	1,3	0,3	-2,6	3,9	0,5	1,3	0,5	-2,2	3,2	1,024	0,314	n.s.
SNB (°)	0,6	1,2	0,8	-1,7	3,6	0,6	1,2	0,5	-1,7	3,4	-0,141	0,889	n.s.
UK1-ML (°)	-0,4	2,9	-0,3	-6,5	7,3	4,4	4,7	5,2	-4,9	14,1	5,076	<0,001	***
Zeitraum ein Jahr													
ANB (°)	-0,2	0,3	-0,2	-1,1	0,6	0,0	0,2	0,0	-0,6	0,4	1,816	0,080	n.s.
ML-NL (°)	0,0	0,9	-0,1	-1,7	1,6	-0,2	0,6	-0,2	-1,8	1,2	-0,940	0,355	n.s.
ML-NSL (°)	-0,3	0,8	-0,3	-1,9	1,7	-0,1	0,6	-0,1	-1,9	0,9	0,744	0,463	n.s.
NL-NSL (°)	-0,2	0,7	-0,2	-1,9	1,5	0,1	0,6	0,0	-1,1	1,8	1,710	0,098	n.s.
OK1-NL (°)	-0,4	1,3	-0,2	-2,7	2,8	1,6	2,3	0,9	-1,4	6,2	3,873	<0,001	***
OK1-NSL (°)	-0,1	1,1	-0,1	-2,5	2,1	1,5	2,5	0,9	-3,1	6,8	3,277	0,003	**
SNA (°)	0,1	0,6	0,1	-2,5	1,3	0,2	0,5	0,2	-1,0	1,4	1,008	0,322	n.s.
SNB (°)	0,2	0,5	0,3	-1,3	1,2	0,2	0,5	0,2	-0,6	1,5	-0,063	0,950	n.s.
UK1-ML (°)	-0,2	1,4	-0,1	-5,2	2,6	1,4	1,9	1,6	-3,0	4,7	3,835	<0,001	***

Anhang 7: Auswertung der Orthopantomogramme; Test auf geschlechtsspezifische Unterschiede der Angulationswerte (°) zu den Zeitpunkten T1 und T2; T-Test nach Student; Levene-Test der Varianzgleichheit ($p > 0,05$); bis auf eine Ausnahme kann Varianzgleichheit angenommen werden; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

Zeitpunkt	Zahn	Angulationswert der Auswertung der Orthopantomogramme (°)											T-Test		
		Jungen					Mädchen								
		MW	SD	Median	Min.	Max.	MW	SD	Median	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
T1	11	87	3,5	87,9	76,6	90	87,6	3,3	88,2	82,7	94,7	0,6	-0,524	0,605	n.s.
	12	92,1	4,6	92,8	82,5	99,3	91,4	4,4	91	83,9	100,6	-0,7	0,412	0,684	n.s.
	13	87,5	4	87,1	81,7	93	89,6	4,2	88,9	82,6	98,4	2,1	-1,385	0,177	n.s.
	14	90	4,5	90,4	80,9	95,1	93,2	6,2	93	81,8	104,4	3,2	-1,655	0,109	n.s.
	15	94	4,9	93	86,9	106,3	94,9	6,3	96,4	84,3	105,3	0,9	-0,436	0,666	n.s.
	16	94,8	4,9	94,4	87,2	108,3	97,5	6,6	96,6	89	109,7	2,7	-1,268	0,215	n.s.
	21	89,1	4,5	91,2	80,4	97,2	89,9	3	89,4	85,2	98,3	0,8	-0,591	0,559	n.s.
	22	95,7	4,7	96,2	86,9	103,3	92	3,3	91,5	86,8	98,6	-3,7	2,525	0,018	*
	23	89,4	5,1	90,9	78,6	96	90,2	4,1	89,6	84,2	96,9	0,8	-0,509	0,615	n.s.
	24	91,9	5,2	92,4	83,2	101,8	90,8	7,4	92	76,9	101,8	-1,1	0,456	0,652	n.s.
	25	93,4	6,6	92,6	83,8	106,6	93,9	4,8	94	85,8	101,3	0,5	-0,231	0,819	n.s.
	26	95	5,9	94,3	88	108,2	98,9	7,6	103	86,7	107,5	3,9	-1,597	0,121	n.s.
	31	92,3	4,2	93,9	85	97,9	89,5	4,8	88,2	82,6	99,7	-2,8	1,739	0,093	n.s.
	32	94,3	3,5	94,7	87,5	99,5	90,8	6,4	92,3	78,9	100,5	-3,5	1,865 ^a	0,076	n.s.
	33	89,7	4,4	90,9	83,7	96	88,5	5,1	88,1	79	94,8	-1,2	0,69	0,496	n.s.
	34	89,1	3,2	90	81,7	94,3	87,6	4,5	86,6	80,7	96,1	-1,5	1,058	0,299	n.s.
	35	81	4,5	80,1	74,6	92	78,7	4,2	77,5	71,1	86,9	-2,3	1,451	0,158	n.s.
	36	74,4	5,1	75,4	63,5	81,9	72,4	4,7	72,8	62,9	81,5	-2	1,074	0,292	n.s.
	41	88,3	4,2	87,2	78,5	94,8	90,2	3,9	90,9	79,8	96,6	1,9	-1,338	0,192	n.s.
	42	90,8	5	89,4	82,9	99,5	91,5	3,4	91,1	84,6	99	0,7	-0,447	0,659	n.s.
43	88,6	5,8	89	79,8	99,2	89,5	3,4	90,2	84,7	96,9	0,9	-0,512 ^a	0,613	n.s.	
44	88,9	7,1	87,6	81,1	110	87,9	3,3	87,5	83	94,8	-1	0,484	0,632	n.s.	
45	80,6	3	79,5	75,9	86,4	80,1	3,5	79,9	73	87,3	-0,5	0,411	0,684	n.s.	
46	72,7	4,9	71,3	66,3	84,3	72,8	4,9	73	63	82,4	0,1	-0,019	0,985	n.s.	
T2	11	88,8	2,4	89,2	84,4	92,4	89,6	3	89,9	83,9	93,9	0,8	-0,863	0,395	n.s.
	12	92,6	4,8	92,6	82,9	100,6	93,4	3,5	93,2	88,3	103,2	0,8	-0,493	0,626	n.s.
	13	87,4	4,8	87,4	80,7	95,3	89,9	4,6	89,4	83,3	100,1	2,5	-1,477	0,151	n.s.
	14	90,8	6,1	92,1	79,4	101,7	94	5,1	92,6	86,9	104,7	3,2	-1,515	0,141	n.s.
	15	93,6	5,6	94,9	83,7	104	97,4	6,9	98,4	81,8	109,7	3,8	-1,672	0,106	n.s.
	16	91,6	5,6	90,7	82,8	102,2	95,4	7,2	95,1	83,8	108,7	3,8	-1,577	0,126	n.s.
	21	90,1	5,1	90,9	81,6	96	90,7	1,9	90,7	87,3	94,4	0,6	-0,430 ^a	0,673	n.s.
	22	93	5,1	95,8	83	98,7	93,1	3	93,8	86,5	96,9	0,1	-0,056 ^a	0,956	n.s.
	23	86	5,1	86,8	78,5	94,4	88,7	4,6	88	81,7	99	2,7	-1,505	0,144	n.s.
	24	89,5	5,1	90	80,7	97	93,9	6,2	93,7	83	107,5	4,4	-2,157	0,04	*
	25	94	6,8	94,1	84,3	107,2	97,8	6,1	96,6	85,6	106,7	3,8	-1,6	0,121	n.s.
	26	92,7	7,4	92,5	80,5	104,7	95,6	7,9	95,6	82,1	111,6	2,9	-1,043	0,306	n.s.
	31	90,5	3,5	90,1	84,4	96,3	91,4	3,7	90,5	84,8	98,7	0,9	-0,648	0,522	n.s.
	32	92	4	92,8	82,6	98,5	90,5	4,6	91,1	79,3	96,9	-1,5	0,941	0,355	n.s.

Zeit- punkt	Zahn	Angulationswert der Auswertung der Orthopantomogramme (°)											T-Test			
		Jungen					Mädchen									
		MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.	
	33	84,5	4,4	83,7	78	91,6	82,7	4,3	82,2	72,8	89,2	-1,8	1,116	0,274	n.s.	
	34	86,3	3,4	87	81	92,3	85	5,8	85,9	71,3	92,3	-1,3	0,724	0,475	n.s.	
	35	83,1	5,9	81,5	73,9	98	79,2	5,4	79,2	63,8	85,7	-3,9	1,861	0,073	n.s.	
	36	78,9	4,5	78,8	68,3	84,7	74,9	4,4	75	67,2	82,4	-4	2,458	0,02	*	
	41	89,5	4,4	89,7	82,2	97,4	90,3	3,7	89,8	85	96,4	0,8	-0,516	0,61	n.s.	
	42	92,6	4,6	93,1	84,9	97,8	90,9	3,8	91,3	85,9	100,7	-1,7	1,128	0,269	n.s.	
	43	85,9	3,5	87,2	79,1	90,1	85,2	5,4	84,5	75,5	93,5	-0,7	0,403	0,69	n.s.	
	44	87,5	4,7	87,7	82,2	98,3	85,4	4,7	86,5	73,8	92,1	-2,1	1,195	0,242	n.s.	
	45	82,9	3,7	81,7	77,2	90,2	80,2	3,3	81	73,5	86,3	-2,7	2,116	0,043	*	
	46	78,7	5,6	78,6	66,6	91,2	74,2	5,6	74,3	64	81,9	-4,5	2,184	0,037	*	

^a, nach Levene-Test Varianzenungleich-
heit

Anhang 8: Auswertung der Orthopantomogramme; Unterschiede der Angulationswerte (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2; T-Test für verbundene Stichproben; zweiseitiges P; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

Zahn	Angulationswerte (°) Zeitpunkt T1					Angulationswerte (°) Zeitpunkt T2					T-Test			
	MW	SD	Me-dian	Min	Max	MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
11	87,3	3,4	88	76,6	94,7	89,2	2,7	89,5	83,9	93,9	1,9	-3,444	0,002	**
12	91,7	4,5	91,9	82,5	100,6	93	4,2	92,9	82,9	103,2	1,3	-1,295	0,206	n.s.
13	88,5	4,2	88,6	81,7	98,4	88,7	4,8	88,6	80,7	100,1	0,2	-0,151	0,881	n.s.
14	91,6	5,6	92	80,9	104,4	92,4	5,8	92,4	79,4	104,7	0,8	-0,682	0,5	n.s.
15	94,5	5,6	94,2	84,3	106,3	95,5	6,5	96,5	81,8	109,7	1	-0,906	0,372	n.s.
16	96,2	5,9	94,5	87,2	109,7	93,5	6,6	92,3	82,8	108,7	-2,7	2,281	0,03	*
21	89,5	3,8	89,9	80,4	98,3	90,4	3,8	90,8	81,6	96	0,9	-1,319	0,198	n.s.
22	93,8	4,4	93,8	86,8	103,3	93	4,1	93,9	83	98,7	-0,8	0,94	0,355	n.s.
23	89,8	4,6	90,4	78,6	96,9	87,4	5	87,2	78,5	99	-2,4	2,46	0,02	*
24	91,3	6,3	92,4	76,9	101,8	91,7	6	91,9	80,7	107,5	0,4	-0,293	0,771	n.s.
25	93,6	5,7	93,2	83,8	106,6	95,9	6,7	95,3	84,3	107,2	2,3	-1,818	0,079	n.s.
26	97	7	96,9	86,7	108,2	94,2	7,7	93,9	80,5	111,6	-2,8	2,337	0,027	*
31	90,9	4,7	91,2	82,6	99,7	91	3,6	90,4	84,4	98,7	0,1	-0,059	0,954	n.s.
32	92,5	5,4	93,3	78,9	100,5	91,2	4,3	91,9	79,3	98,5	-1,3	1,232	0,228	n.s.
33	89,1	4,7	90	79	96	83,6	4,4	83	72,8	91,6	-5,5	5,81	<0,001	***
34	88,4	3,9	89,4	80,7	96,1	85,6	4,7	86,5	71,3	92,3	-2,8	3,103	0,004	**
35	79,9	4,4	79	71,1	92	81,1	5,9	81,2	63,8	98	1,2	-1,514	0,141	n.s.
36	73,4	4,9	73,8	62,9	81,9	76,9	4,8	77,1	67,2	84,7	3,5	-3,56	0,001	**
41	89,2	4,1	89,7	78,5	96,6	89,9	4	89,8	82,2	97,4	0,7	-0,876	0,388	n.s.
42	91,1	4,2	90,4	82,9	99,5	91,7	4,3	91,8	84,9	100,7	0,6	-0,624	0,537	n.s.
43	89	4,7	89,6	79,8	99,2	85,5	4,5	86,1	75,5	93,5	-3,5	3,337	0,002	**
44	88,4	5,5	87,6	81,1	110	86,5	4,7	86,9	73,8	98,3	-1,9	1,68	0,104	n.s.
45	80,3	3,2	79,6	73	87,3	81,6	3,7	81,4	73,5	90,2	1,3	-1,724	0,095	n.s.
46	72,8	4,8	71,9	63	84,3	76,5	6	77,2	64	91,2	3,7	-2,663	0,013	*

Anhang 9: Auswertung der Orthopantomogramme; Geschlechtsspezifische Unterschiede der Veränderungen der Angulationswerte (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 und pro Jahr; T-Test für unabhängige Stichproben; nach Levene-Test auf Varianzgleichheit; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

	Zahn	Jungen					Mädchen					T-Test		
		MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	T	P	Sign.
Zeit- raum T1 bis T2	11	1,8	2,9	2,3	-4,4	7,8	2	3,2	1,6	-4,5	7,9	-0,185	0,854	n.s.
	12	0,5	5,9	0,4	-12,5	8,4	2	4,7	1,6	-9,8	10,4	-0,74	0,465	n.s.
	13	-0,1	5,9	-1,4	-7,2	12,7	0,4	6,3	1,1	-10,3	15,6	-0,209	0,836	n.s.
	14	0,9	6,4	0,4	-6,2	15,6	0,7	6,9	2,7	-13,5	10,2	0,057	0,955	n.s.
	15	-0,4	5,8	0,6	-8,2	10,8	2,5	6,7	2,2	-11,2	14,1	-1,286	0,209	n.s.
	16	-3,2	5,9	-5,9	-9,1	12,2	-2,2	7	-0,7	-14,6	9,8	-0,43	0,67	n.s.
	21	1	4,7	1,1	-6,6	9,8	0,8	2,8	1	-3,9	5	0,156	0,877	n.s.
	22	-2,8	5,7	-1,7	-14,4	5	1,1	3	1,3	-3,6	7,6	-2,306a	0,031	*
	23	-3,3	5,3	-3	-13	6,6	-1,5	5,6	-1,1	-13	6,6	-0,912	0,369	n.s.
	24	-2,4	4,9	-2,9	-11	5,4	3,1	7,2	5,4	-9,2	11,7	-2,456	0,021	*
	25	0,6	8,2	1,1	-16,4	16,5	3,9	4,9	4,5	-4,2	10,9	-1,334	0,193	n.s.
	26	-2,3	6,6	-1,4	-16	8,6	-3,3	6,6	-1,6	-21,9	6,7	0,443	0,661	n.s.
	31	-1,8	3,6	-1,5	-8,1	5,1	1,9	6	2,1	-9,2	15,2	-2,083	0,046	*
	32	-2,3	4,1	-2,2	-10,5	5,9	-0,3	6,9	-0,5	-12,9	11,5	-0,981	0,335	n.s.
	33	-5,2	5,3	-5,7	-14,3	3,8	-5,8	5,2	-6,7	-13,9	6,5	0,296	0,769	n.s.
	34	-2,9	3,5	-3,9	-8,7	6,1	-2,6	6	-1,8	-18,9	7,3	-0,141	0,889	n.s.
	35	2	4,1	1,9	-5,3	10,8	0,5	5	0,3	-11,1	7,9	0,937	0,357	n.s.
	36	4,5	2,6	4,8	0,4	8,9	2,4	7,1	0,2	-5,5	15,7	1,054a	0,306	n.s.
	41	1,3	4,1	2,8	-8,8	5,6	0,1	4,2	-0,5	-5,6	8,4	0,802	0,429	n.s.
	42	1,8	5,5	2,9	-9	8,9	-0,6	4,8	-2	-10,5	10,1	1,3	0,204	n.s.
	43	-2,7	5,5	-3,9	-9,1	7,5	-4,3	6,1	-3,2	-20,9	2,5	0,736	0,468	n.s.
	44	-1,4	6,8	-0,4	-22	9	-2,5	5,9	-2	-21	4,6	0,462	0,648	n.s.
	45	2,4	2,6	2,2	-2,4	7,7	0,1	4,8	0,3	-9,7	6,2	1,574	0,13	n.s.
	46	6	6,5	6,9	-10,5	15	1,5	8,2	2,5	-18,4	13,1	1,671	0,106	n.s.
Zeit- raum ein Jahr	11	0,5	1,2	0,7	-2,9	2,3	0,8	1,3	0,5	-1,8	3,4	-0,688	0,497	n.s.
	12	0,3	2,1	0,1	-3,7	4,7	0,6	1,3	0,5	-2,1	2,8	-0,556	0,582	n.s.
	13	0	2,8	-0,4	-4,8	5,9	-0,3	2,8	0,3	-8,6	4	0,273	0,787	n.s.
	14	0,2	2,6	0,1	-4,1	6,3	-0,2	4	0,8	-11,3	4,1	0,329	0,745	n.s.
	15	-0,3	2,3	0,3	-4,1	4,8	0,6	3,8	1	-9,4	6,2	-0,805	0,428	n.s.
	16	-1,3	2,1	-1,9	-3,9	2,9	-1,1	3,3	-0,4	-10,9	3	-0,253	0,802	n.s.
	21	0,4	2	0,5	-2,2	5,6	0,1	1	0,4	-1,6	1,2	0,67	0,508	n.s.
	22	-0,9	2,1	-0,5	-4,3	3,3	0,3	1,3	0,4	-3	2,3	-1,871	0,072	n.s.
	23	-1,4	2,3	-1,1	-7,1	1,7	-0,8	3,4	-0,2	-10,9	4,5	-0,61	0,547	n.s.
	24	-1	2,4	-1,3	-7,4	2,6	0,7	3,5	1,8	-7,7	5,4	-1,572	0,127	n.s.
	25	0,1	3,1	0,4	-6,4	5,1	1,4	2,6	1,1	-3,4	5,9	-1,253	0,22	n.s.
	26	-0,9	2,5	-0,5	-5,6	2,4	-1,9	4,8	-1,2	-18,3	2	0,744	0,463	n.s.
	31	-0,5	1,2	-0,5	-2,3	2,2	1,3	3,6	0,7	-2,4	12,7	-1,93	0,064	n.s.

Zahn	Jungen					Mädchen					T-Test		
	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	T	P	Sign.
32	-0,8	1,5	-0,8	-3,1	2,5	0,6	3,6	-0,2	-4,1	9,6	-1,291	0,207	n.s.
33	-1,7	1,6	-1,7	-4,3	1,2	-1,8	2,5	-2,1	-6,1	5,4	0,15	0,882	n.s.
34	-0,9	1,1	-1,2	-2,7	2	-0,6	2,6	-0,8	-5,7	6,1	-0,451	0,655	n.s.
35	0,7	1,5	0,9	-1,9	3,1	0,3	1,8	0,1	-3,4	4,1	0,712	0,482	n.s.
36	1,6	1	1,5	0,2	3,9	1,2	2,8	0,1	-1,7	7,4	0,439a	0,666	n.s.
41	0,3	1,5	1,1	-3,8	1,6	-0,1	1,2	-0,2	-1,7	2,2	0,774	0,445	n.s.
42	0,6	2,2	0,8	-3,9	4,1	-0,4	1,5	-0,7	-3,2	2,7	1,444	0,16	n.s.
43	-0,9	2	-1,3	-3,4	3,5	-1,5	1,9	-1,5	-6,3	0,6	0,82	0,419	n.s.
44	-0,4	2	-0,2	-6,1	2,6	-0,8	2	-0,5	-6,4	2,8	0,525	0,604	n.s.
45	0,8	1,2	0,7	-1,3	3,6	0,1	1,7	0,1	-3	3	1,338	0,192	n.s.
46	2,3	3,1	2,1	-3,6	10	1,1	3,7	0,8	-5,6	8,1	0,954	0,348	n.s.

Anhang 10: 3D- Modellanalyse; Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Angulationswerte (°) zum Zeitpunkt T1; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

	Zahn	Jungen					Mädchen					T-Test			
		MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
Angu-lation (°)	11	3,1	3,2	2,8	-0,5	8,2	2,6	3,5	3,1	-3,3	8,2	-0,5	0,399	0,693	n.s.
	12	10,7	4,6	11,4	3,5	19,8	6,8	4,5	5,9	1,2	13,9	-3,9	2,393	0,024	*
	13	13,5	10,8	10,7	-7	36,4	12,2	6,8	9,9	3,3	24,7	-1,3	0,384	0,704	n.s.
	14	7,2	5,5	8	-1,8	15,9	6,1	7,9	6,1	-6	20,5	-1,1	0,455	0,653	n.s.
	15	5,4	4,7	6,5	-3,1	13,5	6,7	6,1	5,9	-5,5	15,7	1,3	-0,687	0,497	n.s.
	16	-0,1	4,7	-0,9	-8,4	9,9	3,9	4,6	2,5	-1,9	13,1	4	-2,336	0,027	*
	21	2,4	4,9	3,1	-7,7	9,3	2,2	2,6	2,6	-2,2	6,2	-0,2	0,111	0,912	n.s.
	22	9,8	6,6	10,9	-0,5	20,6	8,4	6,5	7,7	1	27,8	-1,4	0,578	0,568	n.s.
	23	12,1	6,9	12,3	3	23,4	9,5	7,7	7	-0,4	25,2	-2,6	0,963	0,344	n.s.
	24	6,3	5,1	7	-3,9	15,7	6,8	4,8	5,6	-1,7	16,3	0,5	-0,286	0,777	n.s.
	25	2,9	4,8	2,4	-5,1	11,3	6,3	4,3	4,9	0,2	12,3	3,4	-2,002	0,055	n.s.
	26	1,8	8,7	0,6	-7,9	31	0,8	6,8	-1,3	-9,9	13,6	-1	0,318	0,753	n.s.
	31	-1,2	2,7	-0,5	-7,6	2,9	-0,7	3,1	-0,8	-5,7	5,8	0,5	-0,418	0,679	n.s.
	32	-3,3	4,2	-2,7	-13,2	2,3	-2,8	5	-2,7	-14,8	3,6	0,5	-0,309	0,76	n.s.
	33	-0,7	6,5	-0,4	-10,4	11,6	-0,2	3,8	0	-9,7	6	0,5	-0,271	0,788	n.s.
	34	0,5	9	-2,2	-9	25,5	-0,9	5,6	-0,2	-10	8,3	-1,4	0,52	0,607	n.s.
	35	5	5,8	4	-4,9	13,4	6,3	6,8	5,3	-11,6	19,2	1,3	-0,538	0,595	n.s.
	36	19,6	10,5	17,1	-1,3	37	15,6	9,7	15,4	-5,8	32,5	-4	1,089	0,285	n.s.
	41	-0,6	2,7	-0,7	-4,3	4,2	-1	2,9	-2,1	-5	5,4	-0,4	0,407	0,687	n.s.
	42	-1,8	3	-1,6	-6,4	4,5	-1,9	3,8	-2,5	-10,8	4,1	-0,1	0,107	0,916	n.s.
	43	0,5	7,9	-0,5	-17	10,8	-1	7,4	-0,4	-19,6	10,3	-1,5	0,539	0,594	n.s.
	44	1,5	6,6	0,6	-9,9	10,3	-1,4	4,2	-1,6	-9,2	6,6	-2,9	1,460a	0,158	n.s.
	45	7,1	7	6,1	-3,7	21,2	5,4	4,8	5,4	-4,7	15,5	-1,7	0,801	0,43	n.s.
	46	14,9	9,6	17,6	-4,5	29	10	7,1	9	-4,9	22	-4,9	1,576	0,126	n.s.

Anhang 11: 3D- Modellanalyse; Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Angulationswerte (°) zum Zeitpunkt T2; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

	Zahn	Jungen					Mädchen					T-Test			
		MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
Angu-lation (°)	11	3,6	2	3,4	0,7	7,6	2,8	2,8	2,9	-2,8	7,4	-0,8	0,869	0,392	n.s.
	12	10,5	4,1	9,9	4,8	20,1	8,7	3,2	8,9	3,5	14	-1,8	1,371	0,181	n.s.
	13	6,9	5,3	6,2	-3,5	13,9	7,3	5,8	7,6	-9,5	13,6	0,4	-0,201	0,842	n.s.
	14	3,9	5,1	3,9	-3,9	12,9	3,9	4,1	4	-1,9	15,3	0	-0,012	0,991	n.s.
	15	4,9	4,2	4,7	-5,2	10,8	5,1	5,6	5,8	-2,2	15,4	0,2	-0,152	0,88	n.s.
	16	-1,7	6,8	-3	-15	11,3	2,8	7,2	-0,9	-7,6	16,9	4,5	-1,789	0,084	n.s.
	21	3,5	3,2	2,2	-0,6	8,8	2,3	2,3	2,3	-0,5	6	-1,2	1,209	0,237	n.s.
	22	8,4	2,9	8,6	3	12,7	8,4	3,2	8,3	1	15,9	0	0,042	0,967	n.s.
	23	10,2	5	9,8	3	19	7,4	3,6	8,3	1,5	13,5	-2,8	1,764	0,089	n.s.
	24	4,4	4,6	4,7	-4,4	12	2,4	4,7	3,1	-6	9,6	-2	1,175	0,25	n.s.
	25	3,6	4,4	3,4	-4,6	10,7	2,3	3	1,6	-4	7,3	-1,3	0,941	0,355	n.s.
	26	2,8	6,2	1,7	-7,3	15,4	2,4	5,8	3,4	-6,7	12,9	-0,4	0,186	0,854	n.s.
	31	-0,3	3,2	-0,8	-5,6	5,7	-0,3	3,4	0,2	-8,2	6,1	0	-0,039	0,97	n.s.
	32	-0,5	3,9	0,2	-11,3	5,3	1,3	3,2	1,2	-3,6	7	1,8	-1,396	0,174	n.s.
	33	3,8	4,6	3,9	-3,5	12,5	6,1	2,8	6,3	0,4	12	2,3	-1,678a	0,107	n.s.
	34	3,9	5,5	3,5	-4,6	15,5	3,3	4,9	3,9	-6,1	14,3	-0,6	0,344	0,734	n.s.
	35	5,9	7,6	5,4	-13	17,5	8	3,3	9,2	2,4	13	2,1	-1,018	0,317	n.s.
	36	16,8	8,4	15	7	40,9	15	11,1	16,4	-7,1	30,1	-1,8	0,486	0,631	n.s.
	41	0,4	3,4	0,2	-6,6	5,1	-0,2	2,8	0,1	-5,5	5	-0,6	0,491	0,627	n.s.
	42	-0,1	4	1,1	-7	8,2	0,2	4	0,8	-7,3	5,3	0,3	-0,191	0,85	n.s.
	43	3,6	5	2,7	-3,6	11,2	4,8	5,3	4,4	-8,3	13,7	1,2	-0,613	0,545	n.s.
	44	2,4	4,8	2,7	-6,3	10,8	0,3	3,6	-0,6	-4,8	8,8	-2,1	1,358	0,185	n.s.
	45	4,9	3,7	5,1	-3,5	9,9	5,8	4,1	5	0,2	12,4	0,9	-0,679	0,503	n.s.
	46	8,8	9,4	10,4	-7,5	29,8	6,9	8,9	8,5	-5,6	24,1	-1,9	0,572	0,572	n.s.

Anhang 12: 3D- Modellanalyse; Vergleich der Angulationswerte (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

Zahn	Angulation (°) zum Zeitpunkt T1					Angulation (°) zum Zeitpunkt T2					T-Test			
	MW	SD	Me- dian	Min.	Max	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
11	2,9	3,3	3	-3,3	8,2	3,2	2,4	3,3	-2,8	7,6	0,3	-0,578	0,568	n.s.
12	8,7	4,9	8,6	1,2	19,8	9,6	3,7	9,3	3,5	20,1	0,9	-0,906	0,372	n.s.
13	12,9	8,9	10,3	-7	36,4	7,1	5,5	7,3	-9,5	13,9	-5,8	2,987	0,006	**
14	6,6	6,7	7,2	-6	20,5	3,9	4,5	4	-3,9	15,3	-2,7	2,287	0,03	*
15	6,1	5,4	6,2	-5,5	15,7	5	4,8	4,9	-5,2	15,4	-1,1	1,247	0,222	n.s.
16	1,9	5	1,8	-8,4	13,1	0,6	7,3	-1,1	-15	16,9	-1,3	1,087	0,286	n.s.
21	2,3	3,9	3	-7,7	9,3	2,9	2,8	2,3	-0,6	8,8	0,6	-0,76	0,454	n.s.
22	9,1	6,5	8,8	-0,5	27,8	8,4	3	8,6	1	15,9	-0,7	0,546	0,589	n.s.
23	10,8	7,3	8,7	-0,4	25,2	8,8	4,5	8,9	1,5	19	-2	1,556	0,131	n.s.
24	6,6	4,9	6	-3,9	16,3	3,4	4,7	3,7	-6	12	-3,2	3,144	0,004	**
25	4,6	4,8	4	-5,1	12,3	2,9	3,8	2,4	-4,6	10,7	-1,7	1,557	0,13	n.s.
26	1,3	7,7	0,4	-9,9	31	2,6	5,9	1,9	-7,3	15,4	1,3	-0,827	0,415	n.s.
31	-0,9	2,9	-0,6	-7,6	5,8	-0,3	3,3	-0,2	-8,2	6,1	0,6	-0,698	0,491	n.s.
32	-3,1	4,5	-2,7	-14,8	3,6	0,4	3,7	0,7	-11,3	7	3,5	-4,207	<0,001	***
33	-0,4	5,2	-0,2	-10,4	11,6	5	3,9	5,7	-3,5	12,5	5,4	-4,909	<0,001	***
34	-0,2	7,4	-1,1	-10	25,5	3,6	5,1	3,7	-6,1	15,5	3,8	-3,192	0,003	**
35	5,6	6,3	5,1	-11,6	19,2	7	5,8	7,3	-13	17,5	1,4	-1,116	0,273	n.s.
36	17,6	10,1	17	-5,8	37	15,9	9,7	15,7	-7,1	40,9	-1,7	0,879	0,387	n.s.
41	-0,8	2,7	-1	-5	5,4	0,1	3,1	0,2	-6,6	5,1	0,9	-1,317	0,198	n.s.
42	-1,9	3,4	-2,2	-10,8	4,5	0,1	3,9	1	-7,3	8,2	2	-2,399	0,023	*
43	-0,3	7,5	-0,4	-19,6	10,8	4,2	5,1	4,1	-8,3	13,7	4,5	-3,85	<0,001	***
44	0	5,7	-1,3	-9,9	10,3	1,3	4,3	1,2	-6,3	10,8	1,3	-1,299	0,204	n.s.
45	6,2	5,9	5,5	-4,7	21,2	5,4	3,8	5,1	-3,5	12,4	-0,8	0,756	0,456	n.s.
46	12,5	8,6	11	-4,9	29	7,9	9,1	8,9	-7,5	29,8	-4,6	2,069	0,048	*

Anhang 13: 3D-Modellanalyse, Angulationsänderung (°) innerhalb des Zeitraumes T1 bis T2 sowie die jährliche Änderung des Wertes, angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum.

Zahn	Angulationsänderung (°) Zeitraum T1 bis T2					Jährliche Angulationsänderung (°)				
	MW	SD	Median	Min	Max	MW	SD	Median	Min	Max
11	0,3	3,1	-0,4	-5,5	8,0	0,2	1,3	-0,1	-1,8	3,5
12	0,9	5,4	0,8	-10,3	8,8	0,4	2,4	0,2	-5,1	7,1
13	-5,8	10,6	-4,2	-30,2	9,7	-2,1	4,5	-1,5	-14,3	6,5
14	-2,7	6,5	-2,9	-20,2	7,9	-0,9	2,3	-1,1	-6,1	3,3
15	-1,1	4,7	-1,4	-10,7	9,3	-0,3	1,9	-0,6	-3,8	3,7
16	-1,3	6,7	-2,2	-14,1	13,4	0,0	3,4	-0,7	-4,2	11,2
21	0,6	4,4	0,2	-7,4	15,5	0,5	2,0	0,1	-2,3	7,2
22	-0,7	6,9	-0,8	-21,1	9,7	-0,4	3,4	-0,3	-12,9	6,7
23	-2,0	7,2	0,3	-17,0	10,5	-0,5	2,9	0,1	-7,6	7,5
24	-3,2	5,6	-3,4	-15,5	7,0	-0,9	2,3	-1,0	-5,3	5,9
25	-1,7	5,9	-3,4	-10,3	8,6	-0,6	2,5	-0,9	-6,9	3,7
26	1,3	8,8	1,4	-21,4	15,6	0,8	3,2	0,4	-5,1	7,6
31	0,6	5,0	0,0	-14,0	9,9	0,3	2,1	0,0	-4,5	7,5
32	3,4	4,5	3,8	-5,5	13,4	1,3	1,5	1,3	-1,8	4,0
33	5,4	6,0	5,7	-10,9	17,1	1,8	2,4	1,8	-5,0	7,1
34	3,8	6,5	2,9	-14,3	16,7	1,2	2,4	1,0	-6,6	6,0
35	1,3	6,5	2,8	-14,7	16,1	0,6	2,3	1,1	-3,9	5,9
36	-1,7	10,7	-2,5	-22,6	28,0	-0,9	4,1	-0,7	-9,5	8,5
41	0,9	3,8	1,2	-8,3	7,5	0,3	1,7	0,3	-4,0	3,1
42	1,9	4,4	2,3	-10,8	8,5	0,8	1,7	0,7	-3,7	4,0
43	4,4	6,3	3,4	-8,7	22,4	1,6	2,5	1,1	-4,0	8,1
44	1,3	5,3	-0,4	-6,6	18,0	0,4	1,9	-0,1	-3,0	5,5
45	-0,9	6,3	-0,7	-13,1	15,3	-0,2	2,4	-0,3	-6,0	5,9
46	-4,6	12,2	-5,0	-28,6	34,3	-1,5	5,3	-1,9	-12,5	19,1

Anhang 14: 3D- Modellanalyse, Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Inklinationen (°) zum Zeitpunkt T1; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

	Zahn	Jungen					Mädchen					T-Test			
		MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
Inkli-nation (°)	11	5,6	5,3	6,3	-4,6	13,7	8,7	6,8	9	-1,9	20,1	3,1	-1,372	0,181	n.s.
	12	4,9	6,8	5,4	-8,6	14,1	4,6	7	4,9	-6,6	15,5	-0,3	0,103	0,918	n.s.
	13	-6,9	6,2	-6,7	-17,2	4,4	-7,5	6,3	-5,8	-17,6	2,8	-0,6	0,267	0,792	n.s.
	14	-13,3	2,8	-13,6	-17,7	-8,6	-11,9	9,5	-14,1	-22,2	11,3	1,4	-0,513a	0,615	n.s.
	15	-14,7	4,3	-13,6	-22,6	-9,2	-13	7,6	-12,5	-25,5	-1	1,7	-0,725a	0,476	n.s.
	16	-19,2	7,7	-17,9	-41,8	-8,8	-15,1	5,2	-16,9	-23,2	-5,7	4,1	-1,724	0,096	n.s.
	21	6,6	5,8	7,5	-6,8	13,4	8	6,5	9	-0,7	19,3	1,4	-0,617	0,542	n.s.
	22	4,6	6,1	3,1	-3,7	16,1	3,9	9,7	2,7	-18,8	17,8	-0,7	0,244	0,809	n.s.
	23	-6	8,1	-6,3	-18,6	8,3	-6,2	7,5	-7,9	-18,9	10	-0,2	0,094	0,926	n.s.
	24	-14,1	5,2	-14	-26,1	-6,2	-12,1	8,4	-13,2	-25,1	4,8	2	-0,769	0,448	n.s.
	25	-16,3	7,6	-15,1	-36,1	-6,6	-13,6	10,7	-11,7	-35,5	6,7	2,7	-0,804	0,428	n.s.
	26	-16,4	3,5	-17,3	-20,6	-7,2	-15,4	7	-15,5	-30,9	-2,4	1	-0,473	0,64	n.s.
	31	-4,8	6,9	-5,8	-15,9	9,4	-2,2	6,8	-1,3	-12	13,4	2,6	-1,034	0,31	n.s.
	32	-7,1	6,7	-7,8	-15,4	8,5	-5,4	6,4	-6,8	-16,6	6,2	1,7	-0,693	0,494	n.s.
	33	-15,8	6,1	-16	-26,2	-1,8	-13,6	6,7	-14	-22,2	2,6	2,2	-0,931	0,36	n.s.
	34	-25,4	4,9	-24,7	-34,7	-18,3	-21,1	4,6	-21,1	-27,5	-8,7	4,3	-2,47	0,02	*
	35	-30,9	9,5	-29,5	-52,9	-13,4	-27,7	6,6	-28,4	-43,5	-17,3	3,2	-1,072	0,293	n.s.
	36	-40,4	5,7	-41,2	-50,8	-31,6	-39,3	5	-40,4	-49,7	-31,4	1,1	-0,551	0,586	n.s.
	41	-5,7	6,2	-6,1	-17,4	3,3	-2,4	5,9	-2,9	-9,8	11,7	3,3	-1,478	0,151	n.s.
	42	-7,9	7,2	-10,3	-17,2	11,7	-5,5	5,2	-6,5	-14,4	3,7	2,4	-1,077	0,291	n.s.
	43	-16,8	8	-18	-27	2,5	-15,6	5,8	-16,8	-27,9	-6	1,2	-0,458	0,651	n.s.
	44	-22,5	7	-23,8	-30,5	-6,7	-21,9	5,3	-23,3	-30,3	-11,9	0,6	-0,265	0,793	n.s.
	45	-31,4	5,4	-32	-40,6	-22,3	-28,7	5	-29,6	-34,7	-19,6	2,7	-1,426	0,165	n.s.
	46	-41,3	4,1	-41,3	-47,9	-33,4	-36,9	4,6	-36,8	-45,3	-28,5	4,4	-2,769	0,01	*

Anhang 15: 3D- Modellanalyse, Students T-Test zur Überprüfung geschlechtsspezifischer Unterschiede der Inklinationenwerte (°) zum Zeitpunkt T2; vorab Test auf Varianzgleichheit ($p < 0,05$, a); angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

	Zahn	Jungen					Mädchen					T-Test			
		MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	MW	SD	Me-dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
Inkli-nation (°)	11	9,8	6,3	10,1	-1,7	18,7	7,5	4,7	8,5	-0,6	13,7	-2,3	1,14	0,264	n.s.
	12	6,9	7,4	6,9	-10,1	19,2	4,2	6,3	4,8	-5	14,4	-2,7	1,066	0,296	n.s.
	13	-7,2	6	-6,4	-19,7	2	-7,4	6,5	-6,9	-19,7	5,1	-0,2	0,105	0,917	n.s.
	14	-13	6,9	-12,8	-28,8	0,5	-10,8	6,3	-12,3	-24,1	3,2	2,2	-0,907	0,372	n.s.
	15	-13,7	4,1	-13,4	-22,4	-5,9	-12,7	6,6	-11,6	-28,2	-0,6	1	-0,49	0,628	n.s.
	16	-20,5	4,5	-21,1	-26,4	-13,7	-18,2	4,8	-17,2	-26,5	-9,5	2,3	-1,346	0,189	n.s.
	21	10,8	7	11,8	-2,2	20,8	7,6	5,3	8,4	-2,9	13,9	-3,2	1,436	0,162	n.s.
	22	6	6,6	6,6	-6,5	15,5	4,9	7,1	5,2	-10,9	15	-1,1	0,442	0,662	n.s.
	23	-6,6	7,2	-4,5	-19,7	0,9	-7,3	5,5	-7,1	-16,1	2,3	-0,7	0,312	0,757	n.s.
	24	-12,2	6,3	-10,8	-24,2	-1,5	-9,7	5,9	-11	-16,5	2,1	2,5	-1,132	0,267	n.s.
	25	-12,3	6,3	-12,3	-19,7	-1,6	-9,6	6,4	-10,9	-18,6	1,3	2,7	-1,156	0,258	n.s.
	26	-19,1	5,2	-18,9	-29,7	-12,2	-15,4	8,9	-14,6	-33,1	1,3	3,7	-1,391	0,175	n.s.
	31	3,3	5,5	5,3	-9,5	12,6	2,2	6,6	4,3	-9,4	10,2	-1,1	0,488	0,629	n.s.
	32	-0,7	5,4	0,1	-11,2	5,5	-1,7	5,1	-1,8	-10	5,2	-1	0,504	0,618	n.s.
	33	-16,5	6,5	-15,2	-30,2	-6,9	-14,2	5,7	-13,7	-26,4	-5,9	2,3	-1,027	0,313	n.s.
	34	-25,1	4,2	-24,2	-33,1	-18	-21,9	7,1	-22,4	-36,9	-9	3,2	-1,52	0,14	n.s.
	35	-28,3	5,2	-29,2	-36,5	-16,9	-26,3	6,9	-23,8	-35,8	-17,5	2	-0,904a	0,374	n.s.
	36	-40,6	5,3	-41,1	-50,4	-28,8	-41,4	6	-41,5	-51,9	-30,9	-0,8	0,376	0,71	n.s.
	41	3	5,1	4,1	-7,2	10,4	2	6,1	2,7	-8,6	9,3	-1	0,489	0,628	n.s.
	42	-1	6	-0,6	-12,5	9	-1,6	5,9	-2,4	-10,2	7,1	-0,6	0,267	0,792	n.s.
	43	-14,4	4,1	-15	-23,5	-6,6	-13,6	5,8	-13,2	-27,3	-3,3	0,8	-0,445	0,66	n.s.
	44	-24,4	4	-24,5	-30,9	-18,2	-21,7	6,2	-22	-33,6	-12,5	2,7	-1,381	0,178	n.s.
	45	-29,5	5	-28,1	-37,9	-23,6	-25,1	5,3	-27,2	-30,3	-9	4,4	-2,313	0,028	*
	46	-41,4	7,1	-43	-55,8	-30,1	-38,2	4,9	-38,2	-45,8	-30,2	3,2	-1,433	0,163	n.s.

Anhang 16: 3D- Modellanalyse, Vergleich der Inklination (°) zwischen den Zeitpunkten T1 und T2; angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum, Differenz der Mittelwerte, T-Wert, p-Wert und Signifikanzniveau.

Zahn	Inklination (°) zum Zeitpunkt T1					Inklination (°) zum Zeitpunkt T2					T-Test			
	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	MW	SD	Me- dian	Min.	Max.	Diff. MW	T	P	Sign.
11	7,1	6,2	7,5	-4,6	20,1	8,7	5,6	9	-1,7	18,7	1,6	-1,241	0,225	n.s.
12	4,8	6,8	5,2	-8,6	15,5	5,6	6,9	6,7	-10,1	19,2	0,8	-0,553	0,585	n.s.
13	-7,2	6,1	-6,2	-17,6	4,4	-7,3	6,2	-6,7	-19,7	5,1	-0,1	0,087	0,931	n.s.
14	-12,6	6,9	-13,7	-22,2	11,3	-11,9	6,6	-12,5	-28,8	3,2	0,7	-0,503	0,619	n.s.
15	-13,9	6,1	-13	-25,5	-1	-13,2	5,4	-12,7	-28,2	-0,6	0,7	-0,799	0,431	n.s.
16	-17,1	6,8	-17,2	-41,8	-5,7	-19,4	4,7	-18,5	-26,5	-9,5	-2,3	1,909	0,066	n.s.
21	7,3	6,1	7,6	-6,8	19,3	9,2	6,3	10,4	-2,9	20,8	1,9	-1,582	0,124	n.s.
22	4,2	7,9	2,9	-18,8	17,8	5,4	6,8	6,4	-10,9	15,5	1,2	-0,883	0,385	n.s.
23	-6,1	7,6	-7,3	-18,9	10	-6,9	6,3	-6,9	-19,7	2,3	-0,8	0,778	0,443	n.s.
24	-13,1	7	-13,9	-26,1	4,8	-11	6,1	-10,9	-24,2	2,1	2,1	-2,126	0,042	*
25	-14,9	9,2	-13,7	-36,1	6,7	-10,9	6,4	-11,6	-19,7	1,3	4	-3,028	0,005	**
26	-15,9	5,4	-16,5	-30,9	-2,4	-17,2	7,4	-16,5	-33,1	1,3	-1,3	1,008	0,322	n.s.
31	-3,5	6,9	-3,8	-15,9	13,4	2,7	6	4,8	-9,5	12,6	6,2	-5,387	<0,001	***
32	-6,2	6,5	-7	-16,6	8,5	-1,2	5,2	-1,3	-11,2	5,5	5	-4,943	<0,001	***
33	-14,7	6,4	-15,7	-26,2	2,6	-15,3	6,1	-14,2	-30,2	-5,9	-0,6	0,664	0,512	n.s.
34	-23,2	5,1	-22,6	-34,7	-8,7	-23,5	5,9	-23,7	-36,9	-9	-0,3	0,314	0,756	n.s.
35	-29,3	8,2	-29	-52,9	-13,4	-27,3	6,1	-29	-36,5	-16,9	2	-1,502	0,144	n.s.
36	-39,8	5,3	-40,7	-50,8	-31,4	-41	5,6	-41,2	-51,9	-28,8	-1,2	1,714	0,097	n.s.
41	-4	6,1	-4,8	-17,4	11,7	2,5	5,5	3,6	-8,6	10,4	6,5	-5,571	<0,001	***
42	-6,7	6,3	-6,9	-17,2	11,7	-1,3	5,9	-1,3	-12,5	9	5,4	-5,623	<0,001	***
43	-16,2	6,9	-17,5	-27,9	2,5	-14	4,9	-14	-27,3	-3,3	2,2	-2,322	0,027	*
44	-22,2	6,1	-23,5	-30,5	-6,7	-23,1	5,3	-23	-33,6	-12,5	-0,9	0,858	0,398	n.s.
45	-30,1	5,3	-30,6	-40,6	-19,6	-27,3	5,5	-27,5	-37,9	-9	2,8	-2,513	0,018	*
46	-39,1	4,9	-39,7	-47,9	-28,5	-39,8	6,2	-39	-55,8	-30,1	-0,7	0,7	0,49	n.s.

Anhang 17: 3D- Modellanalyse, Inklinationsänderung (°) über die Dauer des Zeitraumes T1 bis T2 sowie jährliche Änderung, angegeben sind Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum.

Zahn	Inklinationsänderung (°) Zeitraum T1 bis T2					Jährliche Inklinationsänderung (°)				
	MW	SD	Median	Min	Max	MW	SD	Median	Min	Max
11	1,5	6,8	0,9	-12,1	14,7	0,7	2,7	0,4	-3,7	6,8
12	0,8	8,1	0,1	-10,7	23,9	0,3	3,3	0,0	-6,1	11,0
13	-0,1	6,5	-0,9	-10,4	19,4	-0,1	2,6	-0,3	-5,3	6,5
14	0,7	7,3	0,2	-22,5	14,9	0,4	2,5	0,1	-6,8	5,2
15	0,7	4,7	0,0	-8,8	9,5	0,4	1,9	0,0	-2,7	5,1
16	-2,2	6,3	-2,7	-17,6	17,7	-0,6	2,8	-0,9	-5,9	9,9
21	1,9	6,4	0,7	-11,8	16,0	0,8	2,6	0,3	-2,6	8,9
22	1,2	7,4	0,5	-12,7	20,2	0,5	3,0	0,2	-7,3	6,9
23	-0,8	5,9	-1,3	-9,9	13,4	-0,3	2,4	-0,3	-4,2	7,5
24	2,1	5,5	1,1	-8,9	14,6	0,8	2,2	0,3	-5,9	3,8
25	4,0	7,2	3,0	-12,6	17,2	1,5	3,0	1,0	-4,0	10,4
26	-1,3	7,1	-1,9	-11,9	20,2	-0,5	2,7	-0,6	-6,0	6,3
31	6,2	6,3	5,4	-4,6	22,2	2,0	2,3	2,1	-3,9	6,2
32	5,0	5,6	4,7	-5,2	19,5	1,6	2,0	1,6	-3,1	6,1
33	-0,6	5,3	-0,4	-13,3	8,7	-0,3	2,1	-0,1	-4,9	5,8
34	-0,3	5,4	-0,3	-9,9	14,4	-0,4	2,2	-0,1	-7,0	3,8
35	2,0	7,4	0,1	-11,5	28,1	0,5	2,6	0,0	-5,0	8,3
36	-1,2	3,8	-0,9	-9,1	7,6	-0,4	1,5	-0,3	-3,6	3,3
41	6,5	6,4	6,7	-6,4	23,9	2,1	2,6	2,0	-5,4	6,6
42	5,4	5,3	5,2	-2,7	17,1	1,8	1,7	1,5	-1,2	5,2
43	2,3	5,3	2,2	-9,1	10,8	0,6	2,0	0,7	-3,9	5,0
44	-0,9	5,7	-1,4	-16,2	14,5	-0,6	1,9	-0,4	-4,5	3,9
45	2,7	6,0	3,9	-12,6	12,8	0,7	2,3	1,3	-5,4	3,9
46	-0,7	5,7	-0,7	-15,4	9,1	-0,4	2,0	-0,3	-5,1	2,6

Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich bei all jenen, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt, begleitet und motiviert haben.

Mein Dank gilt Frau Prof. Dr. med. dent. Andrea Wichelhaus für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas und die Möglichkeit, in ihrer Abteilung für Kieferorthopädie an der Ludwig-Maximilian-Universität München zu promovieren.

Ich möchte mich insbesondere bei Frau Dr. med. dent. Corinna Seidel für die tolle Betreuung bezüglich der klinischen Fragestellungen sowie die äußerst kompetente Hilfestellung hinsichtlich des wissenschaftlichen Arbeitens bedanken.

Ich bedanke mich bei Herrn PD Dr. rer. nat. Uwe Baumert für die überaus hilfreiche Unterstützung bezüglich der statistischen Auswertungen dieser Arbeit.

Nicht zuletzt bin ich meinem Partner Tobias, meiner Familie und dabei insbesondere meiner Mutter Hilde, die mich auf meinem Lebensweg unermüdlich unterstützt und begleitet hat, zu Dankbarkeit verbunden.

Eidesstattliche Versicherung

Ost, Franziska

(Name, Vorname)

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

**Der Einfluss der orthodontischen Therapie mit selbstligierenden
Brackets auf die Achsenposition der Zähne im Hinblick auf Inklinaton
und Angulation**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 08.10.2025

Franziska Ost

Ort, Datum

Unterschrift Doktorandin