

Retainerkomplika­tionen bei Patienten der
Angle-Klasse I unter Berücksichtigung der inzisal­en
Abstützung

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin der
Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von **Tobias Kleinert**
aus Böblingen

Gießen (2022)

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Medizinisches Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Kieferorthopädie

Gutachter: Prof. Dr. Sabine Ruf

Gutachter: PD Dr. Dr. Jan-Falco Wilbrand

Tag der Disputation: 09.09.2022

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Ziel der Arbeit.....	11
3. Material und Methode.....	12
3.1 Material.....	12
3.2 Methode.....	18
3.3 Statistische Auswertung.....	26
4. Ergebnisse.....	27
4.1 Ergebnisse Oberkiefer.....	27
4.1.1 Translatorische Bewegungen entlang der X-Achse.....	27
4.1.2 Rotatorische Bewegungen um die X-Achse.....	30
4.1.3 Translatorische Bewegungen entlang der Y-Achse.....	33
4.1.4 Rotatorische Bewegungen um die Y-Achse.....	36
4.1.5 Translatorische Bewegungen entlang der Z-Achse.....	39
4.1.6 Rotatorische Bewegungen um die Z-Achse.....	42
4.1.7 Mögliche prädisponierende Cofaktoren.....	45
4.1.8 Zusammenfassende Beurteilung der Oberkieferergebnisse.....	49
4.2 Ergebnisse Unterkiefer.....	51
4.2.1 Translatorische Bewegungen entlang der X-Achse.....	51
4.2.2 Rotatorische Bewegungen um die X-Achse.....	54
4.2.3 Translatorische Bewegungen entlang der Y-Achse.....	57
4.2.4 Rotatorische Bewegungen um die Y-Achse.....	60
4.2.5 Translatorische Bewegungen entlang der Z-Achse.....	63
4.2.6 Rotatorische Bewegungen um die Z-Achse.....	66
4.2.7 Mögliche prädisponierende Cofaktoren.....	69
4.2.8 Zusammenfassende Beurteilung der Unterkieferergebnisse.....	73
5. Diskussion.....	75
5.1 Material.....	75
5.2 Methodik.....	78
5.3 Ergebnisse.....	80
5.3.1 Bewegungen.....	80
5.3.2 Bewegungsmuster.....	84
5.3.3 Patientenspezifische und therapeutische Faktoren.....	86

5.3.4 Zusammenhang Retention und Bewegungen – Retainerdefekte.....	90
5.4 Limitationen – Ausblick.....	92
6. Zusammenfassung.....	94
7. Summary.....	97
8. Abkürzungsverzeichnis.....	100
9. Abbildungsverzeichnis.....	101
10. Tabellenverzeichnis.....	104
11. Literaturverzeichnis.....	105
12. Anhang.....	116

1. Einleitung

Die in der kieferorthopädischen Behandlung erzielten Ergebnisse sollten für viele Jahrzehnte stabil bleiben. Da Zähne immer die Tendenz haben, sich in Richtung ihrer Ausgangsposition zurück zu bewegen [SCHOPF 2008; KAHL-NIEKE 2009], sind kieferorthopädische Retentionsmaßnahmen notwendig. Um Rezidiven entgegen zu wirken gilt es, möglichst einfache und effektive Maßnahmen zur Sicherung des Behandlungsergebnisses zu ergreifen. Es gibt sowohl herausnehmbare, als auch festsitzende Retentionsgeräte. Als herausnehmbare Retentionsgeräte dienen Plattenapparaturen oder Schienen, welche in der Regel nachts durch den Patienten getragen werden. Festsitzende Retentionsgeräte bedürfen hingegen keiner aktiven Mitarbeit des Patienten. Hierzu dienen adhäsiv mit dem Zahn verbundene, an die erzielte Zahnposition angepasste Drähte. Diese Drähte werden im allgemeinen Sprachgebrauch als Retainer bezeichnet. Eine Fragebogenstudie unter Schweizer Kieferorthopäden bestätigt, dass festsitzende Retainer weit verbreitet, fast universell einsetzbar und bei richtiger Handhabung als lebenslange Retentionsmaßnahme sinnvoll sind [LAI et al. 2014; ARNOLD et al. 2014].

In der Literatur finden sich verschiedene Arten von festsitzenden Retainern. Unterschiede bei den Drähten gibt es im Querschnitt (rund oder eckig), im Durchmesser und der genauen Zusammensetzung der Legierung. Außerdem kommen geflochtene, verseilte oder glatte Drähte zum Einsatz. Zunehmend gibt es auch digitale Lösungen zur Herstellung von Retainern, bei denen aus intraoralen Scans in CAD/CAM-Verfahren Drahtverläufe entworfen und gefertigt werden. Neben der indirekten Herstellung von Retainern im Labor kann die Herstellung auch direkt am Behandlungsstuhl im Beisein des Patienten erfolgen. Zur Befestigung der Drähte werden vor allem Composite verwendet. Es gibt unterschiedliche Befestigungstechniken, vor allem die Befestigungsorte betreffend. Man unterscheidet Cuspidretainer, welche von Eckzahn zu Eckzahn reichen und an diesen befestigt sind, von Bicuspidretainern, welche auch noch die ersten Prämolaren mit einbeziehen. Bei Einzelzahnkleberretainern wird der Draht an allen einbezogenen Zähnen, in der Regel von Eckzahn bis Eckzahn, befestigt. Die Abbildungen 1.1 und 1.2 zeigen ein klinisches Beispiel für Einzelzahnkleberretainer im Ober- und Unterkiefer. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Tendenz zur Verwendung von Einzelzahnkleberretainern geht, sich aber hinsichtlich des verwendeten

1. Einleitung

Materials bis heute kein einheitlicher Goldstandard durchgesetzt hat [ZACHRISSON 1977; BEARN 1995; LAI et al. 2014; LITTLEWOOD 2017].



Abb. 1.1: Oberkiefer Einzelzahnkleberretainer in situ



Abb. 1.2: Unterkiefer Einzelzahnkleberretainer in situ

Auch bei Verwendung von festsitzenden Retainern können Komplikationen und Rezidive auftreten. Häufigste Defektursache ist das Versagen von Klebestellen [LUMSDEN et al. 1999]. Da Einzelzahnkleberretainer mehr Klebestellen als Cuspidretainer haben, sind auch Defekte an Klebestellen dort häufiger zu finden [SCHEIBE und RUF 2010]. Die Angaben

in der Literatur zu Komplikationsraten variieren stark. In Übersichtsarbeiten sind Werte zwischen 10,3% und 50% benannt [BEARN 1995; ILIADI et al. 2015].

ZACHRISSON [2007] erzielte defektfreie Überlebenszeiten mit Einzelzahnkleberretainern von Eckzahn bis Eckzahn im Oberkiefer (OK) von 78,5% und im Unterkiefer (UK) von 94,7% bei einer durchschnittlichen Nachbeobachtungszeit von 4,2 Jahren.

KOCHER et al. [2019] ermittelten Überlebensraten für Einzelzahnkleberretainer von Eckzahn bis Eckzahn im UK von 40,4% und für Einzelzahnkleberretainer im Bereich der vier Frontzähne des OK von 74,4%, bezogen auf einen 10-15-jährigen Untersuchungszeitraum.

Debondings traten am häufigsten in den ersten sechs Monaten nach dem Einsetzen auf [LIE SAM FOEK et al. 2008]. Auch BAKA et al. [2018] stellten die höchste Komplikationsrate im ersten Monat nach Befestigung fest.

Unabhängig von den technischen Komplikationen ist vor allem das stabile Behandlungsergebnis von großer Bedeutung. Festsitzende Retainer sind in der Rezidivprävention effektiver als herausnehmbare Retentionsgeräte [LITTLEWOOD et al. 2006]. Da bei herausnehmbaren Retentionsgeräten die aktive Mitarbeit des Patienten notwendig ist, können hier auf Grund von mangelnder Kooperation Defizite gegenüber Geräten vorliegen, die unabhängig von der Kooperation des Patienten wirken. OH et al. [2016] zeigten, dass die Stabilität der Frontzahnstellung durchschnittlich 17 Jahre nach kieferorthopädischer Behandlung durch Einzelzahnkleberretainer im UK höher war als ohne Retainer, aber keinen Einfluss auf die Stabilität der Frontzahnstellung im OK ausübte. In einer prospektiven Erhebung über 24 Monate zeigten Einzelzahnkleberretainer zwar eine höhere Komplikationsrate als Cuspidretainer, wiesen aber eine geringere Rezidivrate auf [STÖRMANN und EHMER 2002].

SCHÜTZ-FRANSSON et al. [2017] konnten bei 12-jähriger Nachbeobachtung keinen Unterschied bezüglich der Stabilität des Overjets, des Overbites oder der Frequenz an Debondings zwischen Cuspid- und Einzelzahnkleberretainern feststellen.

STEINNES et al. [2017] untersuchten die Rezidivneigung im Hinblick auf multiple okklusale Variablen mittels des PAR-Indexes sowie die Stabilität im Frontzahnbereich über einen Zeitraum von 8,5 Jahren nach Behandlung. Während der PAR-Index eine durchschnittliche Verschlechterung von 14% zeigte, unabhängig ob zum Nachbeobachtungszeitpunkt noch Retainer in situ waren oder nicht, zeigte sich für die

Stabilität im Unterkieferfrontzahnbereich ein hoch signifikanter Unterschied zwischen Patienten mit und ohne Retainer zum Nachbeobachtungszeitpunkt. Patienten mit Retainer in situ wiesen eine dreimal höhere Stabilität der Zahnstellung auf.

RENKEMA et al. [2011] zeigten nach fünf Jahren Abweichungen in der Zahnstellung bei 9,5% der Einzelzahnkleberretainer, vor allem mit Debondings einhergehend. Bei 2,7% kam es jedoch zu unerwarteten Zahnbewegungen unabhängig von Debondings. Hier traten vorrangig Torqueabweichungen der Zähne auf.

Neben dem Versagen von Klebestellen, kann es bei festsitzenden Retainern auch zu Brüchen des Drahtes kommen.

Bruchraten liegen gemäß Literatur zwischen 0,7% und 10,5% [LIE SAM FOEK et al. 2008; SCHEIBE und RUF 2010; SCHNEIDER und RUF 2011]. Brüche traten vor allem auf Grund von Materialermüdung und traumatischen Vorfällen auf. Im Durchschnitt traten Brüche nach 24 Monaten im Oberkiefer auf [SCHNEIDER und RUF 2011], während sie im Unterkiefer kaum zu beobachten waren [SCHEIBE und RUF 2010].

Auch unter intakter festsitzender Retention können jedoch unerwünschte Zahnbewegungen auftreten [ABUDIAK et al. 2011; KATSAROS et al. 2007; KUCERA und MAREK 2016, SHAUGHNESSY et al. 2016; WOLF et al. 2016]. In der Literatur werden verschiedene Bewegungsmuster beschrieben: gegenläufige Bewegungen der unteren Eckzähne („Twist-Effekt“) [KUCERA und MAREK 2016; WOLF 2016], ein Torqueunterschied zwischen zwei benachbarten Inzisivi [KUCERA und MAREK 2016; KATSAROS et al. 2007] sowie eine übermäßige bukkale oder linguale Inklination eines unteren Eckzahns [KATSAROS et al. 2007; PAZERA et al. 2012]. Die Abbildungen 1.3 und 1.4 zeigen an einem klinischen Patientenfall eine gegenläufige Inklination („Twist-Effekt“) der unteren Eckzähne. Die Ätiologie dieser unerwünschten Zahnbewegungen ist noch ungeklärt.

Mögliche Ursachen dafür können versehentlich aktiv eingesetzte, gebrochene aber noch befestigte Retainer oder durch übermäßige Belastung verbogene Retainer sein. Ein erhöhtes Risiko wird für flexible Drähte mit geringem Durchmesser vermutet [SHAUGHNESSY et al. 2016].



Abb. 1.3: Frontale Ansicht der gegenläufigen Eckzahnbewegungen



Abb. 1.4: Okklusale Ansicht der gegenläufigen Eckzahnbewegungen

Beim Einsetzen der Retainer muss eine passive Anlagerung an die Lingualflächen der Zähne sichergestellt werden. Bei Anbringung unter Spannung kann die resultierende Kraft des aktiv eingebrachten Drahtes eine Zahnbewegung auslösen [ABUDI AK et al. 2011]. Diesbezügliche Zahnfehlstellungsänderungen treten bei aktiver Befestigung jedoch zeitnah nach dem Einsetzen auf.

Kaukräfte bewirken Zahnbewegungen in bucco-lingualer Richtung, sowie in intrusiver und extrusiver Richtung. Der Draht sollte sich nicht durch die Kaukräfte deformieren lassen, was zu unerwünschter Aktivierung und somit zu Zahnbewegung führen könnte. Des Weiteren muss der Draht die auftretenden rezidivierenden Kräfte des Parodonts ausgleichen, gleichzeitig aber flexibel genug sein um physiologische Zahnbewegungen zu erlauben [SAMSON et al. 2018]. SIFAKAKIS et al. [2011] haben in vitro Drahtdeflexionen um bis zu 0,2mm simuliert. Dabei wurden an einem lateralen Inzisivus Auslenkungen in 0,02mm Schritten in extrusiver und intrusiver Richtung, sowie in bucco-lingualer Richtung durchgeführt und die daraus resultierenden Kräfte an den anderen Zahneinheiten gemessen. Diese Auslenkungen bewirkten hohe Kräfte an den durch den Retainer verbundenen Zähnen. Diese Kräfte lagen zum Teil über 1 Newton und können dadurch unerwünschte Zahnbewegungen hervorrufen. Dabei ist die Größe der Drahtdeformation entscheidend - weniger wichtig ist der Drahttyp.

Insgesamt finden sich in der aktuellen Literatur zu den genannten Komplikationen vorrangig Fallberichte oder Fallserien [ABUDIAK et al. 2011, KATSAROS et al. 2007, KUCERA et al. 2016, PAZERA et al. 2012, SHAUGHNESSY et al. 2016]. Zwei retrospektive Studien beschäftigen sich anhand eines größeren Patientengutes mit der Thematik und untersuchten mögliche prädisponierende Cofaktoren für Zahnbewegungen trotz intakten Retainern: Das Alter bei Entfernung der festsitzenden Zahnspange, die vertikale basale Kieferrelation und die prätherapeutischen Schneidezahninklination [KUCERA und MAREK 2016] oder die intercanine Expansion und große Korrekturen des Overjets während der aktiven kieferorthopädischen Behandlung [WOLF et al. 2016]. Es ist allerdings zu beachten, dass beide Studien lediglich UK-Retainer untersuchten und sich die Ergebnisse im direkten Vergleich zum Teil widersprechen. WOLF et al. [2016] benannten die intercanine Expansion während der aktiven Behandlung als Risikofaktor. KUCERA und MAREK [2016] beschrieben keine Veränderung in der intercaninen Breite bei den untersuchten Behandlungen und konnten diese somit auch nicht als Risikofaktor bestätigen.

Während WOLF et al. [2016] eine Overjetreduzierung als Risikofaktor ausmachten, stellten KUCERA und MAREK [2016] die Änderung der inzisalen Proklination als alleinigen Risikofaktor in Frage. Sie vermuten aber, dass lokale anatomische Gegebenheiten, wie die Knochenbeschaffenheit der bukkalen Kortikalis, einen Einfluss auf die Frontzahninklination als Risikofaktor haben. Auffallend war die unterschiedliche

durchschnittliche Inklination der unteren Schneidezähne im Verhältnis zur Linie A-Po im Fernröntgenseitenbild (Ii-APo) zwischen Kontrollgruppe und Untersuchungsgruppe. In der Untersuchungsgruppe war dieser Wert im Durchschnitt größer.

KLAUS et al. [2020] hingegen untersuchten in einer Pilotstudie die unerwünschten Zahnbewegungen bei intakter Retention im Unter- und Oberkiefer. Bei 27% der untersuchten Patientenfälle mit Retainern in Unter- und Oberkiefer kam es zu unerwünschten Zahnbewegungen. Davon traten bei 48% der betroffenen Patienten Bewegungen im Oberkiefer, 23% im Unterkiefer und bei 29% in beiden Kiefern auf. Orale Dysfunktionen und Habits traten in der Untersuchungsgruppe gehäuft auf. Signifikant auffällig war der erhöhte Anteil an Patienten mit fehlender inzisaler Abstützung. Zu allen Untersuchungszeitpunkten, vor der Behandlung (T0), nach Beendigung der aktiven Therapie (T1) und nach der Retentionszeit (T2), waren in der Untersuchungsgruppe offene Bisse mit Overbite häufiger vertreten als in der Kontrollgruppe. Determinierende Risikofaktoren von KUCERA und MAREK [2016] sowie von WOLF et al. [2015] konnte die Studie nicht bestätigen.

Die Ausformung der Zahnbögen wird durch die Muskulatur beeinflusst. Vor allem die Ruheposition von Zunge und perioraler Muskulatur und die daraus resultierenden Kräfteverhältnisse sind von Bedeutung. Die funktionellen Kräfte beim Sprechen und Schlucken haben dabei einen geringeren Einfluss auf die Zahnstellung. Die Zahnstellung selbst hat aber einen relevanten Einfluss auf die Funktion. Wenn sich die Zähne nicht in dem neuromuskulären Gleichgewicht zwischen äußerer und innerer Muskulatur befinden, also dysfunktionale Kräfte auf die Zähne einwirken, können daraus Zahnbewegungen resultieren [PROFFIT 1975].

Gemäß der Theorie des funktionellen Gleichgewichts [PROFFIT 1975] müsste bei normwertiger sagittaler Interkuspitation auch eine frontale Abstützung bestehen, sofern kein echter offener Biss vorliegt.

Des Weiteren unterscheiden sich unterschiedliche Bisstypen in ihrer Rezidivhäufigkeit. Die inzisale Abstützung im Frontzahnbereich vor Behandlungsbeginn spielt dabei eine große Rolle [ZUROFF et al. 2010]. Unterschieden werden inzisal abgestützte Bisse, offene Bisse mit Overbite (positiver Overbite ohne inzisale Abstützung) und komplett

offene Bisse (negativer Overbite, Abb. 1.5-1.7). Die Prävalenz für einen offenen Biss liegt zwischen 1,5 und 11% [NG et al. 2008].

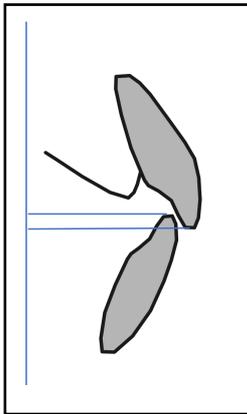


Abb. 1.5: Inzisal abgestützter Biss

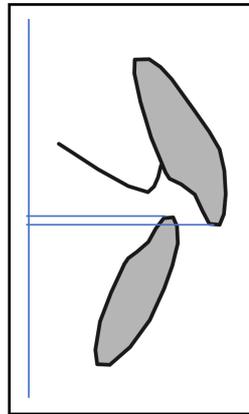


Abb. 1.6: Offener Biss mit Overbite

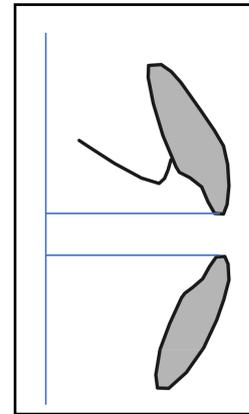


Abb. 1.7: Offener Biss ohne Overbite

ZUROFF et al. [2010] hat die Rezidivneigung der unterschiedlichen oben genannten inzisalen Abstützungen untersucht. Nach durchschnittlich zweijähriger kieferorthopädischer Behandlung wiesen alle Patienten der prätherapeutischen Kontaktgruppe, 84% der Patienten mit offenem Biss und Overbite sowie 80% der Patienten mit offenem Biss, eine inzisale Abstützung auf.

Nach einem durchschnittlichen 14,1-jährigen Nachkontrollzeitraum zeigten sich folgende Rezidivneigungen:

- in der Kontaktgruppe verloren 4% die inzisale Abstützung
- in der Offener Biss mit Overbite-Gruppe verloren weitere 20% die inzisale Abstützung
- in der Offener Biss-Gruppe verloren weitere 40% die inzisale Abstützung
- in keiner Gruppe trat ein negativer Overbite auf.

JENSEN und RUF [2010] untersuchten die Stabilität von offenen Bissen nach einer kombinierten kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie. Bei einem Nachbeobachtungszeitraum von durchschnittlich 18 Monaten zeigte sich bei 6,7% ein negativer Overbite, ein verringerter Overbite (0-1,5mm) bei 53,3% der Patienten und ein Rezidiv des prätherapeutischen Overjets bei 40,0%. Nach der Behandlung wiesen 46,7% keine inzisale Abstützung auf. Während der Retentionsphase verloren weitere 6,7% die inzisale Abstützung. Insgesamt wiesen nur 40,0% der Patienten einen normalen Overbite und Overjet mit inzisaler Abstützung auf.

Auch andere Studien zeigen neben dem Verlust der inzisalen Abstützung eine Wiederöffnung der offenen Bisse.

In der weiteren Literatur finden sich Prävalenzen der Wiederöffnung des Bisses von 25,8% - 38,1% [DE FREITAS et al. 2004; REMMERS et al. 2008; LOPEZ-GAVITO et al. 1985; JANSON et al. 2003].

JANSON et al. [2006] zeigten eine signifikant höhere Stabilität bei Patienten mit Extraktionstherapie im Vergleich zu Patienten mit Non-Extraktionstherapie, sowie eine häufigere Rezidivneigung bei Patienten deren Therapie vor den 21. Lebensjahr erfolgte [JANSON et al. 2010].

Die Differenzen zwischen den Studien beruhen auf unterschiedlichen Größen der Patientengruppen, unterschiedlichen Nachuntersuchungszeiträumen, verschiedenen Therapievarianten und Unterschieden in der Differenzierung der vertikalen und anteroposterioren Stabilität. Alle Studien zeigten jedoch eine deutlich erhöhte Rezidivneigung offener Bisse.

Die Ursache für die höhere Rezidivneigung offener Bisse ist nicht eindeutig geklärt. Möglicherweise liegt das Risiko in der Ätiologie dieser Bisse selbst, wobei in der Literatur vielfältige Ursachen diskutiert werden: Zungengröße und Zungenhaltung, Habits wie Daumenlutschen, respiratorische Probleme, kondyläre Resorptionen, unvorteilhafte skelettale Wachstumsmuster, sowie in vielen Fällen eine unklare Genese [NG et al. 2008].

Während bei offenen Bissen mit Overbite Patienten mit Habit einen geringeren Behandlungserfolg zeigten und zu einer erhöhten Rezidivierung neigten [ASKERIDIS 2006], war bei offenen Bissen ohne Overbite der Einfluss von Wachstumsvorgängen größer. ZUROFF et al. [2010] stellen ein Zusammenhang zwischen geringerem eruptivem Potential der Inzisivi und regulärer Eruption der Molaren her.

Eindeutig mit offenen Bissen im Zusammenhang steht das atypische Schluckmuster [SILVA et al. 2014, PENG et al. 2003]. Ein atypisches Schluckmuster beschreibt eine ausbleibende Umstellung des infantilen Schluckmusters auf das ab dem 3.-4. Lebensjahr physiologische somatische Schluckmuster. Bei dem infantilen Schluckmuster wird während des Schluckaktes die Zunge durch die Zahnreihe bis an die Lippe geführt, während die Zunge bei dem somatischen Schluckakt an den Gaumen gepresst wird und die Zahnreihen geschlossen sind. Ob atypische Schluckmuster die Ursache für frontal offene Bisse oder eine Folge davon sind, ist nicht eindeutig geklärt [SILVA et al. 2014].

Ebenfalls sind verstärkte muskuläre Aktivitäten des M. genioglossus bei atypischem Schluckmuster beschrieben [PENG et al. 2003].

Ein atypisches Schluckmuster bzw. eine Zungendysfunktion stellt also eine dysfunktionale, gerichtete Kraft dar, die von ihrer Richtung sowohl mit der Rezidivneigung offener Bisse als auch mit der Zahnstellungsänderung unter festsitzender Retention in Verbindung stehen könnte.

Vor dem Hintergrund der bestehenden Literatur bleibt somit die Frage offen, welche Faktoren das Auftreten unerwünschter Zahnbewegungen trotz intakter Retainer beeinflussen. Außerdem ist die Datenlage zu Oberkieferretainern diesbezüglich sehr gering, sodass sich keine verlässlichen Aussagen zu beeinflussenden Faktoren für Ober- und Unterkiefer treffen lassen.

Um die von der sagittalen Relation unabhängigen Risikofaktoren zu determinieren soll die Untersuchung zunächst an Patienten mit normwertiger sagittaler Relation (Angle-Klasse I) erfolgen.

2. Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser explorativen Arbeit ist die retrospektive Untersuchung von Retainerkomplifikationen im Sinne einer unerwünschten Zahnbewegung trotz festsitzender Retention bei Patienten mit normwertiger sagittaler Relation (Angle-Klasse I) unter Berücksichtigung der inzisalen Relation. Über die bestehende Literatur hinausgehend soll dabei ein größeres Patientengut untersucht werden, um mögliche prädisponierende Cofaktoren zu identifizieren. Außerdem soll in Ergänzung zur bestehenden Literatur eine Differenzierung zwischen Retainerkomplifikationen im Ober- und Unterkiefer erfolgen.

3. Material und Methode

3.1 Material

Zu Generierung der Daten fanden mehrere Sichtungen der archivierten Fälle der Poliklinik für Kieferorthopädie am Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen der Jahre 2005-2015 statt.

Einschluss in die Datenerhebung fanden die Fälle nach den folgenden Kriterien:

- Angle-Klasse I
- Bistyp I:0 oder I:1 (normwertiger oder vergrößerter Overjet)
- Behandlung mit festsitzender Multibracketapparatur in OK und/oder UK (Tip-Edge Plus, TP Orthodontics, La Porte, IN, USA)
- Retention mit Einzelzahnkleberetainer von Eckzahn bis Eckzahn in OK und/oder UK.

Aus 1026 abgeschlossenen Fällen konnten nach den oben genannten Einschlusskriterien 755 Fälle mit Angle-Klasse I identifiziert werden. Davon wiesen 488 Fälle die Bistypen I:0 oder I:1 nach Pancherz [PANCHERZ 2018] auf.

Alle Einzelzahnkleberetainer wurden aus dem gleichen Draht gefertigt (Dentaflex 0,45mm/0,018inch, 6-fach co-axial verseilter Edelstahl, Dentaforum, Ispringen, Deutschland). Alle Retainer wurden von erfahrenen, kieferorthopädisch spezialisierten Zahntechnikern angefertigt und von Fachzahnärzten bzw. Zahnärzten in Weiterbildung der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen eingesetzt.

Die Ausschlusskriterien waren folgende:

- Nicht beurteilbare Modelle der Zeitpunkte: Vor Behandlungsbeginn (T1), nach Entfernung der festsitzenden Behandlungsapparatur (T2) und nach Ende der kontrollierten Retentionsphase (T3) auf Grund von:
 - Gipsfrakturen
 - Reparaturen am Modell
 - Modell oder Abformung verzogen
- Einzelzahnkleberetainer, die

3. Material und Methode

- andere Zahneinheiten als Eckzahn bis Eckzahn in der Front umfassen, z.B. bei Patienten mit Nichtanlagen der seitlichen Schneidezähne
- Ausgeprägte hyperplastische Gingiva zum Zeitpunkt T2, die eine Beurteilung der Zahnstellung erschwert
- Prothetische Rekonstruktionen oder adhäsive Aufbauten der Eckzähne, der seitlichen oder mittleren Schneidezähne
- Behandlungsabbruch vor Ende der Retentionsphase.

Unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien verblieben 247 Fälle für die weitere Datenerhebung.

Für die 247 eingeschlossenen Fälle wurden folgende Parameter aus der Patientenakte extrahiert:

- Patientenummer, Geburtsdatum und Geschlecht
- Zeitpunkt des Modells vor Behandlungsbeginn (T1)
- Zeitpunkt des Modells nach Entfernung der festsitzenden Behandlungsapparatur (T2)
- Zeitpunkt des Modells nach Beendigung der kontrollierten Retentionsphase (T3)
- Retainerkomplikationen im Zeitintervall T2 – T3, dazu zählen Ablösungen einzelner Stellen, Brüche des Drahtes oder komplette Verluste des Retainers
- Retainerreparaturen im Zeitintervall T2 – T3, dazu zählen Erneuerungen von Klebestellen, Neuanfertigungen von Retainern oder der Einsatz alternativer und/oder zusätzlicher Retentionsmaßnahmen
- Habits zu Zeitpunkt T1, dazu zählen Lutschhabit, Lippendysfunktion, Zungendysfunktion, atypisches Schluckmuster, Bruxismus, Mundatmung, Sigmatismus, Kauen auf Gegenständen, Spielen von Blasinstrumenten
- Ausgewählte Winkel und Strecken der Analyse des Fernröntgenseitenbildes (FRS) zu Zeitpunkt T1: Mandibularbasiswinkel (ML/NSL) zur Beurteilung der vertikalen basalen Kieferrelation; Winkel zwischen der Achse der Oberkieferschneidezähne und der Linie NA (IsL/NA); Winkel zwischen der Achse der Unterkieferschneidezähne und der Linie NB (IiL/NB) sowie der Abstand der Unterkieferschneidezahnkante zu der Linie APo (Ii-APo)) (Abb. 3.1).

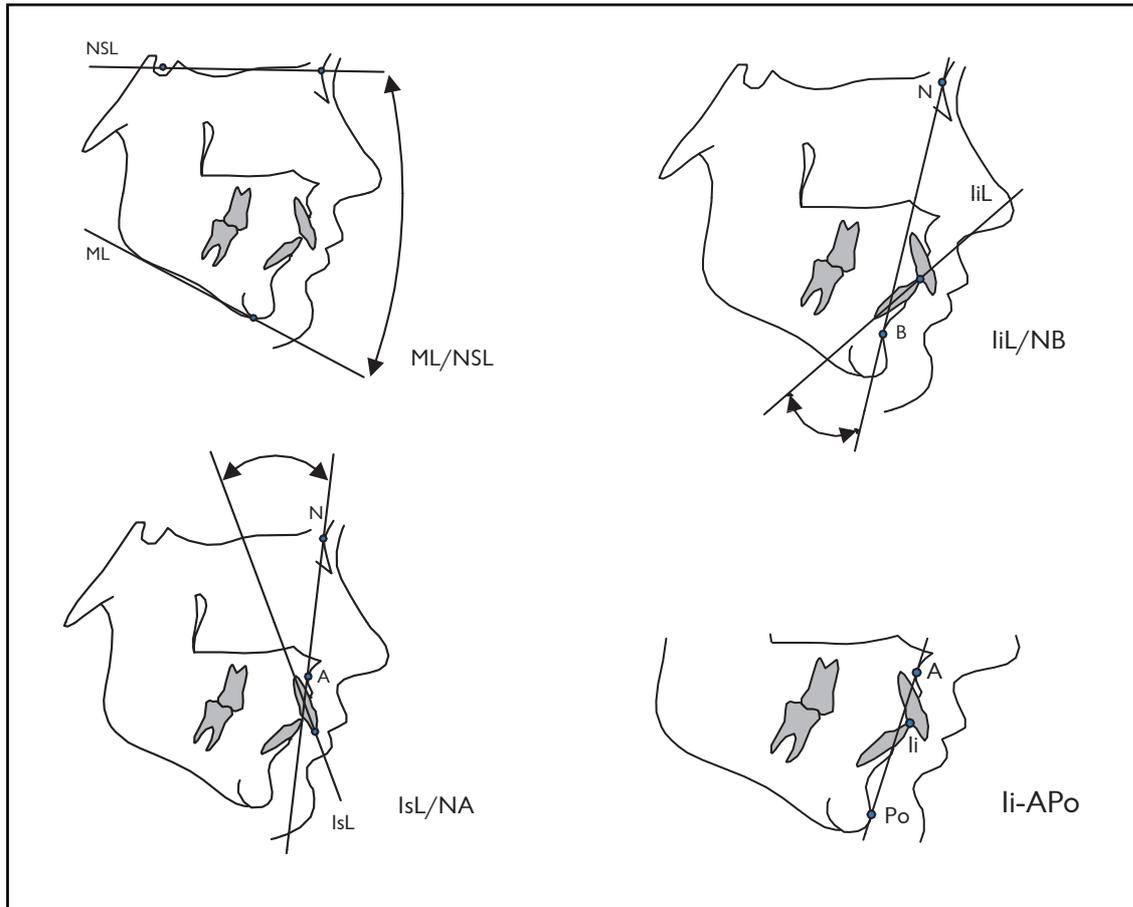


Abb. 3.1: Grafische Darstellung der erfassten Winkel und Strecken aus der FRS-Analyse

Bei der Beurteilung der eingeschlossenen Modelle der jeweiligen Zeitpunkte T1, T2 und T3 wurden der Overjet und die intercanine Distanz mittels einer manuellen Schieblehre (Zürcher Modell, Karl Hammacher GmbH, Solingen, Deutschland) vermessen. Alle Messungen erfolgten auf 0,5mm genau.

Außerdem wurde die inzisale Abstützung gemäß ZUROFF [2010] kategorisiert:

- Inzisale Abstützung bzw. tiefer Biss
- Offener Biss mit Overbite
- Offener Biss ohne Overbite (Abb. 3.2 – 3.4).



Abb. 3.2.1: Inzisal abgestützter Biss – frontale Ansicht

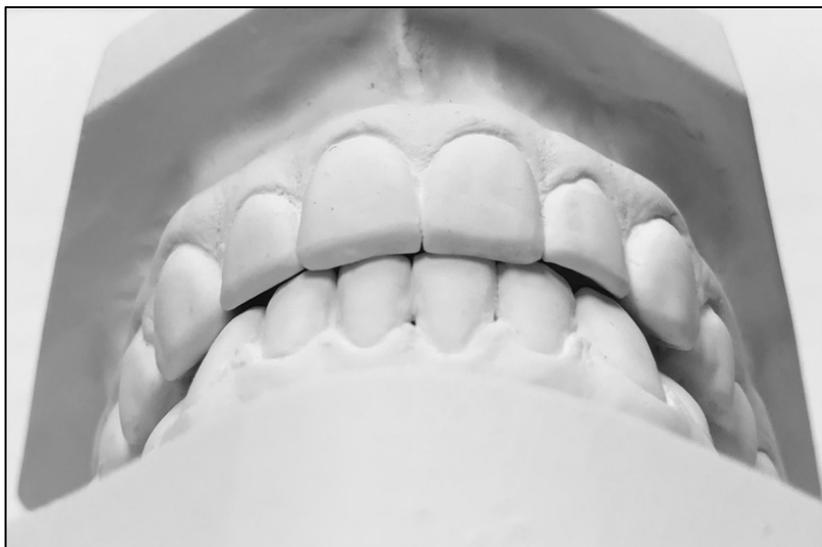


Abb. 3.2.2: Inzisal abgestützter Biss – Ansicht von unten



Abb. 3.3.1: Offener Biss mit Overbite – frontale Ansicht



Abb. 3.3.2: Offener Biss mit Overbite – Ansicht von unten



Abb. 3.4.1: Offener Biss ohne Overbite – frontale Ansicht



Abb. 3.4.2: Offener Biss ohne Overbite – Ansicht von unten

Des Weiteren wurde visuell verglichen, ob im Bereich der Retainer ein Unterschied in der Zahnstellung zwischen dem Modell zu Zeitpunkt T2 und Zeitpunkt T3 besteht.

Daraus resultierten 109 Fälle mit Zahnstellungsänderung im Ober- und/oder Unterkiefer und 138 Fälle ohne Zahnstellungsänderung.

In mehreren Konsensusrunden wurden die Modelle mit detektierten Veränderungen von erfahrenen Kieferorthopäden (Prof. Dr. Ruf und Dr. Klaus) begutachtet. Alle Modelle bei

3. Material und Methode

denen ein Konsensus über stattgefundene Zahnstellungsänderungen zwischen den Modellen T2 und T3 herrschte wurden eingeschlossen und bildeten für die weitere Auswertung die Untersuchungsgruppe.

Innerhalb der Konsensusrunden wurden durch die erfahrenen Kieferorthopäden weitere 23 Oberkiefer- und 26 Unterkiefermodelle identifiziert, welche gemäß der Ausschlusskriterien aufgrund mangelnder Modellqualität von der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden mussten. Somit fanden im Unterkiefer 83 Modelle (Untersuchungsgruppe n = 39, Kontrollgruppe n = 44) Eingang in die Auswertung. Im Oberkiefer verblieben 86 Modelle (Untersuchungsgruppe n = 57, Kontrollgruppe n = 29). Um in beiden Kiefern ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe sicherzustellen, wurde die Kontrollgruppe im Oberkiefer um 36 Modelle aus dem Pool der Fälle ohne Zahnstellungsänderung auf n = 65 ergänzt. Insgesamt wurden somit 205 Fälle detailliert vermessen und ausgewertet (Abb. 3.5).

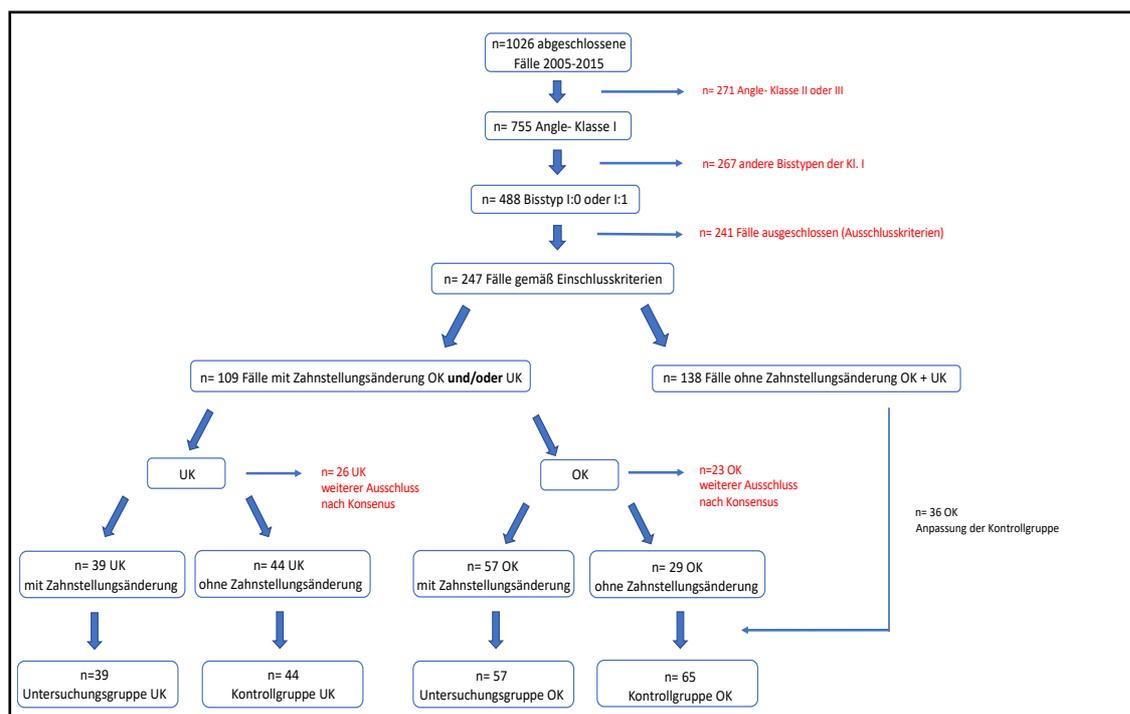


Abb. 3.5: Flowchart der eingeschlossenen Fälle

3.2 Methode

Nach Erstellung der Untersuchungs- und der Kontrollgruppen beider Kiefer wurden die Modelle der Zeitpunkte T2 und T3 aller Gruppen eingescannt. Der Scanvorgang erfolgte mit dem optischen 3D-Modell-Scanner OrthoXscan (Fa. Dentauro GmbH & Co KG, Ispringen, Deutschland) und der dazugehörigen Software OrthoXscan. Dazu wurden die Gipsmodelle auf die zugehörige Trägerplatte gespannt, die im Gehäuse des Scanners in der vorgesehenen Magnethalterung platziert wird. Die Position des Trägers war dadurch genau vorgegeben.

Der Scanner projiziert ein Streifenmuster (Weißlichtstreifenprojektion) auf das Modell und die Kamera nimmt das entsprechende Muster auf. Die Modelle werden auf allen drei Achsen bewegt und aus verschiedenen Winkeln gescannt. Aus den aufgenommenen 2D-Bildern errechnet die Software ein dreidimensionales Mesh. Aus den Punkten des Meshes kann dann ein 3D-Modell generiert werden. Der dreidimensionale Datensatz wird als STL-Format (Standard Tessellation Language) gespeichert. Die Genauigkeit eines Messpunkts beträgt $<20\mu\text{m}$.

Zur Überlagerung, Feststellung und Quantifikation der Zahnabweichungen wurde die Software Viewbox 4 (Version 4.1.0.6 BETA, dHAL Software, Kifissia, Griechenland) verwendet. Zur Überlagerung wurden für jeden Fall die Datensätze zu Zeitpunkt T2 und T3 in die Software importiert und geöffnet.

Im Oberkiefer erfolgte die Überlagerung der Modelle über einen definierten Bereich des Palatum durum. Dieser umfasst die Rugae palatinae mit einem Abstand zu den Zähnen von 5mm. Die Form des Umrisses stellt ein halbes Oval dar (Abb. 3.6). Die Schleimhaut ist im Bereich des harten Gaumens fest mit dem Knochen verwachsen und stellt eine anatomisch sehr stabile Struktur dar, welche durch Wachstumsvorgänge nahezu unbeeinflusst bleibt. Insbesondere nach Beendigung der aktiven kieferorthopädischen Therapie eignet sie sich daher gut zur Überlagerung der Oberkiefermodelle-[STUCKI und GKANTIDIS 2020; VASILAKOS et al. 2017].

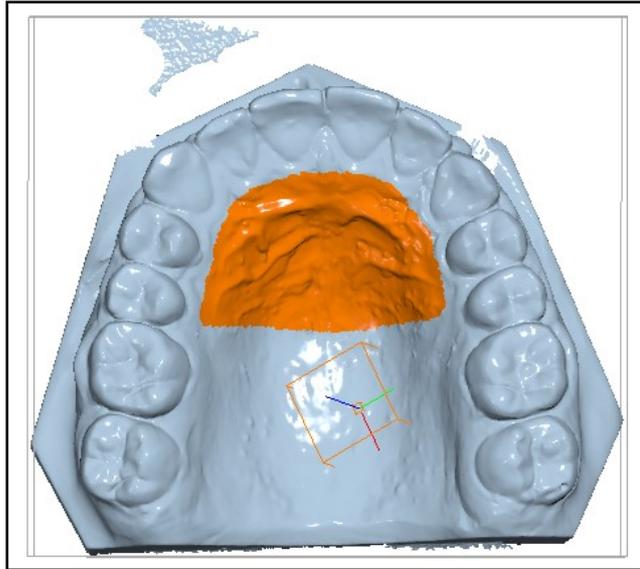


Abb. 3.6: Überlagerungsbereich OK

Im Unterkiefer ist eine vergleichbare stabile anatomische Struktur nicht vorhanden. Zur Überlagerung wurden deshalb die Prämolaren und ersten Molaren verwendet (Abb. 3.7). Da die genannten Zähne innerhalb der Retentionsphase kaum Veränderungen unterliegen, wurden diese Strukturen zur Deckung gebracht. Bei Patientenfällen mit Extraktionstherapie wurden die noch vorhandenen Prämolaren verwendet, während bei Patienten ohne Extraktionstherapie alle Prämolaren genutzt wurden.

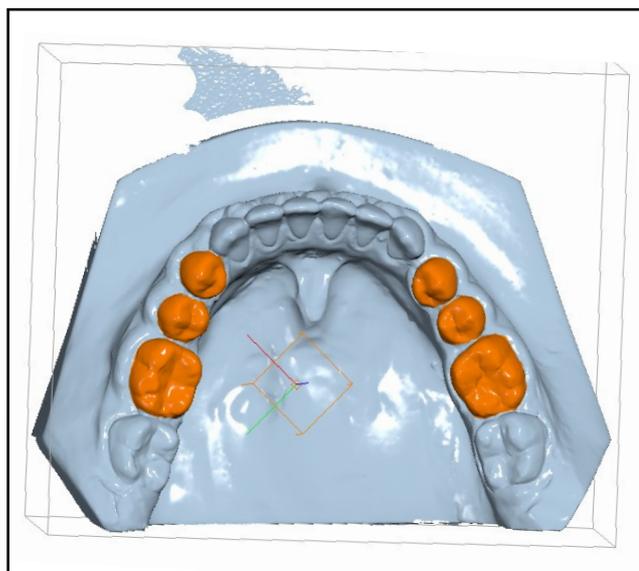


Abb. 3.7: Überlagerungsbereich UK

3. Material und Methode

Nach Festlegung des Überlagerungsbereiches wurden die Modelle durch das Programm mittels lokalem Best-fit überlagert. Die Software berechnete bei jeder Überlagerung die mittlere quadratische Abweichung (Root Mean Square-Wert) und die Standardabweichung (Average-Wert).

Zudem berechnete die Software die absolute Abweichungsverteilung zwischen den Modellen T2 und T3 in einem Grenzbereich von -1,5mm bis +1,5mm (Abb. 3.8). Die Distanzen wurden farblich codiert, negative Abweichungen wurden mit zunehmender Distanz blau gefärbt, positive rot. Das durch die Abweichungen entstandene Farbmuster wurde durch die Software auf die Modelle projiziert, wodurch alle von Abweichungen betroffenen Zähne zu erkennen waren. Alle Zähne im Bereich 13-23 und 33-43, die eine farbliche Abweichung von der Farbe Grün zeigten, wurden zur Quantifizierung der Abweichung vermessen (Abb. 3.9 und Abb. 3.10).

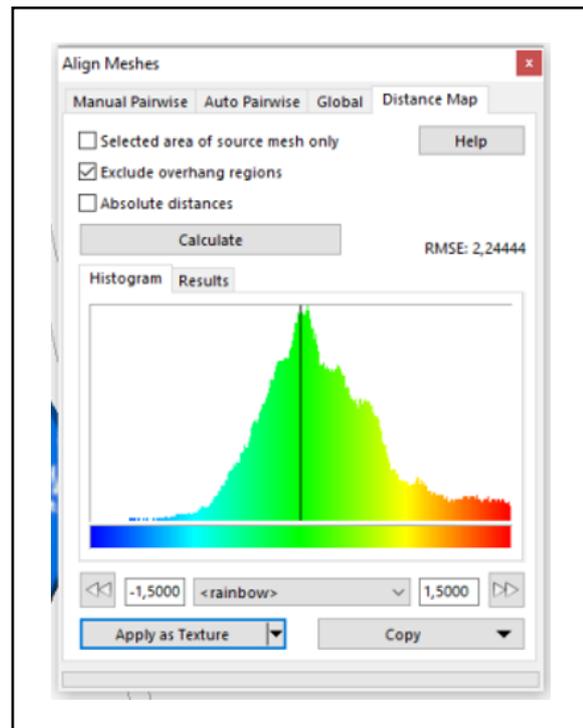


Abb. 3.8: Abweichungsverteilung

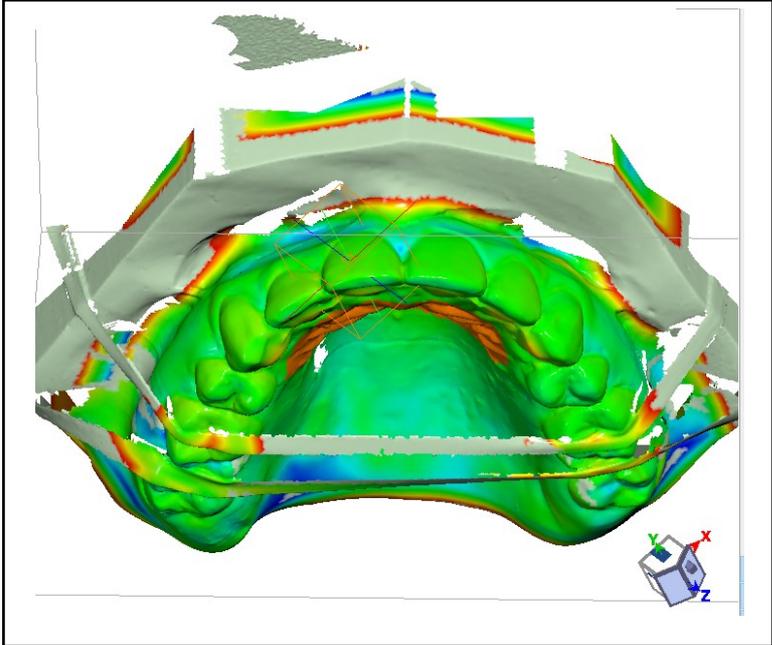


Abb. 3.9: Modell mit geringen Abweichungen

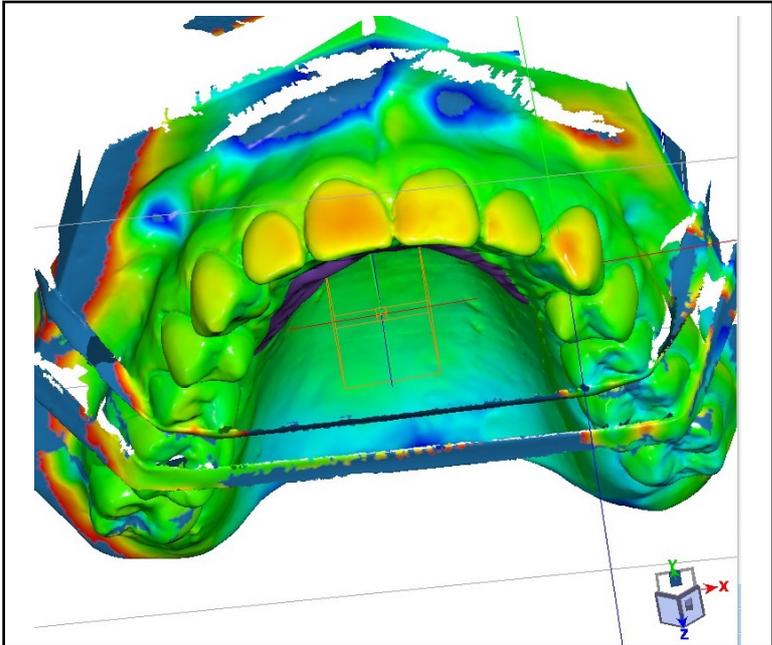


Abb. 3.10: Modell mit stärkeren Abweichungen

3. Material und Methode

Die Vermessung der exakten Abweichung erfolgte für jeden Zahn einzeln gemäß der nachstehenden Vorgehensweise. Zunächst wurde der betreffende Zahn zum Zeitpunkt T2 selektiert (Abb. 3.11).

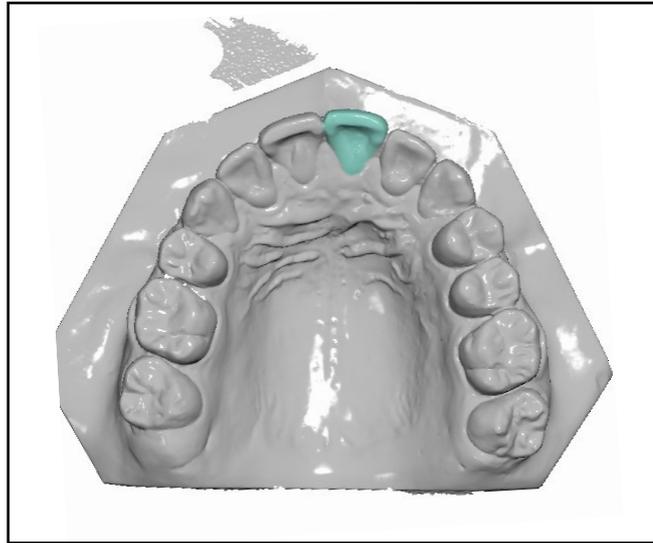


Abb. 3.11: Selektierter Zahn 21 auf Modell T2

Anschließend erfolgte die Ausrichtung des Modells gemäß der Achsen des Koordinatensystems. Der Ursprung des Koordinatensystems wurde so auf das Zentrum des ausgewählten Zahnes gelegt, dass die X-Achse (transversale Achse, rot) senkrecht zur Raphe mediana, die Y-Achse (sagittale Achse, grün) parallel zur Raphe mediana und die Z-Achse (vertikale Achse, blau) senkrecht zur Okklusionsebene verlief (Abb. 3.12 und Abb. 3.13).

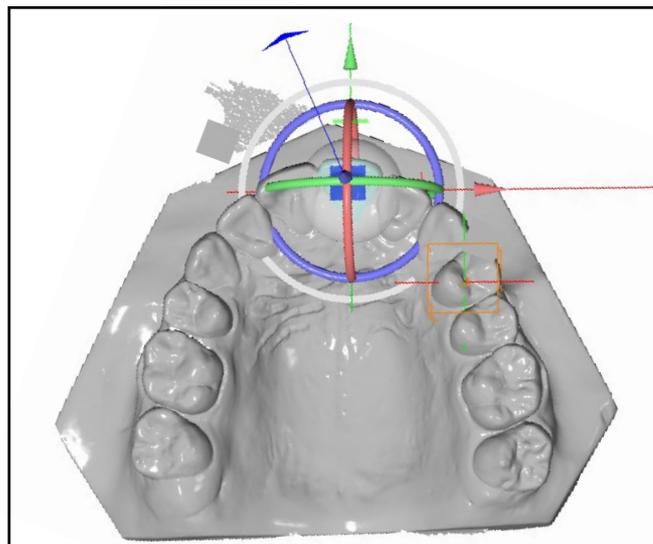


Abb. 3.12: An den Achsen ausgerichtetes Modell

3. Material und Methode

Nach Überlagerung der Modelle T2 und T3 wurde der Zahn zum Zeitpunkt T2 auf den als Referenzobjekt festgelegten Zahn T3 überlagert. Die Bewegungen die der Zahn T2 dabei ausführt um auf Zahn T3 überlagert zu werden, wurden anhand der X-, Y- und Z-Achse erfasst. Es wurden sowohl translatorische als auch rotatorische Werte erfasst. Die Dokumentation der translatorischen Bewegungen erfolgte in Millimetern, die der rotatorischen Bewegungen in Grad.

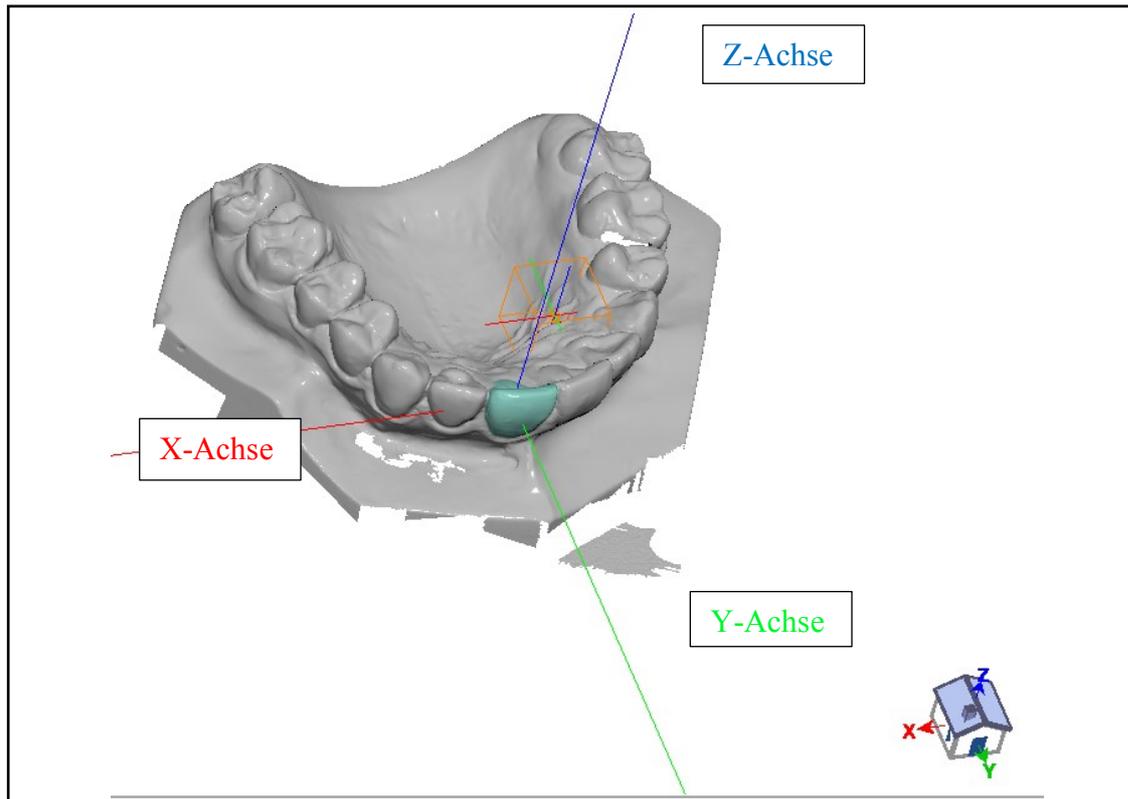


Abb. 3.13: Verlauf der Achsen am Modell

Einen Überblick über die verschiedenen Bewegungen und Bewegungsrichtungen bieten Tab. 3.1 und 3.2.

Translatorische Zahnbewegungen entlang der X-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Mesialposition oder Distalposition der Zähne. Eine rotatorische Bewegung um die X-Achse stellt eine Proklination oder Retroklination dar.

Translatorische Bewegungen entlang der Y-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Protrusion oder Retrusion der Zähne. Eine rotatorische Bewegung um die Y-Achse stellt eine Mesioklination oder Distoklination der Zähne dar.

Translatorische Bewegungen entlang der Z-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Intrusion oder Extrusion der Zähne. Eine rotatorische Bewegung um die Z-Achse stellt eine Einzelzahnrotation im Uhrzeigersinn (clockwise=cw) oder gegen den Uhrzeigersinn (counterclockwise=ccw) dar.

Tab. 3.1: Translatorische Bewegungen

Achse	Bewegungsrichtung +	Bewegungsrichtung -
X-Achse	1./3.Quadrant: Mesialposition 2./4.Quadrant: Distalposition (links)	1./3.Quadrant: Distalposition 2./4.Quadrant: Mesialposition (rechts)
Y-Achse	Protrusion	Retrusion
Z-Achse	Extrusion	Intrusion

Tab. 3.2: Rotatorische Bewegungen

Achse	Rotationsrichtung +	Rotationsrichtung -
X-Achse	Proklination	Retroklination
Y-Achse	1./3.Quadrant: Mesioklination 2./4.Quadrant: Distoklination (links)	1./3.Quadrant: Distoklination 2./4.Quadrant: Mesioklination (rechts)
Z-Achse	counterclockwise (ccw)	clockwise (cw)

Die exakte Überlagerung, Vermessung und Erfassung der oben genannten Bewegungen wurden für alle farblich abweichenden Zähne aller Modelle der Untersuchungs- und Kontrollgruppe beider Kiefer durchgeführt.

3.3 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden durch eine medizinische Statistikerin (Medistat GmbH, Frau Ulrike von Hehn) mittels SPSS für Windows, Version 25.0 (IBM Comp., Armonk, NY, USA) ausgewertet.

Neben deskriptiven Auswertungen erfolgte der Gruppenvergleich für kategorielle Variablen mittels Chi-Quadrat-Test und dem exakten Test nach Fisher. Nicht alle numerischen Variablen wiesen eine Normalverteilung auf (Kolmogorov-Smirnov-Test, Shapiro-Wilk-Test). Daher wurden für diese Gruppenvergleiche der T-Test für unabhängige Stichproben sowie der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Folgende Signifikanzniveaus kamen zur Anwendung:

- $p < 0,001$ *** (hoch signifikant)
- $p < 0,01$ ** (sehr signifikant)
- $p < 0,05$ * (signifikant)
- $p \geq 0,05$ n.s. (nicht signifikant).

Um die Genauigkeit der Modellüberlagerungen und Bewegungsmessungen zu verifizieren, wurden jeweils zehn Oberkiefer- und Unterkiefermodelle erneut überlagert und vermessen, wobei zwischen beiden Messungen ein Mindestabstand von vier Wochen eingehalten wurde. Es wurde der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) berechnet. Für die Überlagerungen des Oberkiefers betrug der ICC 0,95, für die des Unterkiefers 0,963, was auf eine exzellente Übereinstimmung schließen lässt. Für die Zahnbewegungsmessungen des Oberkiefers betrug der ICC 0,978, für die des Unterkiefers 0,982, was ebenso für eine exzellente Übereinstimmung spricht.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

Die Untersuchungsgruppe im Oberkiefer umfasste 57 Patienten, von denen 66,7% weiblich und 33,3% männlich waren. Das durchschnittliche Alter zu Zeitpunkt T1 lag bei $12,49 \pm 2,17$ Jahren, die durchschnittliche Behandlungsdauer bei $3,14 \pm 1,03$ Jahren und die durchschnittliche Retentionsdauer bei $2,08 \pm 0,35$ Jahren. In die Kontrollgruppe wurden hingegen 65 Patienten eingeschlossen, wovon 60,0% weiblichen und 40,0% männlichen Geschlechts waren. Zu Beginn der Behandlung (T1) lag das Alter im Mittel bei $12,59 \pm 2,52$ Jahren. Die Behandlungsdauer ($2,94 \pm 1,18$ Jahre) und Retentionsdauer ($2,01 \pm 0,46$ Jahre) waren nur unwesentlich und nicht signifikant kürzer als in der Untersuchungsgruppe.

4.1.1 Translatorische Bewegungen entlang der X-Achse

Translatorische Bewegungen entlang der X-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Mesialposition oder Distalposition der Zähne. Bewegungen nach links (+) stellen dabei im ersten Quadranten eine Mesialposition dar und im zweiten Quadranten eine Distalposition. Bewegungen nach rechts (-) entsprechen im ersten Quadranten einer Distalposition und im zweiten Quadranten einer Mesialposition.

In der Untersuchungsgruppe traten Bewegungen nach links am häufigsten an Zahn 21 auf (49,1%). Bewegungen nach rechts traten am häufigsten an Zahn 11 mit 54,4% auf. Durchschnittlich traten Bewegungen nach links zu 43,0% auf, Bewegungen nach rechts zu 45,3%. Die Bewegungsprävalenz war an Zahn 21 mit 98,2% am höchsten und an Zahn 23 mit 80,7% am niedrigsten (Abb. 4.1).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Bewegungen nach links am häufigsten an Zahn 12 zu finden (21,5%), Bewegungen nach rechts traten am häufigsten an Zahn 21 mit 27,7% auf. Im Durchschnitt traten Bewegungen nach links zu 17,4% auf, Bewegungen nach rechts zu 19,5%. Die

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

Bewegungsprävalenz war an Zahn 21 am höchsten mit 46,2% und an den Zähnen 13, 22 und 23 mit 32,3% am niedrigsten (Abb. 4.2).

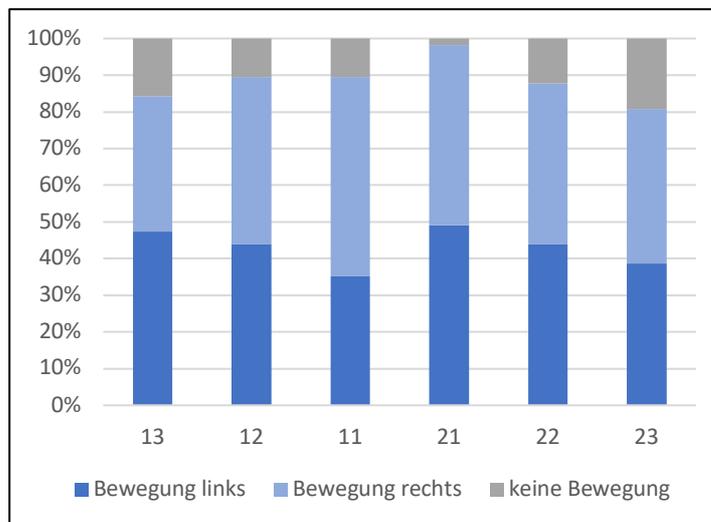


Abb. 4.1: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK

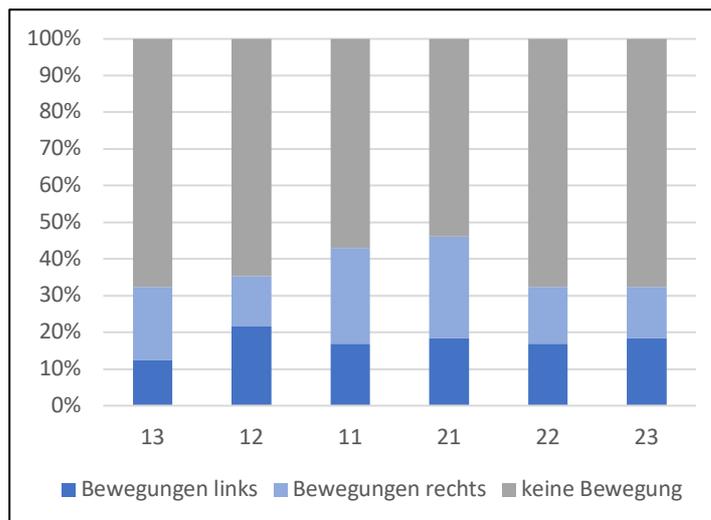


Abb. 4.2: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK

Die mittlere Bewegungsprävalenz unabhängig von Richtung und Zahn lag in der Untersuchungsgruppe bei 88,3% und in der Kontrollgruppe bei 36,9%. Zahn 21 wies in beiden Gruppen die höchste Bewegungsprävalenz auf (98,2% vs. 46,2%), während die niedrigste Prävalenz bei den Eckzähnen lag (Zahn 13: 84,2% vs. 32,3%; Zahn 23: 80,7% vs. 32,3%).

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

Das größte Bewegungsausmaß nach links in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 21 mit +1,09mm, das größte Ausmaß nach rechts lag ebenfalls bei Zahn 21 mit -2,75mm. Der Median (0,00mm bis +0,015mm) und der Mittelwert (-0,048mm bis +0,027mm) zeigten nur geringe Differenzen zwischen den Zähnen (Abb. 4.3).

Auch in der Kontrollgruppe wies Zahn 21 die größte Spannweite hinsichtlich des Bewegungsausmaßes auf: das Maximum der Bewegungen nach links lag bei +2,11mm, während das Bewegungsmaximum nach rechts -0,97mm betrug. Der Median des Bewegungsausmaßes lag bei allen Zähnen bei 0,00mm. Der Mittelwert zeigte geringe Differenzen (-0,03mm bis +0,04mm) (Abb. 4.4).

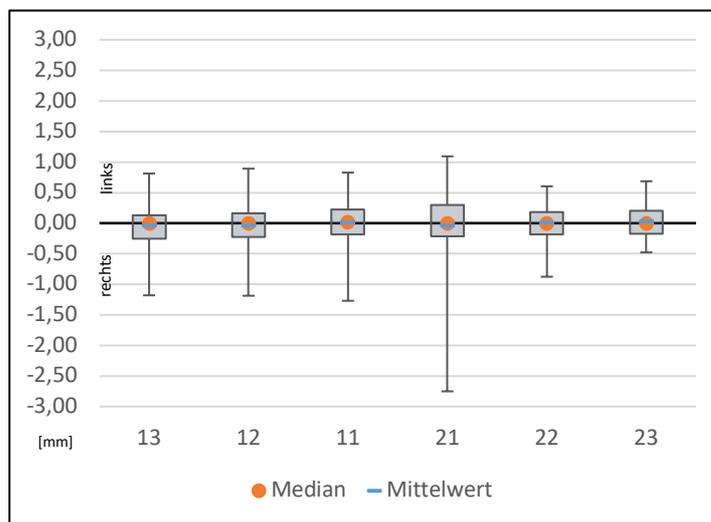


Abb. 4.3: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK

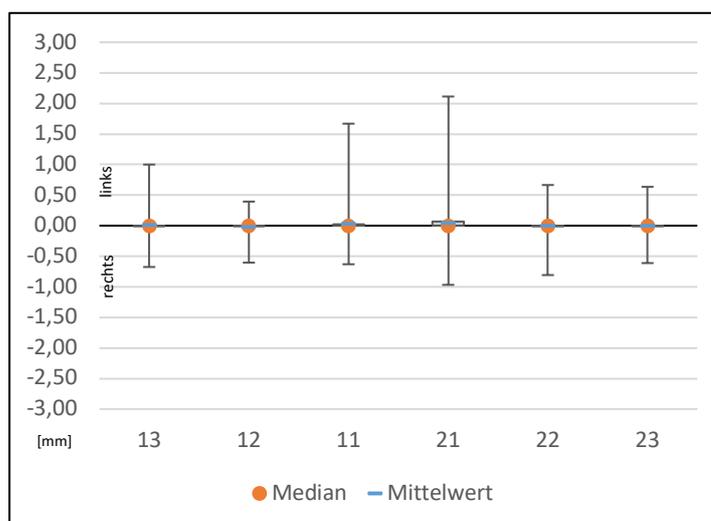


Abb. 4.4: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK

In der Untersuchungsgruppe lag eine größere Bewegungsverteilung vor. Die Bewegungsmaxima nach rechts waren größer, während in der Kontrollgruppe die Bewegungsmaxima nach links stärker ausgeprägt waren. Die Median- und Mittelwertverteilung zeigten kaum Differenzen.

4.1.2 Rotatorische Bewegungen um die X-Achse

Rotatorische Bewegungen um die X-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Proklination (+) oder einer Retroklination (-).

In der Untersuchungsgruppe traten Proklinationen am häufigsten an Zahn 21 auf (49,1%). Retroklinationen traten am häufigsten an Zahn 22 mit 70,2% auf. Durchschnittlich traten Proklinationen weniger häufig auf (28,4%) als Retroklinationen mit 59,9% (Abb. 4.5).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Proklinationen an den Zahneinheiten 11 und 21 am häufigsten mit 20,0%, Retroklinationen an Zahn 21 mit 26,2%. Proklinationen traten durchschnittlich mit 13,9% auf, Retroklinationen mit 23,1% (Abb. 4.6).

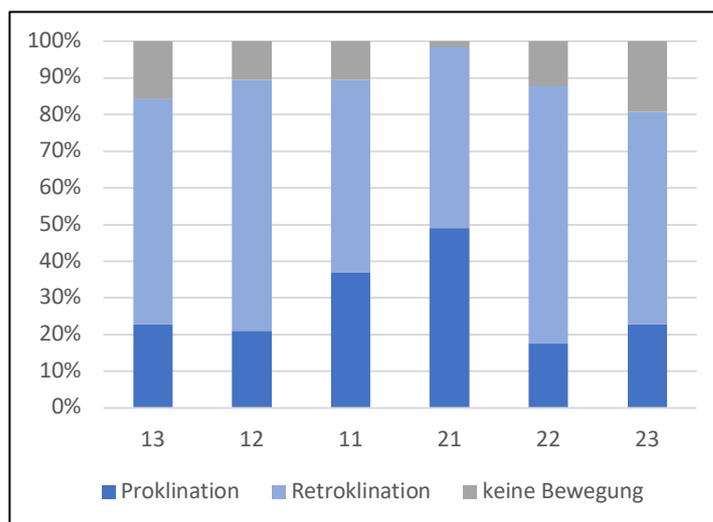


Abb. 4.5: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK

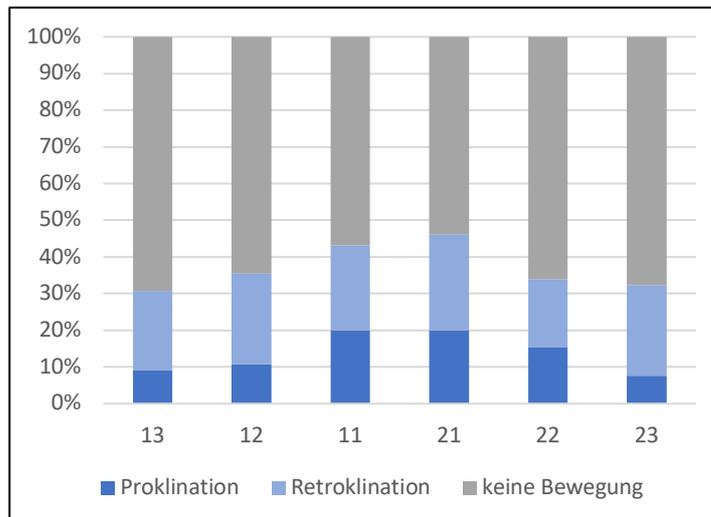


Abb. 4.6: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK

Das größte Bewegungsausmaß für Proklinationen in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 21 mit $+8,79^\circ$. Das größte Ausmaß für Retroklinationen zeigte Zahn 12 mit $-15,96^\circ$. Der Median lag zwischen $0,00^\circ$ und $-2,63^\circ$ und zeigte an den Zahneinheiten 12 und 22 die größten Werte mit $-2,63^\circ$ und $-2,52^\circ$. Der Mittelwert lag zwischen $-2,74^\circ$ an Zahn 12 und $-0,61^\circ$ an Zahn 21. Median und Mittelwert befanden sich fast ausschließlich im negativen Bereich, was erneut die höhere Prävalenz an Retroklinationen unterstreicht (Abb. 4.7).

In der Kontrollgruppe wies Zahn 22 das größte Bewegungsausmaß (Proklination) mit $+6,57^\circ$ auf. Das größte Bewegungsausmaß für Retroklinationen lag an Zahn 12 mit $-8,25^\circ$. Der Median lag an allen Zahneinheiten bei $0,00^\circ$. Der Mittelwert befand sich zwischen $-0,61^\circ$ an Zahn 12 und $-0,18^\circ$ an Zahn 11 (Abb. 4.8).

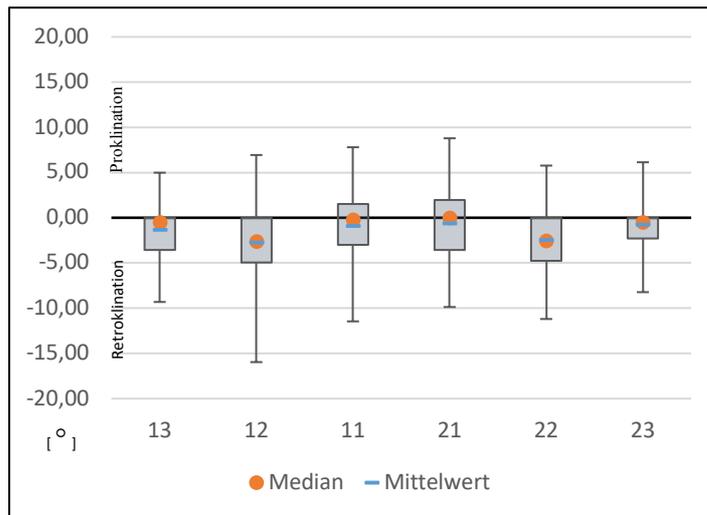


Abb. 4.7: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK

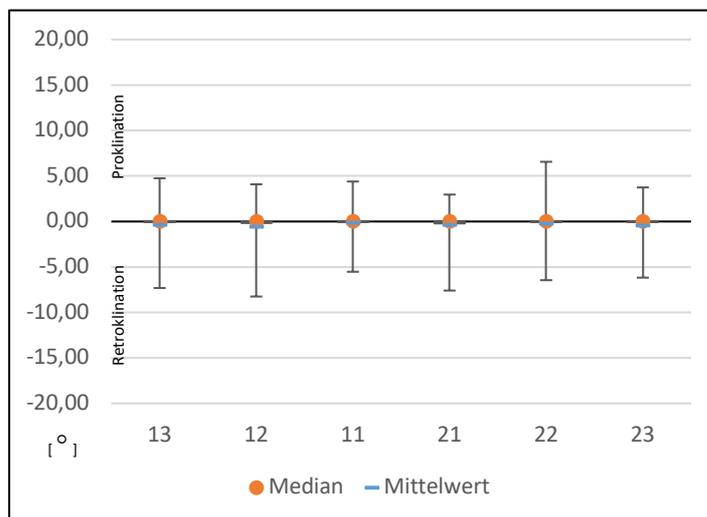


Abb. 4.8: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK

Die Bewegungsverteilung in der Untersuchungsgruppe war größer und mit Ausnahme von den Zahneinheiten 11 und 21 im negativen Bereich. Das korrespondiert mit den Bewegungsprävalenzen. Die Bewegungsextreme waren in der Kontrollgruppe geringer ($-8,25^\circ$ bis $+6,57^\circ$ vs. $-15,96^\circ$ bis $+8,79^\circ$). Die Medianverteilung wies in der Untersuchungsgruppe negative Werte auf (Zahn 12 und 22). Der Median in der Kontrollgruppe lag konstant bei $0,00^\circ$. Der Mittelwert zeigte analog zum Median in der Untersuchungsgruppe größere negative Werte auf.

4.1.3 Translatorische Bewegungen entlang der Y-Achse

Translatorische Bewegungen entlang der Y-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Protrusion (+) oder einer Retrusion (-).

In der Untersuchungsgruppe traten Protrusionen am häufigsten an Zahn 12 auf (77,2%). Retrusionen traten am häufigsten an Zahn 21 mit 49,1% auf. Durchschnittlich traten Protrusionen mit 64,0% häufiger auf als Retrusionen mit 24,3%. Die retrusive Prävalenz lag an Zahn 21 deutlich über der durchschnittlichen Prävalenz (49,1% vs. 24,3%) (Abb. 4.9).

In der Kontrollgruppe traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Protrusionen am häufigsten an Zahn 21 zu finden (44,6%). Retrusionen traten am häufigsten an den Zahneinheiten 13, 12, und 23 mit 4,6% auf. Im Durchschnitt traten Protrusionen zu 33,8% auf, Retrusionen zu 3,3% (Abb. 4.10).

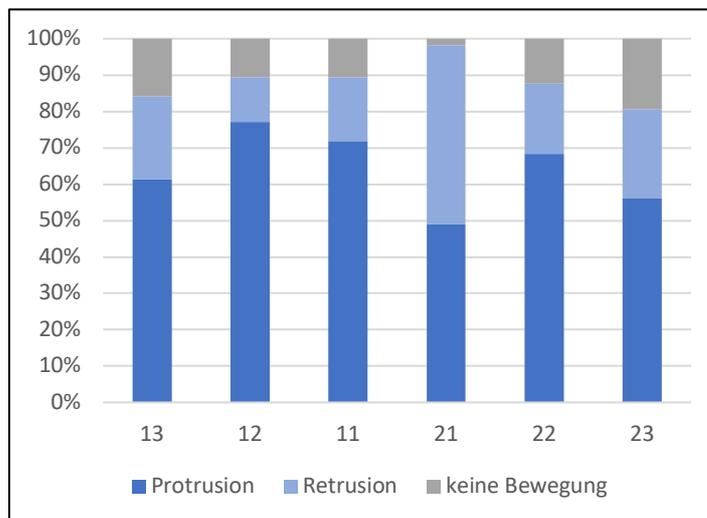


Abb. 4.9: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK

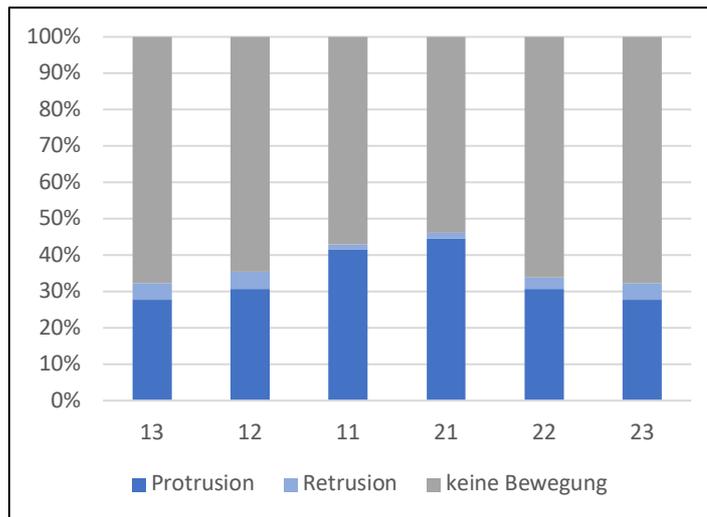


Abb. 4.10: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK

In beiden Gruppen traten Protrusion häufiger auf (64,0% vs. 33,8%) als Retrusionen (24,3% vs. 3,3%).

Das größte Bewegungsausmaß für Protrusionen in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 11 mit +2,01mm. Das größte Ausmaß für Retrusionen zeigte Zahn 13 mit -2,15mm. Der Median lag bei allen Zahneinheiten im positiven Bereich (+0,20mm bis +0,56mm). Der größte Medianwert befand sich an Zahn 12 mit 0,56mm. Der Mittelwert lag zwischen +0,23mm an Zahn 23 und +0,45mm an Zahn 12 (Abb. 4.11).

In der Kontrollgruppe wies Zahn 22 das größte Bewegungsausmaß (Protrusion) mit +2,45mm auf. Das größte Bewegungsausmaß für Retrusionen lag an Zahn 23 mit -0,74mm. Der Median lag an allen Zahneinheiten bei 0,00mm. Der Mittelwert lag an allen Zahneinheiten im positiven Bereich (+0,18mm bis +0,34mm) (Abb. 4.12).

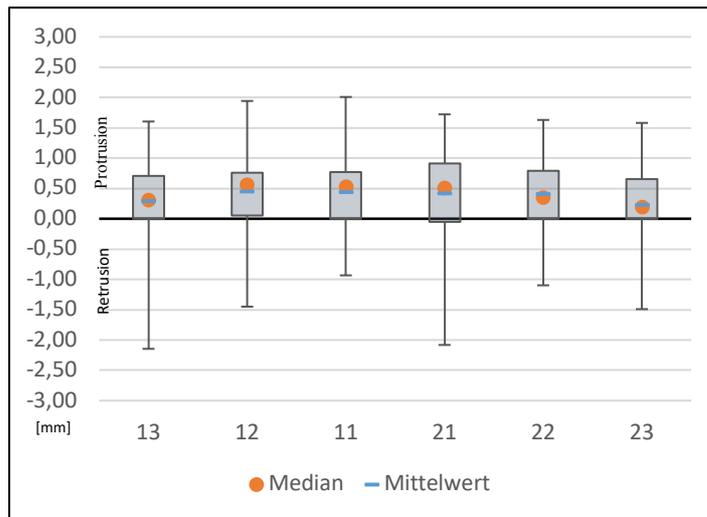


Abb. 4.11: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK

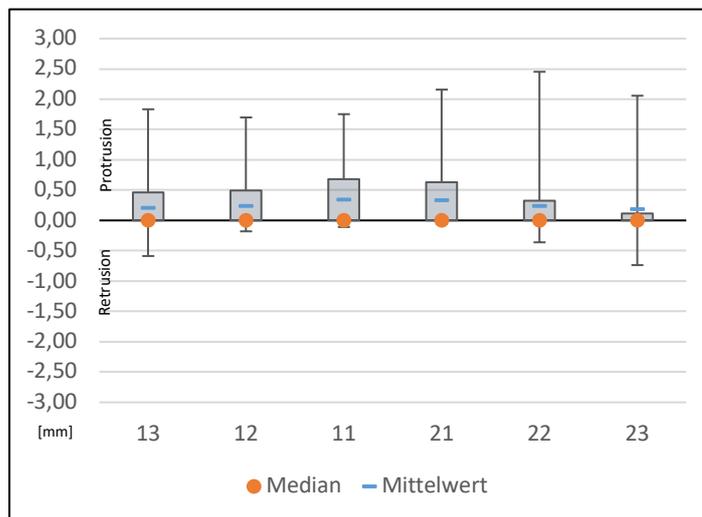


Abb. 4.12: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK

Die Bewegungsverteilung war in der Untersuchungsgruppe größer und befand sich in beiden Gruppen fast ausschließlich (außer bei Zahn 21 Untersuchungsgruppe) im positiven Bereich. Das korrespondiert mit den Bewegungsprävalenzen. Bewegungsmaxima waren in der Kontrollgruppe im positiven Bereich ausgeprägter als in der Untersuchungsgruppe. Negative Maxima traten in der Kontrollgruppe weniger ausgeprägt auf als in der Untersuchungsgruppe.

4.1.4 Rotatorische Bewegungen um die Y-Achse

Rotatorische Bewegungen um die Y-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Mesioklination oder Distoklination der Zähne. Kippungen nach links (+) stellen dabei im ersten Quadranten eine Mesioklination dar und im zweiten Quadranten eine Distoklination. Kippungen nach rechts (-) entsprechen im ersten Quadranten einer Distoklination und im zweiten Quadranten einer Mesioklination.

In der Untersuchungsgruppe traten Kippungen nach links am häufigsten an Zahn 22 auf (57,9%). Kippungen nach rechts traten am häufigsten an Zahn 13 mit 49,1% auf. Durchschnittlich traten Kippungen nach links zu 49,4% auf, Kippungen nach rechts zu 38,9% (Abb. 4.13).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Kippungen nach links am häufigsten an Zahn 11 zu finden (26,2%), Kippungen nach rechts traten am häufigsten an Zahn 21 mit 29,2% auf. Im Durchschnitt traten Kippungen nach links zu 19,7% auf, Kippungen nach rechts zu 17,2% (Abb. 4.14).

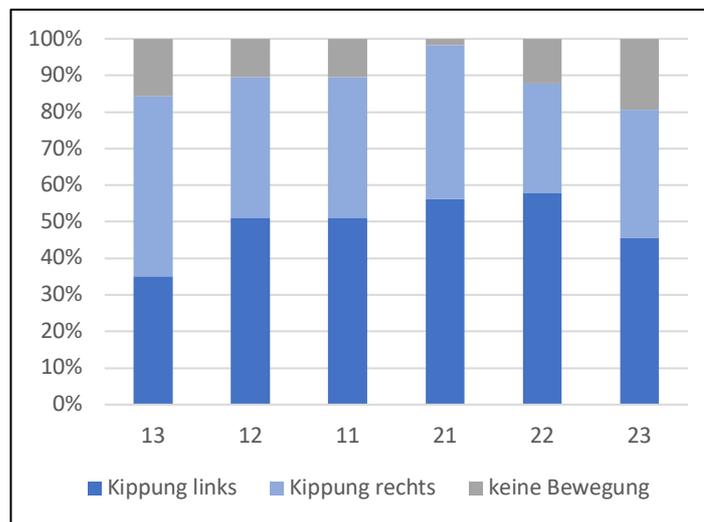


Abb. 4.13: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK

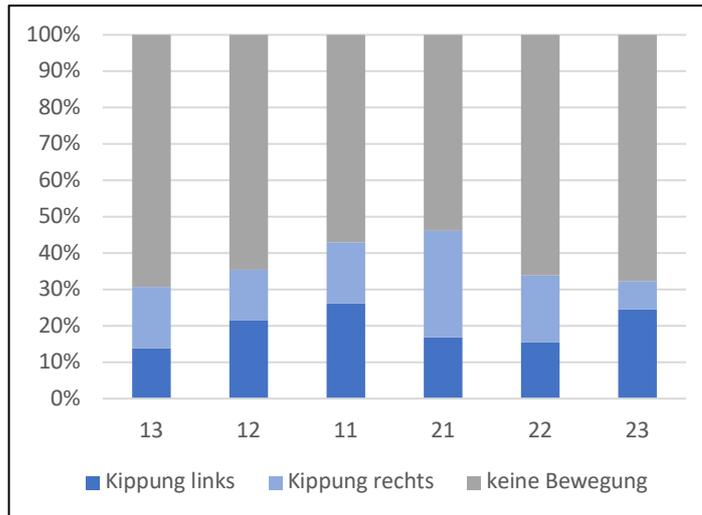


Abb. 4.14: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK

Das größte Bewegungsausmaß für Kippungen nach links in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 23 mit $+13,60^\circ$, das größte Ausmaß für Kippungen nach rechts lag an Zahn 13 mit $-14,47^\circ$. Der Median befand sich im Bereich $0,00^\circ$ bis $+0,79^\circ$. Der Mittelwert an Zahn 13 entsprach $-1,12^\circ$, an Zahn 23 betrug er $+1,18^\circ$. Der Mittelwert und die Bewegungsverteilung zeigten eine gegenläufige Verteilung mit positiver Tendenz im zweiten Quadranten und negativer Tendenz im ersten Quadranten. Die gegenläufige Bewegungsverteilung war jeweils an den Eckzähnen am deutlichsten (Abb. 4.15).

In der Kontrollgruppe lag das positive Bewegungsmaximum (Kippung links) an Zahn 23 mit $+11,78^\circ$, das negative Bewegungsmaximum an Zahn 13 (Kippung rechts) mit $-7,09^\circ$. Der Median befand sich an allen Zahneinheiten bei $0,00^\circ$. Der Mittelwert lag zwischen $-0,22^\circ$ an Zahn 22 und $+0,46^\circ$ an Zahn 23 (Abb. 4.16).

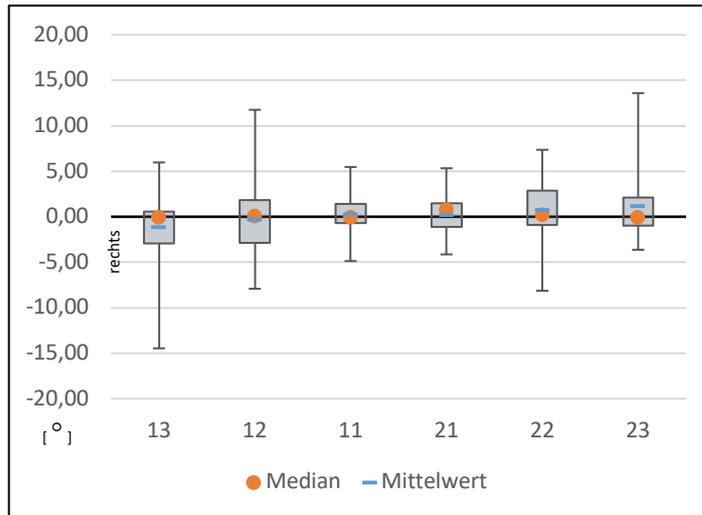


Abb. 4.15: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK

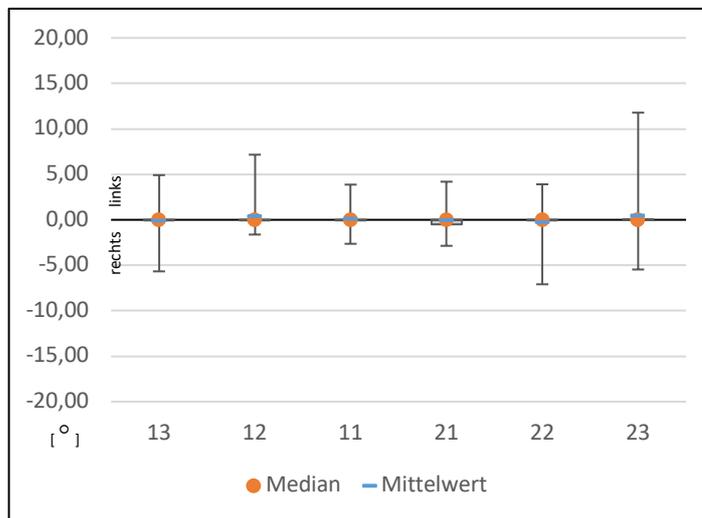


Abb. 4.16: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK

Die Untersuchungsgruppe wies eine größere Bewegungsverteilung auf. Zahn 13 zeigte in der Untersuchungsgruppe eine negative Bewegungsverteilung und große negative Maxima. Große positive Bewegungsmaxima zeigte Zahn 23 sowohl in der Kontrollgruppe als auch in der Untersuchungsgruppe. Die Medianverteilung zwischen den Gruppen differierte kaum. Der Mittelwert und die Bewegungsverteilung zeigten in der Untersuchungsgruppe eine gegenläufige Verteilung zwischen erstem und zweitem Quadranten. Dieses Bewegungsmuster war in der Kontrollgruppe nicht zu beobachten.

4.1.5 Translatorische Bewegungen entlang der Z-Achse

Translatorische Bewegungen entlang der Z-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Extrusion (+) oder einer Intrusion (-).

In der Untersuchungsgruppe traten Extrusionen am häufigsten an Zahn 21 auf (82,5%). Intrusionen traten am häufigsten an Zahn 11 und 22 mit 17,5% auf. Durchschnittlich traten Extrusionen mit 74,3% häufiger auf als Intrusionen mit 14,0% (Abb. 4.17).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Extrusionen am häufigsten an Zahn 21 zu finden (44,6%). Intrusionen traten am häufigsten an den Zahneinheiten 11, 21 und 22 mit 1,5% auf. Im Durchschnitt traten Extrusionen zu 36,5% auf, Intrusionen zu 0,8% (Abb. 4.18).

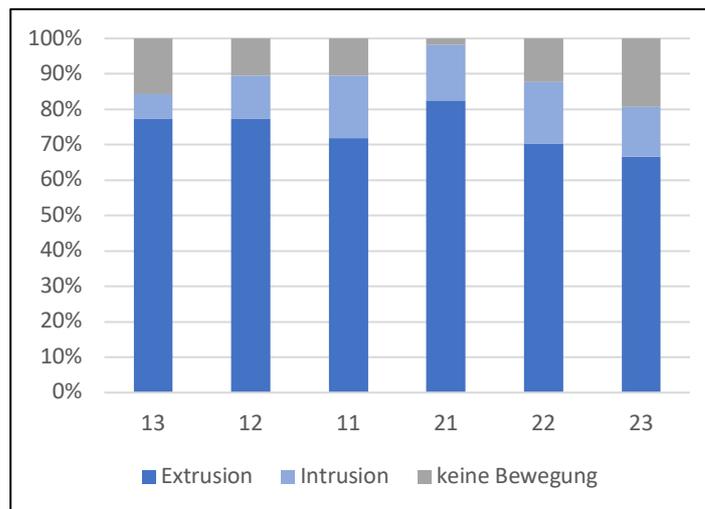


Abb. 4.17: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK

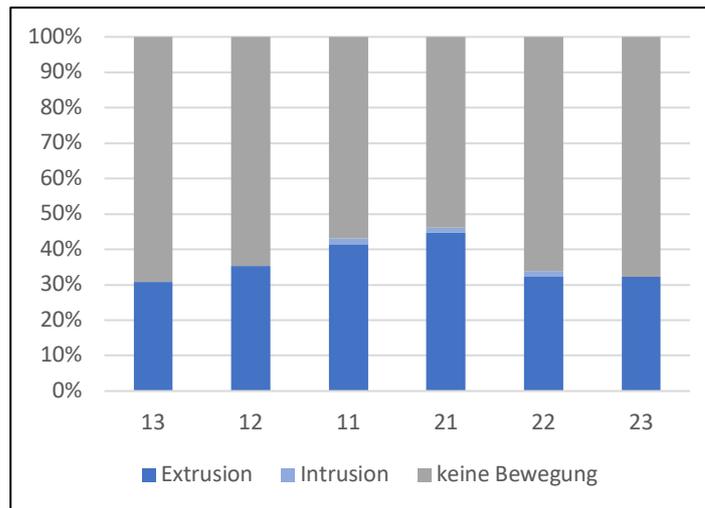


Abb. 4.18: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK

In beiden Gruppen traten Extrusionen deutlich häufiger auf (74,3% vs. 36,5%) als Intrusionen (14,0% vs. 0,8%).

Das größte Bewegungsausmaß für Extrusionen in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 23 mit +2,27mm, das größte Ausmaß für Intrusionen lag an Zahn 21 mit -1,49mm. Die Bewegungsverteilung, der Median (+0,42mm bis +0,66mm) sowie der Mittelwert (+0,39mm bis +0,66mm) befanden sich an allen Zahneinheiten im positiven Bereich (Abb. 4.19).

In der Kontrollgruppe wies Zahn 23 das größte positive Bewegungsmaximum mit +1,79mm auf. Das größte negative Bewegungsmaximum lag an Zahn 11 bei -0,05mm. Die Bewegungsverteilung lag ausschließlich im positiven Bereich. Der Median betrug an allen Zahneinheiten 0,00mm. Der Mittelwert lag an allen Zahneinheiten im positiven Bereich (+0,28mm bis +0,34mm) (Abb. 4.20).

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

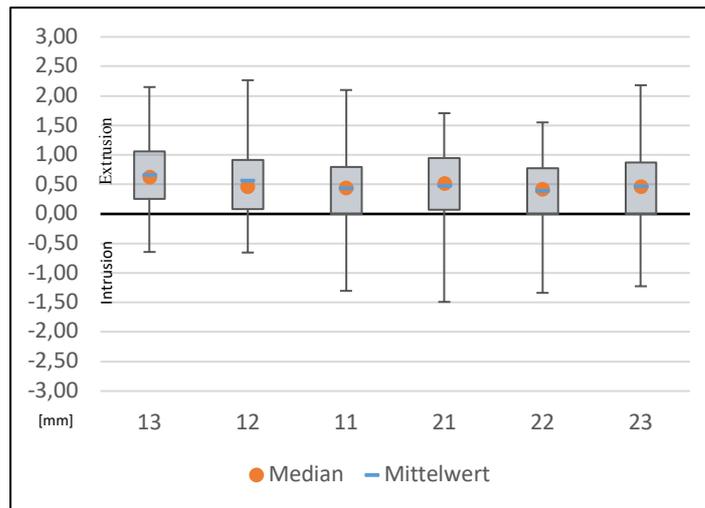


Abb. 4.19: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK

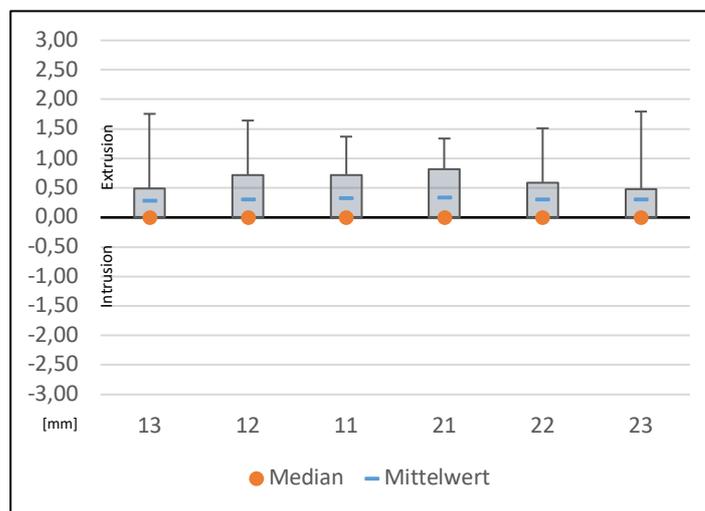


Abb. 4.20: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK

Die Bewegungsverteilung war in der Untersuchungsgruppe größer und befand sich ausschließlich im positiven Bereich. Das korrespondierte mit den Bewegungsprävalenzen. Extrusionen traten deutlich häufiger auf als Intrusionen. Auch in der Kontrollgruppe befand sich die Bewegungsverteilung im positiven Bereich. Während in der Kontrollgruppe kaum negative Maxima auftraten, waren in der Untersuchungsgruppe negative Maxima zu sehen. Die Medianverteilungen unterschieden sich ebenfalls. Während in der Untersuchungsgruppe die Mediane zwischen +0,42mm und +0,66mm lagen, betrug dieser in der Kontrollgruppe an allen Zahneinheiten 0,00mm.

Der Mittelwert lag in beiden Gruppen ausschließlich im positiven Bereich und zeigte nur geringe Differenzen zwischen den Gruppen.

4.1.6 Rotatorische Bewegungen um die Z-Achse

Rotatorische Bewegungen um die Z-Achse stellen richtungsabhängig eine Rotation gegen den Uhrzeigersinn (+, counterclockwise, ccw) oder eine Rotation im Uhrzeigersinn (-, clockwise, cw) dar.

In der Untersuchungsgruppe traten Rotationen gegen den Uhrzeigersinn am häufigsten an Zahn 13 auf (59,6%). Rotationen im Uhrzeigersinn traten am häufigsten an Zahn 23 mit 52,6% auf. Durchschnittlich traten Rotationen im Gegenuhrzeigersinn mit 46,8% auf, Rotationen im Uhrzeigersinn mit 38,9%. Zahn 13 wies eine deutlich höhere Bewegungsprävalenz für Bewegungen gegen den Uhrzeigersinn auf als Zahn 23 (59,6% vgl. 28,1%). Umgekehrt wies Zahn 23 eine deutlich höhere Prävalenz für Bewegungen im Uhrzeigersinn auf als Zahn 13 (52,6% vs. 24,6%) (Abb. 4.21).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Rotationen gegen den Uhrzeigersinn am häufigsten an Zahn 21 zu finden (24,6%), Rotationen im Uhrzeigersinn traten ebenfalls am häufigsten an Zahn 21 mit 21,5% auf. Im Durchschnitt traten Rotationen gegen den Uhrzeigersinn zu 19,5% auf, Rotationen im Uhrzeigersinn zu 17,7% (Abb. 4.22).

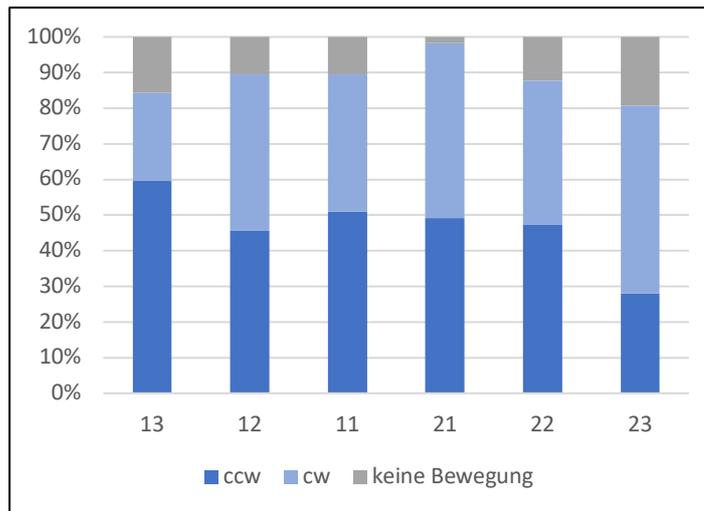


Abb. 4.21: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK

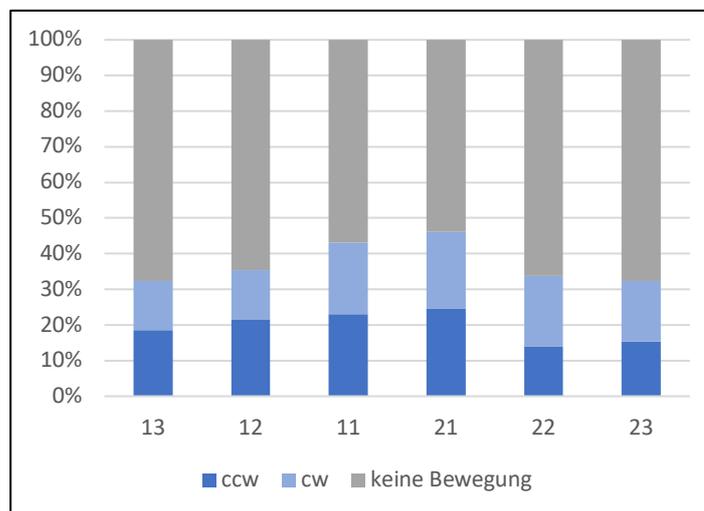


Abb. 4.22: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK

Das positive Bewegungsmaximum (Rotationen gegen den Uhrzeigersinn) in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 22 mit $+8,34^\circ$, das größte negative Bewegungsmaximum (Rotationen im Uhrzeigersinn) lag an Zahn 12 mit $-11,62^\circ$. Der Median lag zwischen $-0,50^\circ$ an Zahn 23 und $+1,06^\circ$ an Zahn 13. Der Mittelwert betrug zwischen $-1,31^\circ$ an Zahn 23 und $+0,99^\circ$ an Zahn 13. Die Bewegungsverteilung zeigte entsprechend der Bewegungsprävalenz ein gegenläufiges Bewegungsmuster der Eckzähne (Abb. 4.23).

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

In der Kontrollgruppe lag das positive Bewegungsmaximum (Rotationen gegen den Uhrzeigersinn) an Zahn 13 mit $+9,31^\circ$, das negative Bewegungsmaximum an Zahn 12 (Rotationen im Uhrzeigersinn) mit $-6,60^\circ$. Der Median betrug an allen Zahneinheiten $0,00^\circ$. Der Mittelwert lag zwischen $-0,22^\circ$ an Zahn 22 und $+0,40^\circ$ an Zahn 13 (Abb. 4.24).

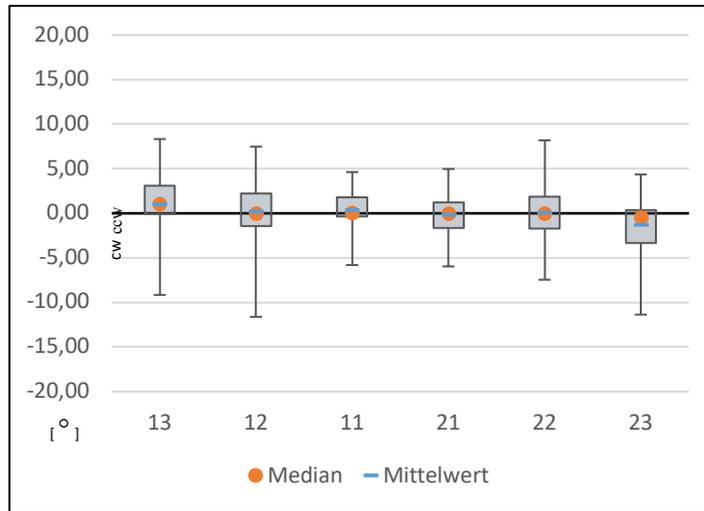


Abb. 4.23: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK

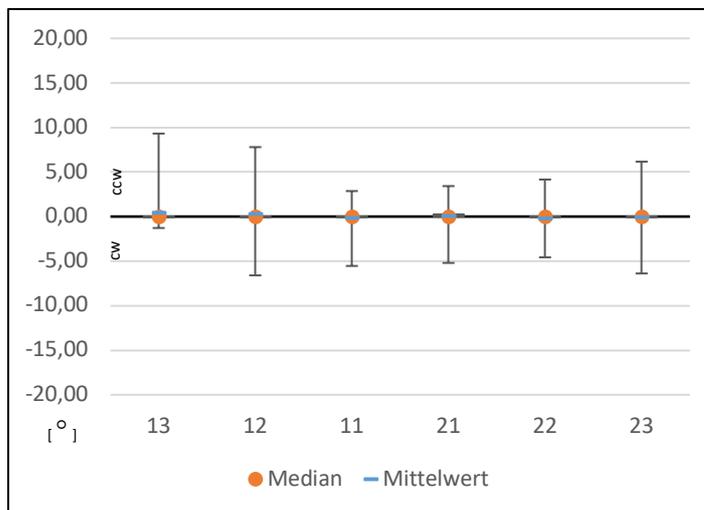


Abb. 4.24: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK

Die Bewegungsverteilung in der Untersuchungsgruppe war größer. Weiter waren die negativen Maxima größer und es zeichnete sich eine gegenläufige Bewegungsverteilung der Eckzähne ab. Auch Mittelwert und Median zeigten dieses Muster. In der Kontrollgruppe ließ die Verteilung des Mittelwerts ein ähnliches Muster erkennen, jedoch deutlich weniger ausgeprägt.

4.1.7. Mögliche prädisponierende Cofaktoren

In der Untersuchungsgruppe waren 52,6% der Patienten prätherapeutisch dem Bisstyp I:0 zuzuordnen, während 47,4% der Patienten den Bisstyp I:1 aufwiesen. Diese Verteilung war in der Kontrollgruppe ähnlich (I:0 56,9%; I:1 43,1%) und zeigte keinen statistisch signifikanten Gruppenunterschied ($p=0,635$). Bei 31,6% der Patienten wurden während der Behandlung Prämolaren extrahiert, während dies bei 33,8% der Kontrollgruppe der Fall war. Dieser Gruppenunterschied war ebenfalls nicht signifikant ($p=0,79$).

Während die prätherapeutischen Mandibularbasiswinkel (ML/NSL) nahezu identisch waren (Untersuchungsgruppe: $33,60^\circ$; Kontrollgruppe: $33,63^\circ$; $p=0,973$), standen die oberen Schneidezähne prätherapeutisch in der Untersuchungsgruppe geringfügig proklinierter ($IsL/NA=22,46^\circ$) als in der Kontrollgruppe ($IsL/NA=21,09^\circ$). Dieser Unterschied war jedoch ebenfalls nicht statistisch signifikant ($p=0,241$).

Ebenso wiesen sowohl die inzisale Relation zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 als auch das prätherapeutische Vorliegen von Habits keine signifikanten Gruppenunterschiede auf (Tabelle 4.1).

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

Tab. 4.1: Deskriptive Verteilung der inzisalen Relation und Vorliegen von Habits in Untersuchungs- und Kontrollgruppe

	Untersuchungsgruppe		Kontrollgruppe		p-Wert
	n	%	n	%	
Inzisale Relation T1					
inzisale Abstützung	46	80,7	55	84,6	0,527
offener Biss mit OB	10	17,5	10	15,4	
offener Biss ohne OB	1	1,8	0	0	
Inzisale Relation T2					
inzisale Abstützung	48	84,2	51	78,5	0,522
offener Biss mit OB	9	15,8	13	20,0	
offener Biss ohne OB	0	0,0	1	1,5	
Inzisale Relation T3					
inzisale Abstützung	41	71,9	50	76,9	0,413
offener Biss mit OB	15	26,3	12	18,5	
offener Biss ohne OB	1	1,8	3	4,6	
Habits zu T1					
ja	26	45,6	32	49,2	0,69
nein	31	54,4	33	50,8	

Der Overjet wurde während der kieferorthopädischen Behandlung in der Untersuchungsgruppe um $1,14 \pm 1,75$ mm reduziert, während die Reduktion in der Kontrollgruppe mit $1,62 \pm 1,55$ mm etwas größer war. Dennoch zeigte der Gruppenunterschied keine statistische Signifikanz ($p=0,175$).

Die intercanine Distanz wurde während der Behandlung in der Untersuchungsgruppe um durchschnittlich $1,69 \pm 2,85$ mm erweitert, während in der Kontrollgruppe in diesem

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

Bereich eine Expansion um lediglich $0,32 \pm 2,4\text{mm}$ erfolgte, was einen signifikanten Gruppenunterschied darstellte ($p=0,031$; Tabelle 4.2).

Tab. 4.2: Entwicklung der intercaninen Distanz (in mm) während der Behandlung in Untersuchungs- und Kontrollgruppe; Angabe als Mittelwert \pm Standardabweichung

	Untersuchungsgruppe	Kontrollgruppe	p-Wert
Intercanine Distanz T1	$33,22 \pm 2,51$	$34,66 \pm 3,52$	
Intercanine Distanz T2	$35,02 \pm 1,66$	$34,95 \pm 2,05$	
Intercanine Distanz T2-T1	$1,69 \pm 2,85$	$0,32 \pm 2,4$	$0,031 *$

Retainerdefekte im Sinne von Klebestellenverlusten traten in der Untersuchungsgruppe an allen Zähnen häufiger auf als in der Kontrollgruppe. Besonders ausgeprägt stellte sich der Unterschied an den Zähnen 12, 11 und 21 dar: Während in der Kontrollgruppe nur 10,8% der Patienten von Klebestellenverlusten an Zahn 12 betroffen waren, waren es in der Untersuchungsgruppe 29,6%. Dieser Gruppenunterschied war signifikant ($p=0,008$). An Zahn 11 wiesen nur 6,2% der Kontrollgruppe Klebestellenverluste auf, während die relative Häufigkeit in der Untersuchungsgruppe mit 22,8% um den Faktor 3,67 höher war. Auch dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,008$). Der größte Gruppenunterschied war an Zahn 21 zu verzeichnen: Hier waren in der Kontrollgruppe 4,6% der Patienten von Klebestellenverlusten betroffen, während in der Untersuchungsgruppe mit 21,1% mehr als 4,5 Mal häufiger Detachments auftraten. Auch dieser Gruppenunterschied war statistisch signifikant ($p=0,006$) (Abb. 4.25).

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

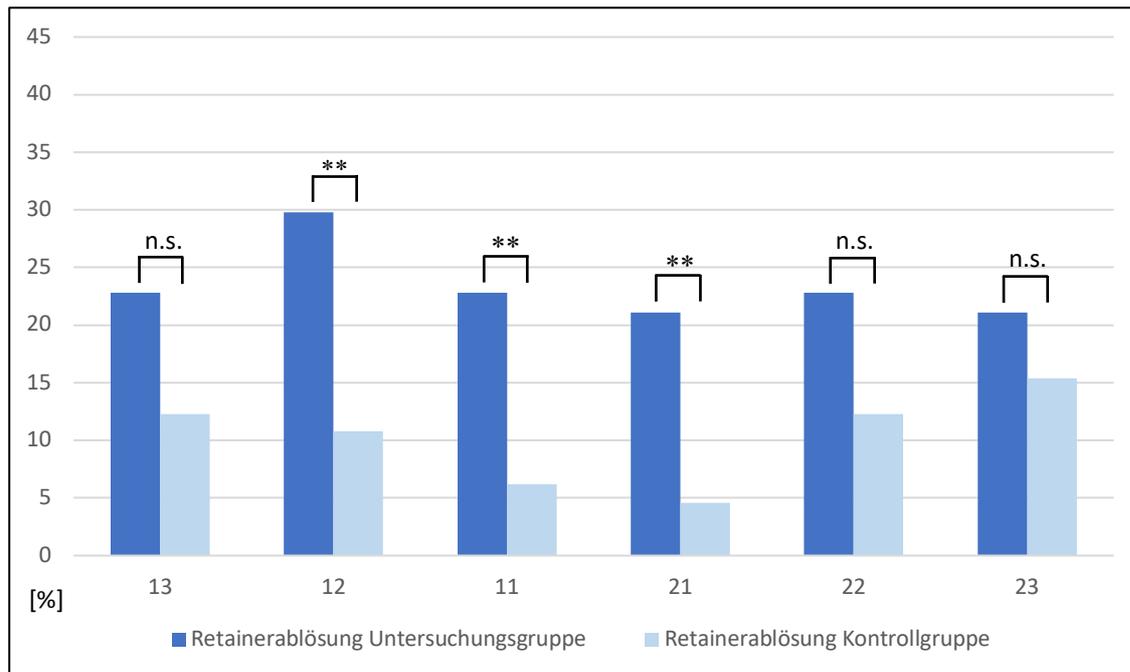


Abb. 4.25: Prozentuale Häufigkeit von Retainerablösungen im Oberkiefer in Untersuchungs- und Kontrollgruppe

Brüche des Retainerdrahtes kamen in der gesamten untersuchten Population selten vor. Trotz geringfügig höherer Prävalenzen in der Untersuchungsgruppe lagen keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede vor (Tabelle 4.3).

Tab. 4.3: Häufigkeit von Retainerbrüchen in Untersuchungs- und Kontrollgruppe

Lokalisation der Retainerbrüche	Untersuchungsgruppe		Kontrollgruppe		p-Wert
	n	%	n	%	
Interdental 13/12	2	3,5	2	3,1	>0,999
Interdental 12/11	3	5,3	2	3,1	0,664
Interdental 11/21	2	3,5	2	3,1	0,999
Interdental 21/22	3	5,3	1	1,5	0,339
Interdental 22/23	4	7,0	1	1,5	0,184

4.1.8. Zusammenfassende Beurteilung der Oberkieferergebnisse

Bewegungsprävalenz und Bewegungsausmaß waren auf allen Achsen in der Untersuchungsgruppe größer und die Zahneinheit 21 wies auf allen Achsen die höchste Bewegungsprävalenz auf. An den Zahneinheiten mit den höchsten Bewegungsprävalenzen und dem größten Bewegungsausmaß (Zahneinheiten 12, 11 und 21) wurden in der Untersuchungsgruppe signifikant mehr Retainerdefekte verzeichnet als in der Kontrollgruppe.

Auffällig ist jedoch, dass in beiden Gruppen die Ablösungsprävalenz an den Zähnen mit der höchsten Bewegungsprävalenz nicht am höchsten, sondern zum Teil sogar geringer als an den übrigen Zähnen war.

In der Untersuchungsgruppe kam es zwar häufiger zu Retainerablösungen, jedoch besteht kein direkter Zusammenhang zwischen Retainerdefektprävalenz und der Bewegungsprävalenz beziehungsweise dem Bewegungsausmaß (Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Vergleich Ablösungsprävalenzen vs. Bewegungsprävalenzen

OK Untersuchungsgruppe	13	12	11	21	22	23
Ablösungsprävalenz	22,8%	29,8%	22,8%	21,1%	22,8%	21,1%
Bewegungsprävalenz	84,2%	89,5%	89,5%	98,2%	87,7%	75,4%

OK Kontrollgruppe	13	12	11	21	22	23
Ablösungsprävalenz	12,3%	10,8%	6,2%	4,6%	12,3%	15,4%
Bewegungsprävalenz	31,3%	35,4%	43,1%	46,2%	33,6%	32,3%

4.1 Ergebnisse Oberkiefer

Retroklinationen, Protrusionen und Extrusionen traten in der Untersuchungsgruppe häufiger und verstärkt auf. Auch in der Kontrollgruppe traten bestimmte Bewegungsmuster trotz visuell unauffälliger Inspektion im Vergleich zu den anderen Bewegungsrichtungen häufiger auf: So waren Protrusionen und Extrusionen häufiger messbar. Sowohl das Bewegungsausmaß als auch die Häufigkeit war jedoch im Vergleich zur Untersuchungsgruppe geringer (Tab. 4.5).

Tab. 4.5: Vergleich der Bewegungsprävalenzen und -richtungen zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Oberkiefer; Prävalenzunterschiede zwischen den Bewegungsrichtungen > 10% sind grün markiert, Prävalenzunterschiede > 30% sind gelb markiert.

	OK Untersuchungsgruppe		OK Kontrollgruppe	
Translation X	43,0% (links)	45,3% (rechts)	17,4% (links)	19,5% (rechts)
Rotation X	28,4% (Proklination)	59,9% (Retroklination)	13,9% (Proklination)	23,1% (Retroklination)
Translation Y	64,0% (Protrusion)	24,3% (Retrusion)	33,8% (Protrusion)	3,3% (Retrusion)
Rotation Y	49,4% (links)	38,9% (rechts)	19,7% (links)	17,2% (rechts)
Translation Z	74,3% (Extrusion)	14,0% (Intrusion)	36,5% (Extrusion)	0,8% (Intrusion)
Rotation Z	46,8% (ccw)	41,5% (cw)	19,5% (ccw)	17,7% (cw)

Neben den generellen Bewegungsmustern zeigten einzelne Zahneinheiten Differenzen. Zahn 21 wies eine gleiche Prävalenz für Pro- und Retrusionen auf, während die restlichen Zähne der Untersuchungsgruppe eine deutlich höhere Prävalenz für Protrusionen hatten. Die Eckzähne wiesen in beiden Gruppen jeweils die geringste Bewegungsprävalenz auf, jedoch zeichneten sich in der Untersuchungsgruppe auf zwei Achsen gegenläufige Bewegungsmuster der Eckzähne ab:

- Zahn 13 zeigte eine erhöhte Prävalenz und ein erhöhtes Bewegungsausmaß für Kippungen nach rechts, sowie für Rotationen gegen den Uhrzeigersinn.
- Zahn 23 zeigte eine erhöhte Prävalenz und ein erhöhtes Bewegungsausmaß für Kippungen nach links, sowie für Rotationen im Uhrzeigersinn.

4.2 Ergebnisse Unterkiefer

Die Untersuchungsgruppe im Unterkiefer umfasste 39 Patienten, von denen 61,5% weiblich und 38,5% männlich waren. Das durchschnittliche Alter zu Zeitpunkt T1 lag bei $12,82 \pm 1,92$ Jahren, die durchschnittliche Behandlungsdauer bei $3,01 \pm 1,08$ Jahren und die durchschnittliche Retentionsdauer bei $2,05 \pm 0,38$ Jahren. In die Kontrollgruppe wurden hingegen 44 Patienten eingeschlossen, wovon 70,5% weiblichen und 29,5% männlichen Geschlechts waren. Zu Beginn der Behandlung (T1) lag das Alter im Mittel bei $12,61 \pm 1,77$ Jahren. Die Behandlungsdauer ($3,30 \pm 1,37$ Jahre) und Retentionsdauer ($1,99 \pm 0,41$ Jahre) wichen nur unwesentlich von der Untersuchungsgruppe ab.

4.2.1 Translatorische Bewegungen entlang der X-Achse

Translatorische Bewegungen entlang der X-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Mesialposition oder Distalposition der Zähne. Bewegungen nach links (+) stellen dabei im dritten Quadranten eine Mesialposition dar und im vierten Quadranten eine Distalposition. Bewegungen nach rechts (-) entsprechen im dritten Quadranten einer Distalposition und im vierten Quadranten einer Mesialposition.

In der Untersuchungsgruppe traten Bewegungen nach links am häufigsten an Zahn 43 auf (41,0%). Bewegungen nach rechts traten am häufigsten an Zahn 41 mit 46,2% auf. Durchschnittlich traten Bewegungen nach links zu 29,9% auf, Bewegungen nach rechts

4.2 Ergebnisse Unterkiefer

zu 35,4%. Die Bewegungsprävalenz war an Zahn 41 mit 76,9% am höchsten und an Zahn 31 mit 59,0% am niedrigsten (Abb. 4.26).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Bewegungen nach links am häufigsten an den Zähnen 31 und 41 zu finden (9,1%), Bewegungen nach rechts traten am häufigsten an den Zähnen 31, 41 und 42 mit 15,9% auf. Im Durchschnitt traten Bewegungen nach links zu 6,1% auf, Bewegungen nach rechts zu 12,5%. Die Bewegungsprävalenz war an den Zähnen 31 und 41 am höchsten mit 25,0% und an Zahn 43 mit 9,1% am niedrigsten (Abb. 4.27).

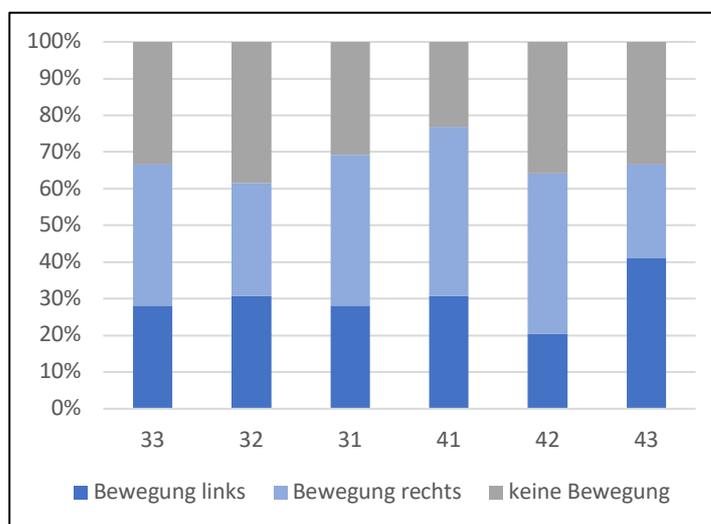


Abb. 4.26: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK

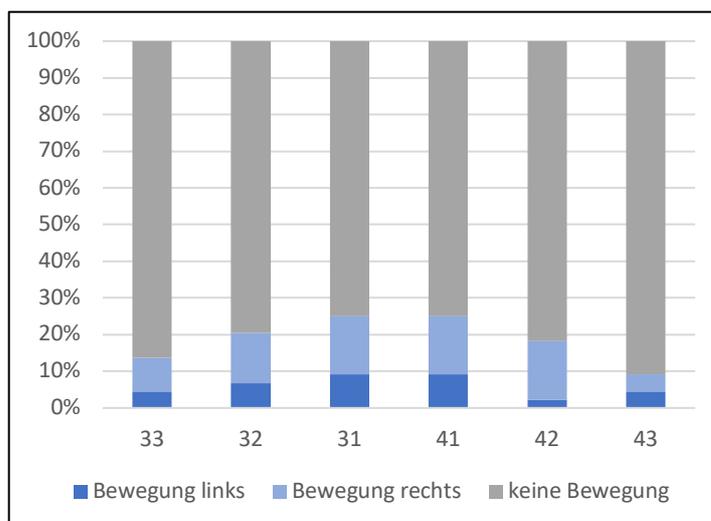


Abb. 4.27: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK

4.2 Ergebnisse Unterkiefer

Die mittlere Bewegungsprävalenz unabhängig von Richtung und Zahn lag in der Untersuchungsgruppe bei 67,5% und in der Kontrollgruppe bei 18,6%. Zahn 41 wies in beiden Gruppen die höchste Bewegungsprävalenz auf (76,9% vs. 25,0%), während die niedrigste Bewegungsprävalenz in der Untersuchungsgruppe bei Zahn 32 (61,5%) und in der Kontrollgruppe bei Zahn 43 (9,1%) lag.

Das größte Bewegungsausmaß nach links in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 41 mit +1,03mm, das größte Ausmaß nach rechts lag bei Zahn 33 mit -0,86mm. Der Median lag bei allen Zahneinheiten bei 0,00mm und der Mittelwert zwischen -0,07mm und +0,45mm (Abb. 4.28).

In der Kontrollgruppe wies Zahn 33 das größte Maximum der Bewegungen nach links (+1,00mm) auf, während das Bewegungsmaximum nach rechts an Zahn 41 mit -0,29mm auftrat. Der Median des Bewegungsausmaßes lag an allen Zähnen bei 0,00mm. Der Mittelwert zeigte nur geringe Differenzen (-0,01mm bis 0,05mm) (Abb. 4.29).

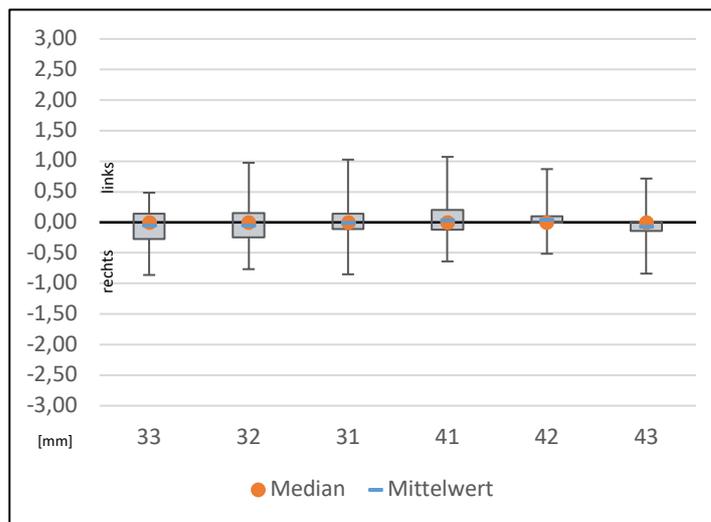


Abb. 4.28: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK

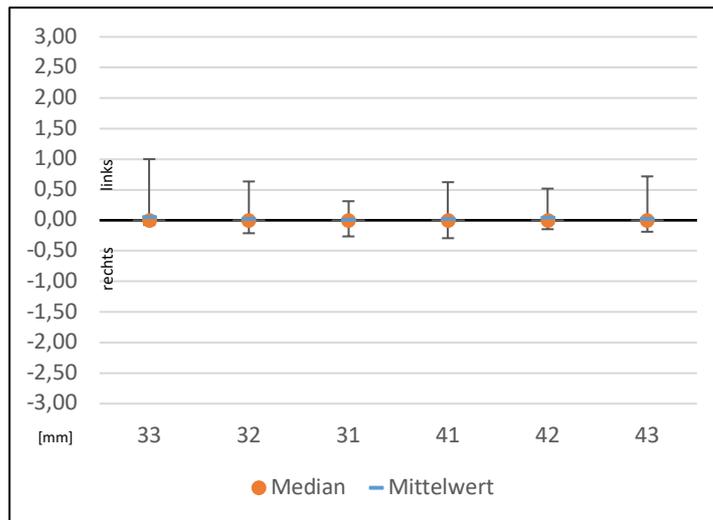


Abb. 4.29: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK

In der Untersuchungsgruppe lag eine größere Bewegungsverteilung vor. Die Bewegungsmaxima nach rechts und links waren in der Untersuchungsgruppe ähnlich groß. In der Kontrollgruppe waren die Bewegungsmaxima im Vergleich nach links stärker ausgeprägt. Die Median- und Mittelwertverteilung zeigten kaum Differenzen.

4.2.2 Rotatorische Bewegungen um die X-Achse

Rotatorische Bewegungen um die X-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Proklination (+) oder einer Retroklination (-).

In der Untersuchungsgruppe traten Proklinationen am häufigsten an Zahn 43 auf (38,5%) Retroklinationen traten am häufigsten an Zahn 41 mit 59,0% auf. Durchschnittlich traten Proklinationen weniger häufig auf (27,8%) als Retroklinationen mit 39,7% (Abb. 4.30).

In der Kontrollgruppe traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Proklinationen an den Zahneinheiten 32 und 42 am häufigsten mit 13,6%, Retroklinationen an den Zähnen 31 und 41 mit 13,6%. Proklinationen traten im Durchschnitt mit 10,6% auf, Retroklinationen mit 7,6% (Abb. 4.31).

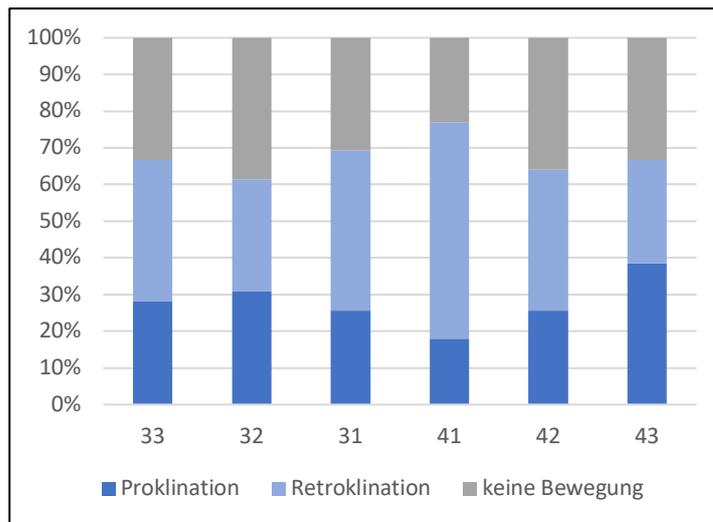


Abb. 4.30: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK

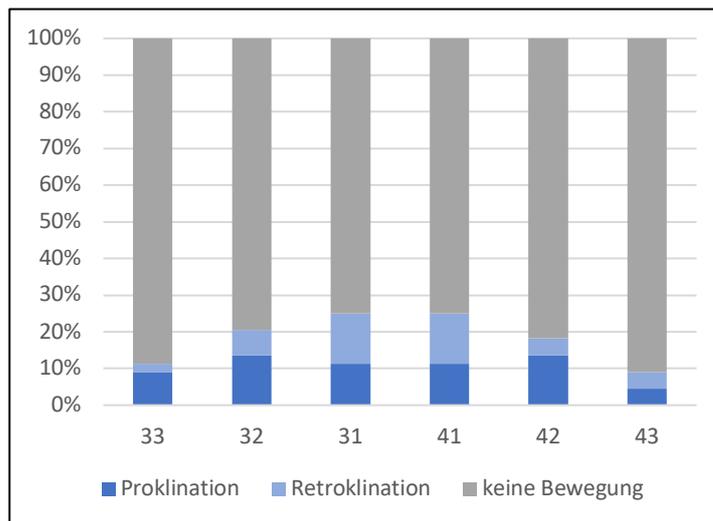


Abb. 4.31: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK

Das größte Bewegungsausmaß für Proklinationen in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 31 mit $+9,91^\circ$. Das größte Ausmaß für Retroklinationen zeigte Zahn 33 mit $-16,00^\circ$. Der Median wich lediglich an Zahn 41 ($-0,50^\circ$) von $0,00^\circ$ ab. Der Mittelwert lag zwischen $-1,61^\circ$ an Zahn 41 und $+0,62^\circ$ an Zahn 43. Die Bewegungsverteilung befand sich verstärkt im negativen Bereich (Abb. 4.32).

In der Kontrollgruppe wies Zahn 43 das größte Bewegungsausmaß (Proklination) mit $+8,72^\circ$ auf. Das größte Bewegungsausmaß für Retroklinationen lag an Zahn 42 mit -

4.2 Ergebnisse Unterkiefer

12,14°. Der Median lag an allen Zahneinheiten bei 0,00°. Der Mittelwert befand sich zwischen -0,43° an Zahn 41 und +0,21° an Zahn 43 (Abb. 4.33).

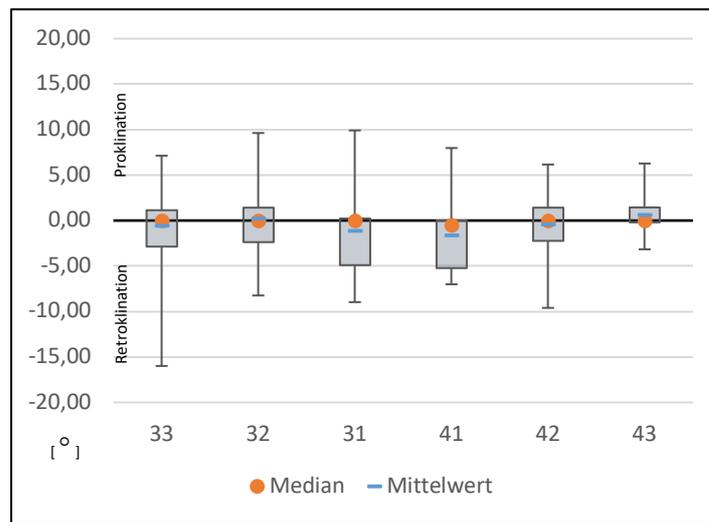


Abb. 4.32: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK

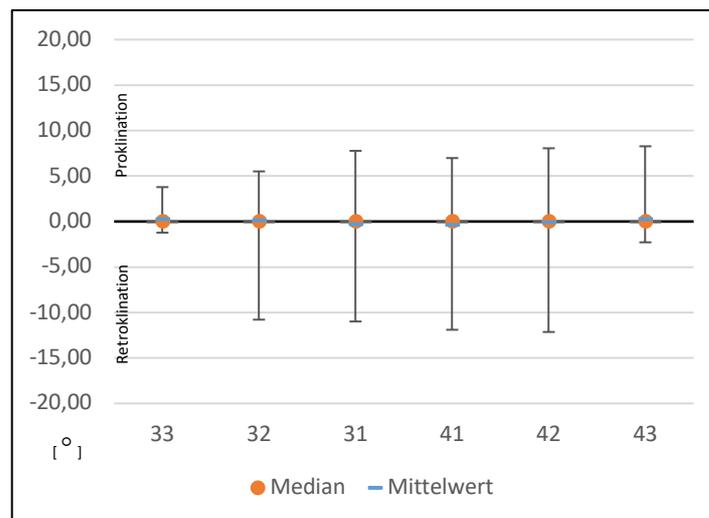


Abb. 4.33: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK

Die Bewegungsverteilung in der Untersuchungsgruppe war größer. Die Bewegungsextreme waren in der Kontrollgruppe nur geringfügig kleiner als in der Untersuchungsgruppe (-16,00° bis +9,91° vs. -12,14° bis +8,72°). Der Median zeigte lediglich an 41 eine kleine Differenz zwischen den Gruppen, ansonsten befand sich der Median konstant bei 0,00°. Der Mittelwert zeigte eine etwas größere Differenz in der Untersuchungsgruppe.

4.2.3 Translatorische Bewegungen entlang der Y-Achse

Translatorische Bewegungen entlang der Y-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Protrusion (+) oder einer Retrusion (-).

In der Untersuchungsgruppe traten Protrusionen am häufigsten an Zahn 33 auf (43,6%). Retrusionen traten am häufigsten an Zahn 43 mit 51,3% auf. Durchschnittlich traten Protrusionen mit 31,6% auf, Retrusionen mit 35,9%. Zahn 33 wies eine deutlich höhere Bewegungsprävalenz für Protrusionen auf (43,6% vs. 23,1%) während umgekehrt Zahn 43 eine deutlich höhere Prävalenz für Retrusionen zeigte (51,3% vs. 15,4%), womit sich eine gegenläufige Tendenz der Eckzähne darstellte (Abb. 4.34).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Protrusionen am häufigsten an Zahn 31 zu finden (18,2%). Retrusionen traten am häufigsten an Zahn 41 mit 9,1% auf. Im Durchschnitt traten Protrusionen zu 12,9% auf, Retrusionen zu 5,3% (Abb. 4.35).

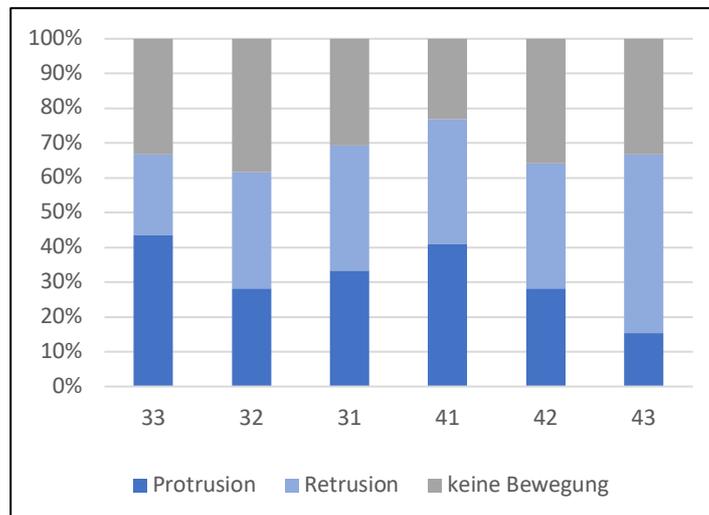


Abb. 4.34: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK

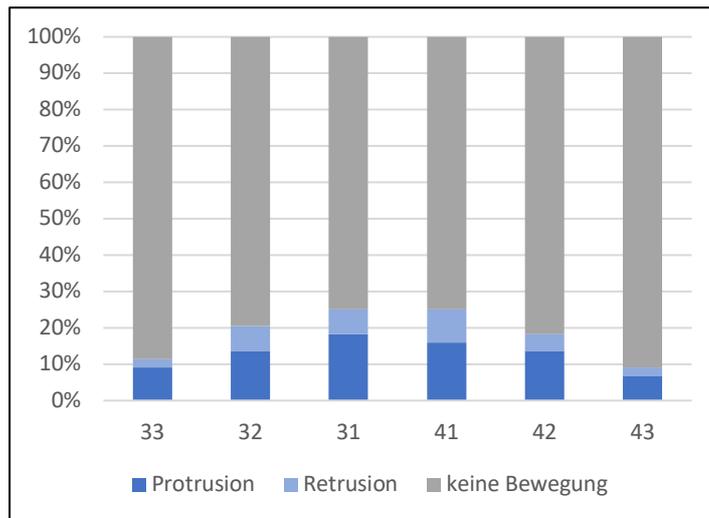


Abb. 4.35: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK

Retrusionen traten in der Untersuchungsgruppe vermehrt auf (35,9% vgl. 31,6%), während in der Kontrollgruppe die Protrusionen häufiger vorkamen (12,9% vgl. 5,3%).

Das größte Bewegungsausmaß für Protrusionen in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 33 mit +2,46mm. Das größte Ausmaß für Retrusionen zeigte Zahn 42 mit -1,60mm. Der Median wich lediglich an Zahn 43 (-0,03mm) von 0,00mm ab. Der Mittelwert lag zwischen -0,18mm an Zahn 33 und +0,16mm an Zahn 43 (Abb. 4.36).

In der Kontrollgruppe wies Zahn 41 das größte Bewegungsausmaß (Protrusion) mit +0,78mm auf. Das größte Bewegungsausmaß für Retrusionen lag an Zahn 43 mit -1,43mm. Der Median lag an allen Zahneinheiten bei 0,00mm. Der Mittelwert lag zwischen -0,02mm und +0,06mm (Abb. 4.37)

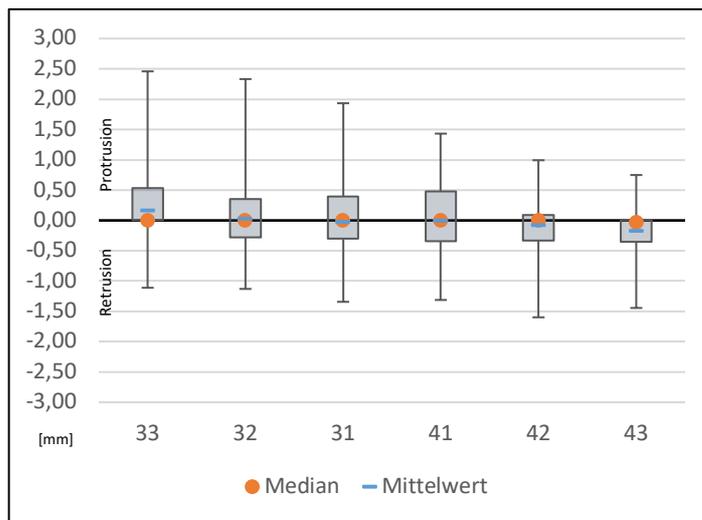


Abb. 4.36: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK

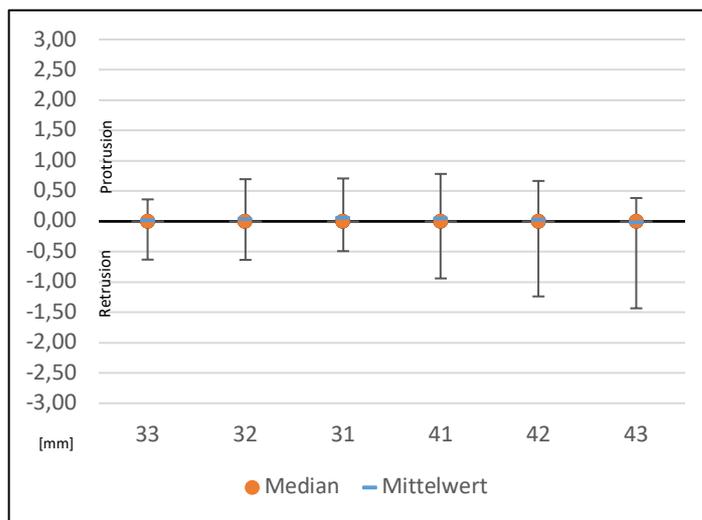


Abb. 4.37: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK

In der Untersuchungsgruppe zeigte sich eine gegenläufige Bewegungsverteilung, welche an den Eckzähnen korrespondierend mit den Bewegungsprävalenzen am ausgeprägtesten waren. An 33 befand sich die Bewegungsverteilung hauptsächlich im positiven Bereich (Protrusionen), an Zahn 43 hauptsächlich im negativen Bereich (Retrusionen). Auch die Verteilung des Mittelwerts zeigte diese Tendenz, was für das Vorliegen eines Twist-Effektes spricht. In der Kontrollgruppe war eine gegenläufige Bewegung der Zähne nicht zu erkennen.

4.2.4 Rotatorische Bewegungen um die Y-Achse

Rotatorische Bewegungen um die Y-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Mesioklination oder Distoklination der Zähne. Kippungen nach links (+) stellen dabei im dritten Quadranten eine Mesioklination dar und im vierten Quadranten eine Distoklination. Kippungen nach rechts (-) entsprechen im dritten Quadranten einer Distoklination und im vierten Quadranten einer Mesioklination.

In der Untersuchungsgruppe traten Kippungen nach links am häufigsten an Zahn 41 auf (48,7%). Kippungen nach rechts traten am häufigsten an Zahn 33 mit 64,1% auf. Durchschnittlich traten Kippungen nach links zu 34,6% auf, Kippungen nach rechts zu 32,9%. An Zahn 33 war die Prävalenz für Kippungen nach links (2,6%) deutlich geringer als die Prävalenz für Kippungen nach rechts (64,1%). An Zahn 43 war die Differenz weniger ausgeprägt, jedoch war die Prävalenz für Kippungen nach rechts (28,2%) geringer als die für Kippungen nach links (38,5%) (Abb. 4.38).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Kippungen nach links am häufigsten an Zahn 32 zu finden (15,9%), Kippungen nach rechts traten am häufigsten an Zahn 41 mit 15,9% auf. Im Durchschnitt traten Kippungen nach links zu 8,3% auf, Kippungen nach rechts zu 9,5% (Abb. 4.39).

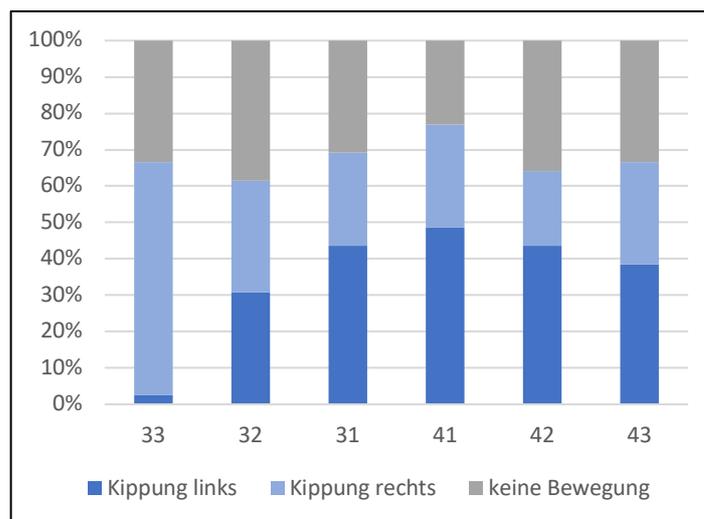


Abb. 4.38: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK

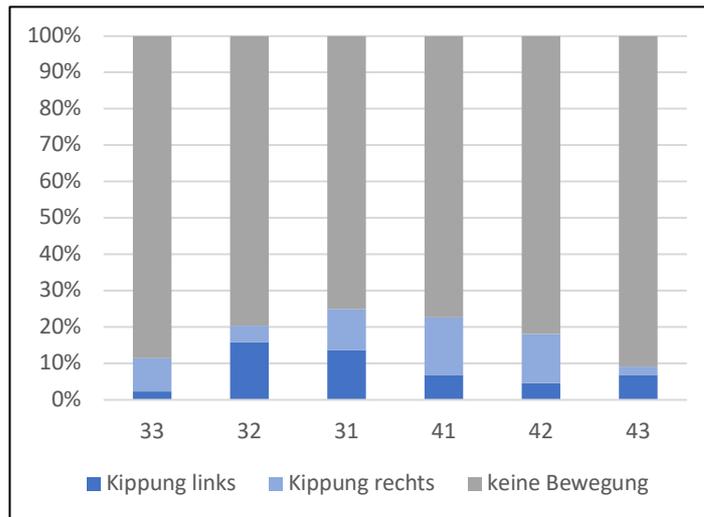


Abb. 4.39: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK

In beiden Gruppen ließ sich eine gegenläufige Bewegungsprävalenz der Eckzähne erkennen.

Das größte Bewegungsausmaß für Kippungen nach links in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 32 mit $+6,46^\circ$, das größte Ausmaß nach rechts lag an Zahn 33 mit $-15,57^\circ$. Der Median befand sich im Bereich von $-1,23^\circ$ bis $0,00^\circ$. Der Mittelwert an Zahn 33 entsprach $-2,87^\circ$, an Zahn 41 betrug er $+0,64^\circ$. Die Bewegungsverteilung, der Median und der Mittelwert zeigten an Zahn 33 Abweichungen im Vergleich zu den anderen Zahneinheiten. Sie zeigten eine deutlich größeres Bewegungsausmaß für Bewegungen nach rechts. Eine gegenläufiges Bewegungsmuster ließ sich hier nicht eindeutig erkennen (Abb. 4.40).

In der Kontrollgruppe lag das positive Bewegungsmaximum (Kippung links) an Zahn 33 mit $+4,63^\circ$, das negative Bewegungsmaximum an Zahn 41 (Kippung rechts) mit $-3,60^\circ$. Der Median befand sich an allen Zahneinheiten bei $0,00^\circ$. Der Mittelwert lag zwischen $-0,16^\circ$ an Zahn 42 und $+0,15^\circ$ an Zahn 32 (Abb. 4.41).

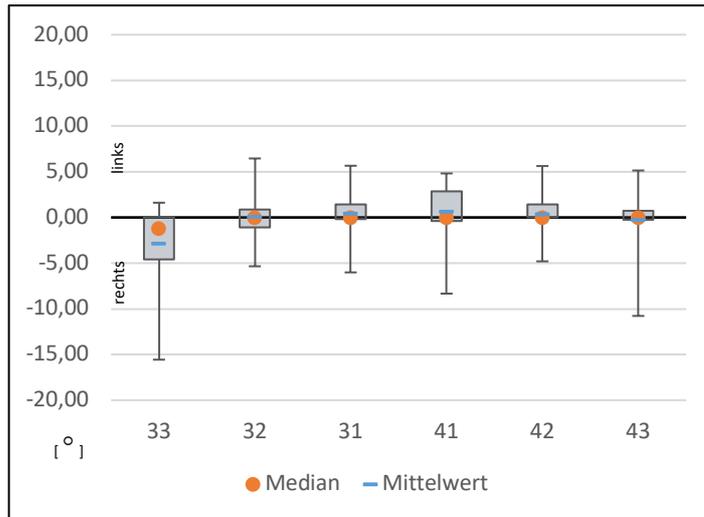


Abb. 4.40: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK

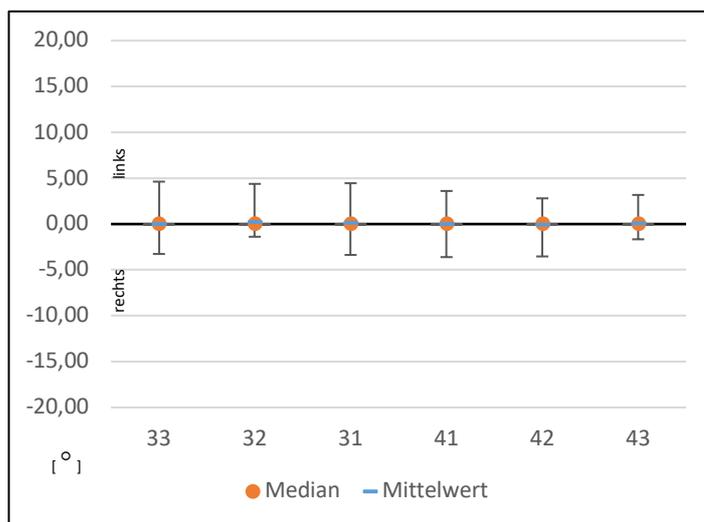


Abb. 4.41: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK

Die Untersuchungsgruppe wies eine größere Bewegungsverteilung auf. Zahn 33 zeigte in der Untersuchungsgruppe eine negative Bewegungsverteilung und große negative Maxima. Ein gegenläufiges Bewegungsmuster zwischen Zahn 33 und Zahn 43 war hier nicht eindeutig zu erkennen. Vielmehr schien dies zwischen den Zähnen 33 und 41 zu liegen.

4.2.5 Translatorische Bewegungen entlang der Z-Achse

Translatorische Bewegungen entlang der Z-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Extrusion (+) oder einer Intrusion (-).

In der Untersuchungsgruppe traten Extrusionen am häufigsten an Zahn 41 auf (64,1%). Intrusionen traten am häufigsten an Zahn 31 mit 15,4% auf. Durchschnittlich traten Extrusionen mit 54,7% häufiger auf als Intrusionen mit 12,4% (Abb. 4.42).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Extrusionen am häufigsten an den Zähnen 31 und 41 zu finden (18,2%). Intrusionen traten ebenso am häufigsten an den Zahneinheiten 31 und 41 mit 6,8% auf. Im Durchschnitt traten Extrusionen zu 14,0% auf, Intrusionen zu 4,2% (Abb. 4.43).

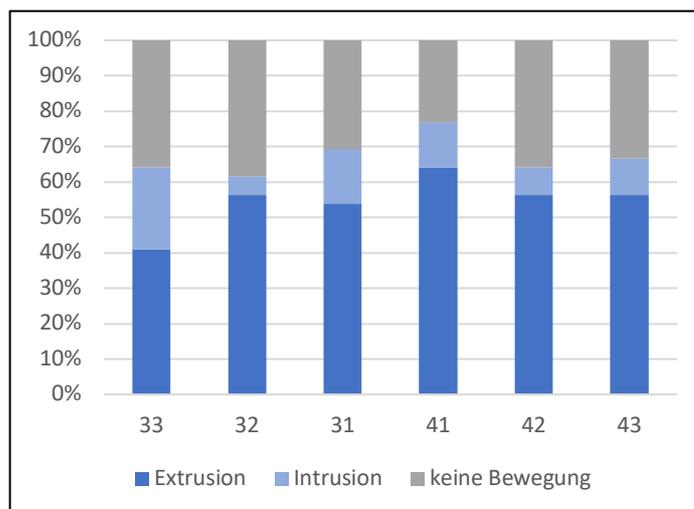


Abb. 4.42: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK

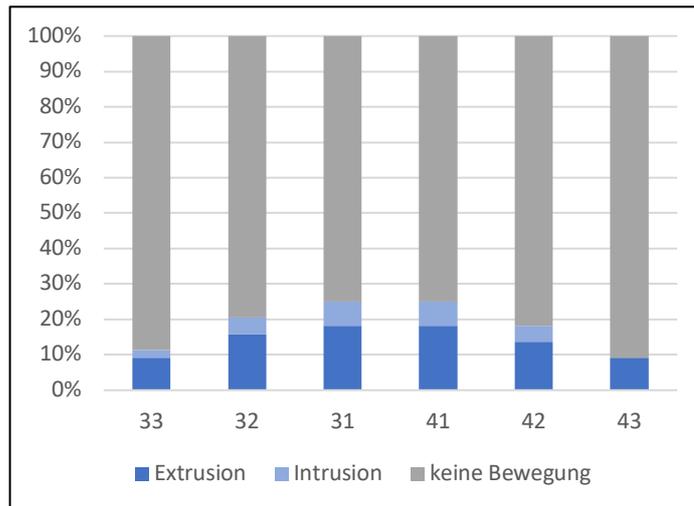


Abb. 4.43: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK

In beiden Gruppen traten Extrusionen deutlich häufiger auf (54,7% vs. 14,0%) als Intrusionen (12,4% vs. 4,2%).

Das größte Bewegungsausmaß für Extrusionen in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 31 mit +1,79mm, das größte Ausmaß für Intrusionen lag an Zahn 41 mit -0,75mm. Die Bewegungsverteilung, der Median (0,00mm bis +0,20mm) sowie der Mittelwert (+0,23mm bis +0,40mm) befanden sich an allen Zahneinheiten im positiven Bereich (Abb. 4.44).

In der Kontrollgruppe wies Zahn 43 das größte positive Bewegungsmaximum mit +1,71mm auf. Das größte negative Bewegungsmaximum lag an Zahn 41 bei -1,60mm. Die Bewegungsverteilung war sehr gering. Der Median betrug an allen Zahneinheiten 0,00mm. Der Mittelwert lag an allen Zahneinheiten im positiven Bereich (+0,09mm bis +0,15mm) (Abb. 4.45).

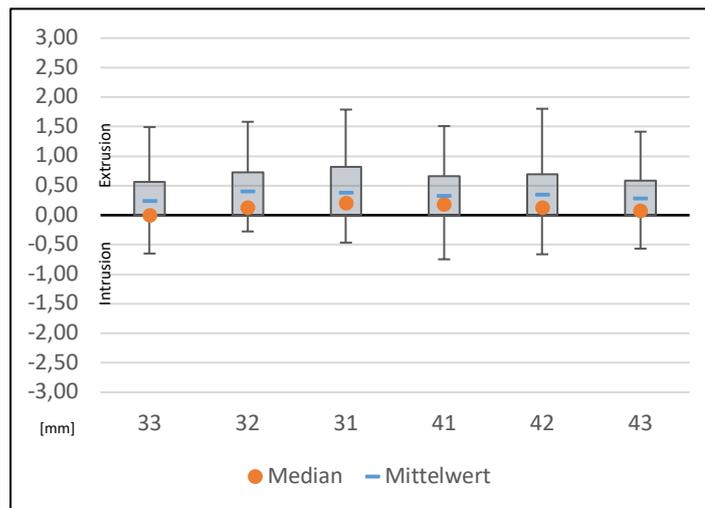


Abb. 4.44: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK

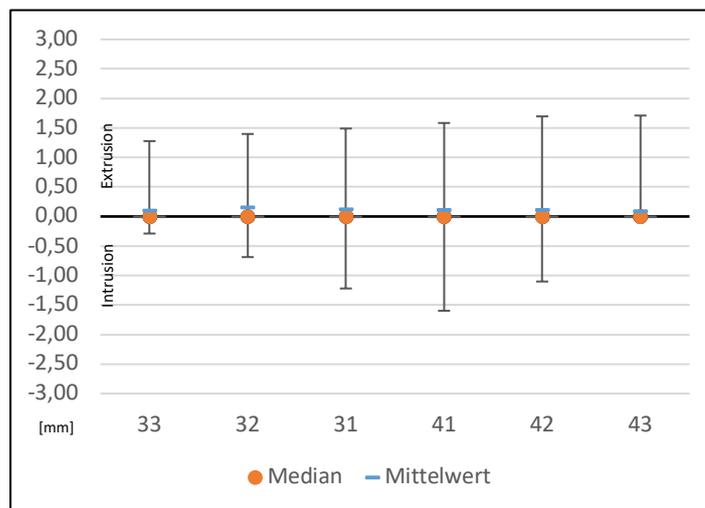


Abb. 4.45: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK

Die Bewegungsverteilung war in der Untersuchungsgruppe größer und befand sich ausschließlich im positiven Bereich. Dies korrespondierte mit den Bewegungsprävalenzen. Extrusionen traten deutlich häufiger auf als Intrusionen. Jedoch lagen in der Kontrollgruppe höhere Bewegungsmaxima für Intrusionen der Zähne 32-42 vor als in der Untersuchungsgruppe.

4.2.6 Rotatorische Bewegungen um die Z-Achse

Rotatorische Bewegungen um die Z-Achse entsprechen richtungsabhängig einer Rotation gegen den Uhrzeigersinn (+, counterclockwise, ccw) oder einer Rotation im Uhrzeigersinn (-, clockwise, cw).

In der Untersuchungsgruppe traten Rotationen gegen den Uhrzeigersinn am häufigsten an Zahn 41 auf (41,0%). Rotationen im Uhrzeigersinn traten am häufigsten an Zahn 33 mit 43,6% auf. Durchschnittlich traten Rotationen im Gegenuhrzeigersinn mit 30,3% auf, Rotationen im Uhrzeigersinn mit 37,2% (Abb. 4.46).

In der Kontrollgruppe hingegen traten deutlich weniger Zahnbewegungen auf. Hier waren Rotationen gegen den Uhrzeigersinn am häufigsten an Zahn 31 zu finden (25,0%), Rotationen im Uhrzeigersinn traten am häufigsten an Zahn 41 mit 18,2% auf. Im Durchschnitt traten Rotationen gegen den Uhrzeigersinn zu 10,6% auf, Rotationen im Uhrzeigersinn zu 7,6% (Abb. 4.47).

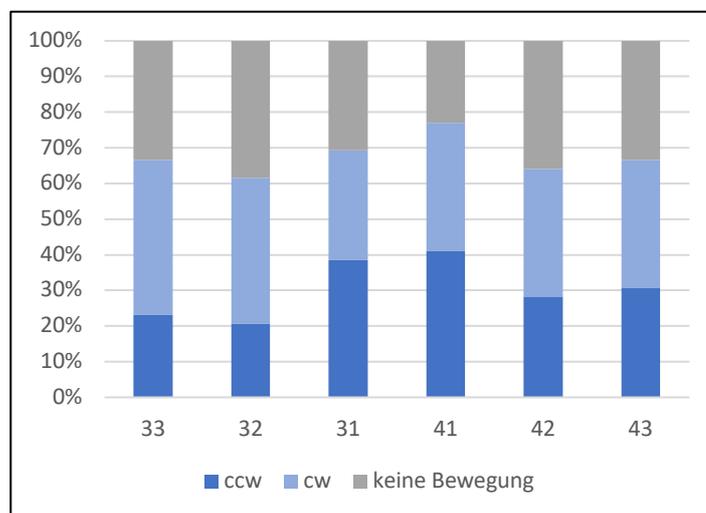


Abb. 4.46: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK

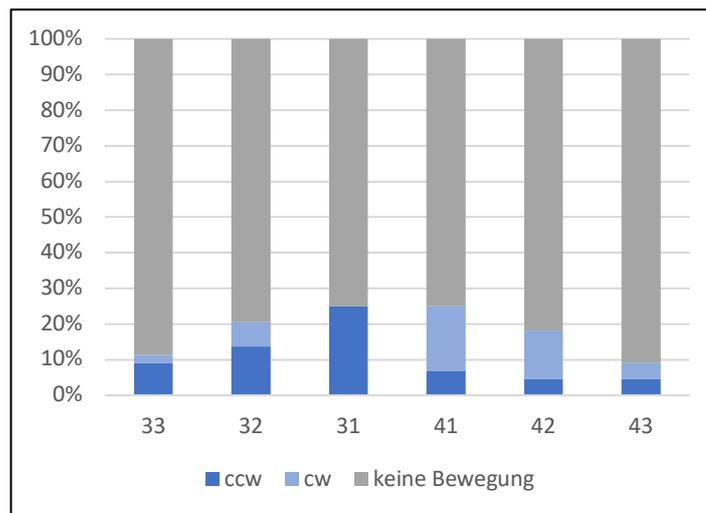


Abb. 4.47: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK

In der Untersuchungsgruppe waren die meisten Bewegungen an 31 und 41 vorhanden. In der Kontrollgruppe war eine gegenläufige Prävalenzverteilung zwischen dritten und vierten Quadranten zu sehen. Im vierten Quadranten lagen mehr Bewegungen im Uhrzeigersinn vor, während im dritten Quadranten die Bewegungen gegen den Uhrzeigersinn häufiger waren.

Das positive Bewegungsmaximum (Rotationen gegen den Uhrzeigersinn) in der Untersuchungsgruppe zeigte Zahn 33 mit $+7,25^\circ$, das größte negative Bewegungsmaximum (Rotationen im Uhrzeigersinn) lag ebenfalls an Zahn 33 mit $-13,18^\circ$. Der Median lag an allen Zahneinheiten bei $0,00^\circ$. Der Mittelwert betrug zwischen $-2,44^\circ$ an Zahn 32 und $-0,79^\circ$ an Zahn 43 (Abb. 4.48).

In der Kontrollgruppe lag das positive Bewegungsmaximum (Rotationen gegen den Uhrzeigersinn) an Zahn 43 mit $5,66^\circ$, das negative Bewegungsmaximum (Rotationen im Uhrzeigersinn) an Zahn 42 mit $-5,66^\circ$. Der Median befand sich an allen Zahneinheiten bei $0,00^\circ$. Der Mittelwert lag zwischen $-0,31^\circ$ an Zahn 42 und $0,52^\circ$ an Zahn 31. (Abb. 4.49).

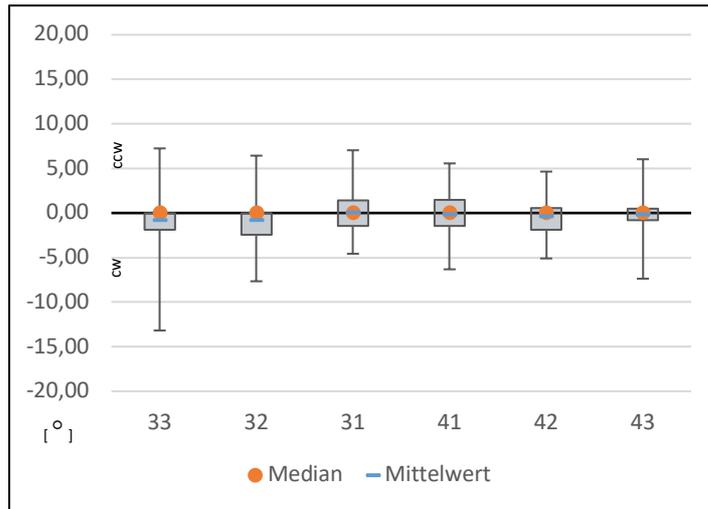


Abb. 4.48: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK

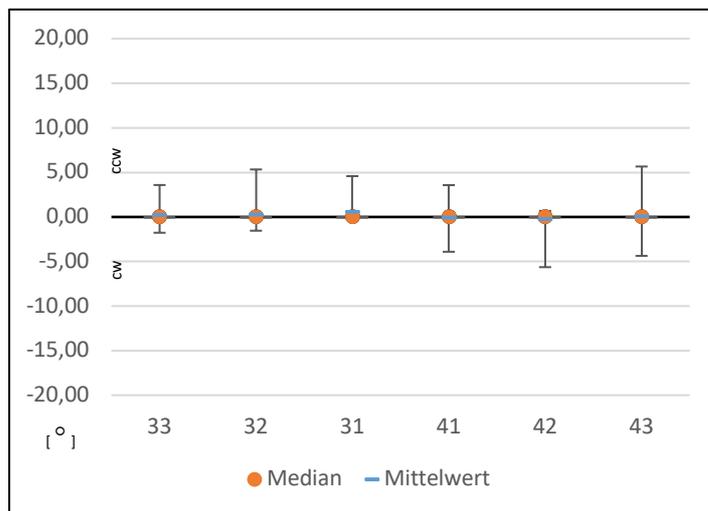


Abb. 4.49: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK

Die Bewegungsverteilung sowie die Bewegungsextreme waren in der Untersuchungsgruppe größer. Der Median war in beiden Gruppen gleich. Der Mittelwert zeigte in der Untersuchungsgruppe eine größere Differenz. Gegenläufige Bewegungsmuster hinsichtlich des Bewegungsausmaßes waren in beiden Gruppen nicht zu erkennen.

4.2.7. Mögliche prädisponierende Cofaktoren

In der Untersuchungsgruppe waren 53,8% der Patienten prätherapeutisch dem Bisstyp I:0 zuzuordnen, während 46,2% der Patienten den Bisstyp I:1 aufwiesen. Diese Verteilung war in der Kontrollgruppe ähnlich (I:0 50,0%; I:1 50,0%) und zeigte keinen statistisch signifikanten Gruppenunterschied ($p=0,726$). Bei 15,4% der Patienten wurden während der Behandlung Prämolaren extrahiert, während dies bei 36,4% der Kontrollgruppe der Fall war. Dieser Gruppenunterschied war signifikant ($p=0,031$). Auffällig ist, dass mehr Extraktionen in der Kontrollgruppe stattgefunden haben.

Die prätherapeutischen Mandibularbasiswinkel (ML/NSL) zeigten einen signifikanten Unterschied (Untersuchungsgruppe: $34,99^\circ$; Kontrollgruppe: $31,44^\circ$; $p=0,016$). In beiden Gruppen lag der Winkel ML/NSL jedoch im normodivergenten Bereich. Die prätherapeutische Inklination der unteren Schneidezähne (IiL/NB) unterschied sich nicht signifikant (Untersuchungsgruppe: $23,17^\circ$, Kontrollgruppe: $24,64^\circ$, $p=0,259$), genauso wie die Position der Schneidezähne (Ii-APo) (Untersuchungsgruppe: 0,99mm, Kontrollgruppe: 1,39mm, $p=0,631$).

Ebenso wiesen sowohl die inzisale Relation zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 als auch das prätherapeutische Vorliegen von Habits keine signifikanten Gruppenunterschiede auf (Tabelle 4.6).

Tab. 4.6: Deskriptive Verteilung der inzisalen Relation und des Vorliegens von Habits auf Untersuchungs- und Kontrollgruppe

	Untersuchungsgruppe		Kontrollgruppe		p-Wert
	n	%	n	%	
Inzisale Relation T1					
inzisale Abstützung	31	79,5	37	84,1	0,880
offener Biss mit OB	7	17,9	6	13,6	
offener Biss ohne OB	1	2,6	1	2,3	
Inzisale Relation T2					
inzisale Abstützung	31	79,5	36	81,8	0,881
offener Biss mit OB	8	20,5	7	15,9	
offener Biss ohne OB	0	0,0	1	2,3	
Inzisale Relation T3					
inzisale Abstützung	30	76,9	33	75	0,603
offener Biss mit OB	8	20,5	11	25,0	
offener Biss ohne OB	1	2,6	0	0,0	
Habits zu T1					
ja	23	59,0	22	50,0	0,413
nein	16	41,0	22	50,0	

Der Overjet wurde während der kieferorthopädischen Behandlung in der Untersuchungsgruppe um $1,60 \pm 1,94$ mm reduziert, während die Reduktion in der Kontrollgruppe mit $1,76 \pm 1,71$ mm etwas größer war. Dennoch zeigte der Gruppenunterschied keine statistische Signifikanz ($p=0,617$).

Die intercanine Distanz wurde während der Behandlung in der Untersuchungsgruppe um durchschnittlich $0,97 \pm 2,30$ mm erweitert, während in der Kontrollgruppe in diesem Bereich eine Expansion um $1,16 \pm 1,64$ mm erfolgte, was keinen signifikanten Gruppenunterschied darstellte ($p=0,918$; Tabelle 4.7).

4.2 Ergebnisse Unterkiefer

Tab. 4.7: Entwicklung der intercaninen Distanz (in mm) während der Behandlung in Untersuchungs- und Kontrollgruppe. Angabe als Mittelwert \pm Standardabweichung.

	Untersuchungsgruppe	Kontrollgruppe	p-Wert
Inter canine Distanz T1	25,39 \pm 2,56	25,61 \pm 2,31	
Inter canine Distanz T2	26,36 \pm 1,86	26,93 \pm 1,62	
Inter canine Distanz T2-T1	0,97 \pm 2,30	1,16 \pm 1,64	0,918

Retainerdefekte im Sinne von Klebestellenverlusten traten in der Untersuchungsgruppe an allen Zähnen, außer an Zahn 32, häufiger auf als in der Kontrollgruppe. Besonders ausgeprägt stellte sich der Unterschied an Zahn 41 dar: Während in der Kontrollgruppe nur 11,4% der Patienten von Klebestellenverlusten an Zahn 41 betroffen waren, waren es in der Untersuchungsgruppe 43,6%. Dieser Gruppenunterschied ist signifikant ($p=0,001$). An den anderen Zahneinheiten war die Defekthäufigkeit zwischen den Gruppen nicht signifikant verschieden (Abb. 4.50).

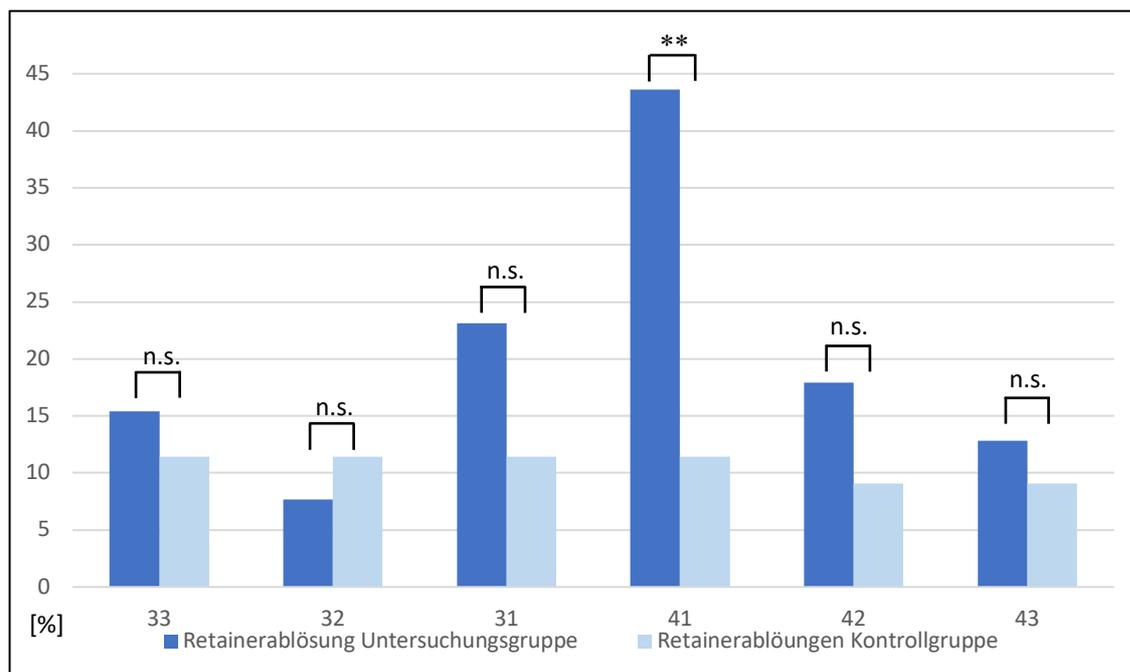


Abb. 4.50: Prozentuale Häufigkeit von Retainerablösung im Unterkiefer in Untersuchungs- und Kontrollgruppe

4.2 Ergebnisse Unterkiefer

Brüche des Retainerdrahtes kamen in der gesamten untersuchten Population kaum vor. Trotz geringfügig höherer Prävalenzen in der Untersuchungsgruppe lagen keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede vor (Tabelle 4.8).

Tab. 4.8: Häufigkeit von Retainerbrüchen in Untersuchungs- und Kontrollgruppe.

Lokalisation der Retainerbrüche	Untersuchungsgruppe		Kontrollgruppe		p-Wert
	n	%	n	%	
Interdental 33/32	1	2,6	0	0,0	0,470
Interdental 32/31	1	2,6	0	0,0	0,470
Interdental 31/41	0	0,0	0	0,0	-
Interdental 41/42	0	0,0	0	0,0	-
Interdental 42/43	0	0,0	0	0,0	-

4.2.8. Zusammenfassende Beurteilung der Unterkieferergebnisse

Bewegungsprävalenz und Bewegungsausmaß waren auf allen Achsen in der Untersuchungsgruppe größer und die Zahneinheit 41 wies auf allen Achsen die höchste Bewegungsprävalenz auf.

Alle Zahneinheiten zeigten in der Untersuchungsgruppe eine deutlich höhere Bewegungsprävalenz, während die Ablöseprävalenz in der Untersuchungsgruppe mit Ausnahme von Zahn 41 im Vergleich zur Kontrollgruppe nicht signifikant erhöht war, an Zahneinheit 32 war diese sogar geringer.

Auch im Unterkiefer schien die deutlich höhere Bewegungsprävalenz der Zähne in der Untersuchungsgruppe nicht direkt mit der Ablöseprävalenz in Zusammenhang zu stehen (s. Tab. 4.9).

Tab. 4.9: Vergleich Ablösungsprävalenzen vs. Bewegungsprävalenzen

UK Untersuchungsgruppe	33	32	31	41	42	43
Ablösungsprävalenz	15,4%	7,7%	23,1%	43,6%	17,9%	12,8%
Bewegungsprävalenz	66,7%	61,5%	67,5%	76,9%	64,1%	66,7%

UK Kontrollgruppe	33	32	31	41	42	43
Ablösungsprävalenz	11,4%	11,4%	11,4%	11,4%	9,1%	9,1%
Bewegungsprävalenz	11,8%	20,5%	25,0%	24,6%	18,2%	9,1%

Extrusionen und Retroklinationen traten in der Untersuchungsgruppe häufiger und verstärkt auf. Auch in der Kontrollgruppe traten vor allem Extrusionen trotz visuell unauffälliger Inspektion im Vergleich zu den anderen Bewegungsrichtungen häufiger auf. Sowohl das Bewegungsausmaß als auch die Häufigkeit war jedoch im Vergleich zur Untersuchungsgruppe geringer (Tab. 4.10).

Tab. 4.10: Vergleich der Bewegungsprävalenzen und -richtungen zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Unterkiefer. Prävalenzunterschiede > 10% sind grün markiert, Prävalenzunterschiede > 30% sind gelb markiert.

	UK Untersuchungsgruppe		UK Kontrollgruppe	
Translation X	29,9% (links)	37,6% (rechts)	6,1% (links)	12,5% (rechts)
Rotation X	27,8% (Proklination)	39,7% (Retroklination)	10,6% (Proklination)	7,6% (Retroklination)
Translation Y	31,6% (Protrusion)	35,9% (Retrusion)	12,9% (Protrusion)	5,3% (Retrusion)
Rotation Y	34,6% (links)	32,9% (rechts)	8,3% (links)	9,5% (rechts)
Translation Z	54,7% (Extrusion)	12,4% (Intrusion)	14,0% (Extrusion)	4,2% (Intrusion)
Rotation Z	30,3% (ccw)	37,2% (cw)	10,6% (ccw)	7,6% (cw)

Neben den generellen Bewegungsmustern zeigten einzelne Zahneinheiten Differenzen. Auch im Unterkiefer waren auf zwei Achsen gegenläufige Bewegungsmuster der Eckzähne zu beobachten:

Zahn 33 zeigte eine erhöhte Prävalenz und ein erhöhtes Bewegungsausmaß für Protrusionen, während Zahn 43 eine erhöhte Prävalenz und ein erhöhtes Bewegungsausmaß für Retrusionen aufwies. Hier zeigte sich ein Twist-Effekt.

Desweiteren wies Zahn 33 eine erhöhte Prävalenz und ein erhöhtes Bewegungsausmaß für Kippungen nach rechts auf, während Prävalenz und Bewegungsausmaß an Zahn 43 für Kippungen nach links leicht erhöht waren. Auch in der Kontrollgruppe zeigte sich hinsichtlich der Bewegungsprävalenz auf zwei Achsen eine gegenläufige Verteilung. Während sich eine erhöhte Prävalenz für Kippungen nach links an den Zahneinheiten 31 und 32 zeigte, lag eine erhöhte Prävalenz für Kippungen nach rechts an den Zähnen 41 und 42 vor. Außerdem zeigte die Kontrollgruppe im dritten Quadranten eine erhöhte Prävalenz für Rotationen gegen den Uhrzeigersinn während im vierten Quadranten Rotationen im Uhrzeigersinn vermehrt auftraten.

5. Diskussion

5.1 Material

Die vorliegende Studie untersuchte insgesamt 205 Patienten. Die Patienten verteilten sich auf vier Gruppen. Dabei war die Untersuchungsgruppe im Oberkiefer größer als die im Unterkiefer (OK: 57; UK: 39). In beiden Kiefern zeigte sich aber ein einheitliches Verhältnis zur jeweiligen Kontrollgruppe (OK: 65; UK: 44).

Das durchschnittliche Alter bei Entbänderung dieser Studie zeigte ein typisches Durchschnittsalter für kieferorthopädische Behandlungen (OK UG: $15,63 \pm 2,28$; UK UG: $15,83 \pm 1,82$; OK KG: $15,54 \pm 2,14$; UK KG: $15,90 \pm 1,78$ Jahre), ebenso war eine typische Verteilung von männlichen zu weiblichen Patienten bei kieferorthopädischen Behandlungen gegeben (OK UG: 66,7% weiblich und 33,3% männlich; UK UG: 61,5% weiblich und 38,5% männlich; OK KG: 60,0% weiblichen und 40,0% männlichen; UK KG: 70,5% weiblichen und 29,5%) [SEELING und PRÜTZ 2018; O'BRIAN 1991; BURDEN 1995, WHEELER et al. 1994; MANDALL 1999].

In der vergleichbaren Literatur wurden folgende Patientenkollektive untersucht: KUCERA und MAREK [2016] untersuchten 3500 Patienten mit Einzelzahnkleberretainer im Unterkiefer. Davon waren 1423 (40,7%) männlichen und 2077 (59,4%) weiblichen Geschlechts. Die Untersuchungsgruppe bildeten 38 Patienten mit unerwünschten Zahnbewegungen und 105 Patienten in der Kontrollgruppe. Das Durchschnittsalter bei Entbänderung betrug $16,7 \pm 7,5$ Jahre. Bei KLAUS et al. [2020] wurden 44 Patienten mit Zahnbewegungen im OK und/oder UK untersucht. Die Geschlechterverteilung lag bei 28 (63,6%) weiblichen Patientinnen und 16 (36,4%) männlichen Patienten. Die Kontrollgruppe umfasste 43 Patienten, davon waren 19 (44,2%) männlichen und 24 (55,8%) weiblichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter bei Entbänderung betrug $15,44 \pm 2,20$ Jahre. WOLF et al. [2016] untersuchten 30 Patienten, davon waren 13 (43,3%) männlichen und 17 (56,7%) weiblichen Geschlechts. Eine Kontrollgruppe lag bei Wolf et al. [2016] nicht vor. Das durchschnittliche Alter zum Ende der aktiven Therapie lag bei $24,52 \pm 4,36$ Jahren. Damit lag es deutlich über dem Alter der anderen hier benannten Studien.

Die Retentionszeit der Oberkiefer Untersuchungsgruppe lag in der vorliegenden Studie bei $2,01 \pm 0,46$ Jahren, in der Unterkiefer Untersuchungsgruppe bei $1,99 \pm 0,41$ Jahren. Das entspricht der von den gesetzlichen Krankenkassen in Deutschland vorgeschriebenen Zeit der posttherapeutischen Nachkontrolle. Bei KLAUS et al. [2020] betrug die Retentionszeit $1,89 \pm 1,57$ Jahre, bei KUCERA und MAREK [2016] $4,00 \pm 2,80$ Jahre, und war damit fast doppelt so lange wie die in der vorliegenden Studie untersuchte Retentionszeit. WOLF et al. [2016] machte keine dezidierten Angaben zur Länge der Retentionszeit, setzte jedoch als Einschlusskriterium eine Retentionszeit von mindestens sechs Monaten voraus.

Die hier durchgeführte Studie verwendete zu den anderen Studien vergleichbaren Unterkiefergruppen. Eine getrennte Untersuchung von Oberkiefern ist in anderen Studien zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt.

Folgende Voraussetzungen waren für Fälle zum Einschluss in die Studie notwendig: Bisstyp I:0 oder I:1 nach Pancherz; welche eine prätherapeutische Neutralbisslage (Angle-Klasse I, normwertige sagittale Kieferrelation) implizieren. Außerdem sollte eine aktive Behandlung mit festsitzender MB-Apparatur durchgeführt worden sein mit abschließender Insertion eines Einzelzahnkleberretainers der Zahneinheiten 3-3. Des Weiteren wurden folgende Ausschlusskriterien angewendet: Nichtbeurteilbarkeit der Modelle durch Gipsfrakturen, verzogene Abformungen oder Reparaturen der Modelle, andere Zahneinheiten in der Front als 3-3, Retainer die andere Zahneinheiten umfassten als 3-3, hyperplastische Gingivae zu Zeitpunkt T2, prothetische Rekonstruktionen und adhäsive Aufbauten der Frontzähne sowie Behandlungsabbruch vor Beendigung der Retentionszeit.

In der vergleichbaren Literatur wurden folgende Kriterien verwendet: WOLF et al. [2016] untersuchte Patienten mit mindestens einem Jahr aktiver festsitzender Behandlung, festsitzender Retention durch Einzelzahnkleberretainer und keinen anderen Zahneinheiten als 33-43. KUCERA und MAREK [2016] hatten folgende Einschlusskriterien: Festsitzender Einzelzahnkleberretainer von Eckzahn bis Eckzahn im Unterkiefer, OPG, FRS und intraorale Fotos zu den Zeitpunkten vor Behandlung und nach Beendigung der aktiven Therapie, keine PA-Therapie, keine prothetischen Versorgungen, keine chirurgischen Behandlungen und keine Traumata der Unterkieferfrontzähne. Bei KLAUS

et al. [2020] wurden folgende Einschlusskriterien angewendet: Aktive Behandlung mittels festsitzenden MB-Apparaturen in beiden Kiefern, Einzelzahnkleberretainer an den Zahneinheiten 3-3 im Ober- und Unterkiefer, welche am Ende der Retentionszeit unbeschädigt vorhanden sein mussten, zu allen Untersuchungszeitpunkten gut beurteilbare Modellpaare, sowie keine aktive Therapie in der Retentionszeit.

Die in der vorliegenden Studie gewählten Einschlusskriterien unterscheiden sich somit hinsichtlich der Festlegung auf Patienten mit Angle-Klasse I und normwertigem bzw. vergrößertem Overjet (Bisstyp I:0 bzw. I:1). Eine Erweiterung der Einschlusskriterien um Fälle der Angle-Klasse II und III hätte eine größere Patientenzahl bewirken können. Da jedoch als mögliche Cofaktoren für die untersuchten Retainerkomplifikationen auch der Einfluss des Overbites und orofazialer Dysfunktionen untersucht werden sollte, wurden die Einschlusskriterien auf Patienten mit normwertiger sagittaler Kieferrelation beschränkt, um zusätzliche Einflussfaktoren der sagittalen Lagebeziehung auf den Overbite auszuschließen. Des Weiteren wurden Ober- und Unterkiefer getrennt beurteilt. Weiter gewählte Ein- und Ausschlusskriterien wie unbeschädigte Modelle zu den Untersuchungszeitpunkten, einheitliche Zahneinheiten in der Front, einheitliche Ausdehnung der Retainer und kein Behandlungsabbruch oder erneute Therapie innerhalb der Retentionsphase, stellten wie in den anderen Studien die Vergleichbarkeit der Fälle sowie die notwendige Qualität der Modelle zu den Untersuchungszeitpunkten sicher.

Die in dieser Studie verwendeten Retainer wurden alle aus dem gleichen Draht gefertigt (Dentaflex 0,45mm/0,018inch, 6-fach co-axial verseilter Edelstahl, Dentaureum, Ispringen, Deutschland). Alle Retainer wurden von erfahrenen, kieferorthopädisch spezialisierten Zahntechnikern angefertigt und von Fachzahnärzten bzw. Zahnärzten in Weiterbildung der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen eingesetzt. Die Retainer wurden mit je sechs Klebestellen im Ober- und/oder Unterkiefer befestigt. Zur Befestigung wurde das lichthärtende Komposit Transbond XT oder Transbond LR (3M Unitek, Monrovia, CA, USA) gemäß Herstelleranleitung verwendet.

Das Retentionsprotokoll der vorliegenden Studie entspricht hinsichtlich der Drahtstärke und Befestigung der Studie von KLAUS et al. [2020] und folgte den Retentionsempfehlungen von ZACHRISSON und BÜYÜKILMAZ [2005]. WOLF et al. [2016] verwendete einen identisch starken Draht des gleichen Herstellers, der sich nur durch den Verseilungsgrad vom in der vorliegenden Studie verwendeten Draht

unterschied (3-fach verseilt vs. 6-fach coaxial verseilt) und durch Positionierungshilfen aus Silikon passiv adaptiert wurde. Im untersuchten Patientenkollektiv von KUCERA und MAREK [2016] kamen zwei unterschiedliche Retainerdrähte zur Anwendung: 0,0215-inch 5-fach verseilter und vergoldeter Draht der Firma Penta-One oder 0,017-inch 6-fach coaxial verseilter Draht des Herstellers Ortho Organizers. In der vorliegenden Studie wurde die Befestigung der Retainer sowohl von Weiterbildungsassistenten der Abteilung als auch von Fachzahnärzten für Kieferorthopädie durchgeführt. SCHEIBE und RUF [2010] zeigten geringe Defektraten bei von erfahrenen Behandlern angebrachten Retainern. Es ist davon auszugehen, dass das unterschiedliche Erfahrungsniveau der Behandler die in dieser Studie vergleichsweise erhöhten Defektraten beeinflusst hat. Auch in den Studien von KLAUS et al. [2020] und WOLF et al. [2016] wurden die Retainer von verschiedenen Behandlern angebracht. Lediglich in der Studie von KUCERA und MAREK [2016] wurden alle Retainer durch einen erfahrenen Behandler angebracht. Eine weitere Eingrenzung der Gruppen auf Fälle mit von ausschließlich erfahrenen Kieferorthopäden angebrachten Retainern hätte zu einer deutlichen Verkleinerung der Gruppen geführt und wurde daher nicht praktiziert.

5.2 Methodik

Für die Quantifizierung der Zahnbewegung ist eine möglichst genaue Überlagerung der digitalisierten Modelle notwendig. Dabei sind Strukturen notwendig, die an den zu vergleichenden Modellen möglichst unverändert sind. Im Oberkiefer eignen sich dafür Bereiche der Schleimhaut des harten Gaumens [CHOI et al. 2010; CHEN et al. 2011; STUCKI und GKANTIDIS 2020]. In der vorliegenden Studie wurde der Bereich der Rugae palatinae mit einem Abstand von 5mm zu den Zähnen verwendet. Eine distale Expansion des Überlagerungsbereichs wurde nicht verwendet. Es konnten durchschnittliche Genauigkeitswerte (RMS) von $0,173\text{mm} \pm 0,04\text{mm}$ erzielt werden. Bei den durchgeführten Wiederholungsmessungen wurde ein ICC von 0,95 erzielt. Bezüglich der Form der zur Überlagerung verwendeten Fläche wurden Unterschiede bezüglich der Genauigkeit beschrieben. VASILAKOS et al. [2017] schilderten beste Überlagerungswerte für eine Überlagerungsfläche im Bereich der dritten Ruga oder einem Bereich samt dritter Ruga sowie einem schmalen medianen Streifen distal davon.

THIRUVENKATACHARI et al. [2009] verwendeten einen pilzförmigen Überlagerungsbereich der alle Rugae umfasst, sowie einen schmalen medianen Streifen distal davon. Obwohl auch die Schleimhaut des harten Gaumens nicht komplett frei von Veränderungen ist [GANZER et al. 2017], eignete sich der in der vorliegenden Studie verwendete Bereich gut für die Überlagerung von Oberkiefermodellen, wie die Übersichtsarbeit von STUCKI und GKANTIDIS [2020] zeigt.

Im Unterkiefer war die Datenlage für die Überlagerung von digitalen Modellen weniger aussagekräftig. Da eine vergleichbar stabile Struktur im Unterkiefer nicht vorhanden ist, sind verschiedene Ansätze beschrieben [STUCKI und GKANTIDIS 2020]. Die genaueste Überlagerung von Unterkiefern ist mittels radiologischer 3D Aufnahmen (CT, DVT) möglich, da die komplette Mandibula sowie einzelne Strukturen davon zur Überlagerung verwendet werden können [PARK et al. 2012, RUELLAS et al. 2016; NGUYEN et al. 2018; KOERICH et al. 2017]. In der klinischen Praxis und im gegebenen Studiendesign ist eine strahlenintensive 3D Diagnostik zu den jeweils zu untersuchenden Zeitpunkten ethisch jedoch nicht vertretbar. Deshalb wurden hier Überlagerungen von Oberflächenstrukturen der Prämolaren und Molaren der digitalisierten Gipsmodelle verwendet. WOLF et al. [2016] verwendeten zur Überlagerung ebenfalls die ersten Molaren und erreichten durchschnittliche RMS-Werte von 0,319mm. Um die Überlagerungsfläche zu vergrößern und damit unanfälliger für vertikale Kippungen zu machen, dehnten KLAUS et al. [2020] den Überlagerungsbereich auf die Prämolaren und ersten Molaren im Unterkiefer aus. Dieser Überlagerungsbereich wurde auch von der Arbeitsgruppe um WOLF et al. in einer weiteren Studie verwendet, welche sich mit Spontankorrekturen nach Entfernung von komplikationsbehafteten Kleberretainern beschäftigte [KNAUP et al. 2020].

Zur Digitalisierung der Gipsmodelle wurde in dieser Studie der Scanner OrthoXscan (Dentaurum, Ispringen, Deutschland) verwendet. Der Scanner erstellt mittels Weißlichtstreifenprojektion das digitale Modell im STL-Format. Sowohl extraorale wie auch intraorale Scannersysteme eignen sich zur Herstellung digitaler Modelle und weisen hohe Genauigkeitswerte auf [ENDER et al. 2013; HADDADI et al. 2019; PAN et al. 2020]. Die verwendete Software zur Überlagerung und Vermessung der Bewegung ist eine speziell für kieferorthopädische Bedürfnisse und Fragestellungen entwickelte Software, welche bereits in zahlreichen anderen Publikationen zur Anwendung kam

[VASILAKOS et al. 2017; HENNINGER et al. 2019; PAPAGIANNIS et al. 2020; VASILAKOS et al. 2018]. Die in dieser Studie erreichten ICC-Werte zeigen die hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit für den verwendeten Workflow.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Bewegungen

In der Oberkieferuntersuchungsgruppe traten Zahnbewegungen zu 88,3% auf, in der Kontrollgruppe zu 37,1%.

In der Unterkieferuntersuchungsgruppe traten Zahnbewegungen zu 68,9% auf, in der Kontrollgruppe zu 18,2%.

Auf den verschiedenen Achsen zeigte sich für die jeweilige Zahneinheit eine identische Bewegungsprävalenz, während sich die Prävalenz der einzelnen Bewegungsrichtungen und Bewegungsausmaße deutlich unterschieden. Dies ist durch den Workflow der Studie bedingt. Wenn eine Zahneinheit bei Superposition der Modelle farblich auffällig war, wurde die Zahneinheit auf allen Achsen vermessen und entsprechend auf allen Achsen als Zahneinheit mit Bewegung eingestuft. Trotzdem gab es zwischen den verschiedenen Zahneinheiten bei der Bewegungsprävalenz deutliche Differenzen. In der Oberkieferuntersuchungsgruppe zeigten sich höhere Bewegungsprävalenzen für Zahneinheit 21, in der Kontrollgruppe für die Zahneinheiten 11 und 21, in der Unterkieferuntersuchungsgruppe für Zahneinheit 41 und in der Unterkieferkontrollgruppe für die Zahneinheiten 31 und 41.

KLAUS et al. [2020] zeigten ebenfalls höhere Bewegungsprävalenzen im Oberkiefer (20,9%) als im Unterkiefer (14,1%). RENKEMA et al. [2011] beschrieben eine Bewegungsprävalenz von 9,5% bei Zähnen unter Retention im Unterkiefer. Dabei kam es bei 2,7% der Patienten zu auffälligen Bewegungsmustern. WOLF et al. [2016] beschrieben eine Bewegungsprävalenz von 43,3%. Davon zeigten 13,3% starke Abweichungen. Auch WOLF et al. [2016] untersuchten nur Unterkiefer. Bei KUCERA und MAREK [2016] lag die Prävalenz für auffällige Bewegungen bei 1,1%.

Insgesamt werden die hohen Prävalenzen in der vorliegenden Studie auch durch die hohe Zahl an ausgeschlossenen Modellen gemäß der vorher definierten Ausschlusskriterien beeinflusst. Diese kam vor allem durch die Festlegung auf Patienten mit Angle-Klasse I sowie die hohe Drop-out-Rate auf Grund defekter Modelle etc. zustande.

Es ist auffällig, dass in den Kontrollgruppen keineswegs kleinere Extrema der Bewegungsausmaße auftraten. Auf einigen Achsen waren sie sogar größer. Korrespondierend zu den Bewegungsprävalenzen der einzelnen Bewegungsrichtungen zeigten sich die Bewegungsverteilung sowie auch die Mediane und Mittelwerte. In den Kontrollgruppen dagegen lag der Median an allen Zahneinheiten bei 0,00. Auch die Mittelwerte der Kontrollgruppen wiesen geringere Werte als in den Untersuchungsgruppen auf. Hier zeigte sich eine geringere Bewegungsverteilung in den Kontrollgruppen als in den Untersuchungsgruppen.

Während die Bewegungsprävalenz im Oberkiefer größer war als im Unterkiefer, bestanden im Bewegungsausmaß (Median, Mittelwert) sowie den Minima und Maxima zwischen den Kiefern keine großen Differenzen.

Im Unterkiefer waren Minima und Maxima der einzelnen Achsen in der Kontrollgruppe geringfügig geringer als in der Untersuchungsgruppe. Die Mediane lagen in der Kontrollgruppe durchgehend bei 0,00, die Mittelwerte und Mediane in der Untersuchungsgruppe zeigten größere, zur Prävalenz der Bewegungsrichtungen korrespondierende Werte.

Die Differenz zwischen den geringen Mittelwerten und Medianen sowie großen Bewegungsextremwerten zeigte, dass die Bewegungen unter Retention grundsätzlich gering sind, jedoch in einzelnen Fällen doch große Zahnbewegungen auftraten. Eine Übersicht über die Bewegungsausmaße aller Kiefer und Achsen bieten die Tabellen 5.1 bis 5.3.

5. Diskussion

Tab. 5.1: Vergleich der Bewegungswerte der X-Achse; Trans= translatorische Bewegungen, Rot= rotatorische Bewegungen, MW= Mittelwert

	OK Untersuchung	OK Kontrolle	UK Untersuchung	UK Kontrolle
X-Trans Extrema	-2,75mm bis +1,09mm	-0,97mm bis +2,11mm	-0,86mm bis +1,03mm	-0,29mm bis +1,00mm
X-Trans Median	0,00 mm bis 0,02mm	0,00mm	0,00mm	0,00mm
X-Trans Mittelwert	-0,05mm bis +0,03mm	-0,03mm bis +0,04mm	-0,07mm bis +0,45 mm	-0,01 mm bis +0,05mm
X-Rot Extrema	-15,96° bis +8,79°	-8,25° bis +6,57 °	-16,00° bis +9,91°	-12,14° bis +8,72°
X-Rot Median	-2,63° bis 0,00°	0,00°	0,00° bis +0,50°	0,00°
X-Rot Mittelwert	-2,74° bis - 0,61°	- 0,61° bis - 0,18°	-1,61° bis +0,62°	-0,43° bis +0,21°

5. Diskussion

Tab. 5.2: Vergleich der Bewegungswerte der Y-Achse; Trans= translatorische Bewegungen, Rot= rotatorische Bewegungen, MW= Mittelwert

	OK Untersuchung	OK Kontrolle	UK Untersuchung	UK Kontrolle
Y-Trans Extrema	-2,15mm bis +2,01mm	-0,74mm bis +2,45mm	-1,60mm bis +2,46mm	-1,43mm bis +0,78mm
Y-Trans Median	+0,20 mm bis +0,56mm	0,00mm	-0,03mm bis 0,00mm	0,00mm
Y-Trans Mittelwert	+0,23mm bis +0,45mm	+0,18mm bis +0,34mm	-0,18mm bis +0,16 mm	-0,02 mm bis +0,06mm
Y-Rot Extrema	-14,47° bis +13,60°	-7,09° bis +11,78 °	-15,57° bis +6,46°	-3,60° bis +4,63°
Y-Rot Median	0,00° bis +0,79°	0,00°	-1,23° bis 0,00°	0,00°
Y-Rot Mittelwert	-1,12° bis +1,18°	- 0,22° bis - 0,46°	-2,87° bis +0,64°	-0,16° bis +0,15°

Tab 5.3: Vergleich der Bewegungswerte der Z-Achse; Trans= translatorische Bewegungen, Rot= rotatorische Bewegungen, MW= Mittelwert

	OK Untersuchung	OK Kontrolle	UK Untersuchung	UK Kontrolle
Z-Trans Extrema	-1,49mm bis +2,27mm	-0,05mm bis +1,79mm	-0,75mm bis +1,79mm	-1,60mm bis +1,79mm
Z-Trans Median	+0,42 mm bis +0,66mm	0,00mm	-0,00mm bis +0,20mm	0,00mm
Z-Trans Mittelwert	+0,39mm bis +0,66mm	+0,28mm bis +0,34mm	-0,23mm bis +0,40 mm	-0,09 mm bis +0,15mm
Z-Rot Extrema	-11,62° bis +8,34°	-6,60° bis +9,31 °	-13,18° bis +7,25°	-5,66° bis +5,66°
Z-Rot Median	-0,50° bis +1,06°	0,00°	0,00°	0,00°
Z-Rot Mittelwert	-1,31° bis +0,99°	- 0,22° bis - 0,40°	-2,44° bis -0,79°	-0,31° bis +0,52°

5.3.2 Bewegungsmuster

In der Literatur wurden folgende unter Retention auftretende Bewegungsmuster beschrieben: KLAUS et al. [2020] stellten im Oberkiefer häufiger unerwünschte Zahnbewegungen fest. In vertikaler Ebene traten verstärkt Extrusionen auf. In der Transversalen waren Bewegungen nach rechts am häufigsten, wobei der erste und der vierte Quadrant der Patienten häufiger betroffen waren. In der sagittalen Ebene waren im Oberkiefer häufiger protrusive Bewegungen vorhanden, wobei die Inzisivi die stärksten Protrusionen zeigten. Im Unterkiefer traten pro- und retrusive Bewegungen auf, wobei eine gegenläufige Inklination der Eckzähne verstärkt zu sehen war (Twist-Effekt).

WOLF et al. [2016] stellten bei der Untersuchung von Retainern im Unterkiefer ein Bewegungsmuster fest, bei dem eine labiolinguale Bewegung der in die Retention eingebundene Zähne mit Rotationszentrum im Bereich der ersten Inzisivi auftrat. Die

Eckzähne zeigten dabei die größten Stellungsänderungen und bestätigten ebenso das vermehrte Auftreten eines Twist-Effekts

KUCERA und MAREK [2016] zeigten ebenfalls eine gegenläufige Bewegung der Unterkieferzähne. Dabei wiesen 89,5% der Fälle mit Twist-Effekt eine Inklination der linken Eckzähne nach bukkal auf.

Weitere Studien und Fallberichte zeigten ähnliche Bewegungen. ABUDIAK et al. [2011] schilderten eine starke Bukkoklination von Zahn 13, KATSAROS et al. [2007] beschrieben zwei Bewegungsmuster: zum einen eine gegenläufige Inklination zweier benachbarter Inzisivi, zum anderen die Bukkoklination eines Eckzahns. SHAUGHNESSY et al. [2016] beschrieben transversale Bewegungen der Eckzähne, einseitig oder beidseitig, sowie gegenläufige Torquebewegung benachbarter Inzisivi.

Auch in der vorliegenden Studie traten bestimmte Bewegungen vermehrt auf. Im Oberkiefer traten Retroklinationen, Protrusionen und Extrusionen gehäuft auf. Zahn 21 zeigte im Gegensatz zu den anderen Zähnen eine gleich hohe Prävalenz für Pro- und Retrusionen. Die Eckzähne zeigten bei rotatorischen Bewegungen auf zwei Achsen einen gegenläufigen Bewegungseffekt. Im ersten Quadranten traten Kippungen nach rechts und Rotationen gegen den Uhrzeigersinn vermehrt auf, im zweiten Quadranten Kippungen nach links und Rotationen im Uhrzeigersinn.

Im Unterkiefer zeigten sich häufiger und verstärkt Extrusionen und Retroklinationen. Die Eckzähne zeigten ebenfalls einen Twist-Effekt. Zahn 33 zeigte eine erhöhte Prävalenz und Bewegungsausmaß für Protrusionen und Kippungen nach rechts. Zahn 43 eine erhöhte Prävalenz und Bewegungsausmaß für Retrusionen und Kippungen nach links. Auch bei anderen Zahneinheiten waren vermehrt Protrusionen im dritten Quadranten und Retrusionen im vierten Quadranten zu beobachten. Eine wie in der Literatur beschriebene gegenläufige Inklination mit Rotationszentrum im Bereich der mittleren Inzisivi lässt sich hier also ebenfalls vermuten.

Bezüglich des Bewegungsausmaßes zeigte sich keine eindeutige Differenz zwischen Front- und Eckzähnen.

Im Gegensatz zu Fallberichten, bei denen die gegenläufig auftretenden Bewegungen bei einzelnen Fällen festgestellt wurden, kann diese Studie nur generell auftretende Bewegungsmuster zeigen. Die vorliegende Studie zeigte ebenfalls die von WOLF et al. [2016] und KUCERA und MAREK [2016] beschriebenen Bewegungsmuster. Die bei

KLAUS et al. [2020] beschriebenen Extrusionen treten hier ebenfalls auf. Auffällig ist in dieser Studie, dass in der Oberkieferkontrollgruppe das extrusive Bewegungsausmaß ähnlich dem in der Untersuchungsgruppe ist, während die Unterkieferkontrollgruppe in dieser Hinsicht stabiler ist. Hier stellt sich die Frage, ob die gemessenen Extrusionen unter festsitzender Retention ein Ausdruck unerwünschter Zahnbewegungen oder eher posttherapeutischer Settlingprozesse waren. Da das in diesem Patientengut verwendete Bracketsystem (Tip Edge) durch seine spezielle Bracketgeometrie eine besonders effektive Bisshebung [ROCKE 1994; PARKHOUSE 2008] (Reduktion des Overbites) ermöglicht, könnte es sich bei den beobachteten Extrusionsbewegungen während der Retentionsphase auch um ein geringfügiges Tiefbiss-Rezidiv handeln. HUANG et al. [2012] beschrieben in einem systematischen Reviewartikel eine Rezidivtendenz hinsichtlich des Overbites zwischen 0 und 2,1 mm in Zeiträumen von 1,2 bis 14,7 Jahren. Studien mit einer vergleichbaren Nachbeobachtungszeit von 2 bis 2,3 Jahren zeigten nach Entfernung der Behandlungsapparatur eine Bissvertiefung um 0,5 bis 1,0mm [BINDA et al. 1994, BOCK und RUF 2008; LEPATHI et al. 2004], welche höher ausfällt als die mittlere gemessene Extrusion in der vorliegenden Studie. Hierbei ist jedoch zu beobachten, dass sich die vorliegende Untersuchung auf Patienten mit Angle-Klasse I konzentrierte, während die genannten Referenzen [BINDA et al. 1994; BOCK und RUF 2008; LEPATHI et al. 2004] sich mit Overbiterezidiven der als besonders rezidivgefährdeten Angle-Klasse II:2 beschäftigten.

5.3.3 Patientenspezifische und therapeutische Faktoren

Zwischen der Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Oberkiefer wies lediglich ein Faktor eine statistische Signifikanz auf. Die intercanine Distanz wurde während der Behandlung in der Untersuchungsgruppe um durchschnittlich $1,69 \pm 2,85$ mm erweitert, während in der Kontrollgruppe in diesem Bereich lediglich eine Expansion um $0,32 \pm 2,40$ mm erfolgte. Dies stellte einen signifikanten Gruppenunterschied dar ($p=0,031$).

Zwischen der Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Unterkiefer zeigten folgende Faktoren eine statistische Signifikanz: Der prätherapeutische Mandibularbasiswinkel war in der Untersuchungsgruppe ($34,99^\circ$) durchschnittlich größer als in der Kontrollgruppe

(31,44°; $p=0,016$). Weiter waren Patienten mit Prämolarenextraktion in der Kontrollgruppe signifikant häufiger vertreten (36,4% vs. 15,4%; $p=0,031$).

WOLF et al. [2016] beschrieben signifikant höhere intercanine Expansionen und größere Reduktionen des Overjets in der Gruppe mit großen posttherapeutischen Änderungen. Auch in der vorliegenden Studie war eine signifikant größere Expansion der intercaninen Distanz in der Oberkieferuntersuchungsgruppe auffällig. WOLF et al. [2016] untersuchten jedoch lediglich Unterkiefer, während in dieser Studie keine Auffälligkeit der intercaninen Distanz im Unterkiefer zu ermitteln war. Auch die Reduzierung des Overjets zeigt in dieser Studie ähnliche Werte zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppen.

KUCERA und MAREK [2016] zeigten in ihrer Analyse von Zahnstellungsänderungen im Unterkiefer signifikante Auffälligkeiten der prätherapeutischen Ii-APo Distanz und des prätherapeutischen Mandibularbasiswinkels. In der vorliegenden Studie waren beide Werte in der Untersuchungsgruppe erhöht. Jedoch wich die Differenz der prätherapeutischen Ii-APo Distanz nicht signifikant zwischen den Unterkiefergruppen ab. Signifikant größer war der prätherapeutische Mandibularbasiswinkel in der Unterkieferuntersuchungsgruppe, liegt durchschnittlich jedoch auch in der Untersuchungsgruppe im normodivergenten Bereich. Verminderte Stabilität im Frontzahnbereich durch hyperdivergente basale Konfigurationen ließen sich in dieser Studie somit nicht eindeutig zeigen.

KLAUS et al. [2020] stellten hingegen ein signifikant erhöhtes Auftreten von Dysfunktionen oder Habits in ihrer Untersuchungsgruppe fest. Des Weiteren waren signifikant mehr Patienten ohne inzisale Abstützung vor Beginn der Behandlung unter den von unerwünschten Zahnbewegungen betroffenen Patienten zu finden. In der vorliegenden Studie waren Patienten mit Dysfunktionen oder oralen Habits jedoch nicht signifikant häufiger vertreten. Eine genauere Diskriminierung der Habits könnte hier für weitere wissenschaftliche Untersuchungen sinnvoll sein. Dysfunktionen wie atypisches Schluckmuster oder eine fehlerhafte Zungenruheposition scheinen einen Einfluss auf die Stabilität von kieferorthopädischen Behandlungsergebnissen zu haben [ASKERIDIS 2006; SILVA et al. 2014; PENG et al. 2003]. JANSON et al. [2006] beschrieben eine größere Stabilität des Overbites bei Extraktionstherapie von offenen Bissen, da geringere

kieferorthopädische Bewegungen der Frontzähne stattfinden. Die Differenz der klinischen Rezidive des Overbites war in der genannten Studie zwischen den Gruppen jedoch nicht signifikant.

In der vorliegenden Studie war der Anteil der Patienten mit Prämolarenextraktion in der Unterkieferkontrollgruppe signifikant erhöht. Ein zumindest kurzfristiger Einfluss von Extraktionen auf die Stabilität des anterioren Segments ist demnach zu vermuten. Langfristig konnte jedoch nicht gezeigt werden, dass Extraktionen die Stabilität des Frontzahnsalignments signifikant verbessern [LITTLE et al. 1988].

Weiter waren in der vorliegenden Studie kein gehäuftes Auftreten von offenen Bissen mit oder ohne Overbite in den Untersuchungsgruppen zu sehen. Auffällig ist jedoch die in allen Gruppen höhere Anzahl an Bissen ohne inzisale Abstützung zu T3. Eine detailliertere Analyse jener Fälle, die die inzisale Abstützung in der Retentionszeit verlieren (zu T1 schon ohne inzisale Abstützung oder erstmaliger Verlust der Abstützung in der Retentionszeit) auf Habits und Zahnbewegung unter Retention könnte somit aufschlussreich sein.

Offene Bisse mit und ohne Overbite lassen sich in dieser Studie nicht als Risikofaktor ausmachen. Prätherapeutisch offene Bisse haben aber im Vergleich ein größeres Risiko die inzisale Abstützung zu verlieren und auch diese Studie konnte zeigen, dass nach der Behandlung abgestützte Bisse den Kontakt in der Front eher wieder verlieren. In dieser Studie hatten 63,9% der Patienten, die vor der Behandlung keine frontale Abstützung hatten zum Ende der Retention ebenfalls keine frontale Abstützung. Ein Zusammenhang zwischen dem frontalen Kontaktverlust und einem erhöhten Risiko für vor allem unerwünschten Torquebewegungen durch die Retainer konnte jedoch nicht gezeigt werden.

Tab. 5.4: Prävalenz der fehlenden inzisalen Abstützung der zu T1 offenen Bisse zu den Untersuchungszeitpunkten T2 und T3.

	OK Untersuchung	OK Kontrolle	UK Untersuchung	UK Kontrolle
Bisse ohne inzisale Abstützung zu T1	n=11 19,3%	n= 10 15,4%	n=8 20,5%	n=7 15,9%
Davon zu T2 ohne inzisale Abstützung	n= 3 5,3%	n= 4 6,2%	n= 2 5,1%	n=4 9,1%
Davon zu T3 ohne inzisale Abstützung	n= 9 15,8%	n= 5 7,7%	n= 4 10,3%	n=5 11,4%

Die möglichen Cofaktoren sind vielfältig und differieren in den bislang untersuchten Patientenkollektiven. Das Auftreten von Komplikationen ist von multiplen Faktoren abhängig [KUCERA und MAREK 2016] und scheint bisher nicht auf einzelne Faktoren reduzierbar zu sein. Da es dennoch zu vergleichbaren Bewegungsmustern der Zahneinheiten unter Retention kommt, kann der Rückschluss gezogen werden, dass die verwendeten Retainer einen Einfluss auf die Bewegung haben.

Materialeigenschaften der Retainer müssen gewährleisten, dass natürliche Bewegungen der Zähne im parodontalen Spalt möglich sind [SAMSON et al. 2018]. Diese Bewegungen können bis zu 0,2mm betragen. Bei Bewegungen dieser Größe entstehen nicht zu vernachlässigende Kräfte, da die Zähne durch den Retainer verblockt sind. Diese entstehenden Kräfte sind durchaus groß genug um Zahnbewegungen hervorzurufen [SIFAKAKIS et al. 2011]. Auch zu beachten gilt, ab welcher Krafteinwirkung die Retainer sich stark genug deformieren, um durch entstandene Deformation aktive Kräfte auszuüben. SHAUGHNESSY et al. [2016] postuliert eine höhere Gefahr der ungewünschten Aktivierung für flexible Drähte mit geringem Durchmesser. Der verwendete Draht bleibt also immer ein Kompromiss zwischen Stabilität und nötiger Flexibilität. Die in der vorliegenden Studie und in den vergleichbaren Studien verwendeten verseilten Retainer bergen die Möglichkeit einer durch die Verzwirbelung der einzelnen Stränge entstehenden gegenläufigen Rotationskraft. Diese Option wurde auch bereits von WOLF et al. [2016] sowie von KUCERA und MAREK [2016] diskutiert, bislang jedoch noch nicht weiter wissenschaftlich untersucht. Daher sind

bezüglich der durch die Materialeigenschaften der Retainer verursachten Kräfte und Bewegungen weitere wissenschaftliche Studien sinnvoll.

ABUDIAK et al. [2011] diskutierten das Risiko von aktiv eingesetzten Retainern im Zusammenhang mit unerwünschten Zahnbewegungen. Dieses Risiko wurde versucht möglichst geringzuhalten. Alle Retainer wurden von kieferorthopädischen Zahntechnikern auf Arbeitsmodellen gefertigt und die intraorale Anbringung durch kieferorthopädisch tätige Weiterbildungsassistenten oder Fachzahnärzte durchgeführt. Bei aktiv eingesetzten Retainern ist eine Zahnbewegung kurz nach dem Einsetzen zu erwarten. Auftretende Bewegungen zeigten sich in der Literatur jedoch auch zu deutlich späteren Zeitpunkten [WOLF et al. 2016; KUCERA und MAREK 2016]. RENKEMA et al. [2011] zeigten, dass Zahnbewegungen bei einer hohen Anzahl an Patienten mit Debondings einhergingen. Alle Patienten waren angehalten sich bei Defekten der Retainer möglichst zeitnah in der Abteilung vorzustellen. Dieser Faktor ist aber durch unterschiedlich zuverlässige Patienten Ungenauigkeiten unterworfen.

5.3.4 Zusammenhang Retention und Bewegung - Retainerdefekte

Da das Ziel der Retention das Erhalten der therapeutisch erreichten Zahnstellung ist, ist es eindeutig, dass ohne Retentionshilfsmittel eine deutlich höhere Rezidivprävalenz vorliegt [OH et al. 2016; STEINNES et al. 2017]. Zahnbewegungen in der Retentionszeit lassen sich häufig Retainerdefekten [RENKEMA et al. 2011] oder Retainerbrüchen zuordnen [SHAUGHNESSY et al. 2016]. Jedoch treten auch Zahnbewegungen unter intakter Retention auf.

Im Oberkiefer traten Retainerdefekte in der Untersuchungsgruppe im Durchschnitt zu 23,4% auf. Die Prävalenz zwischen den einzelnen Zahneinheiten variierte dabei zwischen 21,1% an 21 und 23 sowie 29,8% an 12.

In der Kontrollgruppe traten Ablösungen im Durchschnitt mit 10,3% auf. Dabei variierten die Ablösungen zwischen 4,6% an Zahn 21 und 15,4% an 23. Im Unterkiefer traten Retainerdefekte in der Untersuchungsgruppe durchschnittlich zu 20,8% auf. Die Prävalenz zwischen den einzelnen Zahneinheiten variierte dabei zwischen 7,7% an 32 und 43,6% an 41.

In der Kontrollgruppe traten Ablösungen im Durchschnitt mit 10,6% auf. Dabei variierten die Ablösungen nur geringfügig zwischen den Zahneinheiten.

Die Prävalenz der Retainerablösungen deckt sich mit den in der Literatur zu findenden Angaben. In Übersichtsarbeiten veröffentlichte Werte liegen zwischen 10,3% und 50,0% [BEARN 1995; ILIADI et al. 2015]. Für die große Differenz der Prävalenz gilt es zu beachten, dass sowohl verschiedene Retainerdrähte und -ausdehnungen, Befestigungsmaterialien und Nachbeobachtungszeiträume einbezogen wurden. Bei Studien mit vergleichbarem Retentionsprotokoll sind folgende Werte beschrieben:

KLAUS et al. [2020] beschrieben Retainerdefekte in der Oberkieferuntersuchungsgruppe mit 20,8%, in der Unterkieferuntersuchungsgruppe mit 21,2%. In der Oberkieferkontrollgruppe lag der Wert bei 17,4% und in der Unterkieferkontrollgruppe bei 12,8%.

ZACHRISSON [2007] zeigte im Oberkiefer geringere Werte (5,3%) und im Unterkiefer (21,5%) etwas höhere Werte.

Retainerbrüche traten in dieser Studie selten auf. In der Oberkieferuntersuchungsgruppe lag der Wert bei 3,8%, in der Kontrollgruppe bei 2,1%. In der Unterkieferuntersuchungsgruppe bei 0,8%, wobei es in der Kontrollgruppe zu keinem Retainerbruch kam. Auch hier zeigte sich eine mit der in der Literatur vergleichbare Prävalenz [LIE SAM FOEK et al. 2008; SCHEIBE und RUF 2010; SCHNEIDER und RUF 2011].

In der vorliegenden Studie traten Retainerdefekte in den Untersuchungsgruppen häufiger auf. Im Oberkiefer waren signifikante Unterschiede zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe an den Zahneinheiten 11, 12 und 21 zu finden ($p=0,008$; $p=0,008$; $p=0,006$). Die signifikanten Zahneinheiten sind auch die Einheiten mit den jeweils höchsten Bewegungsprävalenzen. Trotz der signifikanten Differenz zwischen den Gruppen, zeigte sich die absolute Defektprävalenz an den Zahneinheiten mit der höchsten Bewegungsprävalenz geringer als an den anderen Zahneinheiten. Das ist in Untersuchungs- und Kontrollgruppe der Fall. Da somit kein klarer Zusammenhang zwischen der Defekt- und Bewegungsprävalenz besteht, ist von Zahnbewegungen unter intakter Retention auszugehen.

Im Unterkiefer zeigte sich nur an Zahneinheit 41 eine signifikante Differenz zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe ($p=0,001$). Auch zeigten die Zahneinheiten mit der höchsten Ablöseprävalenz die höchste Bewegungsprävalenz, wobei im Vergleich der Prävalenzen auch hier von Bewegungen unter intakter Retention auszugehen ist. Die Prävalenz für Bewegungen unter intakter Retention schien im Oberkiefer größer.

5.4 Limitationen – Ausblick

Auffällig sind die hohen Bewegungsprävalenzen und Bewegungsextrema, welche in den Kontrollgruppen der Studie auftreten. Da zur Einteilung der Gruppen visuelle Beurteilungen durchgeführt wurden, muss dieses Vorgehen kritisch bewertet werden. Trotz einer Konsensusbildung durch insgesamt drei Untersucher, davon zwei erfahrene Kieferorthopäden, sind visuelle Beurteilungen einer subjektiven Einschätzung unterworfen. Differenzen zwischen einzelnen Zähnen lassen sich visuell besser erkennen als Bewegungen ganzer Zahnsegmente. Gegenläufige Bewegungen sind auffälliger als Bewegungen in gleicher Richtung. Extrusionen und Intrusionen sind schwerer zu erkennen als die Bewegungen auf anderen Achsen. Eine Gruppeneinteilung nach digitaler Modellüberlagerung ohne visuelle Vorauswahl könnte hier ein sinnvolles Vorgehen sein. Hier ist jedoch der deutlich höhere Zeitaufwand durch Modelldigitalisierung und Überlagerung zu beachten. Aufgrund des explorativen Studiencharakters wurde daher trotz der diskutierten Limitationen die visuelle Beurteilung der Fälle angewendet. Auch im klinischen Betrieb findet die Kontrolle der Zahnstellung unter festsitzender Retention visuell durch den Behandler statt. Es stellt sich somit die Frage, ab welchem Grenzwert eine Bewegung als klinisch relevant eingestuft wird. Hierzu existieren in der bisherigen Literatur noch keine verbindlichen Werte. Für weitere prospektive Studien könnte wenn möglich der Ansatz der digitalen Identifikation von Zahnbewegungen verfolgt werden.

Weiter ist bei den erhobenen Daten eine genaue Differenzierung der Bewegungen zwischen gewünschten Settlingprozessen, rezidivierenden Stellungsänderungen (gegebenenfalls durch Retainerdefekte) und unter intakter Retention auftretender Bewegungsmuster in dieser Studie nicht genau möglich. Trotzdem geben die erhobenen Daten die Möglichkeit durch Vergleich der auftretenden Bewegungs- und Defektprävalenzen Rückschlüsse auf Bewegungsmuster unter intakter Retention zu

ziehen. Einerseits konnten bereits in der Literatur beschriebenen Bewegungsmuster gezeigt werden. Andererseits war es möglich zusätzliche Bewegungsmuster im Oberkiefer zu beschreiben, wobei der Oberkiefer für unerwünschte Zahnbewegungen ein höheres Risiko zu zeigen scheint.

Nicht möglich war es, Risikofaktoren für diese Bewegungen zu konkretisieren. Einige der in der Literatur beschriebene Risikofaktoren waren in dieser Studie ebenfalls auffällig. Der Zusammenhang zwischen offenen Bissen mit Overbite und unerwünschten Zahnbewegung unter Retention konnte im aktuellen Patientengut nicht bestätigt werden. Da von einer multifaktoriellen Genese auszugehen ist, sind alle der hier beschriebenen Faktoren potentielle Risikofaktoren für die Stabilität. Eine weitere Diskriminierung bezüglich der jeweiligen Relevanz erscheint sinnvoll.

Da wie bereits beschrieben die Retainer immer ein Kompromiss zwischen Stabilität und Flexibilität darstellen und bezüglich der in Studien verwendeten Retainer große Differenzen (Retainermaterial, Querschnitt, Durchmesser, Verseilung, Konditionierung und Befestigungsorte) herrschen, ist eine genaue Untersuchung der genannten Punkte im Hinblick auf das Auftreten von unerwünschten Bewegungen sinnvoll um Empfehlungen für mögliche Retentionsprotokolle abzuleiten. Zwischenzeitlich kann die Notwendigkeit und Wichtigkeit von regelmäßigen Recallterminen auch nach dem offiziellen Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung betont werden. Sowohl von kieferorthopädischer als auch von allgemein Zahnärztlicher Seite ist es sinnvoll, Patienten mit unerwünschten Bewegungen unter intakter Retention möglichst früh zu identifizieren und zu beraten.

Der Einfluss von zusätzlichen, herausnehmbaren Retentionsgeräten auf die Entwicklung unerwünschter Zahnbewegungen unter festsitzender Retention sollte ebenso weiter untersucht werden.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersuchte Retainerkomplifikationen im Sinne von unerwünschten Zahnbewegungen bei Patienten mit normwertiger sagittaler Relation (Angle-Klasse I) unter Berücksichtigung der inzisalen Relation. Neben den auftretenden Bewegungen sollten mögliche prädisponierende Faktoren untersucht werden. Die Auswertungen fanden getrennt für Ober- und Unterkiefer statt.

Folgende Einschlusskriterien wurden formuliert:

- Angle-Klasse I,
- Bistyp I:0 oder I:1 (normwertiger oder vergrößerter Overjet),
- Behandlung mit festsitzender Multibracketapparatur in OK und/oder UK,
- Retention mit Einzelzahnkleberretainer von Eckzahn bis Eckzahn in OK und/oder UK.

Somit ergab sich aus den 1026 in den Jahren 2005-2015 abgeschlossenen Fällen der Poliklinik für Kieferorthopädie der Justus-Liebig-Universität Gießen ein Patientengut von 488 den Einschlusskriterien entsprechenden Fällen. Unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien verblieben davon 247 Fälle zur weiteren Untersuchung. Nach Identifizierung der Fälle mit Zahnstellungsänderungen, Konsensusbildung und getrennter Beurteilung von Ober- und Unterkiefer ergaben sich folgende Gruppen: Die Oberkieferuntersuchungsgruppe umfasste 57 Patienten, die Oberkieferkontrollgruppe 65 Patienten. Die Unterkieferuntersuchungsgruppe umfasste 39 Patienten, die Unterkieferkontrollgruppe 44 Patienten.

Folgende Ergebnisse konnten festgestellt werden:

- In der Oberkieferuntersuchungsgruppe traten bei 88,3% der Patienten Zahnbewegungen während der Retentionszeit auf, in der Kontrollgruppe war dies bei 37,1% der Patienten der Fall.
- Die höchste Bewegungsprävalenz zeigte sich in der Oberkieferuntersuchungsgruppe an Zahneinheit 21 (98,2%).
- Retroklinationen, Protrusionen und Extrusionen traten im Oberkiefer gehäuft auf, zusätzlich ließen sich für rotatorische Zahnbewegungen auf zwei Achsen gegenläufige Bewegungsmuster der Eckzähne identifizieren.

- Retainerdefekte im Sinne von Ablösungen traten im Oberkiefer in der Untersuchungsgruppe zu 23,4% auf, in der Kontrollgruppe zu 10,3%. Dabei gab es signifikante Abweichungen zwischen den einzelnen Zahneinheiten (11: $p=0,008$; 12: $p=0,008$; 21: $p=0,006$).
- Zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Oberkiefer war die Expansion der intercaninen Distanz der einzige signifikante Risikofaktor ($1,69\pm 2,85\text{mm}$ vs. $0,32\pm 2,40\text{mm}$; $p=0,031$).
- In der Unterkieferuntersuchungsgruppe traten bei 68,9% der Patienten Zahnbewegungen während der Retentionszeit auf, in der Kontrollgruppe war dies bei 18,2% der Patienten der Fall.
- Die höchste Bewegungsprävalenz zeigte sich in der Unterkieferuntersuchungsgruppe an Zahneinheit 41 (76,9%).
- Retroklinationen und Extrusionen traten im Unterkiefer gehäuft auf, zusätzlich ließ sich ein gegenläufiges Bewegungsmuster der Eckzähne im Sinne eines Twist-Effekts identifizieren.
- Retainerdefekte im Sinne von Ablösungen traten im Unterkiefer in der Untersuchungsgruppe zu 20,8% auf, in der Kontrollgruppe zu 10,6%. Dabei gab es im Unterkiefer einen signifikanten Unterschied der Zahneinheit 41 ($p=0,001$).
- Zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Unterkiefer war zum einen der durchschnittliche prätherapeutische Mandibularbasiswinkel in der Untersuchungsgruppe signifikant größer ($34,99^\circ$ vs. $31,44^\circ$; $p=0,016$). Zum anderen waren Patienten mit Prämolarenextraktionen in der Kontrollgruppe signifikant häufiger vertreten ($36,4\%$ vs. $15,4\%$; $p=0,031$).

Die vorliegende Studie zeigt, dass unter Retention Zahnbewegungen auftreten. Dabei kommt es im Oberkiefer häufiger und zu ausgeprägteren Bewegungen als im Unterkiefer. Da die Retainerdefektprävalenzen deutlich geringer als die Bewegungsprävalenzen liegen, kann von Zahnbewegungen unter intakter Retention ausgegangen werden. Median und Mittelwertverteilung der einzelnen Bewegungsachsen zeigen, dass die Bewegungen durchschnittlich sehr gering sind. Jedoch zeigen die großen Extremwerte, dass Fälle mit sehr ausgeprägten Stellungsänderungen vorliegen. In beiden Kiefern treten gegenläufige Bewegungen der Eckzähne (im Unterkiefer Twist-Effekt), Retroklinationen und Extrusionen gehäuft auf. Im Oberkiefer treten zusätzlich auch vermehrt Protrusionen auf.

Bereits postulierte Risikofaktoren zeigten sich auch in dieser Studie signifikant (transversale Expansion im Eckzahnbereich, prätherapeutisch vergrößerter Mandibularbasiswinkel). Jedoch besteht weiterhin eine große Heterogenität hinsichtlich möglicherweise prädisponierender Faktoren. Auch die insizale Relation zeigte in beiden Kiefern keine signifikante Differenz zwischen den Untersuchungs- und Kontrollgruppen.

7. Summary

This study investigated retainer complications in form of tooth movements despite intact bonded retainers in patients with normal sagittal occlusal relationship (Class I) and taking the incisal relationship into consideration. Beside the tooth movements, possible risk factors were investigated. Evaluations were performed separately for the upper and lower jaw.

The following inclusion criteria were postulated:

- Angle-Class I,
- normally inclined or proclined incisors (Bite type I:0 or I:1),
- multibracket appliance treatment in the upper and/or lower jaw,
- retention with bonded cuspid-to-cuspid retainers (including all six anterior teeth) in the upper and/or lower jaw.

From a total of 1026 patient cases finished at the Orthodontic Department of Justus-Liebig-University Gießen between 2005 and 2015, 488 cases met the inclusion criteria. By taking the exclusion criteria into consideration, 247 cases remained for further analysis. After identification of tooth movements, consensus finding and separate evaluation of the upper and lower jaw the following groups resulted: the upper jaw study group consisted of 57 patients, the upper jaw control group of 65 patients. The lower jaw study group consisted of 39 patients, the lower jaw control group of 44 patients.

The following results were obtained:

- 88.3% of the upper jaw study group patients showed tooth movements during supervised retention, while the same was true for 37.1% of upper jaw control group patients.
- Tooth 21 showed the highest prevalence for tooth movements in the upper jaw study group (98.2%).
- Retroclinations, protrusive and extrusive movements occurred with higher prevalence in the upper jaw study group. Further opposite rotational canine movements occurred on two axes.

7. Summary

- The upper jaw study group showed a prevalence of 23.4% for retainer debondings compared to 10.3% of the upper jaw control group. Significant differences were seen between different teeth (11: $p=0.008$; 12: $p=0.008$; 21: $p=0.006$).
- The only significant risk factor between upper jaw study and control group was the expansion of the intercanine distance ($1.69\pm 2.85\text{mm}$ vs. $0.32\pm 2.40\text{mm}$; $p=0.031$).
- 68.9% of the lower jaw study group patients showed tooth movements during supervised retention while the same was true for 18.2% of lower jaw control group patients.
- Tooth 41 showed the highest prevalence for tooth movements in the lower jaw study group (76.9%).
- Retroclinations and extrusive movements occurred with higher prevalence in the lower jaw study group. Further opposite canine movements occurred in terms of a 'twist-effect'.
- The lower jaw study group showed a prevalence of 20.8% for retainer debondings, while 10.6% of the lower jaw control were affected. Tooth 41 showed significant differences between the groups ($p=0.001$).
- Two significant risk factors between lower jaw study and control group were determined: The average pretreatment mandibular plane angle was significantly higher in the study group compared to the control group (34.99° vs. 31.44° ; $p=0.016$). Patients with premolar extractions were more frequent in lower jaw control group (36.4% vs. 15.4%; $p=0.031$).

This study identifies tooth movements despite intact retention. Tooth movements are more likely and more severe in the upper jaw. As the prevalences of retainer debondings are lower than the prevalences for tooth movements, movements under intact retention can be concluded. Median and mean values of all axes show very small average movements, whereas the occurring high extreme values are showing a small number of cases with severe tooth movements. In both jaws opposite canine movements (in the lower jaw considered as twist-effect), retroclinations and extrusive movements are occurring more likely. Additionally, in the upper jaw protrusive movements predominated. Risk factors being postulated in recent literature are significant in the present study as well (transverse intercanine expansion, higher pretreatment mandibular

7. Summary

plane angle). Nevertheless, a large heterogeneity of potential risk factors persists. Furthermore, there is no significant difference between study and control groups concerning the incisal relationship.

8. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CAD/CAM	computer-aided design/computer-aided manufacturing
cw	clockwise (Uhrzeigersinn)
ccw	counterclockwise (Gegenuhrzeigersinn)
CT	Computertomographie
etc.	et cetera
DVT	Digitale Volumentomographie
et al.	et alii
FRS	Fernröntgenseitenbild
ICC	Intraclass correlation coefficient (Intraklassen-Korrelationskoeffizient)
OK	Oberkiefer
UK	Unterkiefer
MB	Multibracket
mm	Millimeter
PAR-Index	Peer-Assessment-Rating-Index
PA	Parodontal
p	p-Wert; Signifikanzwert
RMS	Root Mean Square
STL	Standart Tessellation Language
Tab.	Tabelle
T1	Untersuchungszeitpunkt vor Beginn der aktiven Behandlung
T2	Untersuchungszeitpunkt am Ende der aktiven Behandlung
T3	Untersuchungszeitpunkt nach der Retentionszeit
vs.	versus
ML/NSL	Mandibulabasiswinkel
IsL/NA	Winkel zwischen der Achse der Oberkieferschneidezähne und der Linie NA
IiL/NB	Winkel zwischen der Achse der Unterkieferschneidezähne und der Linie NB
Ii-Apo	Abstand der Unterkieferschneidezahnkante zu der Linie APo

9. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Oberkiefer Einzelzahnkleberretainer in situ	2
Abb. 1.2: Unterkiefer Einzelzahnkleberretainer in situ	2
Abb. 1.3: Frontale Ansicht der gegenläufigen Eckzahnbewegungen	5
Abb. 1.4: Okklusale Ansicht der gegenläufigen Eckzahnbewegungen	5
Abb. 1.6: Offener Biss mit Overbite	8
Abb. 1.7: Offener Biss ohne Overbite.....	8
Abb. 1.5: Inzisal abgestützter Biss.....	8
Abb. 3.1: Grafische Darstellung der erfassten Winkel und Strecken aus der FRS-Analyse	14
Abb. 3.2.1: Inzisal abgestützter Biss – frontale Ansicht	15
Abb. 3.2.2: Inzisal abgestützter Biss – Ansicht von unten.....	15
Abb. 3.3.1: Offener Biss mit Overbite – frontale Ansicht.....	16
Abb. 3.3.2: Offener Biss mit Overbite – Ansicht von unten	16
Abb. 3.4.1: Offener Biss ohne Overbite – frontale Ansicht	17
Abb. 3.4.2: Offener Biss ohne Overbite – Ansicht von unten.....	17
Abb. 3.5: Flowchart der eingeschlossen Fälle	18
Abb. 3.6: Überlagerungsbereich OK.....	20
Abb. 3.7: Überlagerungsbereich UK.....	20
Abb. 3.8: Abweichungsverteilung	21
Abb. 3.9: Modell mit geringen Abweichungen	22
Abb. 3.10: Modell mit stärkeren Abweichungen.....	22
Abb. 3.11: Selektierter Zahn 21 auf Modell T2.....	23
Abb. 3.12: An den Achsen ausgerichtetes Modell.....	23
Abb. 3.13: Verlauf der Achsen am Modell	24
Tab. 3.1: Translatorische Bewegungen	25
Abb. 4.1: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	28
Abb. 4.2: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK.....	28
Abb. 4.3: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	29
Abb. 4.4: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK.....	29
Abb. 4.5: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	30
Abb. 4.6: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK.....	31
Abb. 4.7: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	32

Abb. 4.8: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe OK.....	32
Abb. 4.9: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	33
Abb. 4.10: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK.....	34
Abb. 4.11: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	35
Abb. 4.12: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK.....	35
Abb. 4.13: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	36
Abb. 4.14: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK.....	37
Abb. 4.15: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	38
Abb. 4.16: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe OK.....	38
Abb. 4.17: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	39
Abb. 4.18: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK.....	40
Abb. 4.19: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	41
Abb. 4.20: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK.....	41
Abb. 4.21: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	43
Abb. 4.22: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK.....	43
Abb. 4.23: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe OK.....	44
Abb. 4.24: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe OK.....	44
Abb. 4.25: Prozentuale Häufigkeit von Retainerablösungen im Oberkiefer in Untersuchungs- und Kontrollgruppe.....	48
Abb. 4.26: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	52
Abb. 4.27: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK.....	52
Abb. 4.28: Translatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	53
Abb. 4.29: Translatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK.....	54
Abb. 4.30: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	55
Abb. 4.31: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK.....	55
Abb. 4.32: Rotatorische Bewegungen X-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	56
Abb. 4.33: Rotatorische Bewegungen X-Achse Kontrollgruppe UK.....	56
Abb. 4.34: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	57
Abb. 4.35: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK.....	58
Abb. 4.36: Translatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	59
Abb. 4.37: Translatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK.....	59
Abb. 4.38: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	60
Abb. 4.39: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK.....	61
Abb. 4.40: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Untersuchungsgruppe UK.....	62

Abb. 4.41: Rotatorische Bewegungen Y-Achse Kontrollgruppe UK.....	62
Abb. 4.42: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK	63
Abb. 4.43: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK	64
Abb. 4.44: Translatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK	65
Abb. 4.45: Translatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK	65
Abb. 4.46: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK	66
Abb. 4.47: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK	67
Abb. 4.48: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Untersuchungsgruppe UK	68
Abb. 4.49: Rotatorische Bewegungen Z-Achse Kontrollgruppe UK	68
Abb. 4.50: Prozentuale Häufigkeit von Retainerablösung im Unterkiefer in Untersuchungs- und Kontrollgruppe.....	71

10. Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Translatorische Bewegungen	25
Tab. 3.2: Rotatorische Bewegungen	25
Tab. 4.1: Deskriptive Verteilung der inzisalen Relation und Vorliegen von Habits in Untersuchungs- und Kontrollgruppe	46
Tab. 4.2: Entwicklung der intercaninen Distanz (in mm) während der Behandlung in Untersuchungs- und Kontrollgruppe	47
Tab. 4.3: Häufigkeit von Retainerbrüchen in Untersuchungs- und Kontrollgruppe.....	48
Tab. 4.4: Vergleich Ablösungsprävalenzen vs. Bewegungsprävalenzen.....	49
Tab. 4.5: Vergleich der Bewegungsprävalenzen und -richtungen zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Oberkiefer.....	50
Tab. 4.6: Deskriptive Verteilung der inzisalen Relation und des Vorliegens von Habits auf Untersuchungs- und Kontrollgruppe	70
Tab. 4.7: Entwicklung der intercaninen Distanz (in mm) während der Behandlung in Untersuchungs- und Kontrollgruppe	71
Tab. 4.8: Häufigkeit von Retainerbrüchen in Untersuchungs- und Kontrollgruppe.....	72
Tab. 4.9: Vergleich Ablösungsprävalenzen vs. Bewegungsprävalenzen.....	73
Tab. 4.10: Vergleich der Bewegungsprävalenzen und -richtungen zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe im Unterkiefer	74
Tab. 5.1: Vergleich der Bewegungswerte der X-Achse	82
Tab. 5.2: Vergleich der Bewegungswerte der Y-Achse.....	83
Tab. 5.3: Vergleich der Bewegungswerte der Z-Achse	84
Tab. 5.4: Prävalenz der Bisse ohne inzisale Abstützung zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten	88

11. Literaturverzeichnis

ABUDIAK H, SHELTON A, SPENCER RJ, BURNS L, LITTLEWOOD SJ.

A Complication with Orthodontic Fixed Retainers: A Case Report.

Ortho Update 2011; 4: 112–117.

AL YAMI EA, KUIJPERS-JAGTMAN AM, VAN'T HOF MA.

Stability of orthodontic treatment outcome: Follow-up until 10 years postretention.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1999; 115(3): 300-304.

ARNOLD SN, PANDIS N, PATCAS R.

Factors influencing fixed retention practices in German-speaking Switzerland: A survey.

J Orofac Orthop. 2014; 75(6): 446-458.

ÅRTUN J, SPADAFORA AT, SHAPIRO PA.

A 3-year follow-up study of various types of orthodontic canine-to-canine retainers.

Eur J Orthod. 1997; 19(5): 501-509.

ASKERIDIS N.

Untersuchung über den Therapieerfolg und die Stabilität einer Kieferorthopädischen Behandlung bei Patienten mit frontal offenem Biss mit Overbite.
Dissertation Gießen, 2006.

BAKA ZM, AKIN M.

A prospective clinical evaluation of fixed retainer failures.

Acta Odontol Turc. 2018; 35(3): 75-80.

BEARN DR.

Bonded orthodontic retainers: A review.

Am J Orthod Dentofac Orthop. 1995; 108: 207-213.

BINDA SKR, KUIJPERS-JAGTMAN AM, MAETENS JKM, VAN'T HOF MA.

A long-term cephalometric evaluation of treated Class II division 2 malocclusions.

Eur J Orthod. 1994; 16(4): 301-308.

BOCK N, RUF S.

Post-treatment occlusal changes in Class II division 2 subjects treated with the Herbst appliance.

Eur J Orthod. 2008; 30(6): 606-613.

BURDEN DJ.

The influence of social class, gender, and peers on the uptake of orthodontic treatment.

Eur J Orthod. 1995; 17(3): 199-203.

CHOI DS, JEONG YM, JANG I, JOST-BRINKMANN PG, CHA BK.

Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models.

Angle Orthod. 2010; 80(4): 685–691.

CHEN G, CHEN S, ZHANG XY, JIANG RP, LIU Y, SHI FH, XU TM.

Stable region for maxillary dental cast superimposition in adults, studied with the aid of stable miniscrews.

Orthod Craniofac Res. 2011; 14(2): 70-79.

DAHL EH, ZACHRISSON BU.

Long-term experience with direct bonded lingual retainers.

J Clin Orthod. 1991; 25(10): 619-630.

ENDER A, MEHL A.

Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems.

Int J Comput Dent. 2013; 16(1): 11-21.

GANZER N, FELDMANN I, LIV P, BONDEMARK L.

A novel method for superimposition and measurements on maxillary digital 3D models – studies on validity and reliability.

Eur J Orthod. 2018; 40(1): 45–51.

HADDADI Y, BAHRAMI G, ISODOR F.

Accuracy of Intra-Oral Scans Compared to Conventional Impression in Vitro.

Prim Dent J. 2019; 8(3): 34-39.

HENNINGER E, VASILAKOS G, HALAZONETIS D, GKANTIDIS N.

The effect of regular dental cast artifacts on the 3D superimposition of serial digital maxillary dental models.

Sci Rep. 2019; 9(1): 10501.

HUANG GJ, BATES SB, EHLERT AA, WHITING DP, CHEN SS, BOLLEN AM.

Stability of deep-bite correction: A systematic review.

J World Fed Orthod. 2012; 1(3): 89–86.

ILIADI A, KLOUKOS D, GKANTIDIS N, KATSAROS C, PANDIS N.

Failure of fixed orthodontic retainers: A systematic review.

J Dent. 2015; 43(8): 876–896.

DE FREITAS MR, BELTRÃO RT, JANSON G, HENRIQUES JF, CANÇADO RH.

Long-term stability of anterior open bite extraction treatment in the permanent dentition.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2004; 125(1): 78-87.

JANSON G, VALARELLI FP, HENRIQUES JF, DE FREITAS MR, CANÇADO RH.

Stability of anterior open bite nonextraction treatment in the permanent dentition.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2003; 124(3): 265-276.

JANSON G, VALARELLI FP, BELTRÃO RT, DE FREITAS MR, HENRIQUES JF.

Stability of anterior open-bite extraction and nonextraction treatment in the permanent dentition.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2006; 129(6): 768-774.

JANSON G, CREPALDI MV, FREITAS KM, DE FREITAS MR, JANSON W.

Stability of anterior open-bite treatment with occlusal adjustment.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010; 138(1): 14.e1-7.

JENSEN U, RUF S.

Success rate of anterior open-bite orthodontic-orthognathic surgical treatment.

Am J Orthod Dentofac Orthop. 2010; 138(6): 716-719.

KAHL-NIEKE B.

Einführung in die Kieferorthopädie.

3.Auflage 2009, Deutscher Ärzteverlag, Köln, Deutschland.

KATSAROS C, LIVAS C, RENKEMA AM.

Unexpected complications of bonded mandibular lingual retainers.

Am J Orthod Dentofac Orthop. 2007; 132(6): 838-41.

KLAUS K, XIROUCHAKI F, RUF S.

3D-analysis of unwanted tooth movements despite bonded orthodontic retainers: a pilot study.

BMC Oral Health 2020; 20(1): 308.

KOCHER KE, GEBISTORF MC, PANDIS N, FUDALEJ PS, KATSAROS C.

Survival of maxillary and mandibular bonded retainers 10 to 15 years after orthodontic treatment: a retrospective observational study.

Progr Orthod. 2019; 20(1): 28.

KOERICH L, WEISSHEIMER A, MACEDO DE MENEZES L, LINDAUER SJ.

Rapid 3D mandibular superimposition for growing patients.

Angle Orthod. 2017; 87(3): 473–479.

KNAUP I, BARTZ JR, SCHULZE-SPÄTE U, CRAVEIRO RB, KIRSCHNECK C, WOLF M.

Side effects of twistflex retainers – 3D evaluation of tooth movement after retainer debonding.

J Orofac Orthop. 2021; 82(2): 121-130.

KUCERA J, MAREK I.

Unexpected complications associated with mandibular fixed retainers: A retrospective study.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2016; 149: 202-211.

KUCERA J, STREBLOV J, MAREK I, HANZELKA T.

Treatment of Complications Associated with Lower Fixed Retainers.

J Clin Orthod. 2016; 50(1): 54-59.

LAI CS, GROSSEN JM, RENKEMA AM, BRONKHORST E, FUDALEJ PS, KATSAROS C.

Orthodontic retention procedures in Switzerland.

Swiss Dent J. 2014; 124(6): 655–661.

LAPATKI BG, KLATT A, SCHULTE-MÖNTING J, STEIN S, JONAS IE.

A Retrospective Cephalometric Study for the Quantitative Assessment of Relapse Factors in Cover-Bite Treatment.

J Orofac Orthop. 2004; 65(6): 475–488.

LIE SAM FOEK DJ, ÖZCAN M, VERKERKE GJ, SANDHAM A, DIJKSTRA PU.

Survival of flexible, braided, bonded stainless steel lingual retainers: a historic cohort study.

Eur J Orthod. 2008; 30(2): 199–204.

LITTLE RM, RIEDEL RA, ARTUN J.

An evaluation of changes in mandibular anterior alignment from 10 to 20 years postretention.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1988; 93(5):423-8.

LITTLEWOOD SJ, MILLETT DT, DOUBLEDAY B, BEARN DR, WORTHINGTON HV.

Orthodontic retention: a systematic review.

J Orthod. 2006; 33(3): 205-212.

LITTLEWOOD SJ, MILLETT DT, DOUBLEDAY B, BEARN DR, WORTHINGTON HV.

Retention procedures for stabilizing tooth position after treatment with orthodontic braces (Review).

Cochrane Database of Systematic Reviews 2016; 2016(1): CD002283.

LITTLEWOOD SJ.

Evidence-based retention: Where are we now?

Semin Orthod. 2017; 23: 229–236.

LOPEZ-GAVITO G, WALLEN TR, LITTLE RM, JOONDEPH DR.

Anterior open-bite malocclusion: a longitudinal 10-year postretention evaluation of orthodontically treated patients.

Am J Orthod. 1985; 87(3): 175-186.

LUMSDEN KW, SAIDLER G, MC COLL JH.

Breakage Incidence with Direct Bonded Lingual Retainers.

Br J Orthod. 1999; 26(3): 191–194.

MANDALL NA, MCCORD JF, BLINKHORN AS, WORTHINGTON HV.

Perceived aesthetic impact of malocclusion and oral self-perceptions in 14-15-year-old Asian and Caucasian children in greater Manchester.

Eur J Orthod. 1999; 21: 175-183.

NG CS, WONG WK, HAGG U.

Orthodontic treatment of anterior open bite.

Int J Paediatr Dent. 2008; 18: 78-83.

NGUYEN T, CEVIDANES L, FRANCHI L, RUELLAS A, JACKSON T.

Three-dimensional mandibular regional superimposition in growing patients.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2018; 153(3): 747–754.

O'BRIEN K.

Orthodontic interactions: the relationships between the orthodontic services in England and Wales.

Br J Orthod. 1991; 18(2): 91-98.

OH H, MA N, FENG PP, KIEU K, BOERO R, DUGONI S, AUBERT M, CHAMBERS D.

Evaluation of posttreatment stability after orthodontic treatment in the mixed and permanent dentitions.

Angle Orthod. 2016; 86: 1010–1018.

PAN Y, WANG X, DAI F, CHEN G, XU T.

Accuracy and reliability of maxillary digital model (MDM) superimposition in evaluating teeth movement in adults compared with CBCT maxillary superimposition.

Sci Rep. 2020; 10(1): 19384.

PANCHERZ H.

Der Bisstyp – eine erweiterte Angleklassifikation. Vorstellung einer neuen Methode. Kieferorthopädie 2018; 32(1): 1-6.

PAPAGIANNIS A, KOLETSI D, HALAZONETIS DJ, SIFAKAKIS I.

Relapse 1 week after bracket removal: a 3D superimpositional analysis.

Eur J Orthod. 2021; 43(2): 128-135.

PARK TJ, LEE SH, LEE KS.

A method for mandibular dental arch superimposition using 3D cone beam CT and orthodontic 3D digital model.

Korean J Orthod. 2012; 42: 169–181.

PARKHOUSE RC.

Tip-Edge Orthodontics and the Plus Bracket.

2. Auflage 2008, Mosby Elsevier, St. Louis, MO, USA.

PAZERA P, FUDALEJ P, KATSAROS C.

Severe complication of a bonded mandibular lingual retainer.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2012; 142: 406-409.

PENG CL, JOST-BRINKMANN PG, YOSHIDA N, MIETHKE RR, LIN CT.

Differential diagnosis between infantile and mature swallowing with ultrasonography.

Eur J Orthod.2003; 25(5): 451–456.

PROFFIT WR.

Muscle Pressures and Tooth Position: North American Whites and Australian Aborigines.

Angle Orthod.1975; 45(1): 1-11.

REMMERS D, VAN'T HULLENAAR RW, BRONKHORST EM, BERGE SJ, KATSAROS C.

Treatment results and long-term stability of anterior open bite malocclusion.

Orthod Craniofac Res. 2008; 11(1): 32-42.

RENKEMA AM, RENKEMA A, BRONKHORST E, KATSAROS C.

Long-term effectiveness of canine-to-canine bonded flexible spiral wire lingual retainers.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2011; 139: 614-621.

ROECKE T.

Employing Tip-Edge brackets on canines to simplify straight-wire mechanics.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1994; 106(4): 341-350.

RUELLAS AC, YATABE MS, SOUKI BQ, BENAVIDES EB, LUIZ RR, FRANCHI L, CEVIDANES LH.

3D mandibular superimposition: comparison of regions of reference for voxel-based registration.

PLoS ONE. 2016; 11(6): e0157625.

SAMSON RS, VARGHESE E, UMA E, CHANDRAPPA PR.

Evaluation of Bond Strength and Load Deflection Rate of Multi-stranded Fixed Retainer Wires: An In-Vitro Study.

Contemp Clin Dent. 2018; 9(1): 10–14.

SEELING S, PRÜTZ F.

Inanspruchnahme kieferorthopädischer Behandlung durch Kinder und Jugendliche in Deutschland – Querschnittergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends. *J Health Monit.* 2018; 3(4).

SCHEIBE K, RUF S.

Lower Bonded Retainers: Survival and Failure Rates Particularly Considering Operator Experience.

J Orofac Orthop. 2010; 71(4): 300–307.

SCHNEIDER E, RUF S.

Upper bonded retainers Survival and failure rates.

Angle Orthod. 2011; 81: 1050–1056.

SCHOPF P.

Curriculum Kieferorthopädie.

Band I, 4. Auflage 2008, 291-295, Quintessenz Verlag, Berlin, Deutschland.

SCHÜTZ-FRANSSON U, LINDSTEN R, BJERKLIN K, BONDEMARK L.

Twelve-year follow-up of mandibular incisor stability: Comparison between two bonded lingual orthodontic retainers.

Angle Orthod. 2017; 87: 200–208.

SHAUGHNESSY TG, PROFFIT WR, SAMARA SA.

Inadvertent tooth movement with fixed lingual retainers.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2016; 149: 277-286.

SIFAKAKIS I, PANDIS N, ELIADES T, MAKOU M, KATSAROS C, BOURAUUEL C.

In-vitro assessment of the forces generated by lingual fixed retainers.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2011; 139: 44-48.

SILVA M, MANTON D.

Oral Habits—Part 2: Beyond Nutritive and Non-nutritive Sucking.

J Dent Child. 2014; 81(3): 140-146.

STEINNES J, JOHNSEN G, KEROSUO H.

Stability of orthodontic treatment outcome in relation to retention status: An 8-year follow-up.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2017; 151: 1027-1033.

STÖRMANN I, EHMER U.

A Prospective Randomized Study of Different Retainer Types.

J Orofac Orthop. 2002; 63(1): 42–50.

STUCKI S, GKANTIDIS N.

Assessment of techniques used for superimposition of maxillary and mandibular 3D surface models to evaluate tooth movement: a systematic review.

Eur J Orthod. 2020; 42(5): 559-570.

THIRUVENKATACHARI B, AL-ABDALLAH M, AKRAM NC, SANDLER J, O'BRIEN K.

Measuring 3-dimensional tooth movement with a 3-dimensional surface laser scanner.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009; 135(4): 480-5.

VASILAKOS G, SCHILLING R, HALAZONETIS D, GKANTIDIS N.

Assessment of different techniques for 3D superimposition of serial digital maxillary dental casts on palatal structures.

Sci Rep. 2017; 7(1): 5838.

VASILAKOS G, KONIARIS A, WOLF M, HALAZONETIS D, GKANTIDIS N.

Early anterior crossbite correction through posterior bite opening: a 3D superimposition prospective cohort study.

Eur J Orthod. 2018; 40(4): 364-371.

WOLF M, SCHULTE U, KÜPPER K, BOURAUUEL C, KEILING L, PAPAGEORGIOU SN, DIRK C, KIRSCHNECK C, DARATSIANOS N, JÄGER A.

Post-treatment changes in permanent retention.

J Orofac Orthop. 2016; 77(6): 446–453.

WHEELER TT, MCGORRAY SP, YURKIEWICZ L, KEELING SD, KING GJ.
Orthodontic treatment demand and need in third and fourth grade schoolchildren.
Am J Orthod Dentofac Orthop. 1994;106(1): 22-33.

ZACHRISSON BU.

Clinical experience with direct-bonded orthodontic retainers.
Am J Orthod. 1977; 71(4): 440-448.

ZACHRISSON BU.

Important aspects of long-term stability.
J Clin Orthod. 1997; 31(9): 562–583.

ZACHRISSON BU, BÜYÜKYILMAZ T.

Bonding in orthodontics. In: Graber (ed) Orthodontics: Current principles and techniques.
4. Edition 2005, Elsevier Mosby. St. Louis, MO, USA

ZACHRISSON BU.

Long-Term Experience with Direct-Bonded Retainers: Update and Clinical Advice.
J Clin Orthod. 2007; 41(12): 728-737.

ZUROFF JP, CHEN SH, SHAPIRO PA, LITTLE RM, JOONDEPH DR, HUANG GJ.

Orthodontic treatment of anterior open-bite malocclusion: Stability 10 years
postretention.

Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2010; 137(3): 302.e1-8.

12. Anhang

Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort/Datum

Unterschrift

Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Frau Prof. Dr. Sabine Ruf für die Möglichkeit der Promotion an der Poliklinik für Kieferorthopädie und die freundliche Überlassung des Themas.

Meiner Betreuerin Frau Dr. Katharina Klaus möchte ich, für die über die komplette Arbeit hinweg hervorragende, geduldige und weit über das übliche Maß hinaus reichende Unterstützung bei Erstellung dieser Arbeit, herzlich danken. Über ihre Betreuung schätze ich mich außerordentlich glücklich und bin Ihnen für diese Unterstützung sehr verbunden.

Meiner Familie danke ich herzlich für die bedingungslose Unterstützung in allen Bereichen die diese Arbeit ermöglicht haben.