

**Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie**

(Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Karl-Friedrich Krey MME)

im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

(Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Karl-Friedrich  
Krey)

der Universitätsmedizin der Universität Greifswald

Thema:

**Gebissmorphologie und Alterung – eine Analyse anhand  
longitudinaler kieferorthopädischer Modellbefunde**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Zahnmedizin

(Dr. med. dent.)

der

Universitätsmedizin

der

Universität Greifswald

2022

vorgelegt von: Susanne Schouten

geboren am: 30.01.1995

in: Waldbröl

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich  
Erster Gutachter: Prof. Dr. med dent. Karl-Friedrich Krey  
Zweiter Gutachter: Prof. Dr.med dent. Andreas Jäger  
Ort, Raum: Greifswald, Hörsaal des ZZMK  
Tag der Disputation: 18.04.2023

Für meine Familie

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Das menschliche Gebiss.....	3
2.2	Zahnentwicklung.....	5
2.3	Das Milchgebiss.....	7
2.4	Die Nutzungsphase des Milchgebisses.....	10
2.5	Das permanente Gebiss .....	10
2.5.1	Die erste Wechselgebissphase.....	10
2.5.2	Die zweite Wechselgebissphase.....	13
2.6	Veränderungen der Dimensionen der Zahnbögen im Kindes- und Jugendalter.....	15
2.7	Veränderungen der Dimensionen der Zahnbögen im Erwachsenenalter .....	17
2.7.1	Veränderungen der Zahnbogenbreite .....	18
2.7.2	Veränderungen der Zahnbogenlänge .....	22
2.7.3	Veränderungen der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich .....	25
3	Fragestellungen.....	28
4	Material und Methoden.....	29
4.1	Probanden .....	29
4.1.1	Study of Health in Pomerania (SHIP).....	29
4.1.2	Assoziiertes zahnmedizinisches Projekt (ASSPro) .....	30
4.1.3	Probanden der vorliegenden Dissertation .....	31
4.2	Untersuchungen an den Modellen .....	33
4.2.1	Dreidimensionale Modellvermessung mit Landmark und Meshmixer.....	33
4.2.2	Messpunkte .....	33
4.2.3	Berechnung der Messstrecken und Modellanalysen.....	37
4.3	Statistische Methoden.....	43
5	Ergebnisse.....	45
5.1	Methodenfehler nach Dahlberg.....	45
5.2	Bland-Altman-Analyse .....	45
5.3	Histogramme.....	50
5.4	Box-Whisker-Plots.....	55
5.5	Unterschiede der untersuchten Strecken in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	57

5.6	Beschreibung der Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter .....	59
6	Diskussion .....	62
6.1	Diskussion der Methodik .....	62
6.2	Diskussion der Ergebnisse .....	63
6.2.1	Veränderungen der Zahnbogenbreite .....	65
6.2.2	Veränderungen der Zahnbogenlänge .....	66
6.2.3	Veränderungen der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich .....	68
6.2.4	Veränderungen von Overbite und Overjet .....	69
6.3	Schlussfolgerungen.....	70
7	Beantwortung der Fragestellungen .....	72
8	Zusammenfassung .....	73
9	Literaturverzeichnis.....	75
10	Danksagung.....	84

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.: Lückiges Gebiss eines Nilkrokodils (aus G. H. Schumacher, 1997).....	3
Abb. 2.: Okklusion der Zahnreihen des menschlichen Gebisses von vorn und von der Seite (aus G. H. Schumacher, 1997).....	3
Abb. 3.: Zahnentwicklung. a In der 8. Woche. b In der 10. Woche. c Im 3. Monat. d Im 6. Monat. e Kurz vor der Geburt. f Nach dem Zahndurchbruch (aus T. W. Sadler, 2014).....	7
Abb. 4.: Schematische Darstellung des vollständigen Milchgebisses.....	9
Abb. 5.: Schematische Darstellung des Wechselgebisses nach der 1. Wechselgebissphase.....	12
Abb. 6.: Schematische Darstellung des permanenten Gebisses.....	14
Abb. 7.: Region Vorpommern (S. Bergmann 2017).....	29
Abb. 8.: Darstellung des Probandenauswahlprozesses.....	32
Abb. 9.: Darstellung der Messpunkte für den Oberkiefer (Nr. 1-45) und den Unterkiefer (Nr. 1-45) im Verhältnis 3:2.....	33
Abb. 10.: Darstellung der Messpunkte für den Overbite und den Overjet im Verhältnis 11:4.....	34
Abb. 11.: Messung der Einzelzahnbreiten am größten mesiodistalen Durchmesser beispielhaft an 12 im Verhältnis 8:3.....	39
Abb. 12.: Messung der horizontalen linearen Abweichung beispielhaft zwischen 13 und 12 im Verhältnis 7:2.....	40
Abb. 13.: Messung der Intercaninen Distanz im Verhältnis 5:6.....	40
Abb. 14.: Messung der anterioren Breite im Oberkiefer im Verhältnis 7:6.....	41
Abb. 15.: Messung der anterioren Breite im Unterkiefer im Verhältnis 6:5.....	41
Abb. 16.: Messung der posterioren Breite im Oberkiefer im Verhältnis 5:4.....	42
Abb. 17.: Messung der posterioren Breite im Unterkiefer im Verhältnis 1:1.....	42
Abb. 18.: Messung der Zahnbogenlänge nach Festlegung der Okklusionsebene als Horizontalebene. Festlegung der Messpunkte mit Hilfe der Vertikalebene für den anteriorsten Punkt des Zahnbogens und der Sagittalebene für den Lotpunkt auf die anteriore Zahnbogenbreite. Größe der Abbildungen von links nach rechts und von oben nach unten im Verhältnis 5:9, 1:3, 4:9 und 2:3.....	43
Abb. 19.: Darstellung von Overbite und Overjet (aus G. H. Schumacher 1997).....	44

Abb. 20.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der Schneidekantenbreitensumme im Ober- und Unterkiefer...	47
Abb. 21.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) von Little's Irregularity Index im Ober- und Unterkiefer.....	47
Abb. 22.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der Intercaninen Distanz im Ober- und Unterkiefer.....	48
Abb. 23.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der anterioren Breite im Ober- und Unterkiefer.....	48
Abb. 24.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der posterioren Breite im Ober- und Unterkiefer.....	49
Abb. 25.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der Zahnbogenlänge im Ober- und Unterkiefer.....	49
Abb. 26.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) des Overbites.....	50
Abb. 27.: Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) des Overjets.....	50
Abb. 28.: Verteilung der Schneidekantenbreitensumme im Oberkiefer (SI OK) zum Zeitpunkt T0 und T1.....	51
Abb. 29.: Verteilung der Schneidekantenbreitensumme im Unterkiefer (si UK) zum Zeitpunkt T0 und T1.....	51
Abb. 30.: Verteilung von Little's Irregularity Index im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	52
Abb. 31.: Verteilung von Little's Irregularity Index im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	52
Abb. 32.: Verteilung der Intercaninen Distanz im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	52
Abb. 33.: Verteilung der Intercaninen Distanz im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	53
Abb. 34.: Verteilung der Anterioren Breite im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	53
Abb. 35.: Verteilung der Anterioren Breite im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	53
Abb. 36.: Verteilung der Posterioren Breite im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	54
Abb. 37.: Verteilung der Posterioren Breite im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1.....	54
Abb. 38.: Verteilung der oberen Zahnbogenlänge zum Zeitpunkt T0 und T1.....	54
Abb. 39.: Verteilung der unteren Zahnbogenlänge zum Zeitpunkt T0 und T1.....	55

Abb. 40.: Verteilung des Overbite zum Zeitpunkt T0 und T1.....	55
Abb. 41.: Verteilung des Overjet zum Zeitpunkt T0 und T1.....	55
Abb. 42.: Verteilung der Schneidekantenbreitensumme (SI OK; si UK) und der Intercaninen Distanz zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden.....	56
Abb. 43.: Verteilung von Little's Irregularity Index, dem Overbite und dem Overjet zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden.....	57
Abb. 44.: Verteilung der anterioren Breite und der posterioren Breite zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden.....	57
Abb. 45.: Verteilung der oberen und unteren Zahnbogenlänge zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden.....	58



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Durchbruch der Milchzähne (H. Schroeder 1987) .....	9
Tabelle 2. Durchbruch der bleibenden Zähne (H. Schroeder 1987).....	14
Tabelle 3. Überblick über longitudinale Studien des permanenten Gebisses .....	18
Tabelle 4. Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zur intercaninen Distanz. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab $p \leq 0,05$ .....	21
Tabelle 5. Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zur anterioren und posterioren Breite. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab $p \leq 0,05$ .....	22
Tabelle 6. Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zur Zahnbogenlänge. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab $p \leq 0,05$ .....	24
Tabelle 7. Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zum frontalen Engstand. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab $p \leq 0,05$ .....	27
Tabelle 8. Anzahl der geladenen und teilnehmenden Probanden an ASSPro.....	31
Tabelle 9. Messpunkte im Oberkiefer Teil 1 .....	34
Tabelle 10. Messpunkte im Oberkiefer Teil 2.....	35
Tabelle 11. Messpunkte im Unterkiefer Teil 1.....	35
Tabelle 12. Messpunkte im Unterkiefer Teil 2.....	36
Tabelle 13. Erläuterung der Messstrecken .....	37

Tabelle 14. Methodenfehler nach G. Dahlberg (1940). Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Anzahl der Zweitmessungen (n), Methodenfehler (MF). ...	45
Tabelle 15. Unterschiede der untersuchten Strecken zwischen Männern und Frauen Teil 1. Variablennummer (Nr.), Zeitpunkt der Messung (Zeitpunkt), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert der Männer (MW-m), Mittelwert der Frauen (MW-w), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW-m und MW-w (MW Differenz), Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für den t-Test, Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für den Welchtest mit * markiert mit jeweils $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d .....	58
Tabelle 16. Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter. Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert 1 (MW1), Mittelwert 2 (MW2), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW1 und MW2 (MW Differenz), t-Test Irrtumswahrscheinlichkeit (p) mit $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d .....	59
Tabelle 17. Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter bei den männlichen Probanden. Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert 1 (MW1), Mittelwert 2 (MW2), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW1 und MW2 (MW Differenz), t-Test Irrtumswahrscheinlichkeit (p) mit $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d .....	60
Tabelle 18. Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter bei den weiblichen Probandinnen. Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert 1 (MW1), Mittelwert 2 (MW2), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW1 und MW2 (MW Differenz), t-Test Irrtumswahrscheinlichkeit (p) mit $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d .....	61

## **Abkürzungsverzeichnis**

Abb. - Abbildung

AntBrOK - Anteriore Breite im Oberkiefer

AntBrUK - Anteriore Breite im Unterkiefer

ASSPro - assoziiertes zahnmedizinisches Projekt "Munderkrankungen und kranio-mandibuläre Dysfunktionen"

bzw. - beziehungsweise

d. h. - das heißt

IntercanOK - Intercanine Distanz im Oberkiefer

IntercanUK - Intercanine Distanz im Unterkiefer

LO - obere Zahnbogenlänge

LU - untere Zahnbogenlänge

MW - Mittelwert

OKLI - Summe für Little's Irregularity Index im Oberkiefer

OKSI - Schneidekantenbreitensumme im Oberkiefer

Overbite - Overbite

Overjet - Overjet

PostBrOK - Posteriore Breite im Oberkiefer

PostBrUK - Posteriore Breite im Unterkiefer

SD - Standardabweichung

SHIP - Study of Health in Pomerania

u. a. - unter anderem

UKLI - Summe für Little's Irregularity Index im Unterkiefer

UKsi - Schneidekantenbreitensumme im Unterkiefer

z. T. - zum Teil

# 1 Einleitung

Die Gesamtheit aller Zähne bildet das Gebiss, welches Teil des kraniofazialen Systems mit seinen knöchernen und weichgewebigen Strukturen ist. Die Entwicklung bis hin zum voll funktionsfähigen Gebiss des Erwachsenen reicht von einer frühen embryonalen Phase bis hin zum vollständigen Durchbruch der permanenten Zähne (Schopf 2008). Anschließend unterliegen alle Anteile auch weiterhin beständigen Umbauvorgängen (Radlanski und Wesker 2015).

Dabei können die Begriffe des körperlichen “Wachstums”, der “Entwicklung” und der “Reifung” laut Meredith (1945) synonymal verwendet werden. Das körperliche Wachstum ist hierbei definiert als die Gesamtheit der anatomischen und physiologischen Veränderungen, welche sich vom Beginn des pränatalen Lebens bis zum Ende des Greisenalters vollziehen (Meredith 1945). Obwohl das Erwachsenenalter häufig als Lebensabschnitt ohne Veränderung oder der langsam fortschreitenden Degeneration angesehen wird, konnten Studien über die Veränderungen in Form und Größe des kraniofazialen Komplexes des Erwachsenen diese Vorstellung widerlegen (u. a. Hrdlička 1936; Baer 1956; Israel 1973; Behrents 1985; Harris 1997; Ross und Williams 2010). In der Summe haben diese Studien ergeben, dass die verschiedenen Komponenten auch weiterhin kleine, aber oft statistisch signifikante Veränderungen aufweisen. Über die Jahrzehnte hinweg ist dabei ein deutlich sichtbares Wachstum erkennbar, welches im Bereich des Gesichtsskeletts durchaus wenige Millimeter betragen kann (Behrents 1985). Diese Erkenntnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass auch das Gebiss als Teil des kraniofazialen Systems, Veränderungen im Erwachsenenalter unterliegt (Carter und McNamara 1998).

Doch während die tiefgreifenden okklusalen und dentoalveolären Veränderungen des Milchgebisses und des permanenten Gebisses der ersten beiden Jahrzehnte des Lebens gut dokumentiert worden sind (u. a. van der Linden 1981; Moyers 1984; Schopf 2008), ist über die subtileren Veränderungen beim Erwachsenen, insbesondere nach dem Alter von 20 bis 25 Jahren, weniger bekannt (Bishara et al. 1994; Tsiopas et al. 2013). Auch das Verständnis für die Mechanismen, welche diese verursachen, ist nicht eindeutig (Carter und McNamara 1998). Es wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass die Morphologie des Zahnbogens durch den stützenden Alveolarknochen, aus welchem er entspringt, vorgegeben, und dass diese Form in allen drei Ebenen des Raums zudem durch die Kräfte der intraoralen Funktion und der perioralen Muskulatur verändert wird (Proffit 1978; Dager et al. 2008).

Möglicherweise ist allerdings die Zeit der wichtigste Faktor dieser zu einem gewissen Grad veränderlichen Strukturen (Dager et al. 2008).

Die Kenntnis über die “normalen” Veränderungen, welche sich natürlicherweise ereignen, bildet die Grundlage für die Bewertung der Ausgangssituation des Patienten, seine Behandlungsplanung und den langfristigen Erfolg kieferorthopädischer Behandlungsmaßnahmen. Insbesondere die Unvorhersagbarkeit okklusaler Veränderungen mit dem Alterungsprozess bildet eine Herausforderung in der Kieferorthopädie (Massaro et al. 2018). Beispielsweise ist das Rezidiv nach der kieferorthopädischen Behandlung ein diesbezüglich bekanntes Phänomen. Verschiedene Studien wiesen sowohl eine Verstärkung des Frontzahnengstandes als auch eine Erhöhung des Overbites und des Overjets langfristig im Anschluss an die kieferorthopädische Retentionsphase nach (Bondevik 1998). Die Notwendigkeit, einer Wanderung der Zähne mit festsitzenden Retainern und mit Retentionsschienen entgegenzuwirken, ist daher unbestritten (Radlanski 2017). Bei einem Teil dieser Veränderungen handelt es sich jedoch möglicherweise nicht um ein Rezidiv, sondern um normale Veränderungen des Wachstums und der Entwicklung. Auch vor dem Hintergrund der steigenden Nachfrage Erwachsener nach kieferorthopädischer Behandlung kommt dem Wissen um die natürlichen Veränderungen der Zahnstellung mit steigendem Alter eine besondere Bedeutung zu. Aufgrund der Erfolge der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde ist die Anzahl betagter Patienten, welche noch voll bezahnt sind und entsprechend therapeutisch begleitet werden müssen, gestiegen. Somit sind auch Patienten in einem Alter von 50 bis 70 Jahren und älter in kieferorthopädischen Praxen immer häufiger zu sehen (Radlanski 2017). Der Kieferorthopädie wird daher langfristig eine noch größere Bedeutung zukommen, begleitend zu den allgemein-zahnärztlichen Maßnahmen zur Funktion und Ästhetik des Gebisses beizutragen, so lange die betroffenen Zähne im Mund stehen (Radlanski 2017).

Diese Faktoren legen es nahe, die Veränderungen der Zahnbögen des Erwachsenen auf longitudinaler Basis zu untersuchen und zu dokumentieren.

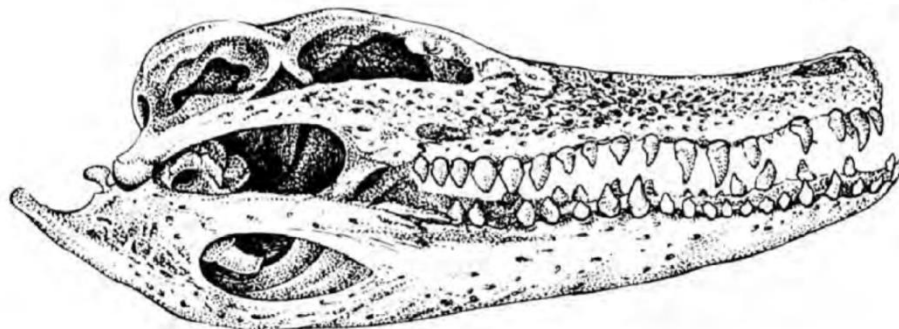
In der vorliegenden Arbeit sollen anhand der Studienmodelle eines Probandenkollektivs von 103 Probanden, welche aus der Study of Health in Pomerania (SHIP) aus dem Forschungsverbund Community Medicine der Universitätsmedizin Greifswald ausgewählt wurden, die dentalen Veränderungen über den Zeitraum von 15 Jahren quantitativ mit Hilfe von Messpunkten und Streckenberechnungen näher untersucht werden.

## 2 Literaturübersicht

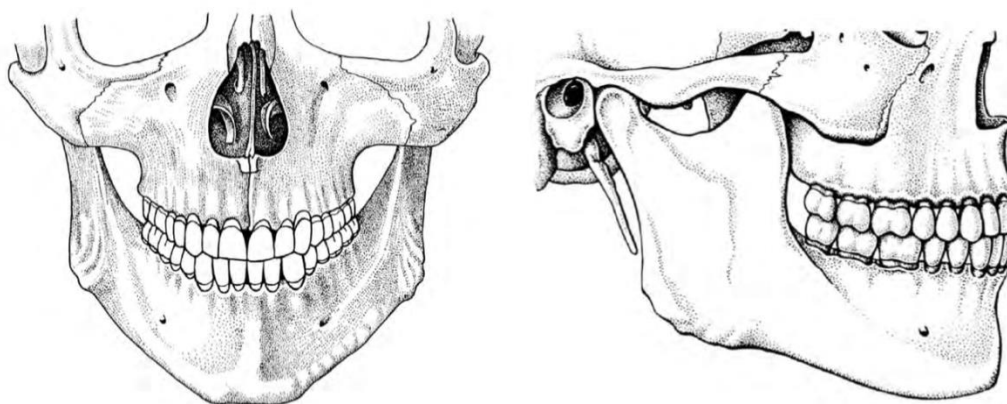
### 2.1 Das menschliche Gebiss

Die Zähne des Menschen dienen der Zerkleinerung der festen Nahrung, gemeinsam mit dem Zahnhalteapparat als Sensor und haben zudem eine wichtige Funktion für die Phonetik und Ästhetik einer Person.

Kennzeichnend für das Gebiss des Menschen ist das Charakteristikum der Heterodontie (die unterschiedliche Form der Zähne je nach Aufgabe und Stellung im Gebiss), der Thekodontie (die Verankerung der Zähne in Zahngruben: Gomphosis) und der Diphydontie (doppelte Zahnung), d. h. wir unterscheiden zwei verschiedene Zahngenerationen. Diese sind das vorübergehende Milchgebiss bestehend aus *Dentes decidui* und das bleibende Gebiss welches dieses durch den Zahnwechsel ablöst, bestehend aus *Dentes permanentes*. Im Gegensatz zu dem Gebiss von Tieren enthält das menschliche Gebiss keine Lücken (Diastemata) (Schumacher 1997) (Abb. 1.-2.).



**Abb. 1.:** Lückiges Gebiss eines Nilkrokodils (aus G. H. Schumacher, 1997)



**Abb. 2.:** Okklusion der Zahnreihen des menschlichen Gebisses von vorn und von der Seite (aus G. H. Schumacher, 1997)

Die Einteilung des Gebisses erfolgt in 4 Quadranten, wobei die Grenze jeweils im Ober- und Unterkiefer zwischen den Schneidezähnen verläuft (Aumüller und Doll 2010). Jeder Quadrant setzt sich im Milchgebiss zusammen aus 2 Schneidezähnen, 1 Eckzahn und 2 Molaren. Diese werden abgelöst durch die permanenten Zähne bestehend aus 2 Schneidezähnen, 1 Eckzahn und 2 Prämolaren, welche daher auch Ersatzzähne genannt werden, sowie von 3 Molaren, welche distal des 2. Milchmolaren als sogenannte Zuwachszähne hinzukommen (Tränkmann 2000; Aumüller und Doll 2010). Die Stellung der Zähne ist im Zahnbogen des Ober- und Unterkiefers verschieden und bewirkt die Okklusion im Schlussbiss. Im Oberkiefer hat der Zahnbogen die Form einer halben Ellipse, im Unterkiefers etwa die Form einer Parabel 2. Grades. Somit greift in Okklusion die Schneidekante der oberen Frontzähne vor die der unteren. Zugleich bedeckt die Außenhöckerreihe der oberen Zähne im Seitenzahnbereich die Außenhöckerreihe des unteren Seitenzahnbereichs und es liegt bei harmonischen Zahnbögen eine maximale Interkuspitation durch eine allseitige und gleichmäßige Höcker-Fissuren-Verzahnung vor (Aumüller und Doll 2010). Von einer Neutralbisslage im Seitenzahnbereich sprechen wir, wenn dabei die Spitze des oberen Eckzahnes zwischen den unteren Eckzahn und den folgenden Prämolaren gerichtet ist und die Spitze des mesialen Außenhöckers des oberen ersten Molaren zwischen die Spitzen der beiden Außenhöcker des unteren ersten Molaren (Angle 1913).

Die Kontaktfläche bei Okklusion bildet in sagittaler Richtung die Spee-Kurve, welche von mesial nach distal einen konvexen Bogen beschreibt. Die Okklusionskurve in transversaler Richtung, welche durch die Höckerverbindungsline der Unterkieferseitenzähne gebildet wird, wird Wilson-Kurve genannt. Mit der Okklusionsebene ist die vom Inzisalpunkt zum disto-bukkalen Höcker des zweiten Unterkiefermolaren auf beiden Seiten verlaufende Ebene gemeint (Tränkmann 2000; Aumüller und Doll 2010).

Durch die Artikulation im Kiefergelenk ist ein Schleifkontakt der Kauflächen der Zähne möglich (Aumüller und Doll 2010). Die Stellung der Zähne ermöglicht dabei ein funktionelles Optimum, durch welches die Kaumuskeln mit minimalem Kraftaufwand die größte Wirkung entfalten können (Weiglein 2012). Fehlfunktionen des Kiefergelenks einerseits oder der Zahnstellung oder dem Zahnbesatz, durch beispielsweise Zahnausfall oder schlecht angepasstem Zahnersatz, führen damit immer zu Beeinträchtigungen des jeweiligen Funktionspartners und damit zur Beeinträchtigung der gesamten Kaufunktion (Bürgers et al. 2020).

## 2.2 Zahnentwicklung

Die Zähne sind sowohl ekto- als auch mesodermalen Ursprungs (Tränkmann 2000). In der 6. Entwicklungswoche bildet sich die Zahnleiste, eine bandförmige, ektodermale Epithelein-sprossung, über dem Mesenchym des Ober- und Unterkiefers (Sadler et al. 2014). Dabei unterscheidet man die generelle Zahnleiste, aus welcher sich zunächst die Knospen der Milchzähne als ektodermaler Anteil der Zahnanlage entwickeln, sowie durch Proliferierung der Zahnleiste nach distal auch die Knospen der Zusatzzähne, sowie die Ersatzzahnleiste, dessen Abkömmlinge die Ersatzzähne sind (Tränkmann 2000).

Durch Einstülpung des darunterliegenden Mesenchyms, welches aus der Neuralleiste stammt, in die Zahnknospe, entwickelt sich diese zur Zahnkappe. Diese setzt sich aus einer äußeren Schicht zusammen, dem äußeren Schmelzepithel, einer inneren Schicht, dem inneren Schmelzepithel sowie einem inneren Kern aus lockerem, ektodermalen retikulären Gewebe, der Schmelzpulpa. Das Mesenchym, welches dem inneren Schmelzepithel anliegt, verdickt sich zur Zahnpapille.

Durch weiteres Wachstum der Zahnkappe und weitere Einstülpung des Mesenchyms entsteht die Zahnglocke. Aus den Mesenchymzellen der Zahnpapille differenzieren sich die Odontoblasten, welche Prädentin erzeugen. Dieses wird nach Verkalkung zum Dentin. Die Odontoblasten ziehen sich dabei aus der entstehenden Dentinschicht zurück und hinterlassen lediglich schmale Zytoplasmaausläufer im Dentin, die Tomes-Fasern. Es bleibt eine Odontoblastenschicht auch nach der vollständigen Zahnentwicklung erhalten, solange der Zahn vital ist (Orban et al. 1972; Alt et al. 1997; Sadler et al. 2014).

Dadurch ist das Dentin in begrenztem Maße reparaturfähig (van der Linden 1981). Die übrigen Zellen der Zahnpapille bilden die Zahnpulpa. Die Zellen des inneren Schmelzepithels differenzieren sich zu den Adamantoblasten, welche die Schmelzprismen des Zahnschmelzes erzeugen. Dieser breitet sich von der Zahnspitze ausgehend nach lateral gegen den späteren Zahnhals aus, bis ein vollständiger Schmelzüberzug entstanden ist. Dabei ziehen sich die Adamantoblasten aus der dicker werdenden Schmelzschicht in die Schmelzpulpa in Richtung des äußeren Schmelzepithels zurück. Nach abgeschlossener Schmelzbildung verkleben das innere und äußere Schmelzepithel und bilden das reduzierte Schmelzepithel (Schroeder 1987; Alt et al. 1997; Sadler et al. 2014). Dieses geht beim Zahndurchbruch eine hemidesmosomale Verbindung mit dem Epithel der Gingiva ein, und verhindert so eine Kontinuitätsunterbrechung der Gingiva. Während sie sich nach dem Zahndurchbruch größtenteils ablöst, bleibt eine dentogingivale Verbindung bestehen, solange der Zahn besteht (Tränkmann 2000; Sadler



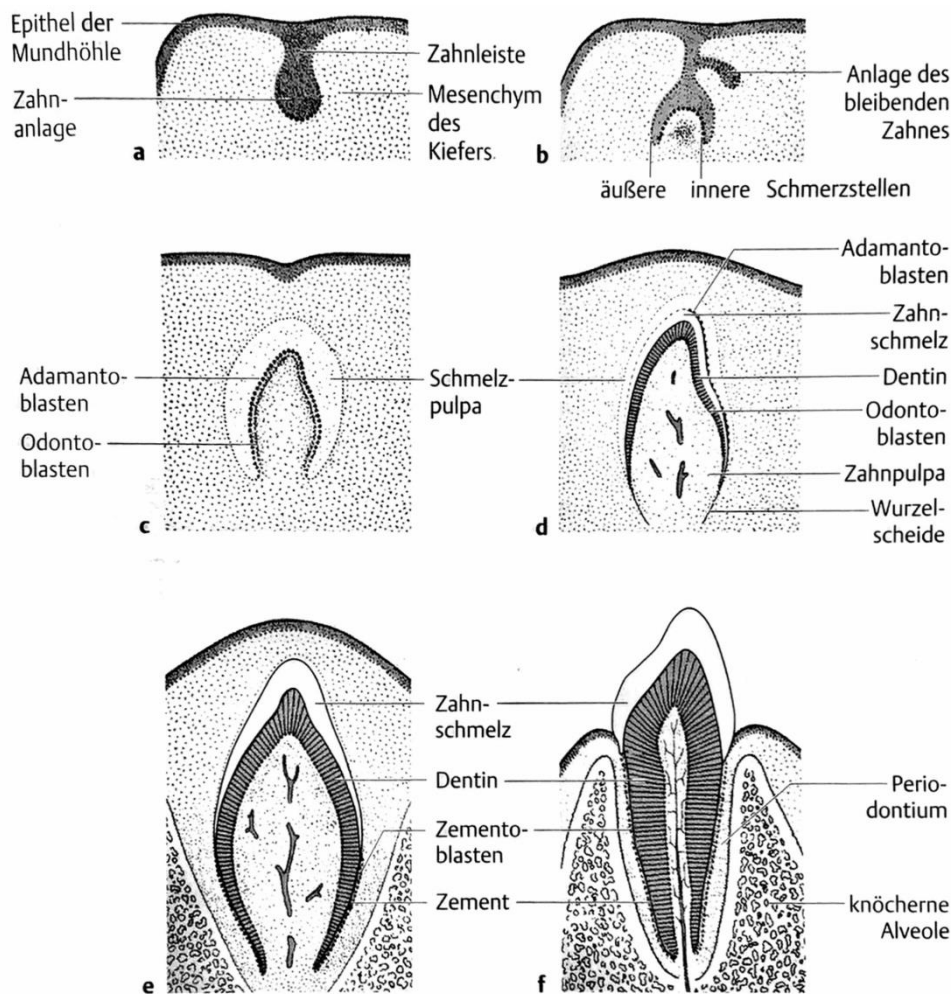
et al. 2014). Die Fähigkeit zur Reparatur des Zahnschmelzes ist jedoch nicht gegeben (van der Linden 1981).

Bereits während der Bildung der Zahnkrone wird die Wurzelbildung eingeleitet. Zeitgleich beginnt der Durchtritt der Zahnkrone in Richtung Mundhöhle. Im Bereich des späteren Zahnhalses verlängern sich das äußere und das innere Schmelzepithel in einer gemeinsamen Zellschicht nach apikal. Sie proliferieren in das darunterliegende Mesenchym und bilden die epitheliale Wurzelscheide, auch Hertwig-Epithelscheide genannt. Diese leitet die Wurzelbildung ein und gibt ihre Form vor. Benachbarte Zellen der Zahnpapille wandeln sich in Odontoblasten um und lagern Dentin ab, welches sich der Zahnkrone anschließt. Die Hertwig-Epithelscheide löst sich anschließend vom Zahnhals ausgehend auf. Aus Mesenchymzellen der Außenseite des Zahns differenzieren sich Zementoblasten, welche Zement über dem Wurzeldentin ablagern. Über den Zementoblasten bilden weitere Mesenchymzellen das Periodontium, dessen Fasern mit einem Ende im Zement des Zahns befestigt sind und mit dem anderen Ende in der knöchernen Alveole.

Während des Zahndurchbruchs ist die Zahnwurzel über die Hälfte ausgebildet und der Zahnhalteapparat angelegt, jedoch noch nicht funktionell strukturiert. Erst drei Jahre nach dem Zahndurchbruch ist auch das Wurzelwachstum abgeschlossen, und sechs Jahre nach dem Zahndurchbruch hat das Pulpenkavum annähernd seine endgültige Form (Orban et al. 1972; Alt et al. 1997; Sadler et al. 2014).

Zu beachten ist, dass das Wachstum der Zähne und der sie umgebenden Strukturen nicht parallel erfolgt. Die Zahnkronen werden direkt in ihrer endgültigen Größe angelegt. Sie sind somit in ihrer Entwicklung den Kiefern, in welchen sie enthalten sind, voraus. Dadurch befinden sich beispielsweise die Milchschnede- und Eckzähne vor der Geburt in einer Staffelstellung und können erst später ihre endgültige Orientierung einnehmen (van der Linden 1981). Es besteht jedoch eine starke Beziehung zwischen den wachsenden Zahnkeimen und den wachsenden Kieferknochen (Moyers 1984).

Ein weiterer Aspekt ist, dass ein großer Unterschied in der Zeitspanne besteht, welche benötigt wird, um die Milchzähne und die bleibenden Zähne zu bilden. Ein Milchschnedezahn im Unterkiefer benötigt beispielsweise ein Jahr für seine Kalzifizierung, ein permanenter erster Molar im Unterkiefer etwa sechs Jahre. Damit in Zusammenhang steht, dass Milchzähne ein niedrigeres Kalzifikationsniveau aufweisen, als permanente Zähne. Dadurch sind bei Milchzähnen in ihrer Nutzungsphase schon früh Abrasionen erkennbar, wohingegen bei bleibenden Zähnen erst nach einer weit größeren Anzahl von Jahren Abrasionen sichtbar sind (van der Linden 1981).



**Abb. 3.:** Zahnentwicklung. a In der 8. Woche. b In der 10. Woche. c Im 3. Monat. d Im 6. Monat. e Kurz vor der Geburt. f Nach dem Zahndurchbruch (aus T. W. Sadler, 2014)

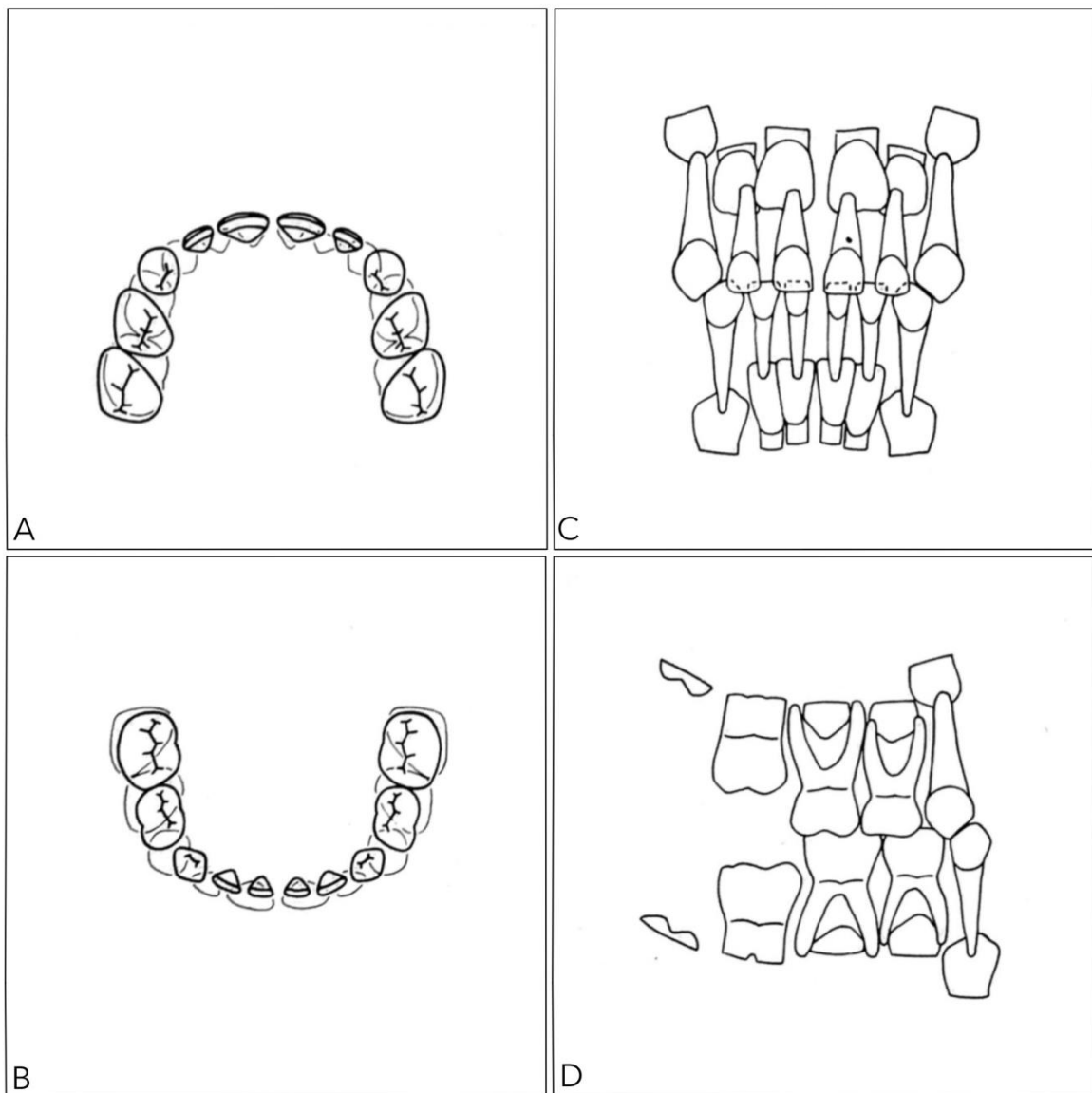
### 2.3 Das Milchgebiss

Bei der Geburt ist das Neugeborene in der Regel noch zahnlos, und es besteht eine leichte Rücklage des Unterkiefers zum Oberkiefer, welche auch als Neugeborenenrückbiss bezeichnet wird. Ober- und Unterkiefer sind im Verhältnis zum übrigen Kopf noch klein. Die Alveolarfortsätze haben noch eine sehr geringe Höhe, welche mit der fortschreitenden Zahnentwicklung kontinuierlich zunimmt (Splieth und Wiesmann 2002). In den ersten 6-8 Lebensmonaten findet ein starkes Wachstum der Kiefer statt. Im Verlauf des ersten Jahres wächst der Unterkiefer nach vorne, sodass sich die Kieferrelation derjenigen des späteren Milchgebisses annähert (van der Linden 1981).

Der Zahndurchbruch wird durch die Vertikalentwicklung des wachsenden Zahnkeims vorbereitet, wobei insbesondere das Wachstum der Zahnwurzel hierzu beiträgt. Dabei wird der inzisale beziehungsweise der okklusale Alveolarknochen durch ein Resorptionsorgan aus Granulationsgewebe resorbiert (Tränkmann 2000).

Für die Durchbruchzeiten der Milchzähne bestehen große individuelle Unterschiede, daher sind diese lediglich als Richtwerte zu betrachten (Splieth und Wiesmann 2002; Schopf 2008). Dabei ist in der Regel bei Jungen der Milchzahndurchbruch etwas früher als bei den Mädchen zu erwarten sowie im Unterkiefer etwas früher als im Oberkiefer (Leighton 1978). Der Durchbruch der einen und der kontralateralen Seite erfolgt hingegen gleichzeitig (Harndt und Weyers 1967).

Die 1. Dentition beginnt zumeist etwa im Alter von 6 bis 8 Monaten mit dem Durchbruch der mittleren unteren Schneidezähne. Es folgen die mittleren oberen Schneidezähne, die unteren seitlichen und etwas später die oberen seitlichen Schneidezähne zwischen dem 8. und dem 12. Monat. Es folgen die 1. Milchmolaren zwischen dem 12. und 16. Monat, wobei die oberen zumeist etwas früher durchbrechen als die unteren. Durch diesen Sachverhalt kommt es zur 1. physiologischen Bisshebung (u. a. Bruhn 1939; Schwarz 1951; Splieth und Wiesmann 2002). Der Zahndurchbruch und das Wachstum des Alveolarfortsatzes in sagittaler, horizontaler und vertikaler Richtung bedingen sich dabei gegenseitig. Für die Bisshebung ist daher der Durchbruchsdruck des 1. Milchmolaren nicht der einzige Faktor. Mit den 1. Milchmolaren kommt es zudem zu einer ersten vertikalen Abstützung und sagittalen Verschlüsselung der Höcker und Fissuren und somit zu einer Fixierung der Lagerrelation zwischen Ober- und Unterkiefer. Anschließend brechen die Eckzähne etwa zwischen dem 16. und 20. Monat durch und zum Schluss die 2. Milchmolaren zwischen dem 20. und 30. Monat, welche die Verschlüsselung der Okklusion noch vertiefen (u. a. Tränkmann 2000; Splieth und Wiesmann 2002; Harzer 2011). Die unteren 2. Milchmolaren sind etwas breiter als die oberen, sodass sich distal der 2. Milchmolaren in Okklusion häufig eine senkrechte Abschlussene ergibt, die gerade Postlaktealebene (Schopf 2008). Damit ist das Milchgebiss bei einem Kind mit durchschnittlicher Zahnentwicklung mit etwa 2 ½ Jahren komplett und die Milchzähne stehen in Okklusion. Das Wachstum der Zahnwurzeln ist jedoch erst 2-3 Jahre nach dem Zahndurchbruch abgeschlossen (Weiglein 2012).



**Abb. 4.:** Schematische Darstellung des vollständigen Milchgebisses.

A Zahnbogen des Oberkiefers, dargestellt in Okklusion mit den Zähnen des Unterkiefers. B Zahnbogen des Unterkiefers, dargestellt in Okklusion mit den Zähnen des Oberkiefers. C Milchgebiss von vorne, einschließlich der Zahnkeime des permanenten Gebisses. D Milchgebiss von der Seite, einschließlich der Zahnkeime des permanenten Gebisses (aus F. van der Linden 1981).

**Tabelle 1.** Durchbruch der Milchzähne (H. Schroeder 1987)

<b>Zahn</b>	<b>Durchbruch</b>
Mittlerer Schneidezahn	6. - 8. Monat
Seitlicher Schneidezahn	8. - 12. Monat
Eckzahn	16. - 20. Monat
1. Milchmolar	12. - 16. Monat
2. Milchmolar	20. - 30. Monat

## **2.4 Die Nutzungsphase des Milchgebisses**

Als Nutzungsphase des Milchgebisses wird die Zeit bezeichnet, in welcher die Zähne der ersten Dentition vollständig durchgebrochen sind und in welcher sie ihre Funktion bei der Okklusion und Artikulation vollständig erfüllen. Sie endet mit Beginn des interokklusalen Kontakts der 1. bleibenden Molaren (Tränkmann 2000).

Durch das Wachstum der Alveolarfortsätze und die Verbreiterung der Zahnbögen bilden sich im Alter von etwa 4 ½ bis 6 Jahren zunehmend physiologische Lücken im Milchgebiss. Diese befinden sich häufig zwischen den Schneidezähnen und zudem als sogenannte Primatenlücken zwischen den Schneide- und Eckzähnen im Oberkiefer sowie zwischen den unteren Eckzähnen und 1. Molaren. Diese werden benötigt, um die korrekte Einstellung der späteren bleibenden Schneidezähne zu ermöglichen, welche breiter sind als ihre Vorgänger (u. a. Schumacher 1997; Schopf 2008). Der Durchbruch der 1. bleibenden Molaren wird vorbereitet, indem sich am distalen Ende der Milchzahnreihe das Molarenfeld ausbildet und sich der Kiefer somit in der sagittalen Ebene verlängert. Beginnend mit etwa dem 4. Lebensjahr werden nach und nach Resorptionen an den Wurzeln der Milchzähne sichtbar. Diese sind etwa mit dem 8. bis 9. Lebensjahr an allen noch vorhandenen Milchzahnwurzeln nachweisbar (Schumacher 1997). Gegen Ende der Gebrauchsperiode sind an den Milchzähnen häufig starke, jedoch physiologische Abrasionen sichtbar (Tränkmann 2000; Harzer 2011). Dadurch ist ein weiteres Vorgehen des Unterkiefers von einer Rücklage in eine Neutrallage möglich (Harzer 2011).

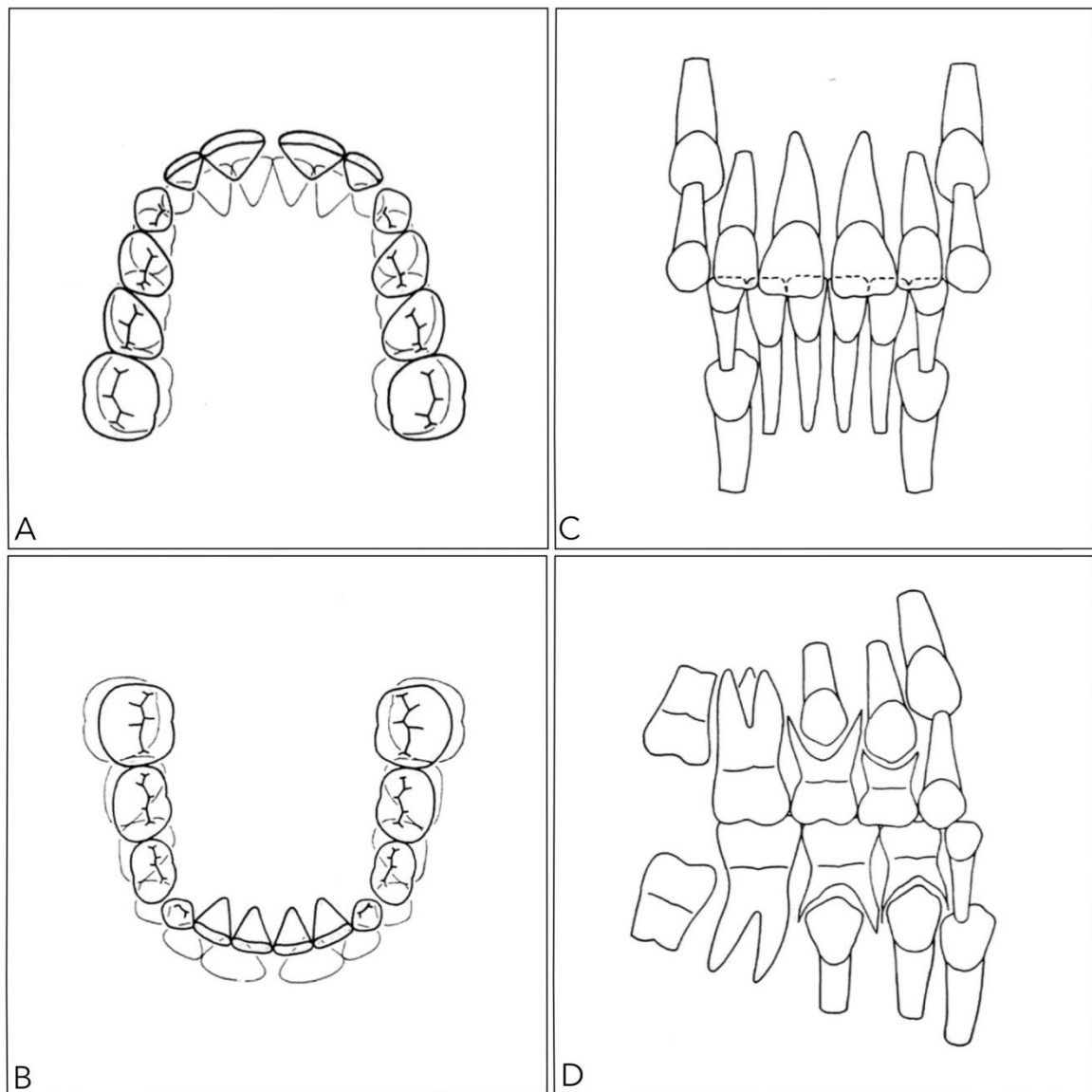
## **2.5 Das permanente Gebiss**

### **2.5.1 Die erste Wechselgebissphase**

Die Eruption der permanenten Zähne verläuft über einen deutlich längeren Zeitraum, und ist noch größeren individuellen Schwankungen unterworfen als die Eruption der Milchzähne (Baume 1950; Schumacher 1997). Bei Mädchen brechen die permanenten Zähne in der Regel früher durch als bei Jungen. Auch bei den permanenten Zähnen erfolgt der Zahndurchbruch im Unterkiefer meist etwas früher als im Oberkiefer und dabei auf der einen und kontralateralen Seite etwa zur selben Zeit (Tränkmann 2000). Das Wurzelwachstum der permanenten Zähne ist etwa 3 Jahre nach Durchbruch des jeweiligen Zahnes abgeschlossen (Splieth und Wiesmann 2002).

Mit dem Durchbruch der 1. bleibenden Molaren im Alter von 6 Jahren beginnt die erste Wechselgebissphase (Tränkmann 2000). Da diese keine Vorgänger im Milchgebiss haben, wird ihr Durchbruch auch als 1. Zuwachszahnung bezeichnet (Baume 1950). Der 1. Molar hat eine entscheidende Bedeutung für die Bisslagefixierung des zukünftigen permanenten Gebisses. Er schließt sich durch die Mesialdrift der Zähne und der engen Platzverhältnisse der geraden Postlaktealebene der 2. Milchmolaren an, und steht daher zunächst in einem labilen Höcker-zu-Höcker-Kontakt. Für eine regelrechte Okklusion muss der 1. Molar im Unterkiefer etwa 2-3 mm weiter mesial stehen, als sein Antagonist. Dieser Sachverhalt wird erst durch weitere Entwicklungsmechanismen erreicht (Harzer 2011). Im Zeitraum von 6 bis 8 Jahren werden die Milchschnidezähne durch die permanenten Schnidezähne ersetzt. Die Zahnkeime der Schnidezähne sind zunächst palatinal beziehungsweise lingual im horizontalen Staffelstand angeordnet. Mit ihrer morphologischen und vertikalen Entwicklung sowie dem weiteren Kieferwachstum kommt es zur Auflockerung dieser Stellung und zur Einordnung der durchbrechenden Zähne in einen harmonischen Zahnbogen (Tränkmann 2000). Zunächst brechen zumeist die unteren mittleren permanenten Schnidezähne durch, gefolgt von den oberen mittleren, anschließend die unteren seitlichen und die oberen seitlichen Schnidezähne. Mit dem Durchbruch sowohl der 1. Molaren als auch der Schnidezähne erfolgt gemeinsam mit dem korrelierenden Wachstum des Ober- und Unterkiefers die 2. physiologische Bisshebung ( u. a. Bruhn 1939; Schwarz 1951). Die permanenten Schnidezähne sind breiter als ihre Vorgänger. Im Oberkiefer benötigen sie insgesamt etwa 4-5 mm mehr Platz und im Unterkiefer 3-4 mm. Um diesen Platz zur Verfügung stellen zu können, sind zum einen die zuvor genannten physiologischen Lücken im Milchgebiss wichtig, zum anderen die Vergrößerung des Zahnbogens durch eine stärkere Labialklippung der permanenten Schnidezähne. Die Milchzähne bilden mit der Oberkieferbasis einen Winkel von 97 Grad, welcher sich bei den permanenten Schnidezähnen auf etwa 110 Grad vergrößert (Harzer 2011). Zudem vergrößert sich die Zahnbogenbreite und die Zahnbogenlänge im Frontzahnbereich durch Remodellierungsvorgänge und die Milcheckzähne werden etwas nach distal bewegt (Moyers 1984). Da jedoch trotz der Kompensationsmechanismen die Steuerungsmechanismen für die Milch- und Schnidezähne sowie für die Zahn- und Kiefergröße weitgehend voneinander unabhängig sind, kann dennoch zunächst ein leichter bis schwerer Schnidezahnengstand entstehen (Moyers 1984; Harzer 2011). Anschließend

folgt in der Regel eine Pause von 1-1 ½ Jahren mit weitgehend konstantem Zahnbestand (Schopf 2008).



**Abb. 5.:** Schematische Darstellung des Wechselgebisses nach der 1. Wechselgebissphase.

A Zahnbogen des Oberkiefers, dargestellt in Okklusion mit den Zähnen des Unterkiefers. B Zahnbogen des Unterkiefers, dargestellt in Okklusion mit den Zähnen des Oberkiefers. C Wechselgebiss von vorne, einschließlich der Zahnkeime der 2. Wechselgebissphase. D Wechselgebiss von der Seite, einschließlich der Zahnkeime der 2. Wechselgebissphase (aus F. van der Linden 1981).

## 2.5.2 Die zweite Wechselgebissphase

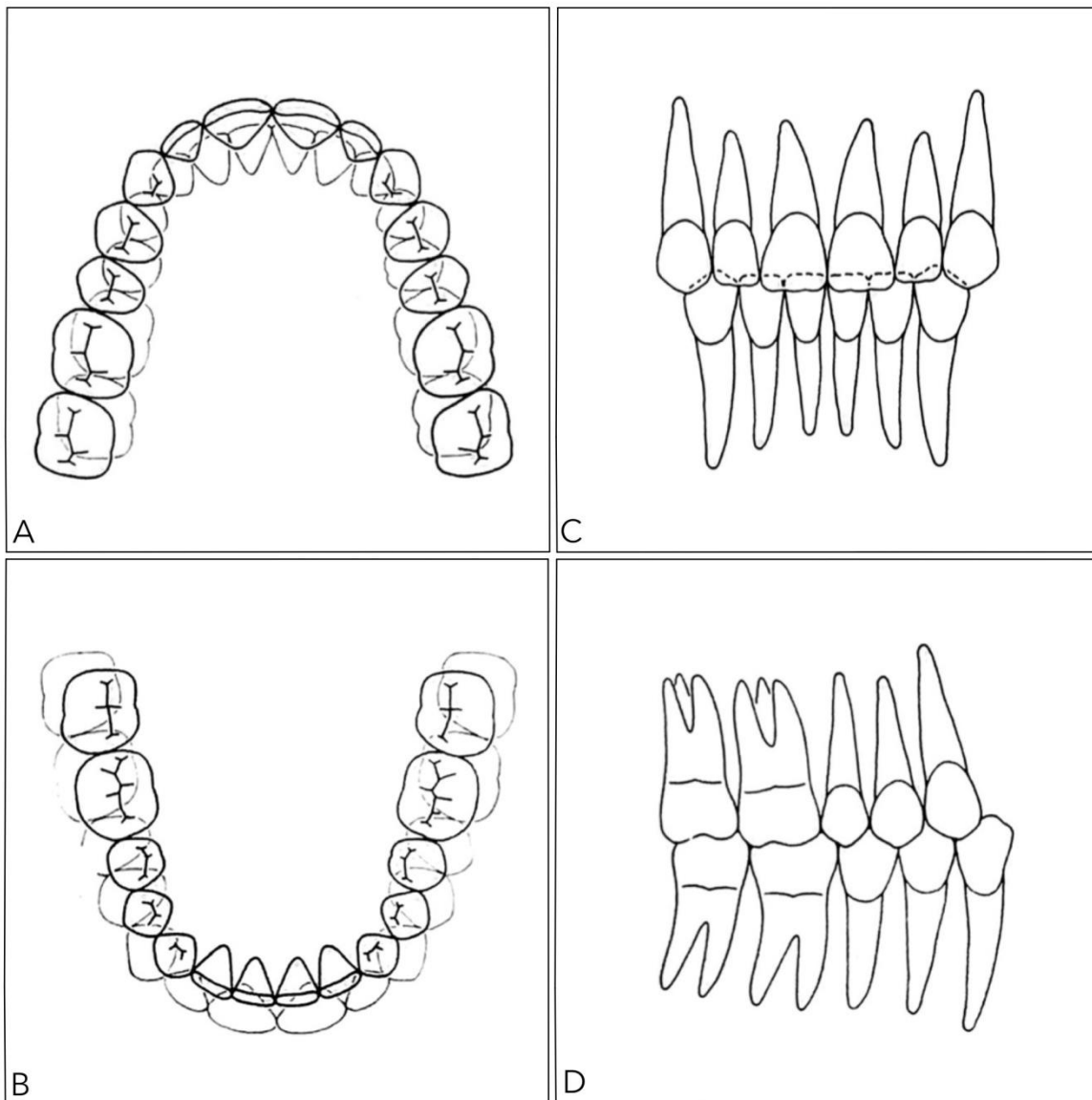
Die zweite Wechselgebissphase beginnt mit dem Zahnwechsel in den Stützzonen, welche sich distal der seitlichen Schneidezähne und mesial der ersten permanenten Molaren befinden (Tränkmann 2000).

Im Alter von 9 ½ bis 12 Jahren brechen im Unterkiefer zunächst die Eckzähne zwischen dem 9. und 10. Lebensjahr durch, im Anschluss die 1. Prämolaren in Ober- und Unterkiefer etwa im 10. Lebensjahr. Darauf folgen die 2. Prämolaren etwa im 11. Lebensjahr. Die oberen Eckzähne brechen etwa zwischen dem 11. und 12. Lebensjahr durch und schließlich folgen die 2. Molaren im 12. Lebensjahr. Da für den Eckzahn und die Prämolaren lediglich die definierte Platzspanne der jeweiligen Stützzone zur Verfügung steht, ist diese Durchbruchreihenfolge für eine störungsfreie Dentition erforderlich. Die Milchzähne der Stützzone und ihre Nachfolger sind unterschiedlich groß. Die permanenten Eckzähne sind im Oberkiefer etwa 2 mm und im Unterkiefer etwa 1 mm breiter. Die Prämolaren sind hingegen schmaler als die Milchmolaren. Im Oberkiefer ergibt sich daraus ein Platzüberschuss von insgesamt 3 mm und im Unterkiefer von 3,5 mm. Dieser Platzüberschuss wird Leeway-Space genannt und ermöglicht den Ausgleich des Größenüberschusses der Eckzähne (Harzer 2011). Der 2. Zuwachszahnung durch den Durchbruch der 2. Molaren geht wie bei der 1. Zuwachszahnung zunächst die Ausbildung der Molarenfelder voraus, welche die Alveolarfortsätze nach distal verlängern. Mit dem Durchbruch sowohl der Eckzähne als auch der 2. Molaren erfolgt zudem die 3. physiologische Bisshebung und damit eine weitere Vergrößerung der vertikalen Kieferrelation ( u. a. Bruhn 1939; Schwarz 1951).

Der 3. Molar bricht, ebenfalls nach Ausbildung eines Molarenfelds, zwischen dem 16. und dem 30. Lebensjahr durch. Häufig bricht er jedoch auch fehlerhaft oder gar nicht durch. Daher wird er auch Weisheitszahn genannt. In den meisten Fällen ist aufgrund der phylogenetischen Reduktion der Kiefergröße der Platz für eine regelrechte Einordnung des 3. Molaren in den Zahnbogen nicht ausreichend (Tränkmann 2000). Aufgrund dieser großen Schwankungsbreite, und da er zudem in Anlage, Form und Durchbruchzeitpunkt sehr variabel ist, ist er in vielen Dentitionstabellen nicht enthalten (Schumacher 1997).

Nach Durchbruch aller permanenten Zähne ist aus dem Alveolarfortsatz der 1. Dentition der Alveolarfortsatz der 2. Dentition entstanden. Die Entwicklung des Alveolarfortsatzes ist dabei von der Entwicklung und dem Durchbruch der Zähne vollständig abhängig (Tränkmann 2000).





**Abb. 6.:** Schematische Darstellung des permanenten Gebisses.

A Zahnbogen des Oberkiefers, dargestellt in Okklusion mit den Zähnen des Unterkiefers. B Zahnbogen des Unterkiefers, dargestellt in Okklusion mit den Zähnen des Oberkiefers. C Permanentes Gebiss von vorne. D Permanentes Gebiss von der Seite (aus F. van der Linden 1981).

**Tabelle 2.** Durchbruch der bleibenden Zähne (H. Schroeder 1987)

<i>Zahn</i>	<i>Durchbruch</i>	
	Unterkiefer	Oberkiefer
Mittlerer Schneidezahn	6 - 7 Jahre	7 Jahre
Seitlicher Schneidezahn	7 Jahre	8 Jahre
Eckzahn	9 - 10 Jahre	11 - 12 Jahre
1. Prämolare	10 Jahre	10 Jahre
2. Prämolare	11 Jahre	11 Jahre
1. Molar	6 Jahre	6 Jahre
2. Molar	12 Jahre	12 Jahre
3. Molar	16 - 30 Jahre	

## **2.6 Veränderungen der Dimensionen der Zahnbögen im Kindes- und Jugendalter**

Das Wachstum der Alveolarfortsätze geht dem Durchbruch der Zähne voraus. Dadurch verändern sich auch die Länge und Breite der Zahnbögen im Kindes- und Jugendalter in beiden Kiefern in ähnlicher Weise (Sillman 1964). Bis zum Durchbruch der 2. permanenten Molaren finden dabei konstant Veränderungen statt (Sillman 1951). Durch die unterschiedlichen Veränderungen der Zahnbogenbreite und der Zahnbogenlänge verändert sich auch die Zahnbogenform, wobei diese zudem mit fortschreitendem Alter eine größere Variabilität aufweist (Goldstein und Stanton 1935).

Die Breite des Ober- und des Unterkieferzahnbogens vergrößert sich etwa bis zum Durchbruch der 2. permanenten Molaren sowohl auf Höhe der Eckzähne, der beiden Milchmolaren bzw. später der beiden Prämolaren und auf Höhe der 1. permanenten Molaren. Dabei findet zu Beginn der 1. Wechselgebissphase etwa im 6. Lebensjahr diese Verbreiterung beschleunigt statt (u. a. Goldstein und Stanton 1935; Sillman 1964; Moyers 1984). Im Oberkiefer verbreitert sich der Zahnbogen dabei in stärkerem Maß als im Unterkiefer. Das ist teilweise darauf zurückzuführen, dass die Alveolarfortsätze im Oberkiefer divergieren. Dadurch vergrößert sich gemeinsam mit dem vertikalen Wachstum des Alveolarknochens während des Zahndurchbruchs auch die Zahnbogenbreite. Die Knochenbreite des Unterkiefers vergrößert sich jedoch nur geringfügig durch appositionelles Wachstum an den Seiten des Corpus mandibularis (u. a. Knott 1961; Moyers 1984). Anschließend zeigt die Breite der Zahnbögen bis zum frühen Erwachsenenalter keine signifikanten Veränderungen (Sillman 1964).

Auf Höhe der Eckzähne vergrößert sich die Breite am stärksten von der Geburt bis zum 2. Lebensjahr. Anschließend vergrößert sie sich in geringerem Maß bis etwa zum 12. Lebensjahr. Insgesamt vergrößert sie sich im Oberkiefer etwa um 5 mm und im Unterkiefer um 3,5 mm (u. a. Moorrees 1959; Sillman 1964). Im Unterkiefer ist dabei ein Teil der Vergrößerung allein darauf zurückzuführen, dass die Milchzähne aufgrund des Durchbruchs der permanenten Inzisiven in die Primatenlücke distalisiert werden (Moyers 1984).

Im Bereich der Milchmolaren beziehungsweise der permanenten Prämolaren vergrößert sich die Breite der Zahnbögen in beiden Kiefern nur leicht, jedoch kontinuierlich um etwa 0,5 mm pro Jahr im Oberkiefer und 0,2 mm pro Jahr im Unterkiefer bis etwa zum 14. Lebensjahr. Zu beachten ist, dass sich in den geringen Veränderungen auch widerspiegelt, dass die Prämolarenkronen schmaler sind als die Milchmolarenkronen.

Die Breite auf Höhe der ersten permanenten Molaren verbleibt im Unterkiefer zunächst unverändert. Die Zahnkronen der ersten Molaren im Unterkiefer brechen etwas nach lingual geneigt durch. Nach Durchbruch der zweiten Molaren richten sie sich auf und die Molarenbreite vergrößert sich dadurch. Anschließend verkleinert sie sich ein wenig durch Nutzung des verbliebenen Leeway-Space (u. a. Moorrees 1959; Sillman 1964; Moyers 1984).

Die Länge des Zahnbogens, gemessen vom anteriorsten Punkt der mittleren Inzisiven bis auf Höhe der distalen Flächen der 2. Milchmolaren bzw. der 2. Prämolaren, verringert sich insgesamt vom 3. Lebensjahr bis in das junge Erwachsenenalter mit etwa 19 Jahren sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer um etwa 2 mm. Dabei zeigt diese Länge im Oberkiefer zunächst keine Veränderung, vergrößert sich während der ersten und der zweiten Wechselgebissphase leicht und verringert sich anschließend ab dem 12. Lebensjahr. Im Unterkiefer hingegen verbleibt diese Länge bis zum 10. Lebensjahr unverändert und verringert sich anschließend. In beiden Kiefern finden dabei im jungen Erwachsenenalter vom 17. bis etwa zum 25. Lebensjahr keine weiteren signifikanten Veränderungen statt (u. a. Goldstein und Stanton 1935; Sillman 1964).

Wird diese Länge in eine vordere Länge bis auf Höhe der Eckzähne und eine hintere Länge bis auf Höhe der 2. Milchmolaren, bzw. der 2. Prämolaren aufgeteilt, kann diese Dimension im Hinblick auf die Veränderungen des Wachstums und des Zahndurchbruchs differenzierter betrachtet werden.

Die Länge bis auf Höhe der Eckzähne vergrößert sich am stärksten im Zeitraum von der Geburt bis zum 2. Lebensjahr und verbleibt daraufhin bis zum 6. Lebensjahr nahezu unverändert. Während der ersten Wechselgebissphase vergrößert sie sich anschließend in beiden Kiefern, dabei im Unterkiefer in etwas geringerem Ausmaß, bis etwa zum 9. Lebensjahr, und zeigt anschließend bis in das frühe Erwachsenenalter keine weiteren signifikanten Veränderungen.

Die Länge des Zahnbogens von den Eckzähnen bis zu den 2. Milchmolaren bzw. 2. Prämolaren reduziert sich hingegen nahezu konstant in beiden Kiefern vom 1. bis zum 12. Lebensjahr. Ein Teil dieser Verringerung ist dabei auf die Distalisierung der Eckzähne nach Durchbruch der permanenten Frontzähne zurückzuführen.

Da das meiste postnatale Wachstum im hinteren Segment des Zahnbogens stattfindet, vergrößert sich im Vergleich zur Zahnbogenlänge bis auf Höhe der Eckzähne bzw. bis auf Höhe der Milchmolaren und später der Prämolaren die gesamte Länge des Alveolarfortsatzes

kontinuierlich. Erst ab etwa dem 13. Lebensjahr bleibt diese Länge bis in das frühe Erwachsenenalter konstant (u. a. Goldstein und Stanton 1935; Sillman 1964).

Der Overbite und der Overjet vergrößern sich nach dem vollständigen Durchbruch der permanenten Frontzähne zunächst bis zum 13. Lebensjahr. Während der Reifung der permanenten Dentition vom 13. bis zum 20. Lebensjahr verringern sich beide Parameter anschließend wieder (u. a. Moorrees 1959; Barrow und White 1952; Björk 1953; Sinclair und Little 1983).

## **2.7 Veränderungen der Dimensionen der Zahnbögen im Erwachsenenalter**

Über die Veränderungen der Zahnstellung des permanenten Gebisses existieren zahlreiche Studien. Dabei ergaben sich jedoch widersprüchliche Untersuchungsergebnisse welche auf die Altersunterschiede der jeweils untersuchten Probanden, der Beobachtungszeiträume, der Anzahl vermessener Probanden, die unterschiedlichen Messpunkte, sowie der möglichen Einflüsse durch kieferorthopädische oder prothetische Behandlung und Zahnverlust zurückzuführen sind.

Im Folgenden wird ein Überblick über die bisher verzeichneten Veränderungen vorgestellt.

**Tabelle 3.** Überblick über longitudinale Studien des permanenten Gebisses

<i>Autor</i>	<i>Jahr</i>	<i>N</i>	<i>Zeitraum (Jahre)</i>	<i>Alter (Jahre)</i>				<i>KFO</i>	<i>Fehlende Zähne</i>
				<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>		
Knott	1972	35	9	5	9	14		nein	keine
		37	12	14	26			nein	keine
DeKock	1972	26	14	12	15	17	26	nein	unbekannt
Sinclair, Little	1983	65	10	9	13	20		nein	keine
Bishara et al.	1994	30	21	25	46			nein	bis zu 3 Zähne
Harris	1997	60	34	20	54			nein	keine
Bondevik	1998	144	10	23	33			unbekannt	unbekannt
Carter, McNamara	1998	53	34	14	17	48		nein	bis zu 1 Zahn
		10	13	32	45			nein	
		13	29	18	47			ja	
Richardson, Gormley	1998	46	20	18	21	28		nein	keine
Akgül, Toygar	2002	30	10	22	32			nein	keine
Tibana et al.	2004	27	7	21	28			unbekannt	keine
Bondevik	2007	60	10	23	33			unbekannt	unbekannt
Dager et al.	2008	40	41	17	47	58		teilweise	unbekannt
Tanoi et al.	2012	10	20	22	42			unbekannt	keine
Tsiopas et al.	2013	18	39	23	32	61		nein	keine
Bondevik	2015	65	21	22	33	43		nein	keine
Massaro et al.	2018	22	48	13	18	61		nein	ja (keine Grenze)

### 2.7.1 Veränderungen der Zahnbogenbreite

Die Studien über die Veränderungen der Zahnbogenbreite im frühen permanenten Gebiss ab dem 12. beziehungsweise ab dem 13. Lebensjahr bis in das junge Erwachsenenalter von etwa 26 Jahren von Knott (1972) und DeKock (1972) unterstützten die Vermutung, dass diese Dimensionen nach Abschluss des kindlichen und jugendlichen Wachstums relativ konstant bleiben. Knott (1972) stellte in ihrer Studie mit 37 Probanden fest, dass sich die intercanine Distanz nicht signifikant veränderte. DeKock (1972) untersuchte die Zahnbogenbreite auf Höhe der 2. Milchmolaren und der 2. Prämolaren bei 26 Probanden und konnte ebenfalls keine signifikanten Veränderungen, mit Ausnahme einer leichten Vergrößerung der Zahnbogenbreite bei den Jungen, feststellen. Diese war allerdings auf den Zeitraum von 12 bis 15 Jahren und damit eher auf jugendliches Wachstum zurückzuführen.

Sinclair und Little (1983) verzeichneten hingegen in einer Untersuchung der Veränderungen des Unterkiefers von 65 Probanden zwischen dem 13. und dem 20. Lebensjahr eine Reduktion der unteren intercaninen Distanz. Bei dieser Studie, mit Ergebnissen aus Studien nach kieferorthopädischer Behandlung vergleichend, vermutete Little (1990) sogar, dass es sich bei der Reduktion der Zahnbogenbreite um normale physiologische Prozesse handeln könnte. Diese postulierte er insbesondere zwischen dem 20. und dem 30. Lebensjahr, und etwas langsamer auch darüber hinaus. Weitere Studien stellten ebenfalls eine signifikante Verringerung für einzelne Messtrecken der Zahnbogenbreite fest. Bishara et al. (1994) stellten nach der Untersuchung von 31 Probanden zwischen dem 25. und dem 45. Lebensjahr bei Frauen eine signifikante Abnahme der intercaninen Distanz sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer fest. Bei Männern war die Abnahme der intercaninen Distanz nur im Unterkiefer signifikant. Die anteriore Breite der Zahnbögen zwischen den 2. Prämolaren und die posteriore Breite zwischen den 1. Molaren zeigte hingegen keine signifikanten Veränderungen. In der Studie von Carter und McNamara (1998) verringerte sich die intercanine Distanz in beiden Kiefern in einer Gruppe von 53 Probanden ohne kieferorthopädische Therapie signifikant. Die Veränderung war dabei im Unterkiefer stärker ausgeprägt. Bei den 13 Probanden dieser Studie, welche die Autoren 30 Jahre nach einer kieferorthopädischen Behandlung untersuchten, verringerte sich die intercanine Distanz im Unterkiefer stärker als in der nicht behandelten Gruppe. Der Unterschied betrug allerdings weniger als 0,5 mm und könnte daher klinisch irrelevant sein. Ebenso wie in der Studie von Bishara et al. (1994) konnten auch Carter und McNamara (1998) keine signifikanten Veränderungen der oberen posterioren Breite zwischen dem 17. und 48. Lebensjahr verzeichnen. Nur bei den Probanden, welche zuvor kieferorthopädisch behandelt worden waren, verringerte sich die posteriore Breite im Oberkiefer signifikant. Da diese jedoch nach 30 Jahren weniger als 1 mm betrug, vermuteten die Autoren, dass diese Veränderung klinisch irrelevant sein könnte. Im Unterkiefer kamen sie zu einem anderen Ergebnis als Bishara et al. (1994), da sich die posteriore Breite hier signifikant verringerte. Carter und McNamara (1998) begründeten dieses Ergebnis mit ihrer größeren Probandenanzahl und schlussfolgerten, dass die Verringerung so langsam auftritt, dass sie nur bei einer großen Probandenanzahl und über einen längeren Zeitraum messbar sein könnte. Akgül und Toygar (2002) stellten nach Untersuchung von 30 Probanden zwischen 22 und 32 Jahren eine signifikante Abnahme der intercaninen Distanz im Oberkiefer der Frauen sowie im Unterkiefer bei beiden Geschlechtern, und eine Abnahme der Breite auf Höhe der ersten Molaren bei Männern und Frauen in beiden Kiefern fest. Nach der Untersuchung von 27 Probanden zwischen dem 21. und dem 28. Lebensjahr verringerte sich

in der Studie von Tibana et al. (2004) die intercanine Distanz und die posteriore Breite im Unterkiefer signifikant. In der Studie von Massaro et al. (2018) verkleinerte sich nach Messung der intercaninen Distanz, der anterioren Breite und der posterioren Breite in einem Zeitraum von 40 Jahren nur die intercanine Distanz im Unterkiefer signifikant. Dieses Ergebnis ist jedoch durch die kleine Probandenzahl von 22 sowie der Tatsache, dass im Mittel 3 Zähne je Proband über die Zeit verloren gingen, eingeschränkt.

Einige Studien in der Literatur verzeichneten auch eine Vergrößerung einzelner Messstrecken. Eine Ausnahme bildet die intercanine Distanz im Unterkiefer, welche sich stets verringerte.

Harris (1997) verzeichnete nach Untersuchung der Modellreihe von 60 Probanden im 20. und im 55. Lebensjahr einen signifikanten Anstieg der Zahnbogenbreite sowohl auf Höhe der Eckzähne, der ersten Prämolaren und der ersten Molaren in beiden Kiefern, mit Ausnahme der intercaninen Distanz im Unterkiefer. Dabei zeigte sich ein mesio-distaler Gradient des Breitenzuwachses, wobei der geringste Anstieg auf Höhe der Eckzähne und der größte auf Höhe der ersten Molaren gemessen wurde. Über den Zeitraum von 35 Jahren erhöhte sich die Zahnbogenbreite im Molarenbereich um durchschnittlich 2,4 mm und die intercanine Distanz um 0,5 mm. Dennoch waren die Veränderungen nur durch die Vermessung sichtbar und nicht mit bloßem Auge zu erkennen (Harris 1997). Bondevik (1998) verzeichnete in einer Studie mit 144 Probanden ab dem 23. Lebensjahr in einem Zeitraum von 10 Jahren ebenfalls eine Abnahme der intercaninen Distanz im Unterkiefer. Bei den weiblichen Probandinnen verkleinerte sich die intercanine Distanz auch im Oberkiefer signifikant, er bemerkte jedoch, dass diese Strecke insgesamt eine große Variation aufzeigte. Den Zeitraum auf 20 Jahre bis zum 44. Lebensjahr bei 65 Probanden erweiternd, war eine signifikante Abnahme im Oberkiefer für beide Geschlechter feststellbar (Bondevik 2015).

Die Veränderungen der posterioren Breite waren hingegen weniger eindeutig. In der Studie der 144 Probanden erhöhte sich die posteriore Breite in beiden Kiefern signifikant vom 23. bis zum 33. Lebensjahr (Bondevik 1998). Bei den 65 Probanden welche bis zum 44. Lebensjahr untersucht wurden, waren beim männlichen Geschlecht keine signifikanten Veränderungen feststellbar und beim weiblichen Geschlecht ein Anstieg der posterioren Breite im Unterkiefer über den Gesamtzeitraum zu verzeichnen. Es gab bezüglich der unterschiedlichen Veränderungen allerdings keinen signifikanten Geschlechterunterschied (Bondevik 2015). Der Hypothese nachgehend, dass es einen Unterschied in den Veränderungen der Zahnbogenbreite bei Probanden mit anteriorer oder posteriorer Rotation der Mandibula geben

könnte, untersuchte der Autor zudem die Veränderungen in Probandengruppen mit hohem und niedrigem NSL-ML-Winkel. Die Veränderungen dieser Studie waren klein und zumeist statistisch nicht signifikant, weisen jedoch ebenfalls auf eine Verringerung der intercaninen Distanz und auf eine Vergrößerung der Breite auf Höhe der Molaren hin. Es gab hingegen keine Unterschiede der Veränderungen zwischen Probanden mit größerem oder niedrigerem NSL-ML-Winkel (Bondevik 2007). Tsiopas et al. (2013) beschreiben zwischen dem mittleren Alter von 22 bis zum mittleren Alter von 61 Jahren von 18 Probanden ebenfalls eine signifikante Abnahme der intercaninen Distanz, jedoch einen Anstieg der posterioren Breite im Ober- und Unterkiefer.

**Tabelle 4.** Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zur intercaninen Distanz. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab  $p \leq 0,05$ .

<i>Autor</i>	<i>Intercanine Distanz OK</i>		<i>Intercanine Distanz UK</i>	
	m	w	m	w
Knott, 1972	+/+	+/+	+/+	+/+
	0	0	0	0
Sinclair, Little, 1983			-/-	-/-
Bishara et al., 1994	0	-	-	-
Harris, 1997	+	+	0	0
Bondevik, 1998	0	0	-	-
Carter, McNamara, 1998	-/-	0/-	-/-	0/-
	-	-	0	0
	-	-	-	-
Richardson, Gormley, 1998			0/0	0/0
Akgül, Toygar, 2002	0	-	-	-
Tibana et al., 2004	0	0	-	-
Bondevik, 2007	0	0	0	0
Dager et al., 2008	-/0	-/0	-/-	-/-
Tanoi et al., 2012	-	-	-	-
Tsiopas et al., 2013	-/-	-/-	-/-	-/-
Bondevik, 2015	-/-	-/-	-/-	-/-
Massaro et al., 2018	0/0	0/0	0/-	0/-



**Tabelle 5.** Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zur anterioren und posterioren Breite. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab  $p \leq 0,05$ .

<i>Autor</i>	<i>Anteriore</i>		<i>Posteriore</i>		<i>Anteriore</i>		<i>Posteriore</i>	
	<i>Breite OK</i>	<i>Breite OK</i>	<i>Breite OK</i>	<i>Breite OK</i>	<i>Breite UK</i>	<i>Breite UK</i>	<i>Breite UK</i>	<i>Breite UK</i>
	m	w	m	w	m	w	m	w
Knott, 1972	+/+	+/+			+/0	+/0		
	-	-			-	-		
DeKock, 1972			+/0/0	0/0/0			+/0/0	0/0/0
Sinclair, Little, 1983							0/0	0/-
Bishara et al., 1994	0	0	0	0	0	0	0	0
Harris, 1997	+	+	+	+	+	+	+	+
Bondevik, 1998			+	+			+	+
Carter, 1998	0/0	0/-	0/0	0/0	0/-	0/-	0/-	0/-
McNamara, 1998	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	-	-	-	0	0	0	0
Richardson, Gormley, 1998							+/+	0/0
Akgül, Toygar, 2002	0	0	-	-	0	0	-	-
Tibana et al., 2004			0	0			-	-
Bondevik, 2007			0	0			0	0
Dager et al., 2008	0/0	0/0	0/0	0/0	-/0	-/0	0/0	0/0
Tanoi et al., 2012			-	-			-	-
Tsiopas et al., 2013			0/+	0/+			+/+	+/+
Bondevik, 2015			0/0	0/0			0/0	0/0
				(ges.+)				(ges.+)
Massaro et al., 2018	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0

## 2.7.2 Veränderungen der Zahnbogenlänge

Little (1990) war bei seinem Vergleich von Probanden mit und ohne Vergangenheit mit kieferorthopädischen Behandlungsmaßnahmen auch für die Zahnbogenlänge der Auffassung, dass es sich bei den von ihm festgestellten Verringerungen um normale physiologische Prozesse handeln könnte. Verschiedene Studien zu sagittalen Dimensionen des Zahnbogens mit Hilfe unterschiedlicher Strecken, können diese Annahme stützen. DeKock (1972) untersuchte in seiner Studie die Zahnbogenlänge von einem Punkt zwischen den mittleren

Inzisiven bis auf Höhe der breitesten Stelle der ersten Molaren und fand eine signifikante Verringerung dieser Dimension ab dem 12. Lebensjahr sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer. Ab dem 15. Lebensjahr verkleinerte sich die Distanz nur noch geringfügig, es war jedoch bis zum 26. Lebensjahr noch ein kontinuierlicher Rückgang bei allen Probanden feststellbar. Bishara et al. (1994) untersuchten die anterioren und posterioren Zahnbogenlängen vom Kontaktpunkt der mittleren Inzisiven bis zum Kontaktpunkt von den Eckzähnen und 1. Prämolaren sowie von diesem bis zum Kontaktpunkt des 2. Prämolaren und 1. Molaren auf beiden Seiten. Diese verringerten sich sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer teilweise signifikant (Bishara et al. 1994). In der Studie von Harris (1997) verringerte sich sowohl die Zahnbogenlänge als Abstand zwischen dem Kontaktpunkt von lateralem Schneidezahn und Eckzahn und distaler Fläche des 1. Molaren und als Zahnbogenlänge als Strecke zwischen Prosthion, welcher zwischen den mittleren Inzisiven liegt, sowie der distalen Fläche des 1. Molaren signifikant. Richardson und Gormley (1998) stellten nach der Untersuchung der Unterkiefer von 46 Probanden ebenfalls sowohl bei Männern als auch bei Frauen eine signifikante Abnahme der Zahnbogenlänge zwischen dem 18. und dem 28. Lebensjahr fest. Diese wurde als Strecke zwischen den mittleren Schneidezähnen und der mesialen Fläche der 1. Molaren gemessen. Carter und McNamara (1998) haben die Zahnbogenlänge bis auf Höhe der Eckzähne, der 1. Prämolaren, der 2. Prämolaren und bis auf Höhe der 1. Molaren vermessen und konnten für jede der Strecken eine signifikante Verringerung für beide Geschlechter verzeichnen. Als Bondevik (1998) die Zahnbogenlänge zunächst vom 23. bis zum 34. Lebensjahr als Strecke zwischen Eckzahn und 1. Molaren vermessen hatte, konnte er keine Veränderung dieser Dimension feststellen, mit Ausnahme der Strecke im Oberkiefer links bei den weiblichen Probandinnen. Hier war eine signifikante Verringerung verzeichnet worden, welche allerdings weniger als 0,1 mm betrug (Bondevik 1998). In der erneuten Vermessung bis zum 44. Lebensjahr wurde die sagittale Dimension als anteriore Zahnbogenlänge vom anterioren Mittelpunkt als Lot bis auf Höhe der Verbindungslinie der Kontaktpunkte zwischen Eckzähnen und 1. Prämolaren sowie bis zur Verbindungslinie der Kontaktpunkte zwischen 2. Prämolaren und 1. Molaren vermessen. Bei dieser Studie war die Verringerung der Strecken in beiden Kiefern bei weiblichen und männlichen Probanden signifikant. Bondevik (2015) schlussfolgerte daraus, dass die Verkürzung der Zahnbögen höchstwahrscheinlich als normale Veränderung anzusehen ist. In der Studie, in welcher der Autor zusätzlich die Unterschiede zwischen Probanden mit hohem und niedrigem NSL-ML-Winkel untersuchte, vermerkte Bondevik (2007) für diese Dimension die Tendenz zu einer stärkeren Verkürzung für beide Geschlechter bei großem NSL-ML-Winkel. Bei weiblichen

Probandinnen mit großem NSL-ML-Winkel war die Verringerung signifikant größer. Insgesamt hatte sich die Zahnbogenlänge jedoch bei allen Probanden verringert (Bondevik 2007). Akgül und Toygar (2002) beobachteten ebenfalls eine signifikante Abnahme der Zahnbogenlänge, allerdings nur im Unterkiefer der Frauen. Bei Männern war hingegen keine signifikante Abnahme der Zahnbogenlänge feststellbar.

Tsiopas et al. (2013) verzeichnete über den Gesamtzeitraum der Studie vom 22. bis zum 61. Lebensjahr eine signifikante Verringerung der Zahnbogenlänge in beiden Kiefern. Die Autoren vermuteten, dass diese Veränderungen die Folge einer graduellen mesialen Migration der Dentition sind, welche durch die Mesialdrift der ersten Molaren verursacht sein könnte. Massaro et al. (2018) schlossen aus der ebenfalls gemessenen Verringerung der Zahnbogenlänge, dass zudem der mesiodistale Rückgang der Zahngröße und die leichte linguale Inklination der Frontzähne welche die Autoren mit zunehmendem Alter feststellten, für die Veränderung verantwortlich sein könnten.

**Tabelle 6.** Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zur Zahnbogenlänge. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab  $p \leq 0,05$

<i>Autor</i>	<i>Zahnbogenlänge OK</i>		<i>Zahnbogenlänge UK</i>	
	m	w	m	w
DeKock, 1972	0/-/-	0/-/-	0/-/-	0/-/-
Sinclair, Little, 1983			-/-	-/-
Bishara et al., 1994	0	-	0	-
Harris, 1997	-	-	-	-
Bondevik, 1998	0	-	0	0
Carter, McNamara, 1998	-/-	-/-	-/-	-/-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
Richardson, Gormley, 1998			-/-	-/-
Akgül, Toygar, 2002	0	0	0	-
Tibana et al., 2004	-	-	-	-
Bondevik, 2007	-	-	-	-
Dager et al., 2008	-/-	-/-	-/-	-/-
Tanoi et al., 2012	+	+	-	-
Tsiopas et al., 2013	-/-	-/-	-/-	-/-
Bondevik, 2015	-/-	-/-	-/-	-/-
Massaro et al., 2018	-/-	-/-	0/-	0/-

### **2.7.3 Veränderungen der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich**

Die Autoren Sinclair und Little (1983) verwendeten den von Little (1975) vorgestellten Index zur Quantifizierung des Engstands im Frontzahnbereich des Unterkiefers, um die natürlichen Veränderungen von normalokkludierenden Probanden zu untersuchen, welche keine kieferorthopädischen Behandlungsmaßnahmen erhalten hatten. Sie stellten nach Untersuchung von 65 Probanden fest, dass sich die Platzverhältnisse vom Wechselgebiss mit etwa 9 Jahren bis hin zum frühen permanenten Gebiss mit 13 Jahren nicht veränderten. Vom frühen permanenten Gebiss bis zum frühen Erwachsenenalter mit im Mittel 20 Jahren hingegen, war sowohl bei den männlichen als auch den weiblichen Probanden eine signifikante Zunahme des Engstandes feststellbar. Diese Zunahme war bei den weiblichen Probandinnen signifikant stärker als bei den männlichen Probanden. Denselben Index verwendeten auch Carter und McNamara (1998) um die Veränderungen der Platzverhältnisse bei unterschiedlichen Probandengruppen sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer zu untersuchen, signifikant stärkere Engstände wurden jedoch nur im Unterkiefer festgestellt. Sie stellten, anders als Sinclair und Little (1983), in einer Gruppe von 53 Probanden ohne vorrangegangene kieferorthopädische Behandlung keine signifikanten Veränderungen im frühen permanenten Gebiss fest, welches sie vom 14. bis zum 17. Lebensjahr untersuchten. Über den Zeitraum vom 17. bis zum 48. Lebensjahr hatten sich die Platzverhältnisse nur bei den weiblichen Probandinnen im Unterkiefer verändert, welche einen signifikant stärkeren Engstand aufwiesen. In einer weiteren Probandengruppe von 10 Probanden konnten die Autoren die Veränderungen vom 32. bis zum 45. Lebensjahr, ebenfalls ohne kieferorthopädische Einflüsse, untersuchen. In dieser kleinen Probandengruppe wurde der Engstand im Unterkiefer sowohl bei den männlichen als auch weiblichen Probanden signifikant stärker. Zum Vergleich untersuchten sie auch eine Probandengruppe von ehemaligen kieferorthopädischen Patienten von 13 Probanden, bei welchen sich der Engstand vom 18. bis zum 47. Lebensjahr ebenfalls nur im Unterkiefer signifikant vergrößerte (Carter und McNamara 1998). Die longitudinale Studie von Dager et al. (2008) untersuchte ebenfalls die Veränderungen des Index nach Little vom frühen Erwachsenenalter bis in das mittlere Erwachsenenalter. Der Index nach Little erhöhte sich bei den 40 Probanden ebenfalls nur im Unterkiefer signifikant vom 17. bis zum 47. Lebensjahr, jedoch nicht vom 47. bis zum 58. Lebensjahr. Die Autoren fanden dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersveränderungen von Männern und Frauen sowie von Probanden mit und ohne vorrangegangene kieferorthopädische Behandlung (Dager et al. 2008). Weitere Autoren, welche einen signifikant stärkeren Engstand mit Hilfe des Index nach Little im

Unterkiefer von Erwachsenen beschreiben, sind Tanoi et al. (2012) für den Zeitraum von 22 bis 42 Jahren sowie Tsiopas et al. (2013) für den Zeitraum von 23 bis 61 Jahren.

Mit Hilfe der Differenz zwischen dem Platzangebot von Eckzahn zu Eckzahn und der Summe der mesiodistalen Breite der Frontzähne haben Bishara et al. (1994) ebenfalls eine signifikante Verstärkung des Engstandes im Unterkiefer für den Zeitraum vom 25. bis zum 46. Lebensjahr gemessen. Dieselbe Methode verwendete auch Bondevik (1998) bei der Vermessung von 144 Probanden und stellte für den Unterkiefer vom 23. bis zum 33. Lebensjahr ebenfalls einen signifikant stärkeren Engstand fest. In der Studie von Bondevik, in welcher Probanden mit großem und kleinem NSL-ML-Winkel untersucht wurden (Bondevik 2007) wurde das anteriore Platzangebot mit derselben Messmethode bei 60 Probanden untersucht, wobei eine Verkleinerung des Platzangebotes gemessen wurde, welche jedoch weder im Ober- noch im Unterkiefer statistisch signifikant war.

Einige Studien stellten neben dem stärker werdenden Engstand im Unterkiefer auch einen signifikant stärkeren Engstand im Oberkiefer fest. In der Studie von Tibana et al. (2004) vergrößerte sich der Index nach Little in beiden Kiefern bei Männern und Frauen vom 21. bis zum 28. Lebensjahr, und es wurde zudem kein signifikanter Unterschied zwischen den Veränderungen im Ober- und im Unterkiefer gefunden. In der aktualisierten Studie von Bondevik (2015) war der Engstand im Unterkiefer sowohl über den Zeitraum von 22 bis 33 Jahren als auch von 33 bis 43 Jahren signifikant stärker geworden, und im Oberkiefer zeigte sich ein signifikant stärkerer Engstand über den Gesamtzeitraum von 22 bis 43 Jahren. Massaro und ihre Kollegen (2018) stellten eine signifikante Vergrößerung des Indexes nach Little in beiden Kiefern vom 18. bis zum 61. Lebensjahr fest, wobei jedoch für den Unterkiefer ein signifikant stärkerer Engstand bereits im frühen permanenten Gebiss vom 13. bis zum 18. Lebensjahr gemessen wurde.

**Tabelle 7.** Überblick über die Befunde longitudinaler Studien des permanenten Gebisses zum frontalen Engstand. m: männliche Probanden, w: weibliche Probanden, + signifikante Vergrößerung, - signifikante Verkleinerung, 0 keine signifikante Veränderung, / : trennt unterschiedliche Zeiträume, fehlendes Symbol: nicht gemessen, Level statistische Signifikanz ab  $p \leq 0,05$

<i>Autor</i>	<i>Engstand OK</i>		<i>Engstand UK</i>	
	m	w	m	w
Sinclair, Little, 1983			0/+	0/+
Bishara et al., 1994	0	0	+	+
Bondevik, 1998	0	+	+	+
Carter, McNamara, 1998	0/0	0/0	0/0	0/+
	0	0	+	+
	0	0	+	+
Tibana et al., 2004	+	+	+	+
Bondevik, 2007	0	0	0	0
Dager et al., 2008	0/0	0/0	+/0	+/0
Tanoi et al., 2012			+	+
Tsiopas et al., 2013	0/0	0/0	0/+	0/+
Bondevik, 2015	0/0 (gesamt +)	0/0 (gesamt +)	+/+	+/+
Massaro et al., 2018	0/+	0/+	+/+	+/+

### 3 Fragestellungen

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage nach möglichen Altersveränderungen der Zahnbogendimensionen sowie der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich des Ober- und des Unterkiefers bei Erwachsenen. Weiterhin setzt sie sich mit geschlechterspezifischen Unterschieden der Zahnbogendimensionen und Ihrer Veränderungen auseinander.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Fragestellungen, welche in dieser Arbeit untersucht werden sollen:

1. Können Altersveränderungen der Zahnbogenbreite und der Zahnbogenlänge an den Modellen erwachsener Patienten nachgewiesen werden?
2. Können Altersveränderungen der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich an den Modellen erwachsener Patienten nachgewiesen werden?
3. Unterscheiden sich die Zahnbogendimensionen sowie die Platzverhältnisse im Frontzahnbereich bei Männern und Frauen?

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Probanden

#### 4.1.1 Study of Health in Pomerania (SHIP)

Study of Health in Pomerania (SHIP) ist eine epidemiologische Studie in der Region Vorpommern im Nordosten von Deutschland. Ihre Ziele sind es, u. a. die Prävalenz und Inzidenz häufiger Risikofaktoren, subklinischer Auffälligkeiten und manifester Erkrankungen zu ermitteln und ihre komplexen Zusammenhänge zu untersuchen. Dazu werden im Rahmen der Studie umfassende longitudinale Daten zu vielen populationsrelevanten Risikofaktoren und Erkrankungen gesammelt (Völzke 2012).

Die Studienregion ist definiert durch Vorpommern einschließlich der Landkreise Ost- und Nordvorpommern und der kreisfreien Städte Greifswald und Stralsund. Die Inseln Usedom und Rügen wurden dabei ausgeschlossen (Völzke 2012) (Abb. 7.).

Die Stichprobenziehung der Probanden erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurden die Ortschaften innerhalb der Studienregion randomisiert ausgewählt (die Städte Anklam, Greifswald und Stralsund sowie 29 umliegende Ortschaften). Anschließend wurden in den Ortschaften die Teilnehmer randomisiert, proportional zu den jeweiligen Populationen und stratifiziert nach Alter und Geschlecht, ausgewählt. Aus der Gesamtstudienpopulation von 212.157 Einwohnern wurde eine Stichprobe von 7008 Frauen und Männern im Alter von 20 bis 79 Jahren gewonnen (Hensel et al. 2003; John et al. 2001).

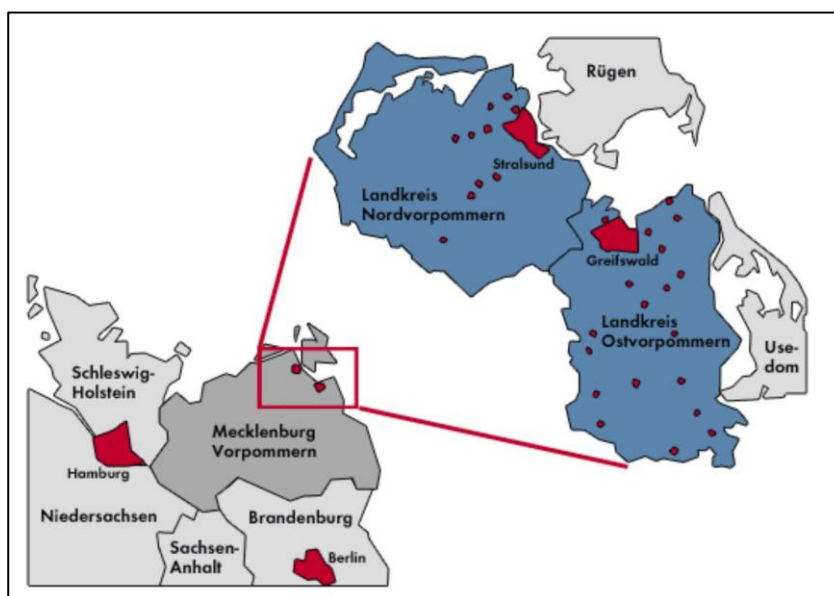


Abb. 7.: Region Vorpommern (S. Bergmann 2017)



An der Basisstudie (SHIP-0), erstellt zwischen 1997 und 2001, nahmen schließlich 4308 der eingeladenen Probanden teil.

Die Datenerhebung erfolgte anhand einer Reihe medizinischer und zahnmedizinischer Untersuchungen, einem gesundheitsbezogenen Interview und Fragebögen.

Die erste Nachuntersuchung (SHIP-1) folgte zwischen 2002 und 2006. Alle 4308 Probanden wurden erneut eingeladen und es nahmen 3300 Probanden weiterhin teil. Die zweite Nachuntersuchung (SHIP-2) wurde zwischen 2008 und 2012 mit noch 2333 Probanden durchgeführt und die dritte Nachuntersuchung (SHIP-3) zwischen 2014 und 2016 mit 1718 verbliebenen Probanden.

#### **4.1.2 Assoziiertes zahnmedizinisches Projekt (ASSPro)**

Das assoziierte zahnmedizinische Projekt „Munderkrankungen und kranio-mandibuläre Dysfunktionen“ (ASSPro), ist ein Projekt von mehreren assoziierten, in welchen ausgewählte Probanden der SHIP-Studie unter konkreten Fragestellungen untersucht wurden. Dabei wurden die Probandengruppen und damit die Bevölkerungsbezogenheit der Basisstudie fortgeführt (Schröder 2005).

Das Projekt besteht aus vier Teilprojekten.

- **Teilprojekt A** "Untersuchungen zur Differenzialdiagnostik degenerativer Erkrankungen der Kiefergelenke" (Prof. Dr. G. Meyer)
- **Teilprojekt B** "Dysfunktionen und Strukturveränderungen des stomatognathen Systems unter dem Langzeiteinfluss von Zahnstellungs- und Okklusionsanomalien" (Prof. Dr. E. Hensel)
- **Teilprojekt C** "Untersuchungen zur Effektivität und Effizienz unterschiedlicher Therapiekonzepte bei rasch fortschreitender Parodontitis" (Prof. Dr. T. Kocher)
- **Teilprojekt D** "Strukturveränderungen und Dysfunktion des Kauorgans durch kurative Rekonstruktion der Kaufläche" (Prof. Dr. R. Biffar)

Das gemeinsame Ziel der Teilprojekte ist die Feststellung kausystembezogener morphologischer, funktioneller und iatrogenen Risikofaktoren, welche die Gesundheit und Funktion des orofazialen Systems beeinträchtigen können.

Insgesamt wurden 1525 Probanden aus der Basisstudie SHIP-0 eingeladen. Es nahmen 666 der Probanden teil. Während der dritten Nachuntersuchung SHIP-3 nahmen noch 365 dieser

Probanden erneut am ASSPro teil.

Im Rahmen der Untersuchungen des ASSPro wurden Dentalmodelle hergestellt und archiviert.

**Tabelle 8.** Anzahl der geladenen und teilnehmenden Probanden an ASSPro.

Quelle: S. Bergmann 2017

	<i>Anzahl der geladenen Personen</i>	<i>Anzahl der Teilnehmer</i>	<i>Teilnahme in %</i>
<b>gesamt</b>	1525	666	43,7
<b>TP A</b>	518	226	43,6
<b>TP B</b>	1259	527	41,8
<b>TP C</b>	60	8	13
<b>TP D</b>	655	334	51

#### **4.1.3 Probanden der vorliegenden Dissertation**

Die Probanden (Tab. 8.) der vorliegenden Dissertation setzen sich aus Teilnehmern von SHIP-0 und SHIP-3 zusammen. Von 666 Probanden der Basisuntersuchung wurden Ober- und Unterkiefer mit Alginat (Palgaflex, Espe, Seewald, Deutschland) zur Herstellung von Dentalmodellen abgeformt. Bei der Nachuntersuchung SHIP-3 ( $16 \pm 1$  Jahre später) stimmten 365 dieser Probanden einer erneuten Abformung zu. Dabei wurde Status Blue (DMG, Chemisch-Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland) verwendet. Alle Modelle wurden aus Superhartgips (Shera-Hardrock, Shera, Lemförde, Deutschland) hergestellt.

Die Modelle wurden mittels des dreidimensionalen Scanners „Zirkonzahn S600 Arti“ der Zirkonzahn GmbH (Gais, Italien) digitalisiert. Die Auflösung des Scanners liegt nach Herstellerangaben bei  $10 \mu\text{m}$ . Bissregistrare ermöglichten die Zuordnung von Ober- und Unterkiefer.

Insgesamt standen von 365 Probanden dreidimensional digitalisierte Modelle zur Untersuchung der Gebissveränderungen über einen Zeitraum von durchschnittlich 16 Jahren zur Verfügung.

Die Modelle wurden nach den folgenden Kriterien ausgewählt.

Einschlusskriterien:

- Alle Modelle eines Probanden sowohl aus SHIP-0 als auch aus SHIP-3 sind vorhanden
- Vollbezahnt von 6 bis 6 (ohne Berücksichtigung der 2. und 3. Molaren)
- Kronen und restaurative Versorgungen sind funktionell und anatomisch korrekt
- Gute Erkennbarkeit der Strukturen
- Alle Messpunkte sind eindeutig identifizierbar

Für die Platzierung der Messpunkte in Okklusion mussten außerdem das Ober- und das Unterkiefermodell bei der Digitalisierung einander in habitueller Schlussbissposition mit Hilfe der Bissregistratur korrekt zugeordnet worden sein.

Es konnten die Modelle von 103 Probanden in einem Alter von 20 bis 55 Jahren zum Zeitpunkt der SHIP-0-Studie und von 37 bis 71 Jahren zum Zeitpunkt der SHIP-3-Studie vermessen werden. Bei 42 von Ihnen wurden zudem der Overbite und der Overjet vermessen. Die Abbildung 8. zeigt einen Überblick über den Probandenauswahlprozess.

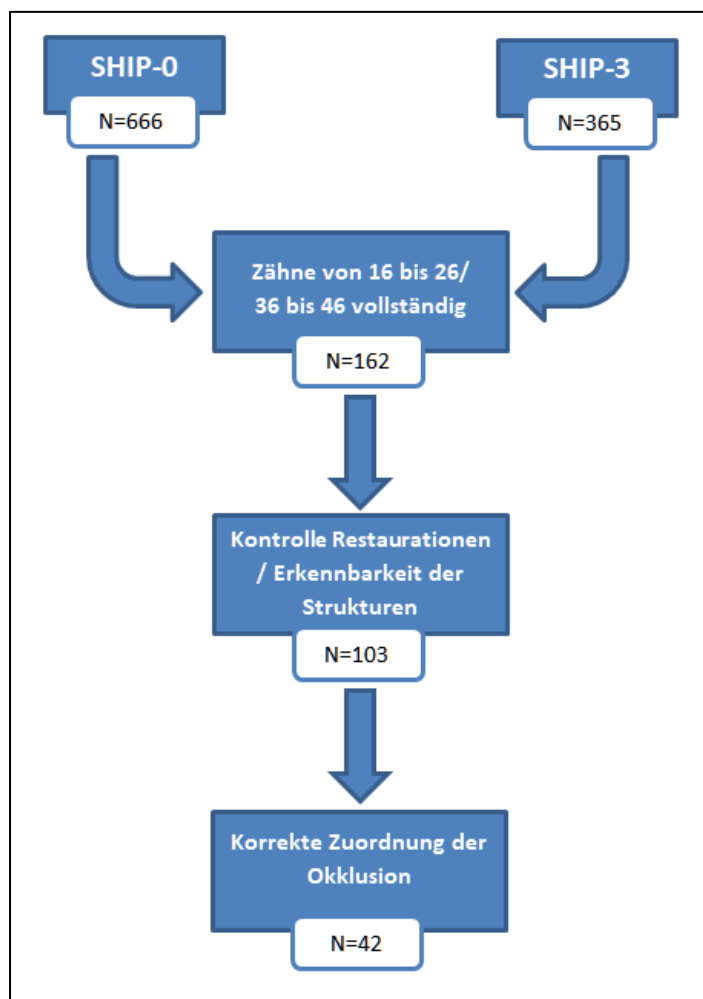


Abb. 8.: Darstellung des Probandenauswahlprozesses

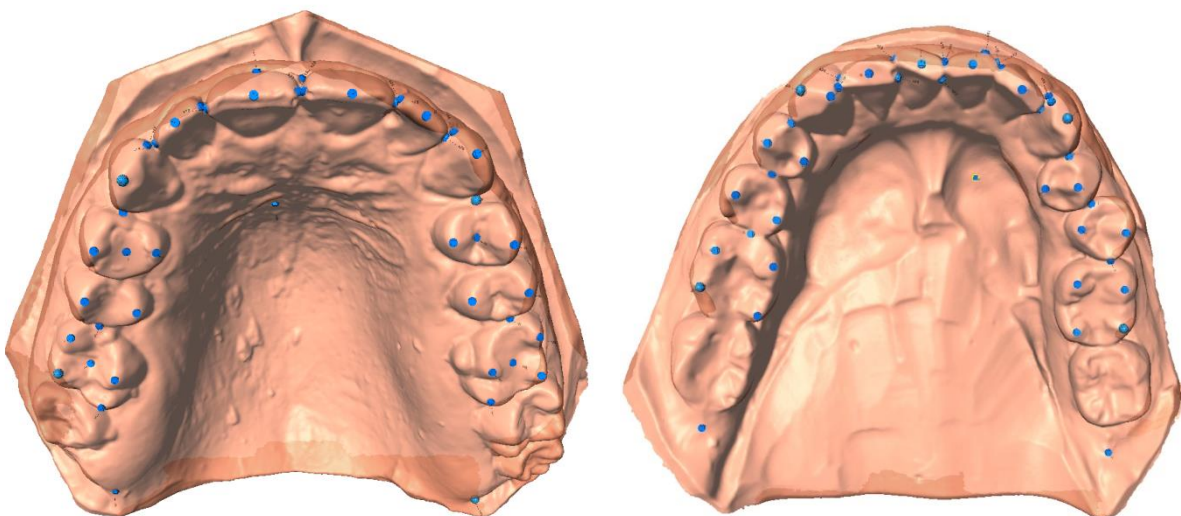
## 4.2 Untersuchungen an den Modellen

### 4.2.1 Dreidimensionale Modellvermessung mit Landmark und Meshmixer

Die dreidimensionale Vermessung der digitalisierten Modelle erfolgte mit der Software Landmark (IDAV, University of California, Version 3.6, Davis, USA) mit Hilfe von Messpunkten. Mit der Software Meshmixer (Autodesk, Version 11.0.544, San Rafael, USA) war eine gleichzeitige Darstellung des Ober- und des Unterkiefers in Schlussbissposition und somit zusätzlich die Platzierung der Messpunkte für den Overbite und den Overjet möglich. Die xyz-Koordinaten wurden als PTS-Datei ausgegeben und mit der Software Word (Microsoft Corporation, Office Professional 2010, Redmond, USA) in Tabellen umgewandelt. Anschließend wurden diese in eine gemeinsame Excel Tabelle (Microsoft Corporation) übernommen.

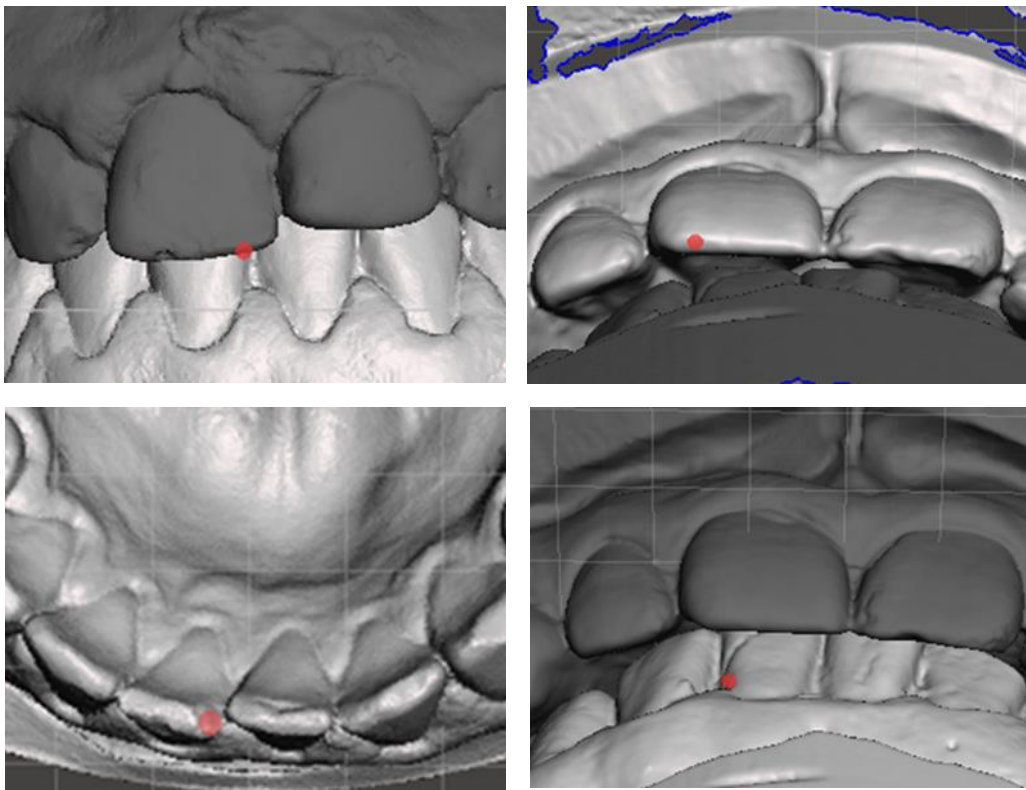
### 4.2.2 Messpunkte

Für die Vermessung wurde eine Kombination aus Messpunkten zur Berechnung der Strecken und aus morphologischen Punkten gewählt. Insgesamt wurden die dreidimensionalen Koordinaten von 46 Messpunkten im Oberkiefer und 47 Messpunkten im Unterkiefer erhoben. Die Abbildung 9. stellt die mit Hilfe von Landmark platzierten Messpunkte dar.



**Abb. 9.:** Darstellung der Messpunkte für den Oberkiefer (Nr. 1-45) und den Unterkiefer (Nr. 1-45) im Verhältnis 3:2.

Die Abbildung 10. zeigt die mit Hilfe von Meshmixer platzierten Messpunkte für den Overbite und den Overjet.



**Abb. 10.:** Darstellung der Messpunkte für den Overbite und den Overjet im Verhältnis 11:4.

Die Tabellen 9.-12. enthalten die Nummerierung und Beschreibung der einzelnen Messpunkte für den Ober- und den Unterkiefer.

**Tabelle 9.** Messpunkte im Oberkiefer Teil 1

<i>Nr.</i>	<i>Messpunkt</i>
1	Tuberpunkt rechts
2	disto-buccaler Höcker 1. Molar
3	mesio-buccaler Höcker 1. Molar
4	mesio-palatinaler Höcker 1. Molar
5	disto-palatinaler Höcker 1. Molar
6	zentrale Fissur 1. Molar
7	Kontaktpunkt Molar-Prämolar
8	palatinaler Höcker 2. Prämolar
9	buccaler Höcker 2. Prämolar
10	palatinaler Höcker 1. Prämolar
11	Fissur 1. Prämolar
12	buccaler Höcker 1. Prämolar
13	Kontaktpunkt Eckzahn – 1. Prämolar
14	Eckzahnspitze

**Tabelle 10.** Messpunkte im Oberkiefer Teil 2

<i>Nr.</i>	<i>Messpunkt</i>
15	distale Schneidekante 12
16	zentraler Punkt 12
17	mesialer Punkt 12
18	distaler Punkt 11
19	zentraler Punkt 11
20	mesialer Punkt 11
21	Interinzisalpunkt
22	mesialer Punkt 21
23	zentraler Punkt 21
24	distaler Punkt 21
25	mesialer Punkt 22
26	zentraler Punkt 22
27	distaler Punkt 22
28	Eckzahnspitze
29	Kontaktpunkt Eckzahn – 1. Prämolare
30	buccaler Höcker 1. Prämolare
31	Fissur 1. Prämolare
32	palatinaler Höcker 1. Prämolare
33	buccaler Höcker 2. Prämolare
34	palatinaler Höcker 2. Prämolare
35	Kontaktpunkt Molar-Prämolare
36	zentrale Fissur 1. Molar
37	disto-palatinaler Höcker 1. Molar
38	mesio-palatinaler Höcker 1. Molar
39	mesio-buccaler Höcker 1. Molar
40	disto-buccaler Höcker 1. Molar
41	Tuberpunkt links
42	labial am weitesten vorstehender Punkt
43	Lot vordere Zahnbogenbreite
44	anatomischer mesialer Kontaktpunkt 13
45	anatomischer mesialer Kontaktpunkt 23
46	Punkt Overjet Schneidekante an Inzisivus mit größtem Overjet

**Tabelle 11.** Messpunkte im Unterkiefer Teil 1

<i>Nr.</i>	<i>Messpunkt</i>
1	Tuberpunkt rechts
2	disto-buccaler Höcker 1. Molar
3	mesio-buccaler Höcker 1. Molar
4	mesio-lingualer Höcker 1. Molar
5	disto-lingualer Höcker 1. Molar
6	Kontaktpunkt Molar – 2. Prämolare
7	lingualer Höcker 2. Prämolare
8	buccaler Höcker 2. Prämolare
9	Kontaktpunkt 2. Prämolare – 1. Prämolare
10	lingualer Höcker 1. Prämolare

**Tabelle 12.** Messpunkte im Unterkiefer Teil 2

<i>Nr.</i>	<i>Messpunkt</i>
11	buccaler Höcker 1. Prämolare
12	Kontaktpunkt Eckzahn – 1. Prämolare
13	Eckzahnspitze rechts
14	mesialer Punkt Eckzahn rechts
15	distaler Punkt 42
16	zentraler Punkt 42
17	mesialer Punkt 42
18	distaler Punkt 41
19	zentraler Punkt 41
20	mesialer Punkt 42
21	Interinzisalpunkt
22	mesialer Punkt 31
23	zentraler Punkt 31
24	distaler Punkt 31
25	mesialer Punkt 32
26	zentraler Punkt 32
27	distaler Punkt 32
28	mesialer Punkt Eckzahn links
29	Eckzahnspitze links
30	Kontaktpunkt Eckzahn – 1. Prämolare
31	buccaler Höcker 1. Prämolare
32	lingualer Höcker 1. Prämolare
33	Kontaktpunkt 1. Prämolare – 2. Prämolare
34	buccaler Höcker 2. Prämolare
35	lingualer Höcker 2. Prämolare
36	Kontaktpunkt Molare – 2. Prämolare
37	disto-lingualer Höcker 1. Molare
38	mesio-lingualer Höcker 1. Molare
39	mesio-buccaler Höcker 1. Molare
40	disto-buccaler Höcker 1. Molare
41	Tuberpunkt links
42	labial am weitesten vorstehender Punkt
43	Lot vordere Zahnbogenbreite
44	anatomischer mesialer Kontaktpunkt 43
45	anatomischer mesialer Kontaktpunkt 33
46	Overbite Projektion der Schneidekante des oberen Inzisivus mit dem größten Overbite
47	Schneidekante an Inzisivus mit größtem Overbite
48	Punkt Overjet an UK Inzisivus mit größtem Overjet

### 4.2.3 Berechnung der Messstrecken und Modellanalysen

Die gewünschten Messstrecken wurden aus den dreidimensionalen Koordinaten der Messpunkte auf Grundlage der Vektorrechnung wie folgt berechnet.

Zwei Punkte  $P(p_1|p_2|p_3)$  und  $Q(q_1|q_2|q_3)$  im dreidimensionalen Raum  $\mathbb{R}^3$  haben den Abstand

$$d = |\overrightarrow{PQ}| = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2 + (q_3 - p_3)^2}$$

Die angewandten Analysen lehnen sich an die Vorschläge von Pont (1909), Korkhaus (1932), Mühlberg (1969) und Little (1975) an.

In der Tabelle 13. wurde den Strecken jeweils eine Nummer, eine Variable und eine Abkürzung zugeordnet.

**Tabelle 13.** Erläuterung der Messstrecken

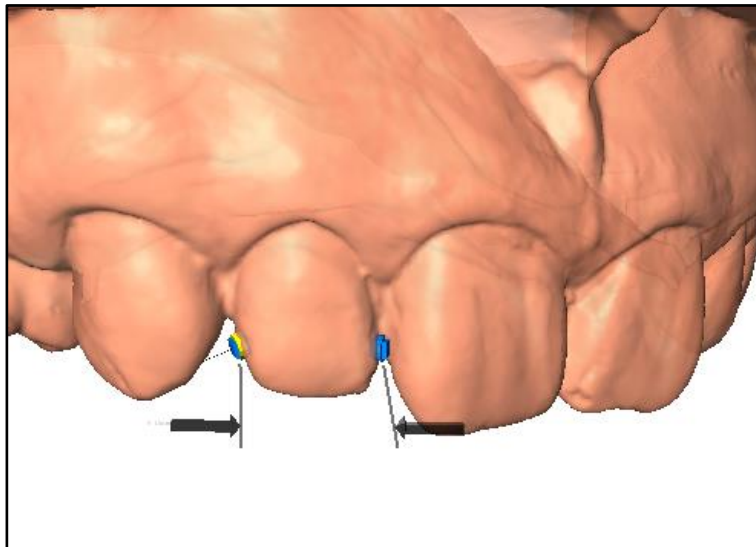
Nr.	Variable	Abkürzung
1	Schneidekantenbreitensumme im Oberkiefer	OKSI
2	Schneidekantenbreitensumme im Unterkiefer	UKsi
3	Summe für Little's Irregularity Index im Oberkiefer	OKLI
4	Summe für Little's Irregularity Index im Unterkiefer	UKLI
5	Inter canine Distanz im Oberkiefer	IntercanOK
6	Inter canine Distanz im Unterkiefer	IntercanUK
7	Anteriore Breite im Oberkiefer	AntBrOK_pre
8	Anteriore Breite im Unterkiefer	AntBrUK_pre
9	Posteriore Breite im Oberkiefer	PostBrOK_pre
10	Posteriore Breite im Unterkiefer	PostBrUK_pre
11	obere Zahnbogenlänge	LO
12	untere Zahnbogenlänge	LU
13	Overbite	Overbite
14	Overjet	Overjet



### *Schneidekantenbreitensumme im Ober- und Unterkiefer (Variablen 1 - 2)*

Die Schneidekantenbreitensumme setzt sich zusammen aus der Summe der Einzelzahnbreiten der Zähne 12, 11, 21 und 22 im Oberkiefer, sowie aus der Summe der Einzelzahnbreiten der Zähne 31, 32, 41 und 42 im Unterkiefer. An jedem einzelnen Schneidezahn wurde jeweils mesial und distal an der Stelle des größten mesio-distalen Durchmessers parallel zur Schneidekante des Zahnes ein Messpunkt gesetzt und der Abstand zwischen diesen beiden Messpunkten berechnet (Abb. 11).

Die einzelnen Zahnbreiten sind die Abstände zwischen den Messpunkten 15-17, 18-20, 22-24 und 25-27 aus den Tabellen 9.-10. im Oberkiefer und zwischen den Messpunkten 15-17, 18-20, 22-24 und 25-27 aus den Tabellen 11.-12. im Unterkiefer.

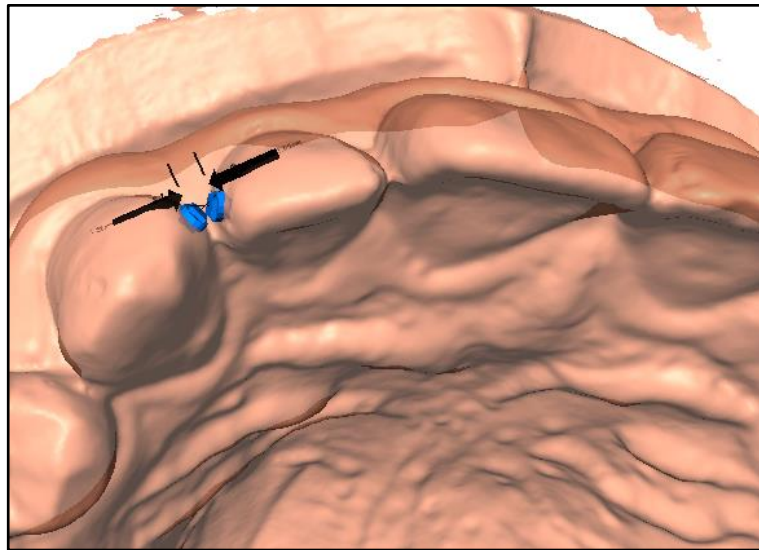


**Abb. 11.:** Messung der Einzelzahnbreiten am größten mesiodistalen Durchmesser beispielhaft an 12 im Verhältnis 8:3.

### *Summe für Little's Irregularity Index (Variablen 3 – 4)*

Zusätzlich zu den mesialen und distalen Messpunkten für die Schneidekantenbreitensummen wurde mesial der Zähne 13 und 23 im Oberkiefer und 33 und 43 im Unterkiefer ein Messpunkt an der Stelle des anatomischen Kontaktpunktes platziert (Abb. 12.). Im Anschluss wurde die horizontale lineare Abweichung benachbarter Frontzähne durch Berechnung der Abstände zwischen den mesialen und distalen Messpunkten berechnet, indem die vertikale Komponente Z der dreidimensionalen Messpunkte mit den Werten X, Y, Z nicht berücksichtigt wurde. Die einzelnen Kontaktpunktabweichungen entsprechen den Abständen zwischen den Messpunkten 44-15, 17-18, 20-22, 24-25, 27-45 aus der Tabelle 10. für den Oberkiefer

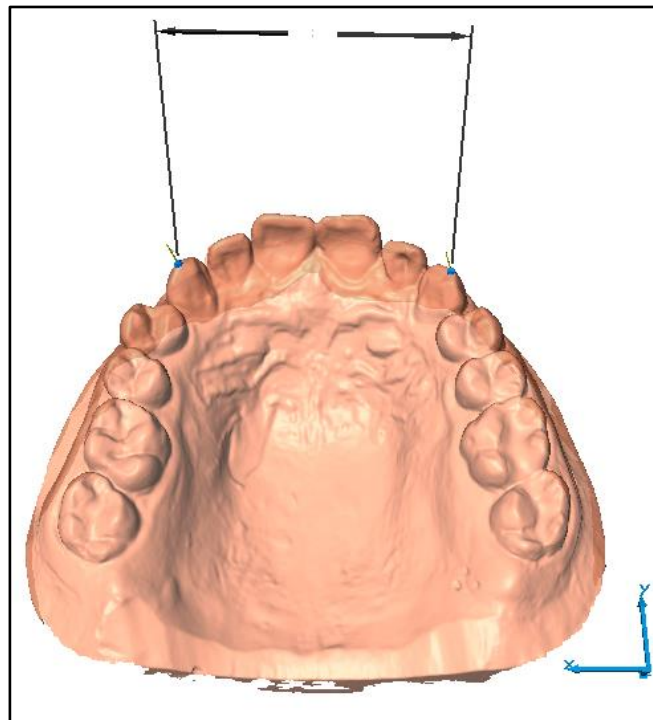
und 44-15, 17-18, 20-22, 24-25 und 27-45 aus der Tabelle 12. im Unterkiefer. Die einzelnen Abstände wurden anschließend für den Ober- und den Unterkiefer jeweils addiert.



**Abb. 12.:** Messung der horizontalen linearen Abweichung beispielhaft zwischen 13 und 12 im Verhältnis 7:2.

#### *Inter canine Distanz (Variablen 5 - 6)*

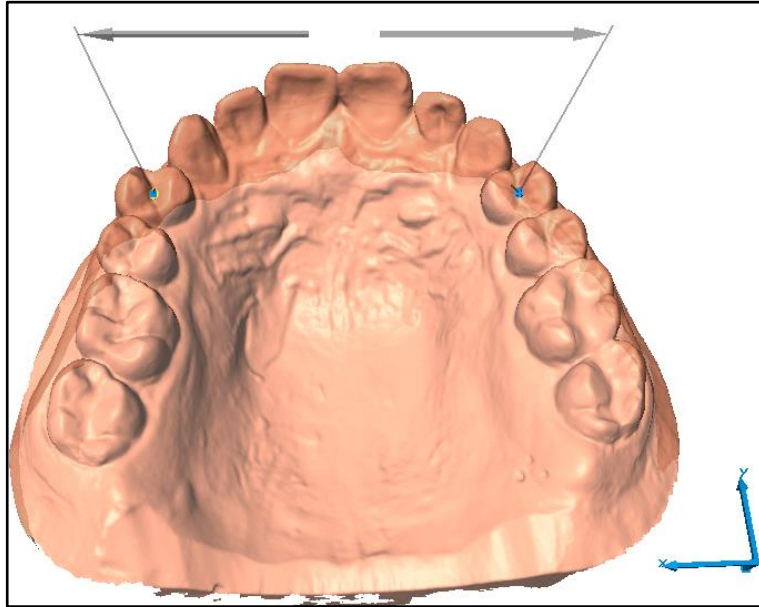
Der Abstand von Eckzahnspitze zu Eckzahnspitze (Tabelle 9.-10.: Messpunkte 14 und 28, Tabelle 12.: Messpunkte 13 und 29; Abb. 13.) für jeweils den Ober- und den Unterkiefer wurde berechnet.



**Abb. 13.:** Messung der Inter caninen Distanz im Verhältnis 5:6

### *Anteriore Breite im Oberkiefer (Variable 7)*

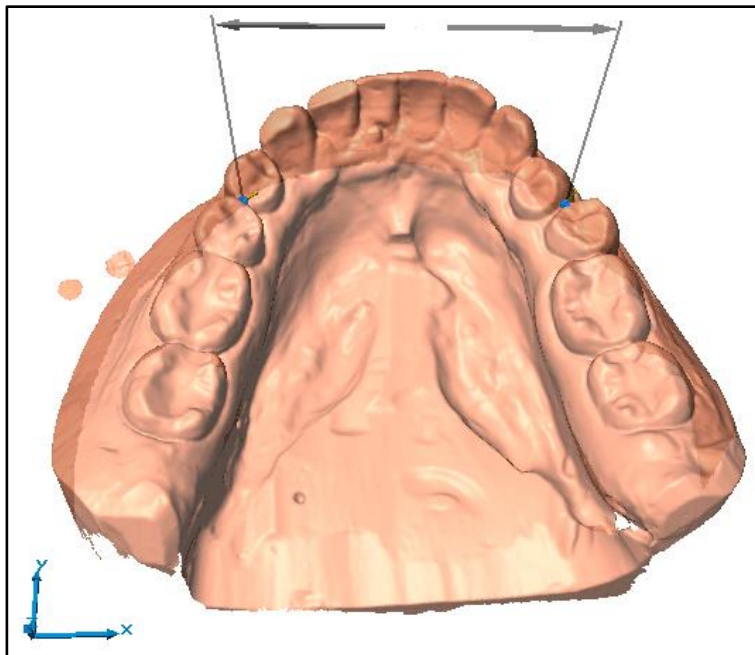
Für die anteriore Breite im Oberkiefer wurde der transversale Abstand zwischen den Messpunkten in der Zentralfissur der ersten Prämolaren berechnet (Messpunkte 11 und 31 aus den Tabellen 9.-10.; Abb. 14.).



**Abb. 14.:** Messung der anterioren Breite im Oberkiefer im Verhältnis 7:6

### *Anteriore Breite im Unterkiefer (Variable 8)*

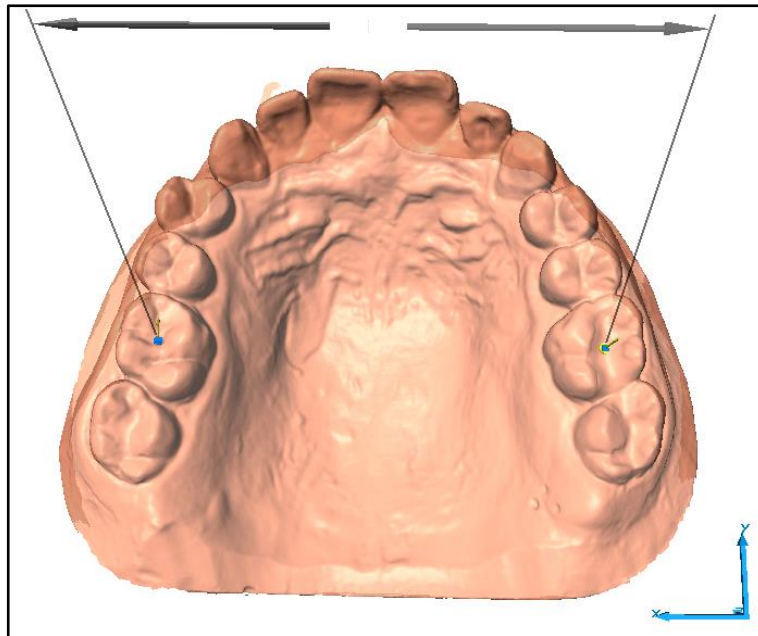
Für die anteriore Breite im Unterkiefer wurde der transversale Abstand der Messpunkte an den Kontaktpunkten zwischen den beiden Prämolaren berechnet (Messpunkte 9 und 33 aus den Tabellen 11.-12.; Abb. 15.).



**Abb. 15.:** Messung der anterioren Breite im Unterkiefer im Verhältnis 6:5

### *Posteriore Breite im Oberkiefer (Variable 9)*

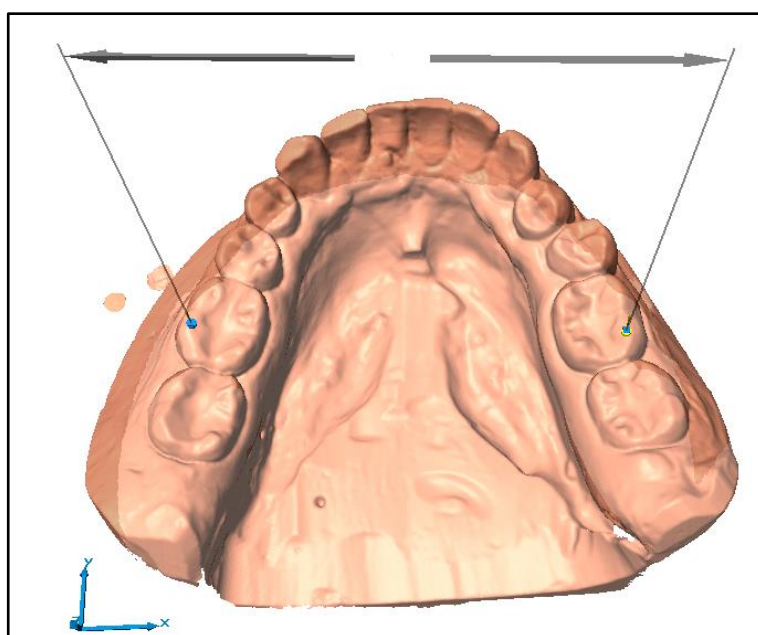
Bei der posterioren Breite im Oberkiefer wurde der Abstand zwischen den beiden Messpunkten in der Zentralfissur der beiden ersten Molaren berechnet (Messpunkte 6 und 36 aus den Tabellen 9.-10.; Abb. 16.).



**Abb. 16.:** Messung der posterioren Breite im Oberkiefer im Verhältnis 5:4.

### *Posteriore Breite im Unterkiefer (Variable 10)*

Für die posteriore Breite im Unterkiefer wurde der Abstand der beiden Messpunkte auf dem disto-buccalen Höcker der ersten Molaren berechnet (Messpunkte 2 und 40 aus den Tabellen 11.-12.; Abb. 17.).

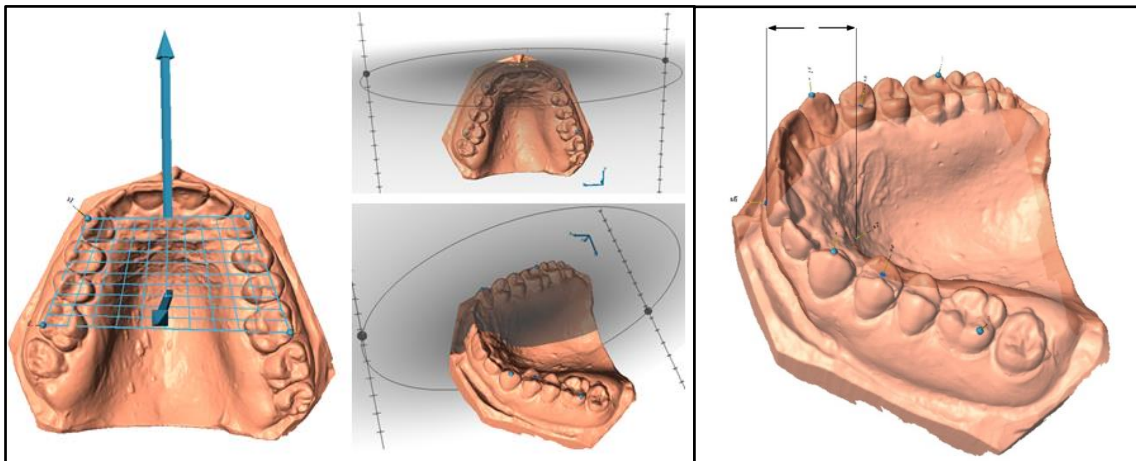


**Abb. 17.:** Messung der posterioren Breite im Unterkiefer im Verhältnis 1:1.



### *Zahnbogenlänge (Variablen 11 - 12)*

Für die Messung der Zahnbogenlänge im Ober- und Unterkiefer wurde zunächst die Okklusionsebene als die transversale Ebene mit Hilfe der Messpunkte auf den Eckzahnspitzen und auf den Spitzen der distobukkalen Höcker der ersten Molaren jeweils für den Ober- und den Unterkiefer festgelegt (siehe Abbildung 18.). Dadurch wurden auch die entlang Ihrer Achse verschieblichen Hilfsebenen in sagittaler und transversaler Richtung bestimmt. Mit Hilfe dieser Ebenen wurde der Messpunkt, welcher labial am weitesten vorsteht, bestimmt, sowie der Messpunkt als das Lot dieses Punktes auf die anteriore Breite platziert. Anschließend wurde der Abstand dieser beiden Messpunkte (die Messpunkte 42 und 43 in Tabelle 10. für den Oberkiefer und 42 und 43 in Tabelle 12. für den Unterkiefer) als obere und untere Zahnbogenlänge berechnet.

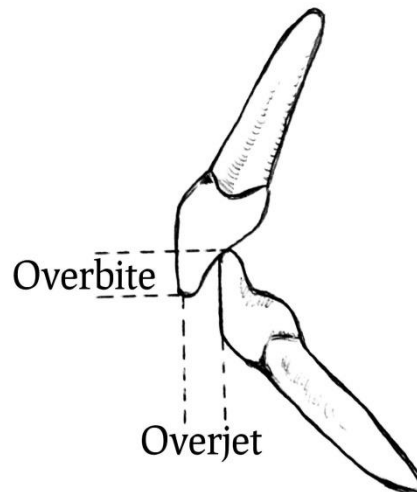


**Abb. 18.:** Messung der Zahnbogenlänge nach Festlegung der Okklusionsebene als Horizontalebene. Festlegung der Messpunkte mit Hilfe der Vertikalebene für den anteriorsten Punkt des Zahnbogens und der Sagittalebene für den Lotpunkt auf die anteriore Zahnbogenbreite. Größe der Abbildungen von links nach rechts und von oben nach unten im Verhältnis 5:9, 1:3, 4:9 und 2:3.

### *Overbite und Overjet (Variablen 13 - 14)*

Für die Berechnung des Overbite und des Overjet wurden die Messpunkte aus der Abbildung 8. herangezogen. Dabei wurde der Messpunkt 46 aus Tabelle 12. auf der Vestibulärfläche des Antagonisten des oberen Schneidezahns mit dem größten Overbite platziert, sowie der Messpunkt 47 aus Tabelle 12. vertikal zu diesem an der Schneidekante des Antagonisten. Der Messpunkt 46 aus Tabelle 10. wurde an dem mittleren oberen Schneidezahn mit dem größten Overjet platziert und der Messpunkt 48 aus Tabelle 12. sagittal dazu an der Labialfläche seines Antagonisten im Unterkiefer. Anschließend wurde aus den dreidimensionalen

Koordinaten der Messpunkte der Overbite als der Abstand zwischen dem Messpunkt 46 und 47 aus Tabelle 12. berechnet und der Overjet als der Abstand zwischen dem Messpunkt 46 aus Tabelle 10. und dem Messpunkt 48 aus Tabelle 12. bestimmt. Die Strecken entsprechen der in Abbildung 19. dargestellten Strecken für den Overbite und den Overjet.



**Abb. 19.:** Darstellung von Overbite und Overjet (aus G. H. Schumacher 1997)

### 4.3 Statistische Methoden

Die Messdaten wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS Statistics (IBM, Version 26, Armonk, USA) analysiert.

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit wurden an 20 Modellpaaren, dabei je 10 aus SHIP-0 und 10 aus SHIP-3, alle Messpunkte, mit Ausnahme der Messpunkte welche in Okklusion platziert wurden, ein zweites Mal platziert. Für die Messung des Overbite und des Overjet wurden die Messpunkte an 12 Modellpaaren, dabei je 6 aus SHIP-0 und 6 aus SHIP-3, ein zweites Mal in Okklusion platziert. Anschließend wurde der Methodenfehler nach Dahlberg (1940) berechnet und die Bland-Altman-Analyse durchgeführt.

Für die Veranschaulichung der Werte wurden Histogramme für die Verteilung der Werte insgesamt und Box-Whisker-Plots zum Vergleich der Verteilung der Werte der männlichen und weiblichen Probanden erstellt. Dabei bezeichnet jeweils der Zeitpunkt T0 die Strecken der Modelle aus der SHIP-0-Untersuchung und T1 die Strecken aus der SHIP-3-Untersuchung  $16 \pm 1$  Jahre später.

Von jeder Messstrecke wurde der Mittelwert und die Standardabweichung insgesamt, sowie für jedes Geschlecht einzeln, bestimmt. Anschließend wurden die Mittelwerte mit Hilfe des t-Tests miteinander verglichen.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Methodenfehler nach Dahlberg

In der folgenden Tabelle 14. ist die Anzahl der Zweitmessungen (n) und der Methodenfehler nach Dahlberg (MF) für alle berechneten Strecken angegeben.

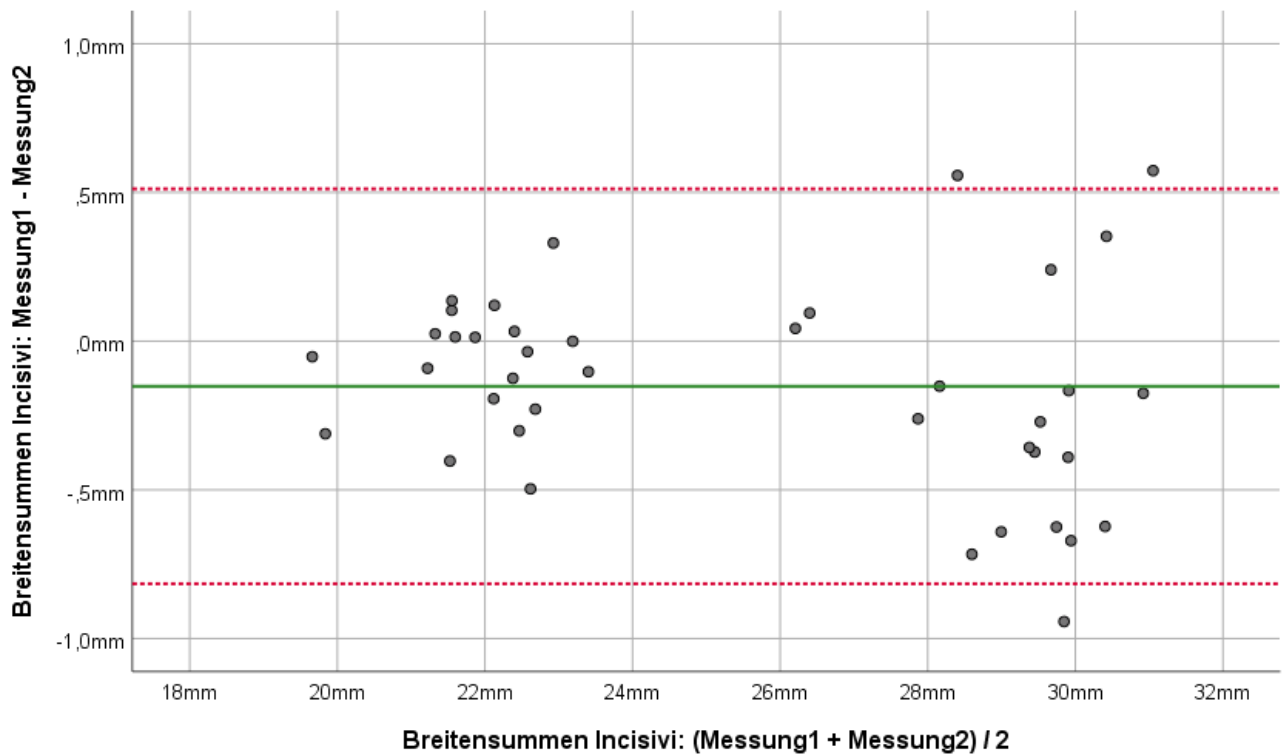
**Tabelle 14.** Methodenfehler nach G. Dahlberg (1940). Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Anzahl der Zweitmessungen (n), Methodenfehler (MF).

<b>Nr.</b>	<b>Strecke</b>	<b>n</b>	<b>MF</b>
1	OKSI	20	0,22 mm
2	UKsi	20	0,05 mm
3	OKLI	20	0,61 mm
4	UKLI	20	1,02 mm
5	IntercanOK	20	0,08 mm
6	IntercanUK	20	0,55 mm
7	AntBrOK	20	0,06 mm
8	AntBrUK	20	0,24 mm
9	PostBrOK	20	0,10 mm
10	PostBrUK	20	0,74 mm
11	LO	20	0,34 mm
12	LU	20	0,18 mm
13	Overbite	12	0,15 mm
14	Overjet	12	0,07 mm

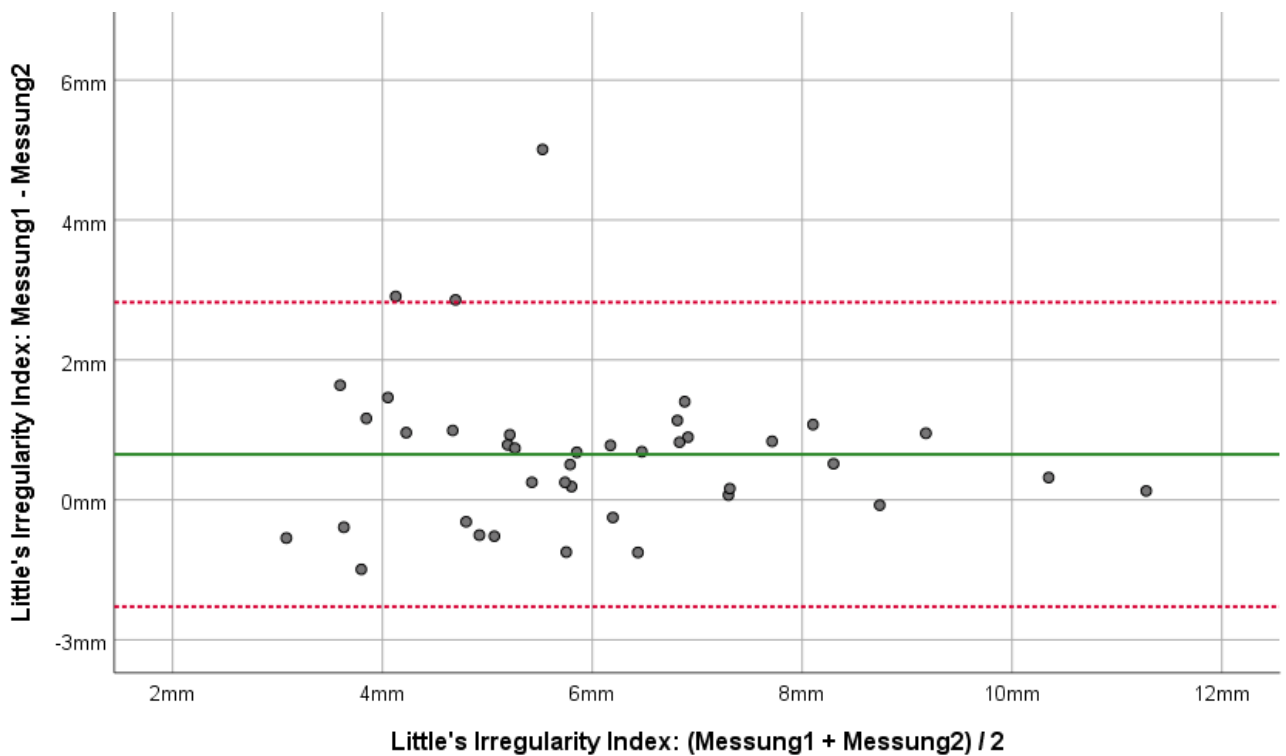
### 5.2 Bland-Altman-Analyse

Die folgenden Abbildungen 20.-27. zeigen die zugehörigen Bland-Altman-Plots der Bland-Altman-Analyse. Die Erstmessung und die Zweitmessung wurden miteinander verglichen. Dabei wurden die Strecken für den Ober- und den Unterkiefer jeweils in einem Bland-Altman-Plot gemeinsam dargestellt.

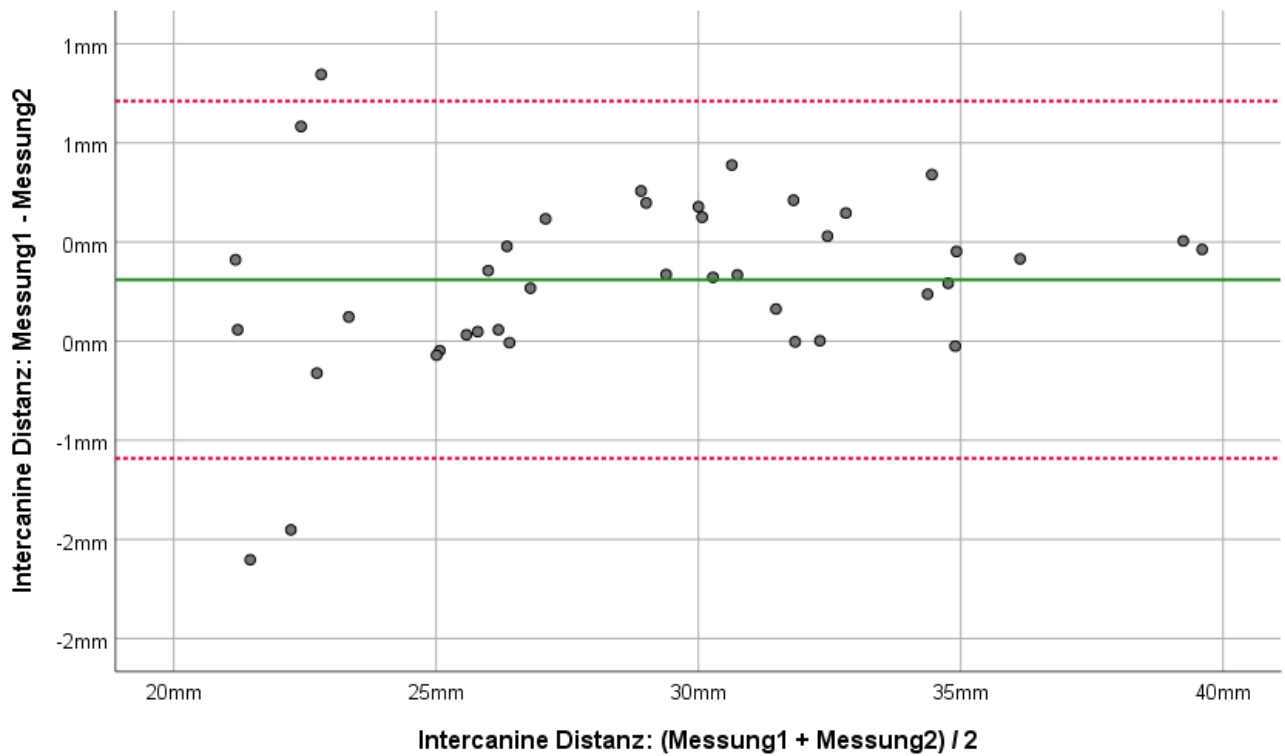




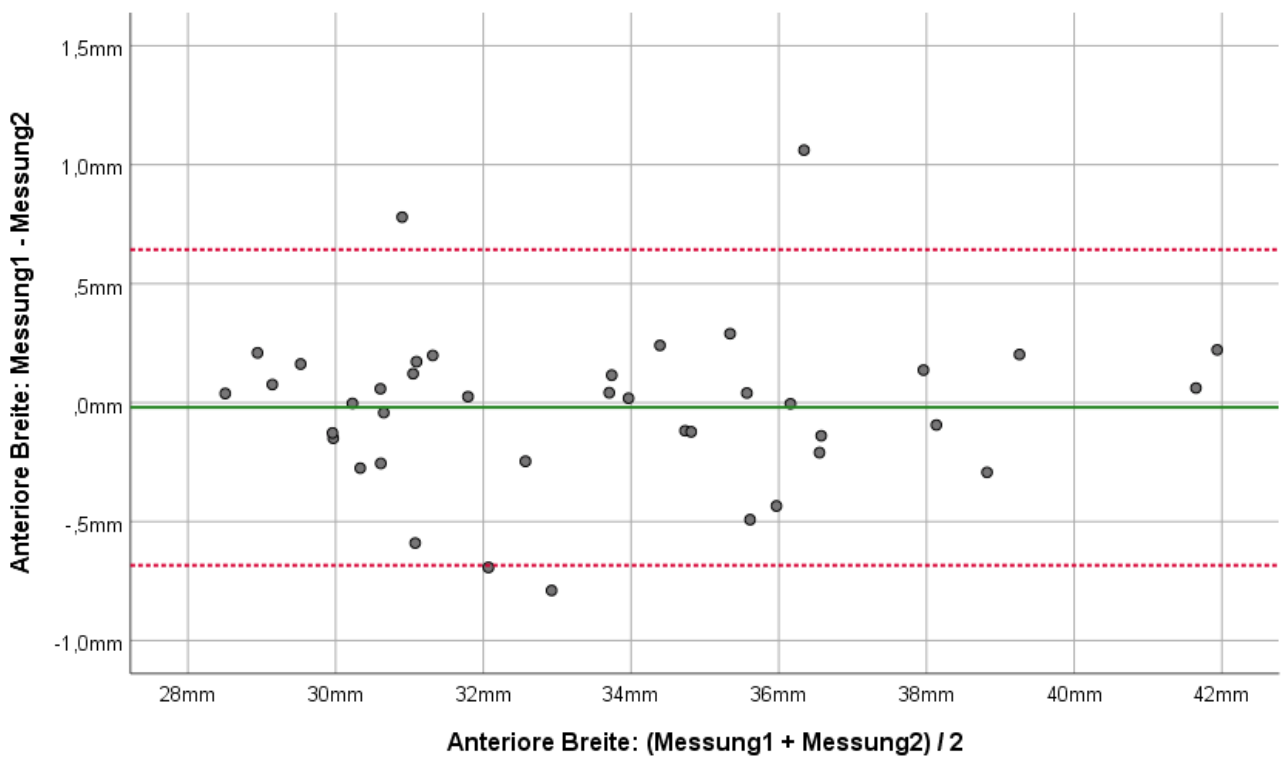
**Abb. 20.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der Schneidekantenbreitensumme im Ober- und Unterkiefer



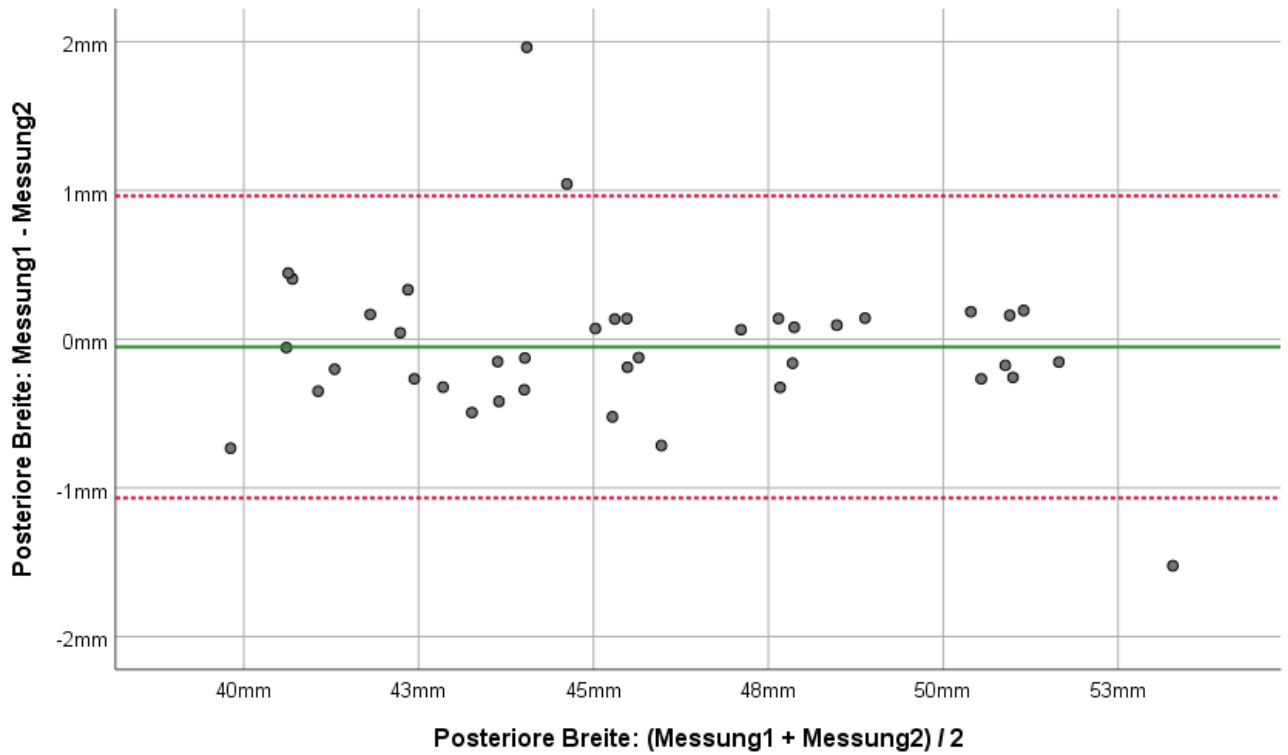
**Abb. 21.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) von Little's Irregularity Index im Ober- und Unterkiefer



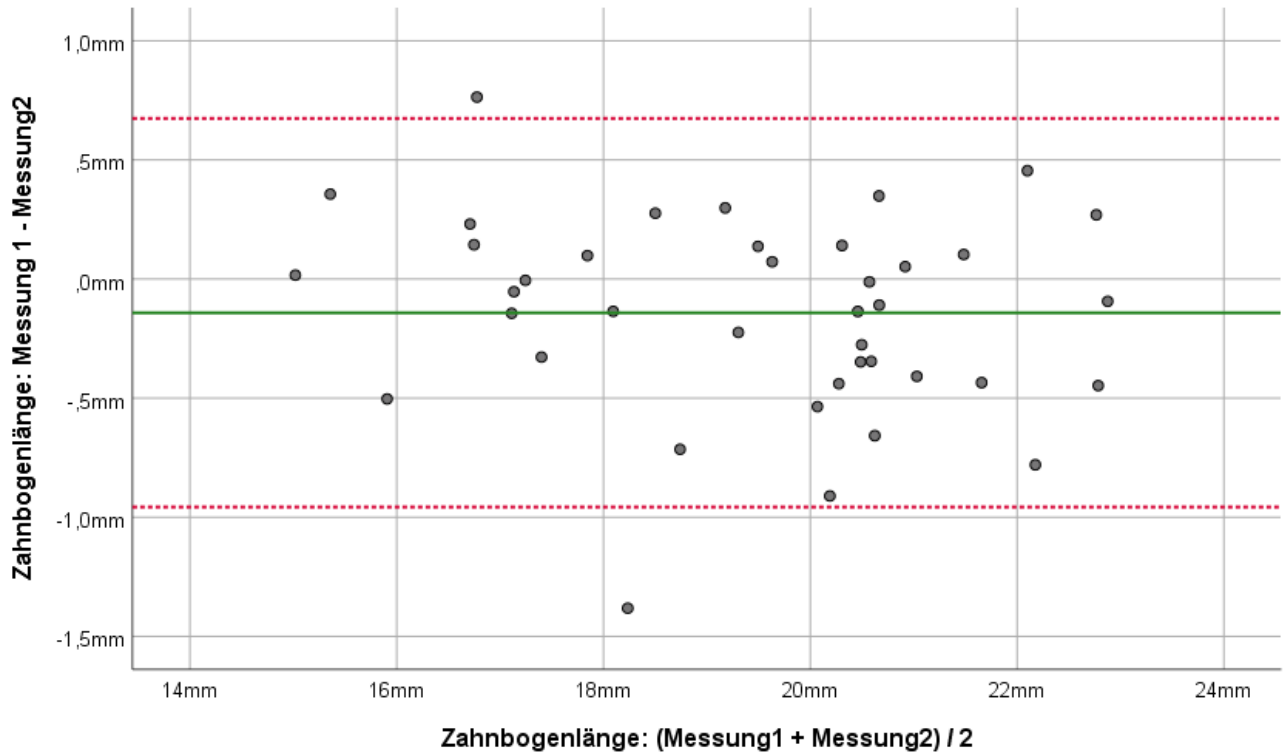
**Abb. 22.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der Inter-caninen Distanz im Ober- und Unterkiefer



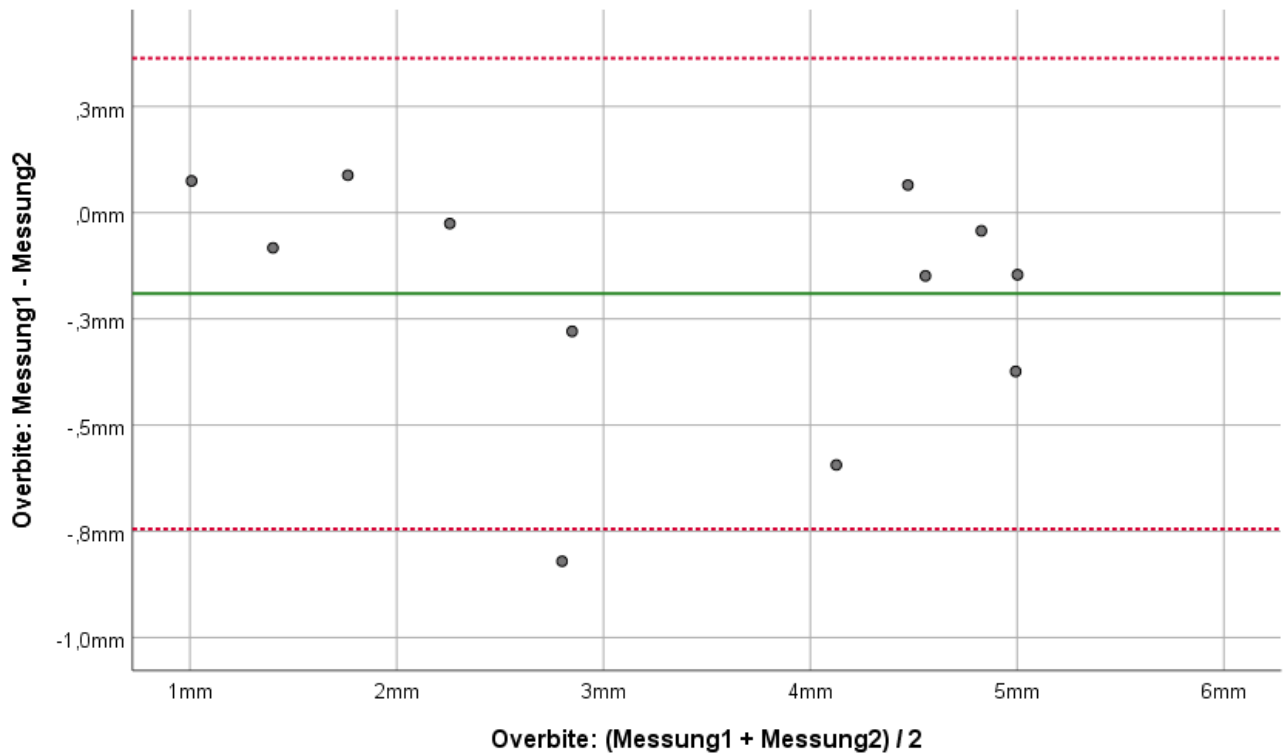
**Abb. 23.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der anterioren Breite im Ober- und Unterkiefer



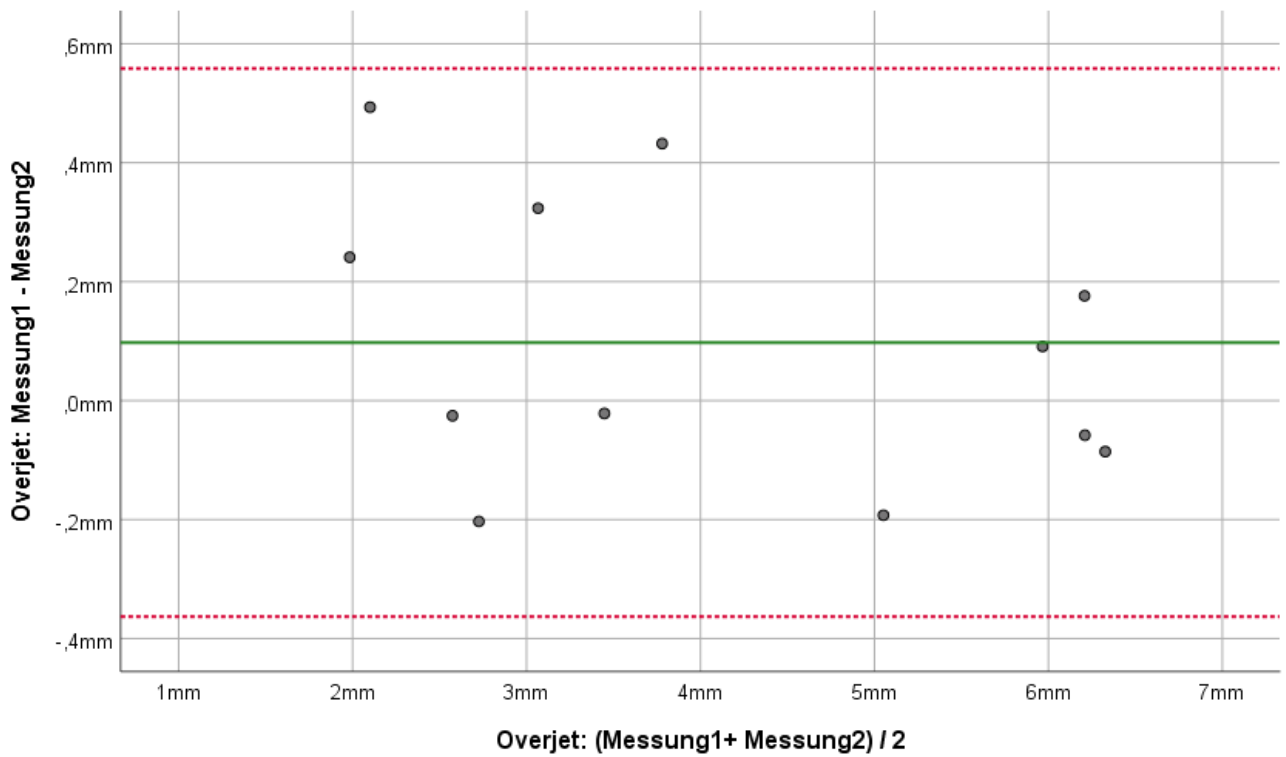
**Abb. 24.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der posterioren Breite im Ober- und Unterkiefer



**Abb. 25.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) der Zahnbogenlänge im Ober- und Unterkiefer



**Abb. 26.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) des Overbites



**Abb. 27.:** Bland-Altman-Plot zum Vergleich der Erstmessung (Messung1) und der Zweitmessung (Messung2) des Overjets

### 5.3 Histogramme

Die Histogramme der Abbildungen 28.–41. zeigen die Häufigkeit der Streckenlängen verteilt in unterschiedliche Klassen. Zum Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Probanden zum Zeitpunkt der SHIP-0-Untersuchung (T0) und der SHIP-3-Untersuchung (T1) wurden die entsprechenden Histogramme einander gegenübergestellt.

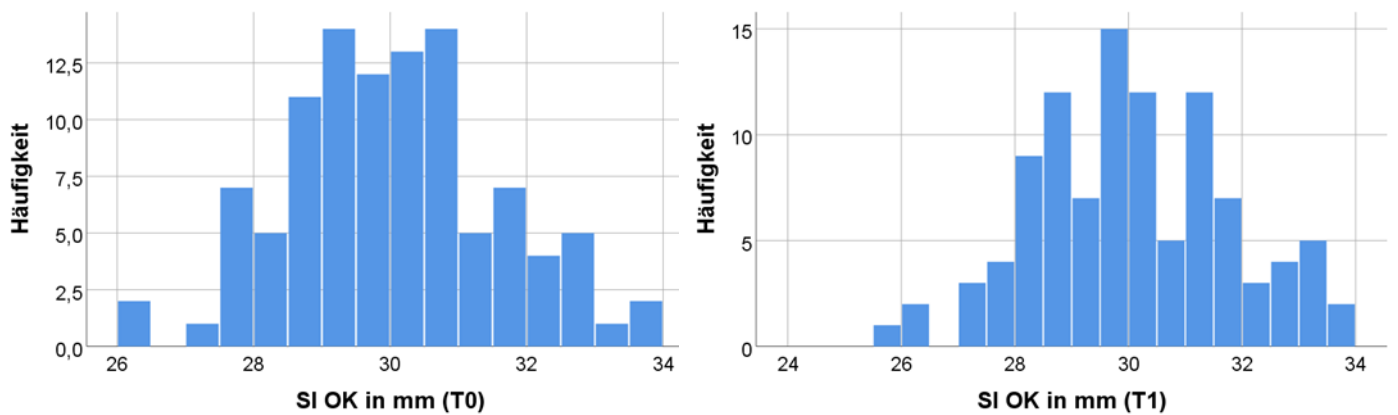


Abb. 28.: Verteilung der Schneidekantenbreitensumme im Oberkiefer (SI OK) zum Zeitpunkt T0 und T1

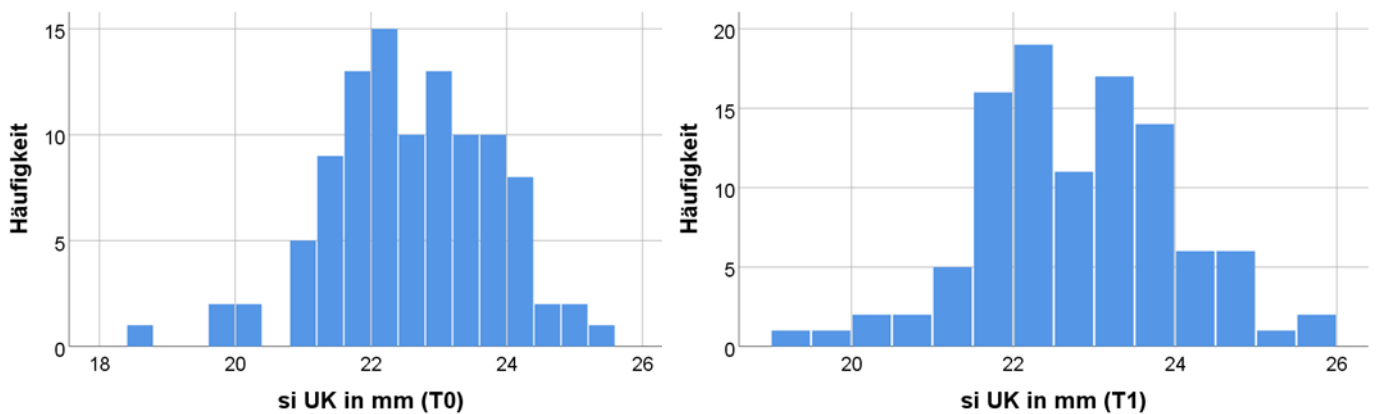
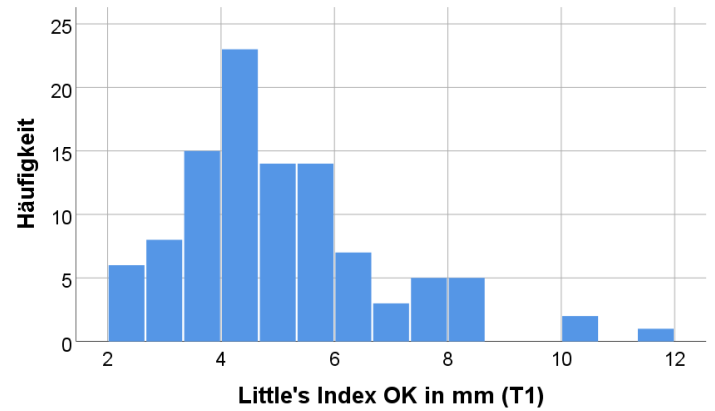
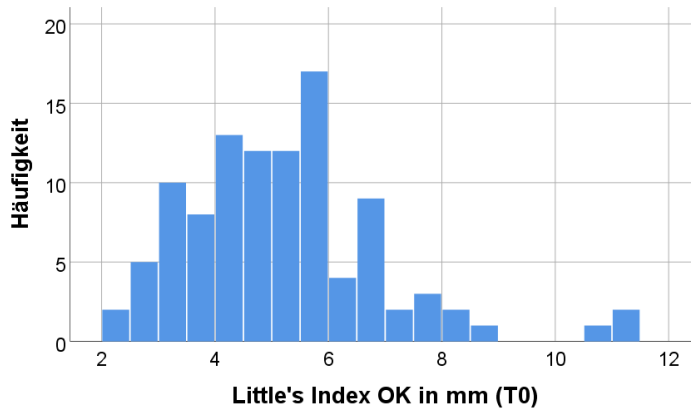
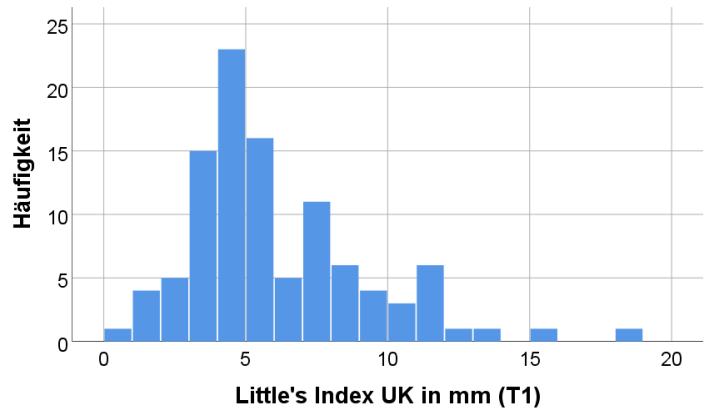
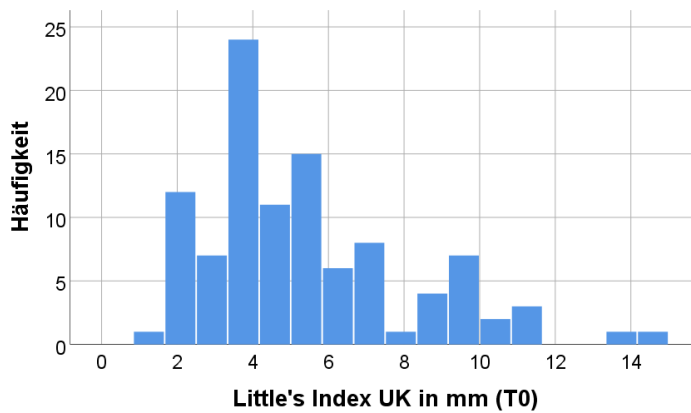


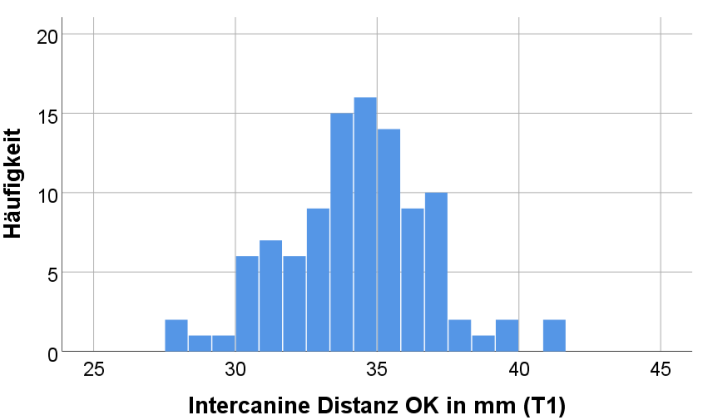
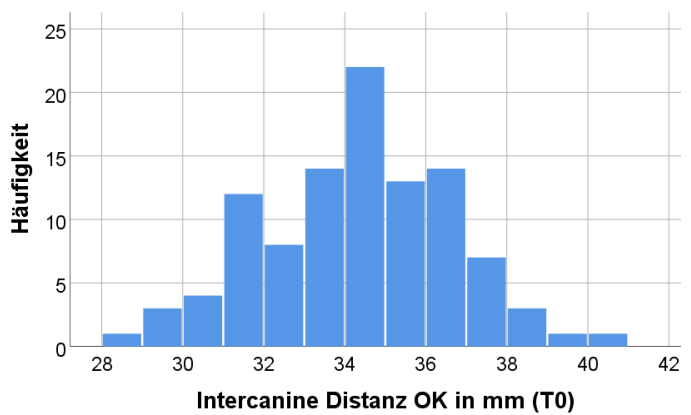
Abb. 29.: Verteilung der Schneidekantenbreitensumme im Unterkiefer (si UK) zum Zeitpunkt T0 und T1



**Abb. 30.:** Verteilung von Little's Irregularity Index im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1



**Abb. 31.:** Verteilung von Little's Irregularity Index im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1



**Abb. 32.:** Verteilung der Intercaninen Distanz im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1

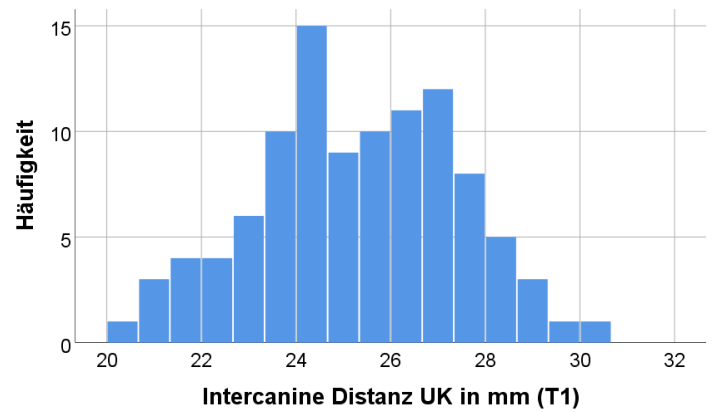
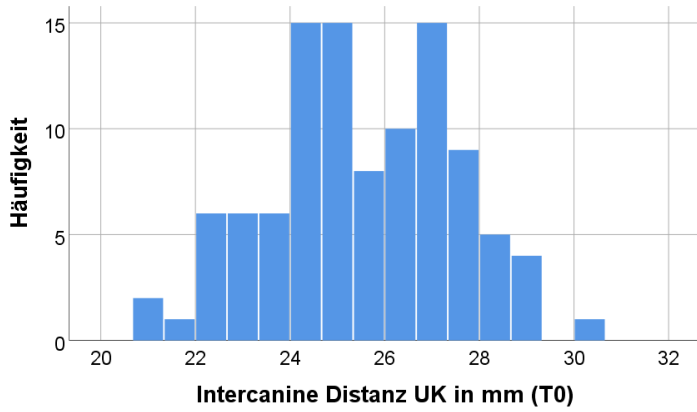


Abb. 33.: Verteilung der Intercaninen Distanz im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1

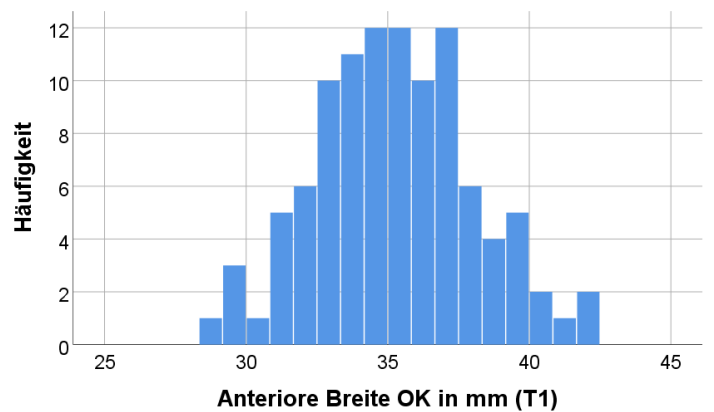
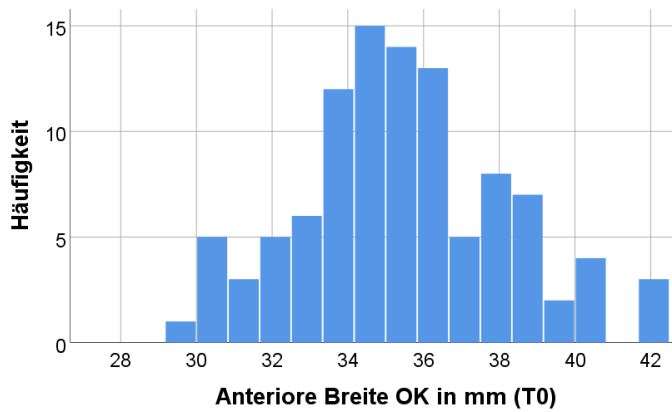


Abb. 34.: Verteilung der Anterioren Breite im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1

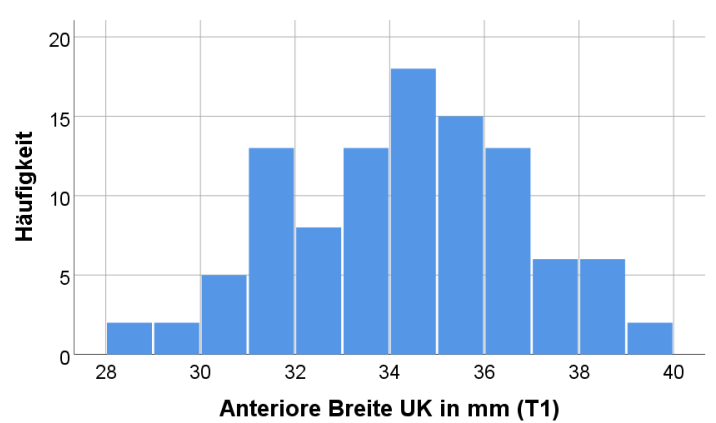
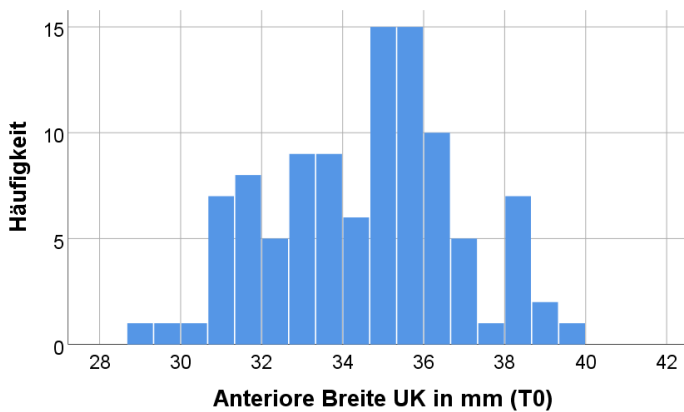
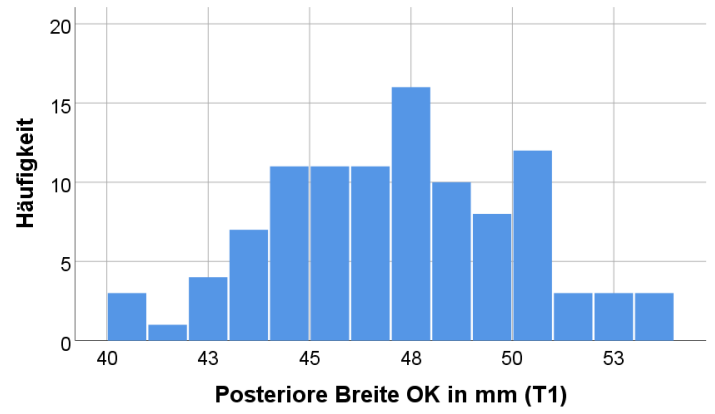
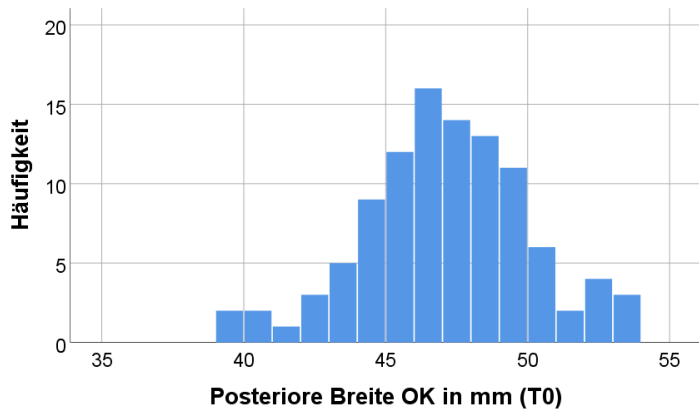
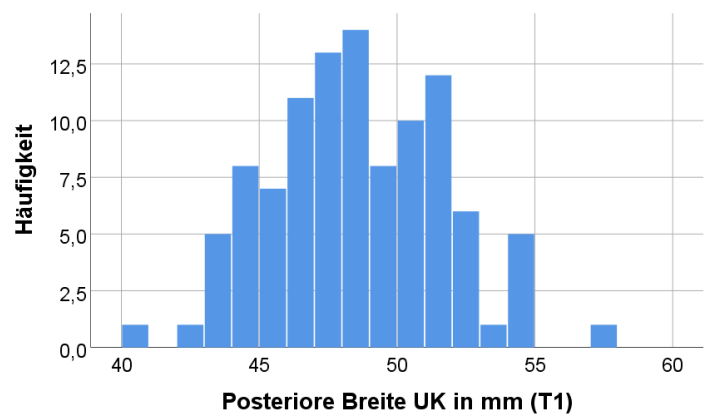
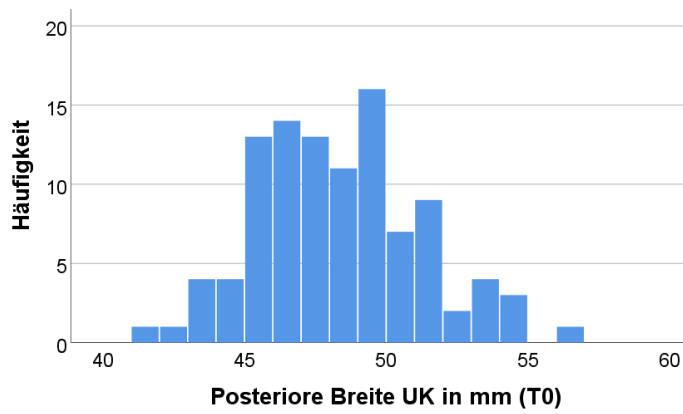


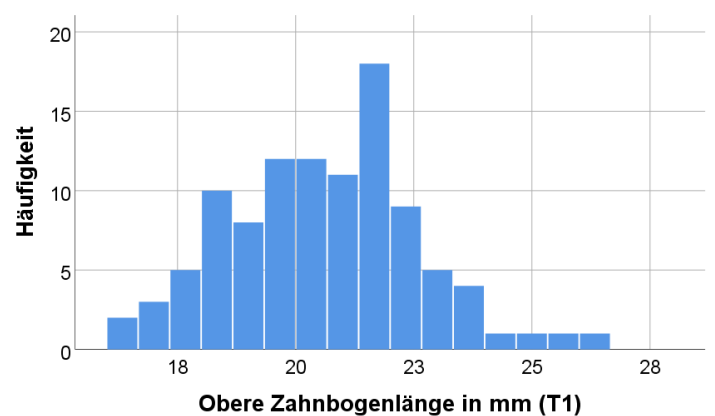
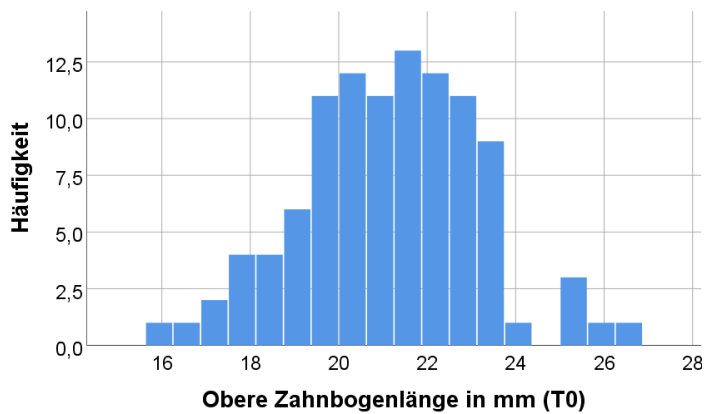
Abb. 35.: Verteilung der Anterioren Breite im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1



**Abb. 36.:** Verteilung der Posterioren Breite im Oberkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1



**Abb. 37.:** Verteilung der Posterioren Breite im Unterkiefer zum Zeitpunkt T0 und T1



**Abb. 38.:** Verteilung der oberen Zahnbogenlänge zum Zeitpunkt T0 und T1



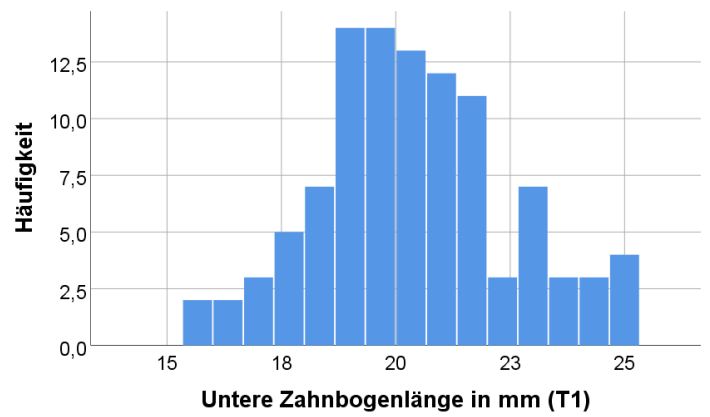
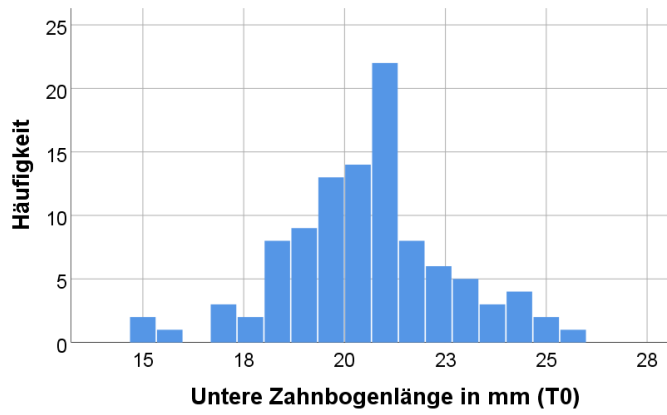


Abb. 39.: Verteilung der unteren Zahnbogenlänge zum Zeitpunkt T0 und T1

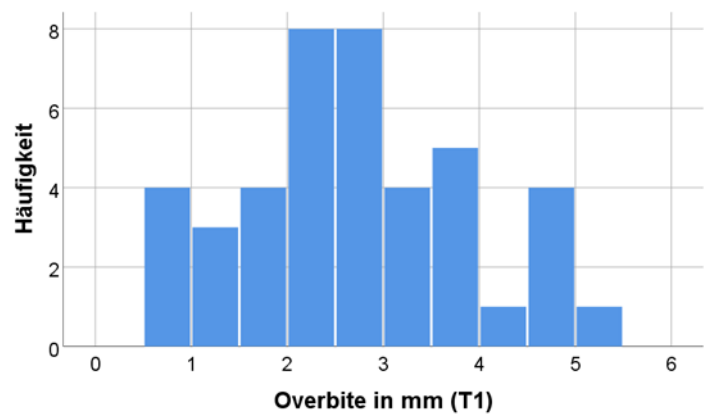
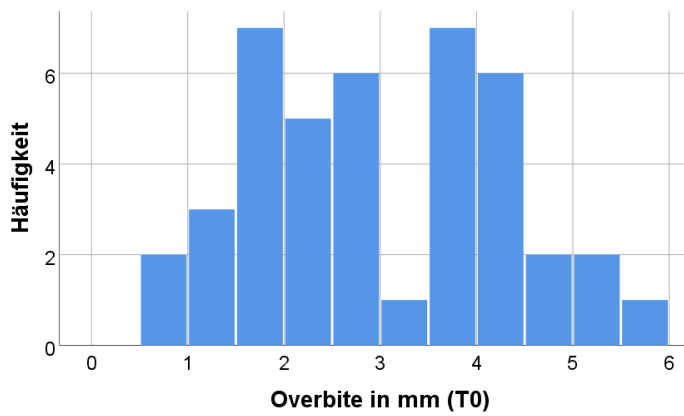


Abb. 40.: Verteilung des Overbite zum Zeitpunkt T0 und T1

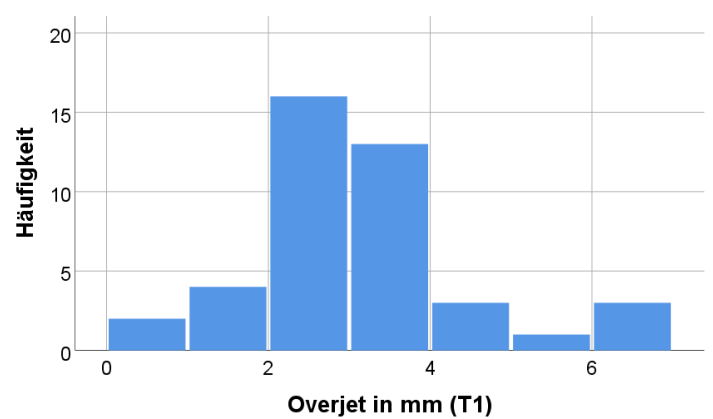
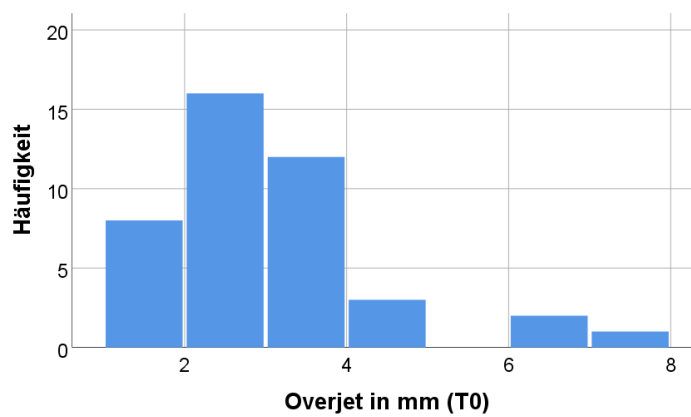


Abb. 41.: Verteilung des Overjet zum Zeitpunkt T0 und T1

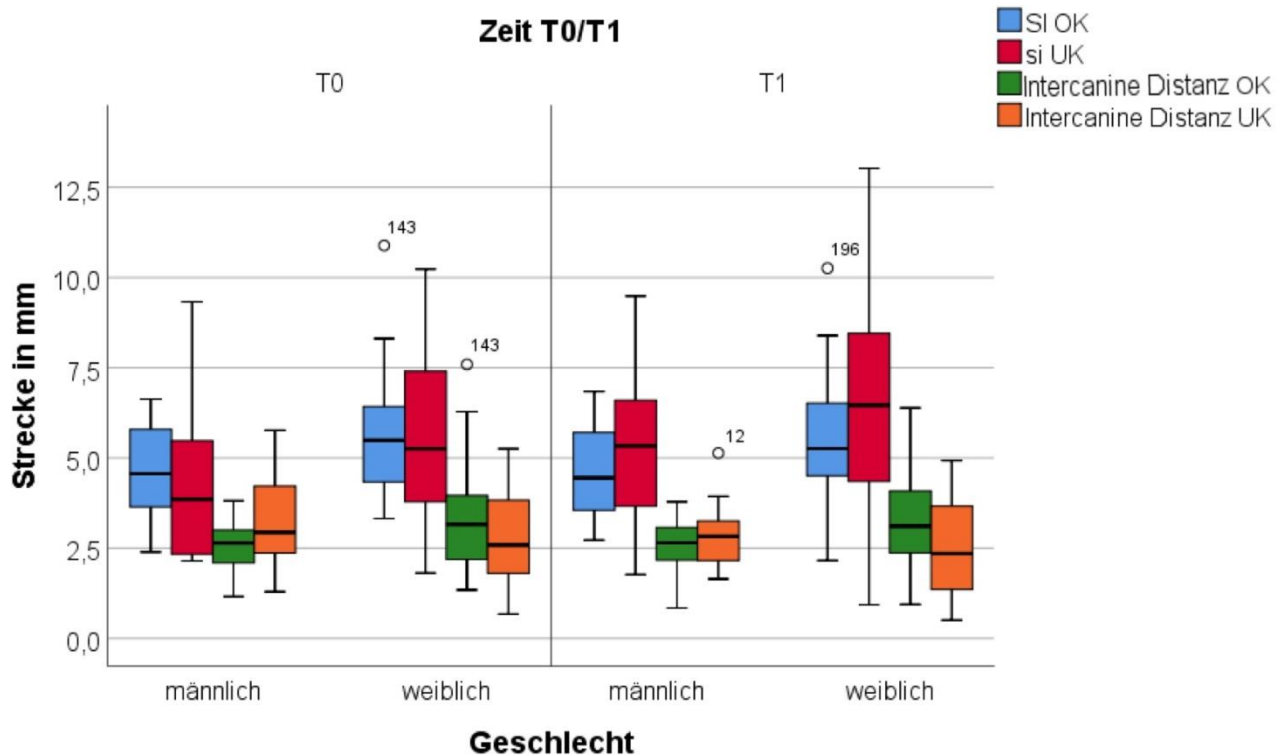
## 5.4 Box-Whisker-Plots

Die folgenden Box-Whisker-Plots der Abbildungen 42.–45. stellen die Unterschiede der Verteilung der Streckenlängen bei den männlichen und weiblichen Probanden der Studie, sowie ihre Veränderung vom Zeitpunkt der SHIP-0-Untersuchung (T0) und der SHIP-3-Untersuchung (T1) dar.

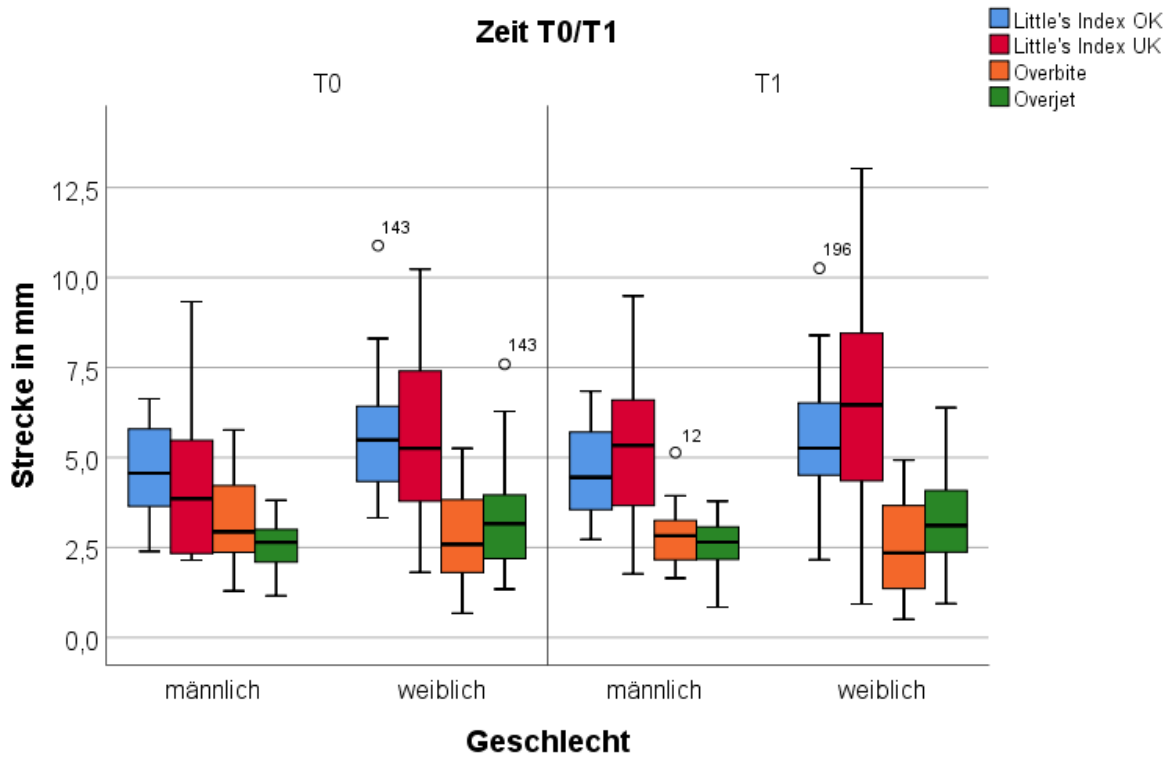
Die Werte bei den Box-Whisker-Plots wurden getrennt geschlechtsdifferent wie folgt aufgeteilt:

- Minimumwert= 0% Quartil
- 25% Quartil
- Medianwert = 50% Quartil
- 75% Quartil
- Maximumwert = 100% Quartil

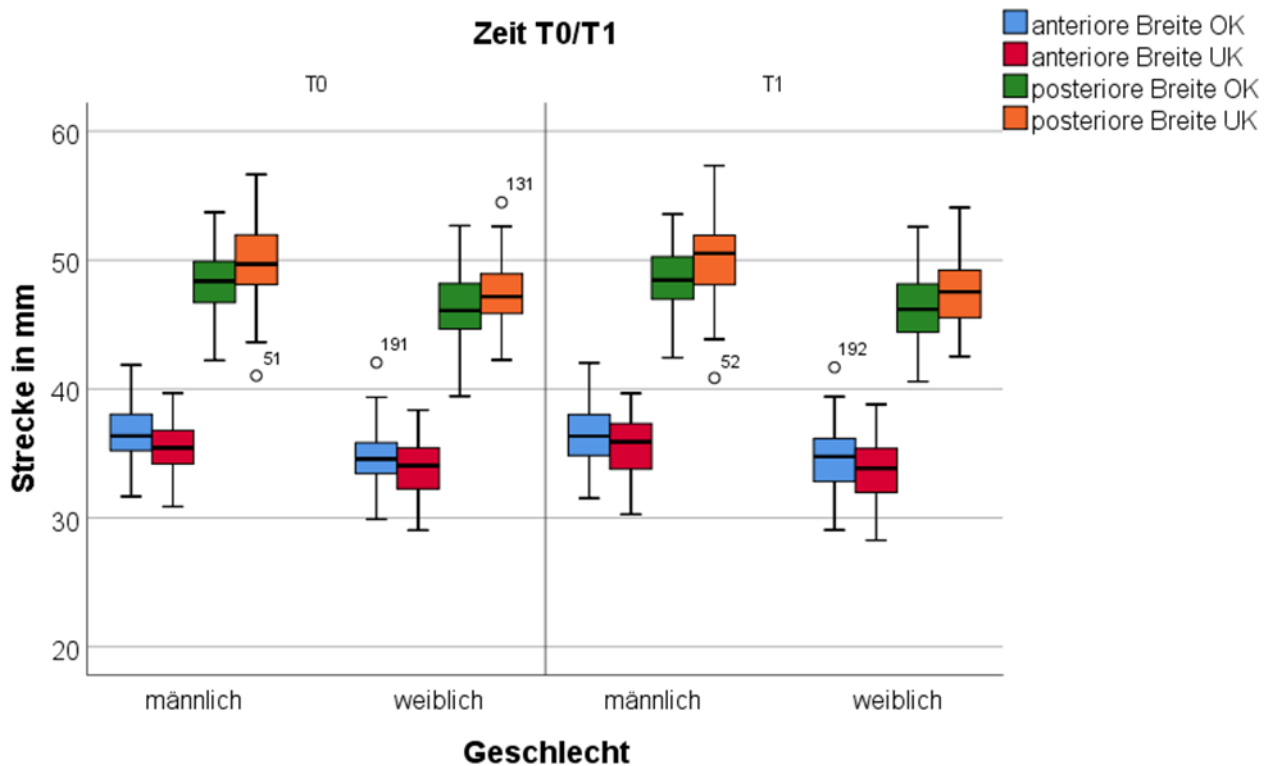
Die Box spannt sich zwischen dem 1. und dem 3. Quartil auf. Innerhalb der Box ist der Medianwert gekennzeichnet. Die Whisker zeigen jeweils den Minimumwert und den Maximumwert an. Ausreißer sind als Werte, die außerhalb der Box liegen und einen mehr als 1,5-fachen Abstand zum Interquartilsabstand haben, definiert.



**Abb. 42.:** Verteilung der Schneidekantenbreitensumme (SI OK; si UK) und der Intercaninen Distanz zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden



**Abb. 43.:** Verteilung von Little's Irregularity Index, dem Overbite und dem Overjet zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden



**Abb. 44.:** Verteilung der anterioren Breite und der posterioren Breite zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden

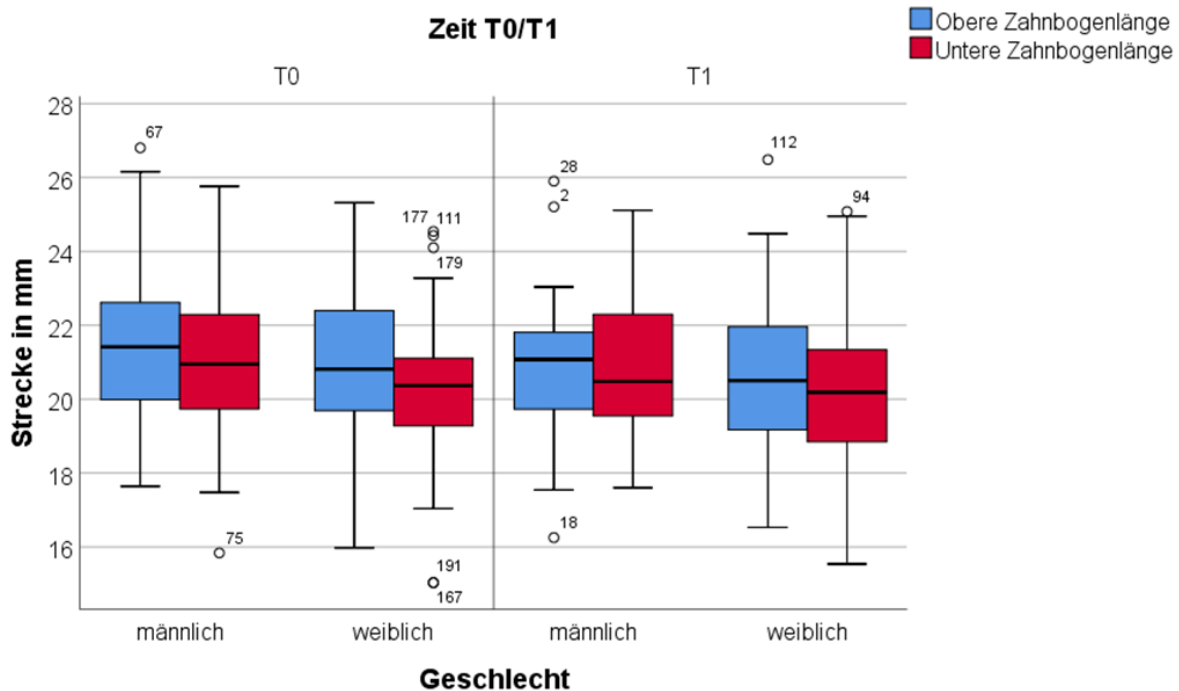


Abb. 45.: Verteilung der oberen und unteren Zahnbogenlänge zum Zeitpunkt T0 und T1 bei den männlichen und weiblichen Probanden

## 5.5 Unterschiede der untersuchten Strecken in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die nachfolgende Tabelle 15. enthält die Mittelwerte MW-m für die männlichen und MW-w für die weiblichen Probanden für die untersuchten Strecken zum Zeitpunkt T0 und T1, sowie die dazugehörigen Standardabweichungen. Unterschiede der Mittelwerte ergeben sich aus der Differenz der Mittelwerte MW-w und MW-m. Der t-Test für zwei unverbundene Stichproben wurde zur Überprüfung der Signifikanz der Unterschiede berechnet. Da für beide Geschlechter eine Stichprobengröße  $n \geq 25$  vorliegt, wurde eine normalverteilte Stichprobenverteilung angenommen. Eine Ausnahme bildet der Overbite und der Overjet der männlichen Probanden. Für diese Werte wurde daher der Shapiro-Wilk-Test berechnet. Dieser ist für keinen Wert auf dem Signifikanzniveau  $\alpha = 0,5$  signifikant geworden. Eine Normalverteilung wurde somit auch für diese Werte angenommen. Zur Überprüfung der Varianzhomogenität wurde der Levene-Test berechnet. Für die Werte des Overbite zum Zeitpunkt T1 ( $p = 0,02$ ) sowie die Werte des Overjet zum Zeitpunkt T0 ( $p = 0,02$ ) und T1 ( $p = 0,02$ ) besteht gemäß dem Levene-Test keine Varianzhomogenität. Für diese Werte wurde daher anstelle des t-Tests der Welch-Test berechnet. Das Ergebnis des t-Tests und des

Welch-Tests wird mit der Irrtumswahrscheinlichkeit p angegeben. Die signifikanten Mittelwertunterschiede sind durch Fettdruck hervorgehoben und werden mit der Effektgröße Cohens d angegeben.

**Tabelle 15.** Unterschiede der untersuchten Strecken zwischen Männern und Frauen. Variablennummer (Nr.), Zeitpunkt der Messung (Zeitpunkt), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert der Männer (MW-m), Mittelwert der Frauen (MW-w), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW-m und MW-w (MW Differenz), Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für den t-Test, Irrtumswahrscheinlichkeit (p) für den Welchtest mit \* markiert mit jeweils  $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d

Zeitpunkt	Strecken	n	MW-m (mm)	SD	n	MW-w (mm)	SD	MW Differenz	p	Cohens d
T0	OKSI	40	30,3	0,24	63	29,9	0,20	- 0,4 mm	0,20	
T1	OKSI	40	30,3	0,28	63	29,9	0,16	- 0,4 mm	0,19	
T0	UKsi	40	23,0	0,17	63	22,4	0,16	- 0,6 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,5
T1	UKsi	40	23,2	0,19	63	22,5	0,14	- 0,7 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,6
T0	OKLI	40	5,2	0,27	63	5,2	0,23	< 0,0 mm	0,92	
T1	OKLI	40	4,7	0,27	63	5,2	0,23	0,5 mm	0,14	
T0	UKLI	40	5,0	0,52	63	5,6	0,30	0,6 mm	0,35	
T1	UKLI	40	5,8	0,58	63	6,3	0,34	0,5 mm	0,36	
T0	IntercanOK	40	35,1	0,34	63	33,9	0,31	- 1,2 mm	<b>0,02</b>	0,5
T1	IntercanOK	40	35,1	0,36	63	33,8	0,33	- 1,3 mm	<b>0,01</b>	0,5
T0	IntercanUK	40	26,0	0,29	63	25,2	0,25	- 0,8 mm	0,05	
T1	IntercanUK	40	25,7	0,35	63	25,0	0,26	- 0,7 mm	0,15	
T0	AntBrOK	40	36,5	0,40	63	34,8	0,32	- 1,7 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,7
T1	AntBrOK	40	36,5	0,40	63	34,5	0,33	- 2 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,8
T0	AntBrUK	40	35,4	0,35	63	34,0	0,27	- 1,4 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,7
T1	AntBrUK	40	35,5	0,39	63	33,6	0,28	- 1,9 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,8
T0	PostBrOK	40	48,4	0,44	63	46,3	0,35	- 2,1 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,8
T1	PostBrOK	40	48,5	0,43	63	46,4	0,36	- 2,1 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,8
T0	PostBrUK	40	49,8	0,49	63	47,4	0,30	- 2,4 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,9
T1	PostBrUK	40	50,0	0,53	63	47,6	0,33	- 2,4 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,8
T0	LO	40	21,4	0,32	63	21,0	0,26	- 0,4 mm	0,36	
T1	LO	40	20,8	0,31	63	20,5	0,26	- 0,3 mm	0,50	
T0	LU	40	21,2	0,33	63	20,2	0,24	- 1,0 mm	<b>0,02</b>	0,5
T1	LU	40	20,8	0,33	63	20,1	0,27	- 0,7 mm	0,12	
T0	Overbite	16	3,2	0,30	26	2,9	0,27	- 0,3 mm	0,38	
T1	Overbite	16	2,9	0,22	26	2,6	0,28	- 0,3 mm	0,52*	
T0	Overjet	16	2,6	0,19	26	3,3	0,31	0,7 mm	<b>0,04*</b>	-0,5
T1	Overjet	16	2,6	0,19	26	3,4	0,29	0,8 mm	<b>0,03*</b>	-0,6

## 5.6 Beschreibung der Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter

In der folgenden Tabelle 16. sind die Mittelwerte MW1 für die untersuchten Strecken zum Zeitpunkt T0 und MW2 zum Zeitpunkt T1 angegeben, ebenso wie die dazugehörigen Standardabweichungen. Die Mittelwertänderung ergibt sich aus der Differenz der Mittelwerte MW2 und MW1. Zur Überprüfung der Signifikanz der Mittelwertänderung wurde der t-Test für zwei verbundene Stichproben auf dem Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  durchgeführt. Da die Probandenanzahl  $n \geq 25$  wird dabei nach dem zentralen Grenzwertsatz die Normalverteilung der Stichprobenmittelwerte vorausgesetzt (Weiß 2019). Das Ergebnis wird mit der Irrtumswahrscheinlichkeit p angegeben. Die signifikanten Mittelwertänderungen sind durch Fettdruck hervorgehoben und mit der Effektgröße Cohens d angegeben.

**Tabelle 16.** Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter. Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert 1 (MW1), Mittelwert 2 (MW2), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW1 und MW2 (MW Differenz), t-Test Irrtumswahrscheinlichkeit (p) mit  $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d

Strecken	n	MW1 (mm)	SD	MW2 (mm)	SD	MW Dif- ferenz	p	Cohens d
OKSI	103	30,0	1,55	30,0	1,74	< 0,0 mm	0,80	
UKsi	103	22,6	1,21	22,8	1,21	0,2 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,4
OKLI	103	5,2	0,17	5,0	0,18	- 0,2 mm	0,34	
UKLI	103	5,4	0,28	6,1	0,31	0,7 mm	<b>&lt;0,01</b>	-0,4
IntercanOK	103	34,4	2,38	34,3	2,55	- 0,1 mm	0,38	
IntercanUK	103	25,5	1,98	25,3	2,13	- 0,2 mm	<b>0,01</b>	-0,3
AntBrOK	103	35,5	2,67	35,3	2,76	- 0,2 mm	<b>0,01</b>	-0,3
AntBrUK	103	34,6	2,25	34,3	2,48	- 0,3 mm	<b>0,01</b>	-0,3
PostBrOK	103	47,1	2,95	47,2	2,97	0,1 mm	0,32	
PostBrUK	103	48,3	2,92	48,5	3,14	0,2 mm	0,11	
LO	103	21,1	2,04	20,6	2,02	- 0,5 mm	<b>&lt;0,01</b>	-0,4
LU	103	20,6	2,00	20,4	2,11	- 0,2 mm	0,24	
Overbite	42	3,0	0,20	2,7	0,19	- 0,3 mm	<b>0,04</b>	-0,3
Overjet	42	3,0	0,21	3,1	0,20	0,1 mm	0,79	

Zusätzlich wurden die Veränderungen mit dem Alter für jedes Geschlecht einzeln untersucht. In der folgenden Tabelle 17. sind die beiden Mittelwerte MW1 und MW2 für die männlichen Probanden angegeben, ebenso wie die dazugehörigen Standardabweichungen und die Mittelwertdifferenz. Die Tabelle 18. enthält die jeweiligen Werte für die weiblichen Probandinnen. Da die Probandenanzahl für jede Strecke und jedes Geschlecht  $n \geq 25$  wird dabei nach dem

zentralen Grenzwertsatz die Normalverteilung der Stichprobenmittelwerte vorausgesetzt. Eine Ausnahme bildet der Overbite und der Overjet der männlichen Probanden. Für diese beiden Werte wurde daher der Shapiro-Wilk-Test für die Differenz der Mittelwerte MW2 und MW1 berechnet. Dieser ist für keine der Werte auf dem Signifikanzniveau  $\alpha = 0,5$  signifikant geworden. Eine Normalverteilung wurde somit auch für diese Werte angenommen.

Daher wurde der t-Test für zwei verbundene Stichproben zur Überprüfung auf Signifikanz der Mittelwertänderung auf dem Signifikanzniveau  $\alpha = 0,5$  durchgeführt. Das Ergebnis ist ebenfalls den Tabellen 17. für die männlichen und 18. für die weiblichen Probanden zu entnehmen und wird mit der Irrtumswahrscheinlichkeit p sowie der Effektgröße Cohens d angegeben.

**Tabelle 17.** Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter bei den männlichen Probanden. Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert 1 (MW1), Mittelwert 2 (MW2), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW1 und MW2 (MW Differenz), t-Test Irrtumswahrscheinlichkeit (p) mit  $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d

<b>Strecken</b>	<b>n</b>	<b>MW1 (mm)</b>	<b>SD</b>	<b>MW2 (mm)</b>	<b>SD</b>	<b>MW Dif- ferenz</b>	<b>p</b>	<b>Cohens d</b>
OKSI	40	30,3	1,50	30,3	1,77	< 0,0 mm	0,69	
UKsi	40	23,0	1,08	23,2	1,21	0,2 mm	0,05	
OKLI	40	5,2	1,72	4,7	1,70	- 0,5 mm	0,08	
UKLI	40	5,1	3,27	5,8	3,68	0,7	<b>&lt;0,01</b>	0,5
IntercanOK	40	35,1	2,16	35,1	2,31	< 0,0 mm	0,64	
IntercanUK	40	26,0	1,84	25,7	2,22	- 0,3 mm	0,11	
AntBrOK	40	36,5	2,52	36,5	2,54	< 0,0 mm	0,49	
AntBrUK	40	35,4	2,19	35,5	2,46	0,1 mm	0,89	
PostBrOK	40	48,4	2,77	48,5	2,72	0,1 mm	0,46	
PostBrUK	40	49,8	3,09	50,0	3,36	0,2 mm	0,63	
LO	40	21,4	2,03	20,8	1,95	- 0,6 mm	<b>0,01</b>	-0,4
LU	40	21,2	2,07	20,8	2,08	- 0,4 mm	0,27	
Overbite	16	3,2	1,21	2,9	0,90	- 0,3 mm	0,06	
Overjet	16	2,6	0,75	2,6	0,75	< 0,0 mm	0,98	

**Tabelle 18.** Änderung der untersuchten Strecken mit dem Alter bei den weiblichen Probandinnen. Variablennummer (Nr.), Variablenabkürzung (Strecke), Probandenzahl (n), Mittelwert 1 (MW1), Mittelwert 2 (MW2), Standardabweichung (SD), Differenz der Mittelwerte MW1 und MW2 (MW Differenz), t-Test Irrtumswahrscheinlichkeit (p) mit  $\alpha = 0,05$ , Effektgröße Cohens d

<b>Strecken</b>	<b>n</b>	<b>MW1 (mm)</b>	<b>SD</b>	<b>MW2 (mm)</b>	<b>SD</b>	<b>MW Dif- ferenz</b>	<b>p</b>	<b>Cohens d</b>
OKSI	63	29,9	1,57	29,9	1,71	< 0,0 mm	0,91	
UKsi	63	22,4	1,24	22,5	1,15	0,1 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,4
OKLI	63	5,2	1,79	5,2	1,85	< 0,0 mm	0,74	
UKLI	63	5,6	2,38	6,3	2,71	0,33 mm	<b>&lt;0,01</b>	0,5
IntercanOK	63	33,9	2,43	33,8	2,59	- 0,1 mm	0,18	
IntercanUK	63	25,2	2,02	25,0	2,05	- 0,2 mm	<b>0,03</b>	-0,3
AntBrOK	63	34,8	2,54	34,5	2,65	- 0,3 mm	<b>0,02</b>	-0,3
AntBrUK	63	34,0	2,11	33,6	2,23	- 0,4 mm	<b>&lt;0,01</b>	-0,6
PostBrOK	63	46,3	2,77	46,4	2,83	0,1 mm	0,48	
PostBrUK	63	47,4	2,39	47,6	2,65	0,2 mm	<b>0,02</b>	0,3
LO	63	21,0	2,05	20,5	2,08	- 0,5 mm	<b>&lt;0,01</b>	-0,4
LU	63	20,2	1,88	20,1	2,11	- 0,1 mm	0,60	
Overbite	26	2,9	1,36	2,6	1,43	- 0,3 mm	0,23	
Overjet	26	3,3	1,56	3,4	1,50	0,1 mm	0,78	



## 6 Diskussion

### 6.1 Diskussion der Methodik

Viele nationale und internationale Studien, welche die Wachstumsveränderungen bei Erwachsenen analysieren, zeigen Veränderungen vom jungen Erwachsenenalter bis in das mittlere Erwachsenenalter hinein (u. a. Knott 1972; DeKock 1972; Sinclair und Little 1983; Bondevik 1998; Richardson 1995; Akgül und Toygar 2002; Jonsson et al. 2009). In der vorliegenden Studie wurden Probanden vom 21. bis zum 52. Lebensjahr zum Zeitpunkt T0 und vom 37. bis zum 68. Lebensjahr zum Zeitpunkt T1 untersucht, sodass das jugendliche Restwachstum weitgehend ausgeschlossen werden kann. Die Studienlage zeigt zudem, dass die Veränderungen mit dem Alter subtil sind (u. a. Bondevik 1998; Carter und McNamara 1998; Heikinheimo et al. 2012). Daher ist für die Analysen der Altersveränderungen zusätzlich zu einem möglichst großen Untersuchungszeitraum auch eine große Anzahl an Probanden erforderlich. Diese Voraussetzungen konnten mit Hilfe der SHIP-Studie erfüllt werden.

Bei den Probanden der vorliegenden Studie handelt es sich um Kaukasier. Die Zahnbogendimensionen und ihre Veränderungen beziehen sich somit entsprechend auf Probanden kaukasischer Abstammung.

Für die Vermessung aller Zahnbogendimensionen waren die Teilnahme an SHIP-0 sowie SHIP-3, das Vorhandensein aller Zähne von 6-6 sowie eine gute Erkennbarkeit ihrer Strukturen notwendig. Durch diese strengen Auswahlkriterien verringerte sich die Anzahl der Probanden von 666 auf 103. Die Auswahl der Probanden ist daher nicht repräsentativ für SHIP-0. Die höhere Zahnzahl und die erneute Teilnahme an SHIP-3 sind vermutlich auf das erhöhte Gesundheitsbewusstsein und eine entsprechende Lebensweise, und auch eine bessere Schulbildung der Probanden zurückzuführen.

Weiterentwicklungen in der Computer und Laser Scanner Technologie machen es möglich, dreidimensionale Modellvermessungen mit hoher Genauigkeit vorzunehmen. Wir konnten zeigen, dass lineare Messungen an digitalen Modellen zu reproduzierbaren und zuverlässigen Ergebnissen führen (Zilberman et al. 2003; Costalos et al. 2005; Mayers et al. 2005; Dalstra und Melsen 2009; Leifert et al. 2009). Obwohl die meisten Studien, welche die Veränderungen der alternden Dentition untersuchen,

zweidimensionale Messungen am Gipsmodell nutzen, hat sich die Vermessung der dreidimensionalen Datensätze von digitalisierten Modellen bereits in vorangegangenen Untersuchungen bewährt (Carter und McNamara 1998; Dager et al. 2008; Tanoi et al. 2012; Massaro et al. 2018).

Der Methodenfehler nach Dahlberg (1940) war auch in der vorliegenden Studie im Mittel mit 0,31 mm im Bereich von 0,05 mm bis 1,02 mm für die einzelnen Strecken gering. Besonders ungenau war der Little's Irregularity Index im Unterkiefer mit 1,02 mm, und im Oberkiefer mit 0,61 mm, da sich dieser jeweils aus 10 unterschiedlichen Messpunkten zusammensetzt. Um eine Beeinträchtigung der Ergebnisse durch persönliche Präferenzen auszuschließen, erfolgte die Vermessung der Modelle durch denselben Untersucher.

Durch die Anwendung von Alginat (Palgaflex) bei der Abformung der Modelle zum Zeitpunkt T0 und der Verwendung von Status Blue (DMG) zum Zeitpunkt T1 ist ein systematischer Fehler der Materialien entstanden. Dieser sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

## **6.2 Diskussion der Ergebnisse**

Bekanntlich finden auch beim Erwachsenen weiterhin körperliche Wachstums- und Formveränderungen statt (u. a. Hrdlička, 1936; Israel 1973; Behrents 1985; Ross und Williams 2010). Bei der Dentition handelt es sich dabei um ein dynamisches System, in welchem die Zähne nach ihrem intraalveolären Durchbruch in die Okklusion einem komplizierten Zusammenspiel verschiedener Kräfte ausgesetzt sind. Auf sie wirken sich u. a. die Anwesenheit oder Abwesenheit benachbarter Zähne aus, der Einfluss durch das Wachstum der Kiefer und speziell des Alveolarfortsatzes, die Beeinflussung durch die Muskulatur von Lippe, Wange und Zunge, sowie der Einfluss der Kaumuskulatur über die Verzahnung der Höcker und die Erscheinungen von okklusaler Abrasion und approximaler Attrition während der Nutzungsphase des permanenten Gebisses (Moyers 1984; Proffit et al. 2012). Die Neigung der Zähne, sich nach mesial hin zu bewegen, wurde durch die Mesialdrift und die anteriore Kraftkomponente beschrieben. Die Mesialdrift beschreibt die starke Tendenz der Zähne nach mesial zu driften, und bleibt das ganze Leben lang erhalten (Trauner 1912; Downs 1938; Moyers 1984). Die anteriore Kraftkomponente wird häufig mit der Mesialdrift

verwechselt und beschreibt die Beobachtung, dass die axiale Inklination der Zähne dazu führt, dass die Kaukräfte über die okklusalen Kontaktpunkte der Zähne bei der Okklusion nach mesial gerichtet sind (Moyers 1984; Southard et al. 1989; Southard et al. 1990). Ihr wirken die Approximalkontakte der Zähne sowie die Muskulatur von Wangen und Lippen entgegen. Bei einer Malokklusion beziehungsweise bei inkorrekturer Verzahnung können die okklusalen Kräfte den Zahn jedoch auch in eine andere Richtung bewegen (Moyers 1984). Eine zusätzliche anteriore Kraftkomponente entsteht durch die Bewegung des Unterkiefers nach oben und vorne (Stallard 1923). Durch die Vielzahl an Kraftkomponenten, welche sich auf die Zähne auch im Erwachsenenalter weiterhin auswirken, haben wir für die vorliegende Studie Veränderungen der Zahnbogendimensionen über die Zeit erwartet. Veränderungen durch lokale pathologische Einflüsse wie kariöse Läsionen und Zahnverlust konnten durch die Auswahlkriterien für die Modelle weitgehend ausgeschlossen werden.

Obwohl die Veränderungen in der vorliegenden Studie im allgemeinen gering waren, möglicherweise aufgrund der häufig hohen Standardabweichungen, waren doch viele Veränderungen statistisch signifikant und mit vorrangegangenen Untersuchungen vereinbar.

Die Veränderungen deuten darauf hin, dass sich die intercanine Breite und die anteriore Breite verkleinern, die posteriore Breite nahezu unverändert bleibt mit einer Tendenz hin zur Vergrößerung und dass sich die Zahnbogenlänge verkleinert. Die Zahnbogenform scheint sich mit steigendem Alter somit hin zu einem kürzeren Zahnbogen, welcher nach anterior hin schmaler wird, zu verändern. Dabei ist es bemerkenswert, dass sich der Engstand im Frontzahnbereich des Unterkiefers mit der Zeit verstärkt, während die Platzverhältnisse im Oberkieferfrontzahnbereich mit einer Tendenz hin zur Vergrößerung des Platzangebotes stabil bleiben.

Beim Vergleich der Werte der Messstrecken zwischen den männlichen und weiblichen Probanden zeigte sich für die meisten der untersuchten Variablen ein Geschlechtsdimorphismus. Dieser zeichnete sich vor allem durch die größeren Messwerte bei den männlichen Probanden im Vergleich zu den weiblichen Probanden aus. Die Schneidekantenbreitensumme des Unterkiefers, die intercanine Distanz beider Kiefer, die anteriore und posteriore Breite des Ober- und des Unterkiefers sowie die Zahnbogenlänge des Unterkiefers waren dabei bei den männlichen Probanden signifikant größer. Diese Beobachtung entspricht dem Geschlechtsdimorphismus, welcher auch durch Harris (1997), Carter und McNamara (1998), Richardson und Gormley (1998), sowie Bondevik (2015) festgestellt worden ist. Dieser ist

möglicherweise auf den Geschlechtsunterschied der Zahngröße zurückzuführen, der von Moyers (1984) beschrieben wird.

### **6.2.1 Veränderungen der Zahnbogenbreite**

Die Ergebnisse aus Studien des frühen jugendlichen permanenten Gebisses ließen für die intercanine Distanz konstante Werte vermuten ( u. a. Moorrees und Chadha 1965; Knott 1972; Gardner und Chaconas 1976; Sinclair und Little 1983).

In der vorliegenden Studie blieb die intercanine Distanz im Oberkiefer mit einer Tendenz hin zur Verkleinerung nahezu unverändert, während im Unterkiefer eine Abnahme dieses Parameters beobachtet wurde, welcher in der Gesamtgruppe sowie bei den Frauen statistisch signifikant war. Auch Bondevik (1998), Tibana (2004) und Massaro et al. (2018) stellten eine signifikante Verringerung nur für den Unterkiefer fest. Weitere Studien mit erwachsenen Probanden zeigten eine signifikante Verringerung beider Strecken. Es zeichnete sich jedoch stets dasselbe Muster ab, mit einer deutlich stärkeren Verringerung der intercaninen Distanz im Unterkiefer im Vergleich zum Oberkiefer (u.a. Bishara et al. 1994; Carter und McNamara 1998; Akgül und Toygar 2002; Thilander 2009; Tsiopas et al. 2013). Die gemeinsamen Befunde deuten darauf hin, dass es sich bei der Abnahme der intercaninen Distanz vor allem im Unterkiefer um ein normales Phänomen der Alterung handelt. Eine Ursache dafür könnte die Mesialdrift der Zähne und die anteriore Kraftkomponente sein.

Die anteriore Breite verringerte sich signifikant sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer der Gesamtgruppe sowie bei den weiblichen Probanden, ebenso wie in den Studien von Knott (1972) und Carter und McNamara (1998). Dager et al. (2008) stellten ebenfalls eine signifikante Verringerung dieses Parameters im Unterkiefer fest. In anderen Studien war die Veränderung der anterioren Breite jedoch nicht signifikant (u.a. Bishara et al. 1994; Akgül und Toygar 2002; Massaro et al. 2018) ebenso wie in der Gruppe der männlichen Probanden unserer Studie. Die unterschiedlichen Ergebnisse könnten auf die deutlich höhere Probandenanzahl unserer Studie zurückzuführen sein und deuten zudem darauf hin, dass die Verringerung der anterioren Breite bei den weiblichen Probanden ausgeprägter ist. Harris (1997) stellte jedoch eine Vergrößerung der anterioren Breite an Erwachsenen fest.

Bezogen auf die posteriore Breite zeigt die Literatur eine Zunahme (u.a. Harris 1997; Bondevik 1998) oder auch eine Abnahme (u.a. Carter und McNamara 1998; Akgül and Toygar 2002) der Zahnbogenbreite. In unserer Studie wurde zwar insgesamt ein Anstieg

verzeichnet, doch die Veränderungen waren gering und lediglich im Unterkiefer der weiblichen Probanden signifikant unterschiedlich. Die Beobachtungen der Veränderungen an den anterioren und posterioren Breiten sind daher unbestimmter als die Kieferverschmälerung zwischen den Eckzähnen des Unterkiefers.

Sie deuten jedoch darauf hin, dass die Veränderungen der Zahnbogenbreiten mit dem Alter einen mesiodistalen Gradienten aufweisen, mit nach anterior hin schmaler werdenden Zahnbögen. Diese Beobachtung ist trotz unterschiedlicher Ergebnisse auch in vielen weiteren Studien gemacht worden (u. a. Murphy 1964; Smith und Bailit 1977; Love et al. 1990; Harris 1997; Bondevik 1998; Carter und McNamara 1998; Tsiopas et al. 2013; Massaro et al. 2018). Dieser Sachverhalt könnte neben anderen Faktoren mit dem knöchernen Wachstum zusammenhängen. Björk und Skieller (1974) zeigten, dass sich der Gaumen durch Expansion der Sutur verbreitert, und dass diese in den posterioren Segmenten größer ist. Somit zeichnet sich bereits durch das transversale Wachstum ein mesiodistaler Gradient ab. Björk und Skieller (1972) überwachten die untersuchten Probanden bis zum 20. Lebensjahr. Es scheint wahrscheinlich, dass sich dieses Wachstumsmuster auch noch in späterem Erwachsenenalter fortsetzt, da sich die fazialen Suturen des Menschen erst sehr spät und mit großer Variabilität schließen (Krogman 1962; Kokich 1976).

Duterloo (1991) stellte sowohl Vergrößerungen als auch Verkleinerungen der Eckzahnbreite und der Molarenbreite zwischen dem Alter von 17 und 29 Jahren fest. Er schlussfolgerte daraus, dass der Billard Effekt, durch welchen manche Zähne nach bukkal wandern und andere nach lingual wandern, die Ursache sein könnte. Dieser Effekt könnte auch die große Variationsbreite der Veränderungen der transversalen Dimension erklären. Weitere Faktoren, welche die unterschiedlichen Ergebnisse erklären könnten, sind Probanden innerhalb der Studien, mit nicht-behandelten Malokklusionen sowie unterschiedliche Muster der intra- und extraoralen Muskelfunktionen (Massaro et al. 2018).

### **6.2.2 Veränderungen der Zahnbogenlänge**

Für die Dimension der Zahnbogenlänge wurden in vergleichbaren Studien viele unterschiedliche Messstrecken verwendet, dabei z. T. auch verschiedene Strecken innerhalb derselben Studie. Dieser Sachverhalt erschwert den Vergleich. Neben der in der vorliegenden Studie in Anlehnung an Korkhaus (1932) verwendeten Methode, wurde in anderen Studien u. a. der Abstand zwischen dem Interinzisalpunkt bis auf Höhe der Eckzähne, der 1. Prämolaren, der 2. Prämolaren sowie der 1. Molaren gemessen (u. a. Carter und McNamara 1998; Bondevik

2007). Weiterhin die Summe der Strecken vom Interinzisalpunkt bis zum mesialen Kontaktpunkt der 1. Molaren auf beiden Seiten (Sinclair und Little 1983), der Abstand der Distalfläche vom Eckzahn bis zur Mesialfläche des 1. Molaren auf beiden Seiten (Bondevik 1998), und der Mittelwert der Strecke vom Interinzisalpunkt bis zur Distalfläche des 1. Molaren jeder Seite sowie der Mittelwert der Strecke vom mesialen Kontaktpunkt des Eckzahns bis zur Distalfläche des 1. Molaren jeder Seite (Harris et al. 1993). Zudem wird auch der Zahnbogenumfang in einigen Studien verwendet, welcher von einer Seite des Zahnbogens um den Zahnbogen herum über die Kontaktpunkte der Zähne bis zur Gegenseite gemessen wird (u. a. Moorrees 1959; Tibana et al. 2004; Massaro et al. 2018). Hierbei handelt es sich um eine andere Messung, doch die Zahnbogenlänge spiegelt auch die Veränderungen des Zahnbogenumfangs wider (Moyers 1984).

Die Zahnbogenlänge verringerte sich in der hier vorgestellten Untersuchung sowohl im Oberkiefer als auch im Unterkiefer bei beiden Geschlechtern. Dabei war die Verringerung im Oberkiefer beiderlei Geschlechts signifikant. Auch in weiteren Untersuchungen dieser Zahnbogendimension wurden trotz der unterschiedlichen Messmethoden häufig Verringerungen der Zahnbogenlänge festgestellt (u. a. Harris 1997; Carter und McNamara 1998; Richardson und Gormley 1998; Bondevik 2007). Diese waren jedoch nicht bei jeder Untersuchung beider Kiefer oder beiderlei Geschlechts signifikant verschieden (u. a. Bishara et al. 1994; Bondevik 1998; Akgül und Toygar 2002; Massaro et al. 2018). Auch für den Zahnbogenumfang wurde mit zunehmendem Alter eine Verringerung festgestellt (u. a. Tibana et al. 2004; Massaro et al. 2018).

Dieses Ergebnis entspricht somit unseren Erwartungen und unterstützt die Vermutung u. a. von Little (1990), Harris (1997), Tsiopas et al. (2013) und Bondevik (2015), dass es sich bei der Verringerung der Zahnbogenlänge um eine normale, physiologische Veränderung handeln könnte.

Eine Ursache für die Verkürzung der Zahnbögen könnte die bereits gut dokumentierte proximale Attrition sein, wobei die Approximalkontakte zunehmend flächiger werden und sich die mesiodistalen Zahnbreiten verkürzen (u. a. Begg 1954; Murphy 1964). Dabei ist zu beachten, dass diese beim heutigen Menschen durch die weichere Nahrung nach der Zeit der Industrialisierung im Vergleich zu Menschen älterer Epochen sowie im Vergleich zu Naturvölkern in geringerem Maße auftritt (d'Incau et al. 2012; Kaidonis et al. 2012). Der hierbei auftretende Zahnhartsubstanzverlust wird durch die stabilisierende Wirkung der zuvor beschriebenen Mesialdrift und der anterioren Kraftkomponente

ausgeglichen, sodass keine Lücken entstehen, sondern ein insgesamt verkürzter Zahnbogen.

### **6.2.3 Veränderungen der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich**

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein signifikant stärkerer Engstand im Frontzahnbereich des Unterkiefers beiderlei Geschlechts verzeichnet. Dieser Befund entspricht auch den Ergebnissen von früheren Studien, sodass diese Veränderung vermutlich als normal anzusehen ist (u. a. Sinclair und Little 1983; Bishara et al. 1994; Carter und McNamara 1998; Bondevik 1998).

Im Frontzahnbereich des Oberkiefers hingegen wurde eine Tendenz zur Vergrößerung des Platzangebotes, jedoch keine signifikante Veränderung festgestellt. Auch in früheren Studien war das Ergebnis für den Oberkiefer häufig nicht signifikant (u. a. Bishara et al. 1994; Carter und McNamara 1998; Dager et al. 2008; Tsiopas et al. 2013). Dabei wurde eine große Variabilität unter den Probanden festgestellt, wobei einige auch weniger Engstand mit der Zeit aufwiesen. Es wurden auch signifikante Vergrößerungen des Engstandes im Oberkiefer beobachtet (u. a. Tibana et al. 2004; Bondevik 2015), wobei die Vergrößerung des Engstandes im Oberkiefer stets deutlich kleiner war als die Vergrößerung des Engstandes im Unterkiefer. Verschiedene Autoren stellten bereits fest, dass der Weisheitszahn wahrscheinlich nicht für den erhöhten Engstand im Frontzahnbereich des Unterkiefers verantwortlich ist (u. a. Stanley 1962; Schulhof 1976; Richardson 1986). Dagegen spricht auch, dass der vermehrte Engstand nicht auch im Oberkiefer in gleichem Maß auftritt, und eine Vergrößerung des Engstandes ebenso im späteren Erwachsenenalter noch feststellbar ist. Es ist naheliegend, dass die Veränderungen der Zahnbogenbreite und -länge einen Einfluss auf die Platzverhältnisse im Frontzahnbereich haben könnten. Lundström (1969) und Tsiopas et al. (2013) stellten eine signifikante Korrelation zwischen der Verringerung der Zahnbogenlänge im Unterkiefer und dem steigenden Engstand im Frontzahnbereich fest, und Bondevik (1998) und Tsiopas et al. (2013) fanden eine Korrelation zwischen der Eckzahnbreite und dem anterioren Engstand. Zahlreiche Autoren fanden jedoch keine Korrelation zwischen dem anterioren Engstand und anderen Zahnbogendimensionen (u. a. Sanin und Savara 1973; Carmen 1980; Sinclair und Little 1983; Bishara et al. 1989; Richardson 1994; Carter und McNamara 1998; Tibana et al. 2004). Diese Autoren schlussfolgerten daher, dass komplexe Interaktionen der kraniofazialen und dentalen Matrix an den Veränderungen beteiligt sind. Vermutlich sind die Veränderungen der Zahnbogenlänge, der Eckzahnbreite und der molaren Breite daher keine Faktoren

für die signifikante Veränderung des Frontzahnengstandes. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass sie als Teil eines multifaktoriellen Geschehens dazu beitragen (Carmen 1980). Möglich ist, dass die Veränderungen des anterioren Platzangebotes im Verlaufe des Erwachsenenalters auch mit parodontalem Attachmentverlust von Probanden innerhalb der Studien zusammenhängen, sodass durch die Schwächung des Zahnhalteapparates die Zähne den Kräften, welchen sie ausgesetzt sind, nicht mehr optimal standhalten können (Richardson 1995). Dafür sprechen auch die unterschiedlichen Veränderungen für den Ober- und den Unterkiefer. Pathologische Zahnwanderungen wirken sich häufig besonders im Oberkiefer als lückige Frontzahnauffächerung aus und könnten die Tendenz im Gesamtergebnis zur Vergrößerung des Platzangebotes im Oberkiefer mit steigendem Alter erklären (u. a. Selwyn 1973; Proffit 1978; Towfighi et al. 1997).

#### **6.2.4 Veränderungen von Overbite und Overjet**

Der Overbite reduzierte sich insgesamt im Beobachtungszeitraum unserer Studie. Eine Verringerung des Overbite stellten auch Massaro et al. (2018) sowie Bondevik (1998) für die männlichen Probanden fest. Damit scheint sich die bereits im frühen, jugendlichen permanenten Gebiss festgestellte Verringerung des Overbites fortzusetzen (u. a. Moorrees 1959; Barrow und White 1952; Björk 1953; Humerfelt und Slagsvold 1972). Im Teenageralter verringert sich der Overbite aufgrund von mandibulärem Wachstum (Björk 1969; Behrents 1985). Im Erwachsenenalter sind vermutlich sowohl die Abrasion der Frontzähne mit dem Alter als auch mandibuläres Restwachstum für die Verringerung verantwortlich (Björk 1969; Donachie und Walls 1995; Vieira et al. 2015). Andere Studien zeigten jedoch eine große Variabilität der beobachteten Veränderungen mit dem Alter, darunter auch eine Vergrößerung (u. a. Bishara et al. 1994; Tibana et al. 2004) und Stabilität dieses Parameters (u. a. Bishara et al. 1996; Harris 1997; Tsiopas et al. 2013; Carter und McNamara 1998). Diese Unterschiede könnten teilweise auf Unterschiede im fazialen Wachstumsmuster, auf Para-funktionen und Essgewohnheiten der untersuchten Probanden zurückzuführen sein.

Der Overjet blieb während unseres Beobachtungszeitraums bemerkenswert unverändert. Diese Beobachtung fand sich auch in vielen weiteren Studien (u.a. Bishara et al. 1994; Harris 1997; Carter und McNamara 1998; Akgül und Toygar 2002; Tibana et al. 2004; Tsiopas et al. 2013; Massaro et al. 2018). Die im Jugendalter beobachtete Verringerung des Overjets des frühen permanenten Gebisses (u. a. Moorrees 1959; Humerfelt und Slagsvold 1972) scheint sich also im Erwachsenenalter nicht fortzusetzen. Es ist jedoch bekannt, dass sich der maxillo-



mandibuläre Komplex auch während des Erwachsenenalters verändert (Behrents 1985; Bishara et al. 1994). Eine Ursache für die nahezu unveränderten Werte könnte sein, dass sich zugleich die Inklination der Frontzähne verändert, sodass diese die Veränderungen kompensieren kann (Massaro et al. 2018).

### **6.3 Schlussfolgerungen**

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass altersassoziierte Veränderungen im kraniofazialen Bereich nicht schon mit Beginn des Erwachsenenalters enden, sondern, wenn auch in geringerem Ausmaß, weiter zu beobachten sind. Die Zahlen für die Veränderungen sind gering, da der Alveolarfortsatz in seiner größten Dimension dennoch eine vergleichsweise kleine Struktur darstellt, dessen absolute Vergrößerung daher notwendigerweise limitiert ist. Dabei ist jedoch zu beachten, dass das dentofaziale System ein so empfindliches ist, dass bereits ein Millimeter den Unterschied zwischen guter und schlechter Okklusion bedeuten kann (Goldstein und Stanton 1935).

Die Ergebnisse in Bezug auf die dentofazialen Veränderungen in der Literatur sind nicht eindeutig, und widersprechen sich teilweise. Zusammen mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie zeigen viele jedoch ein gemeinsames Muster der Alterungsvorgänge des Zahnbogens an, wobei der Zahnbogen mit dem Alter kürzer und nach vorne hin schmaler wird, und sich der Engstand im Frontzahnbereich des Unterkiefers verstärkt. Das Wissen um die Veränderungen der Zahnbogendimensionen, welche sich natürlicherweise mit dem Alter ereignen, hilft dabei, die Veränderungen bei Patienten nach abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlung korrekt zu bewerten und die natürlichen Veränderungen von einem Rezidiv zu unterscheiden. Die Ergebnisse von longitudinalen Studien über längere Zeiträume nach kieferorthopädischer Behandlung zeigten, dass sich die Zahnbogenbreite und -länge kontinuierlich verringern, und stellten zudem eine Vergrößerung von frontalem Engstand, Overbite und Overjet fest (u. a. Shapiro 1974; Johnson 1977; Gardner und Chaconas 1976; Little 1990). Mit Hilfe der kieferorthopädischen Therapie ist es möglich, zeitweise in den Lauf der anhaltenden physiologischen Veränderungen einzugreifen. Im Anschluss an die Therapie und Retentionszeit jedoch, werden diese Entwicklungs- und Reifungsprozesse wieder aufgenommen (Horowitz und Hixon 1969). Bei der Verringerung von Zahnbogenbreite und -länge, sowie dem sich verstärkenden Frontzahnengstand im Unterkiefer bei

ehemaligen kieferorthopädischen Patienten handelt es sich also wahrscheinlich, zumindest zum Teil, um natürliche Alterungserscheinungen.

Um Langzeitstudien der Zahnbögen beim Erwachsenen durchzuführen, gibt es einige Hürden. Darunter fallen die mit dem Alter vermehrte prothetische und konservative Versorgung der Zähne und der öftere Zahnverlust. Deshalb konnten in der vorliegenden Studie viele Probanden nicht mit einbezogen werden. Dazu kommt das logistische Problem, die Probanden für die Untersuchung über einen längeren Zeitraum erneut zu organisieren. Die Ergebnisse dieser Studie ermutigen uns jedoch dazu, weitere Untersuchungen zu dieser Thematik vorzunehmen. Bei einem direkten Vergleich zwischen Patienten mit und ohne vorheriger kieferorthopädischer Behandlung über einen möglichst langen Zeitraum ist es möglich, das Ausmaß der natürlichen Veränderungen im Vergleich zum Rezidiv besser zu beurteilen. Zudem wäre eine Betrachtung der Veränderungen bei Patienten mit guten sowie verschlechterten parodontologischen Verhältnissen interessant, um physiologische Alterungserscheinungen des Zahnbogens noch besser von pathologischen Veränderungen unterscheiden zu können.

Möglicherweise ist eine komplexe Interaktion von zahlreichen kraniofazialen und dentalen Matrizen bei den beobachteten Veränderungen involviert. Eine Reihe Autoren vermuten, dass das Ausmaß und die Richtung des fazialen Wachstums teilweise für die Reifungsprozesse im Zahnbogen, vor allem für die Position der Frontzähne des Unterkiefers, verantwortlich ist (u. a. Lundström 1969; Björk 1953; Lavergne und Gasson 1978; Isaacson et al. 1977).

Die festgestellten Veränderungen der Zahnbogendimensionen haben jedoch aus klinischer Sicht für die kieferorthopädische Therapie erwachsener Patienten nur eine limitierte Bedeutung. Wir können jedoch mutmaßen, dass auch bei gut ausgerichteten Zahnbögen ein mit der Zeit verstärkter Engstand im Unterkiefer in unterschiedlichem Ausmaß als Teil des normalen Reifungsprozesses erwartet werden kann. Wenn eine optimale Zahnstellung der Front lebenslang gewünscht wird, ist es daher klug, lebenslange Retentionsmethoden für den Unterkieferfrontzahnbereich sowohl für Patienten nach erfolgreicher kieferorthopädischer Behandlung, als auch für Patienten ohne kieferorthopädische Behandlungsnotwendigkeit in Betracht zu ziehen.

## 7 Beantwortung der Fragestellungen

### *1. Können Altersveränderungen der Zahnbogenbreite und der Zahnbogenlänge an den Modellen erwachsener Patienten nachgewiesen werden?*

Es konnten signifikante Veränderungen mit dem Alter für die intercanine Distanz im Unterkiefer der Gesamtgruppe und der weiblichen Probandinnen und für die anteriore Breite in beiden Kiefern der Gesamtgruppe und der weiblichen Probandinnen nachgewiesen werden, welche sich verkleinerten. Für die posteriore Breite der weiblichen Probandinnen wurde eine signifikante Vergrößerung mit dem Alter festgestellt. Für die Zahnbogenlänge der Gesamtgruppe und der männlichen Probanden im Oberkiefer wurde eine signifikante Verkleinerung nachgewiesen. Die Veränderungen deuten auf eine Formveränderung hin zu einem kürzeren, nach vorne hin schmaler werdenden Kiefer hin.

### *2. Können Altersveränderungen der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich an den Modellen erwachsener Patienten nachgewiesen werden?*

Die Veränderungen im Oberkiefer waren mit höherem Alter der Probanden nicht signifikant unterschiedlich. Im Unterkiefer konnte eine signifikante Verringerung der Platzverhältnisse im Frontzahnbereich in der Gesamtgruppe sowie bei den Einzelgruppen der weiblichen und männlichen Probanden festgestellt werden.

### *3. Unterscheiden sich die Zahnbogendimensionen sowie die Platzverhältnisse im Frontzahnbereich bei Männern und Frauen?*

Die Schneidekantenbreitensumme im Unterkiefer, die intercanine Distanz im Oberkiefer, die anteriore Breite in beiden Kiefern, die posteriore Breite in beiden Kiefern, sowie die Zahnbogenlänge im Unterkiefer waren bei den männlichen Probanden signifikant größer als bei den weiblichen Probandinnen. Der Overjet war bei den weiblichen Probandinnen signifikant größer. Es zeigte sich, dass sich die Platzverhältnisse im Frontzahnbereich in der Stichprobe nicht signifikant zwischen Männern und Frauen unterscheiden.

## 8 Zusammenfassung

Für die kieferorthopädische Therapie ist die Kenntnis über die Veränderungen der Gebissmorphologie, welche sich natürlicherweise ereignen, von grundlegender Bedeutung. Bislang sind die Veränderungen der ersten beiden Jahrzehnte des Lebens vom Milchgebiss bis hin zum jugendlichen permanenten Gebiss gut dokumentiert worden, es sind jedoch nur wenige Studien über die physiologischen Veränderungen des Gebisses im Erwachsenenalter vorhanden. Gegenstand der vorliegenden longitudinalen Studie waren Veränderungen der Zahnbogendimensionen hinsichtlich Breite, Länge, Platzverhältnisse im Frontzahnbereich, Overbite und Overjet bei Erwachsenen.

Die dreidimensionalen Datensätze von Modellen von 103 Probanden wurden untersucht, von welchen im Rahmen der Study of Health in Pomerania (SHIP) Abformungen des Ober- und des Unterkiefers in einem Abstand von  $16 \pm 1$  Jahren gemacht worden sind. Die Probanden waren zum Zeitpunkt T0 zwischen 20 und 55 Jahren alt, und zum Zeitpunkt T1 zwischen 37 und 71 Jahren. Mit Hilfe der Software Landmark und Meshmixer wurden Messpunkte platziert, aus welchen Strecken berechnet wurden. Zur Überprüfung der Messgenauigkeit wurden an 12 Modellpaaren die Messpunkte für den Overbite und den Overjet und an 20 Modellpaaren alle weiteren Messpunkte ein zweites Mal platziert. Die Ergebnisse sind in Form von Histogrammen, Box-Whisker-Plots und Mittelwerten dargestellt. Sie wurden mit Hilfe des t-Tests für unverbundene Stichproben auf Unterschiede in Abhängigkeit vom Geschlecht sowie mit Hilfe des t-Tests für verbundene Stichproben auf Unterschiede mit dem Alter untersucht.

Für die meisten der untersuchten Variablen zeigte sich ein Geschlechtsdimorphismus, welcher sich vor allem durch größere Messwerte bei den männlichen im Vergleich zu den weiblichen Probanden auszeichnete.

Die intercanine Distanz verringerte sich im Unterkiefer in der Gesamtgruppe und bei den weiblichen Probanden signifikant und blieb im Oberkiefer mit einer Tendenz zur Verkleinerung stabil. Die anteriore Breite verringerte sich in beiden Kiefern signifikant in der Gesamtgruppe und bei den weiblichen Probanden. Die posteriore Breite vergrößerte sich in beiden Kiefern, war jedoch nur im Unterkiefer der weiblichen Probanden signifikant

unterschiedlich. Insgesamt zeigten die Veränderungen der Zahnbogenbreite einen mesiodistalen Gradienten, mit nach anterior hin schmaler werdenden Zahnbögen.

Die Zahnbogenlänge verringerte sich in beiden Kiefern beiderlei Geschlechts, war jedoch nur im Oberkiefer der Gesamtgruppe signifikant unterschiedlich.

Der Engstand im Frontzahnbereich des Unterkiefers verstärkte sich im Untersuchungszeitraum bei den männlichen und weiblichen Probanden signifikant. Im Oberkiefer wurde eine Tendenz zur Vergrößerung des Platzangebotes im Frontzahnbereich festgestellt, die Veränderung war allerdings nicht signifikant unterschiedlich.

Der Overbite reduzierte sich in der Gesamtgruppe signifikant. Der Overjet blieb im Untersuchungszeitraum nahezu unverändert.

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass altersassoziierte Veränderungen im kraniofazialen Bereich auch beim Erwachsenen zu beobachten sind. Möglicherweise ist eine komplexe Interaktion von zahlreichen kraniofazialen und dentalen Matrizen bei den beobachteten Veränderungen involviert. Das Wissen um die Altersveränderungen des Gebisses, welche sich natürlicherweise ereignen, hilft dabei die Veränderungen bei Patienten nach abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlung korrekt zu bewerten und von einem Rezidiv zu unterscheiden. Aufgrund unserer Ergebnisse empfehlen wir lebenslange Retentionsmethoden, wenn eine optimale Zahnstellung lebenslang angestrebt wird, da ein mit der Zeit verstärkter Engstand im Unterkiefer in unterschiedlichem Ausmaß als Teil des normalen Reifungsprozesses erwartet werden kann.

## 9 Literaturverzeichnis

- Akgül, A.; Toygar, T. (2002): Natural craniofacial changes in the third decade of life: a longitudinal study. In: *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 122 (5), 512-522.
- Alt, K.; Türp, J.; Wächter, R.: Zahnentwicklung In: Alt, K.; Türp, J. (Hg.) (1997): Die Evolution der Zähne. Phylogenie-Ontogenie-Variation. Berlin: Quintessenz (Quintessenz Bibliothek), S. 247-276.
- Angle, E. H. (1913): Die Okklusionsanomalien der Zähne. Berlin: Meusser, S. 675-719.
- Aumüller, G.; Doll, A.: Mundhöhle und Kauapparat In: Aumüller, G.; Wolff, W. (Hg.) (2010): Anatomie. 2., überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme, S. 924-931.
- Baer, M. (1956): Dimensional changes in the human head and face in the third decade of life. In: *American journal of physical anthropology* 14 (4), S. 557–575.
- Barrow, G.; White, J. (1952): Developmental changes of the maxillary and mandibular dental arches. In: *The Angle Orthodontist* 22 (1), S. 41–46.
- Baume, L. J. (1950): Physiological tooth migration and its significance for the development of occlusion; the biogenesis of accessional dentition. In: *Journal of Dental Research* 29 (3), S. 331–337.
- Begg, P. R. (1954): Stone age man's dentition. In: *American Journal of Orthodontics* 40 (4), S. 298–312.
- Behrents, R. (1985): An atlas of growth in the aging craniofacial skeleton: The University of Michigan, Ann Arbor: Center for Human Growth and Development (Craniofacial Growth series, Monograph No. 18), S. 11-23.
- Bishara, S. E.; Treder, J. E.; Damon, P.; Olsen, M. (1996): Changes in the dental arches and dentition between 25 and 45 years of age. In: *The Angle orthodontist* 66 (6), 417-422.
- Bishara, S.; Jakobsen, J.; Treder, J.; Stasl, M. (1989): Changes in the maxillary and mandibular tooth size-arch length relationship from early adolescence to early adulthood. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 95 (1), S. 46–59.
- Bishara, S.; Treder, J.; Jakobsen, J. (1994): Facial and dental changes in adulthood. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 106 (2), 175-186.
- Björk, A. (1969): Prediction of mandibular growth rotation. In: *American Journal of Orthodontics* 55 (6), S. 585–599.
- Björk, A.; Skieller, V. (1972): Facial development and tooth eruption. In: *American Journal of Orthodontics* 62 (4), S. 339–383.

- Björk, A.; Skieller, V. (1974): Growth in width of the maxilla studied by the implant method. In: *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery* 8 (1-2), S. 26–33.
- Björk, A. (1953a): Variability and age changes in overjet and overbite. In: *American Journal of Orthodontics* 39 (10), S. 779–801.
- Björk, A. (1953b): Variability and age changes in overjet and overbite. In: *American Journal of Orthodontics* 39 (10), S. 779–801.
- Bondevik, O. (1998): Changes in occlusion between 23 and 34 years. In: *The Angle orthodontist* 68 (1), S. 75–80.
- Bondevik, O. (2015): A longitudinal study of dental arches and occlusal changes in adults from 22 to 33, and 33 to 43 years of age. In: *Journal of orofacial orthopedics* 76 (1), S. 79-89.
- Bondevik, O. (2007): Differences between high- and low-angle subjects in arch form and anterior crowding from 23 to 33 years of age. In: *European journal of orthodontics* 29 (4), S. 413–416.
- Bruhn, C. (Hg.) (1939): *Handbuch der Zahnheilkunde*. München: Bergmann, S. 510-718.
- Bürgers, R.; Rödiger, M.; Krohn, S.: Welche Rolle spielt die Okklusion bei kranio-mandibulären Dysfunktionen? In: Behr, M.; Fanghänel, J. (2020): *Kranio-mandibuläre Dysfunktionen. Antworten auf Fragen aus der Praxis*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, S. 91-97.
- Carmen, R. B. (1980): A study of mandibular anterior crowding in untreated cases and its predictability. In: *American Journal of Orthodontics* 77 (3), S. 346–347.
- Carter, G.; McNamara, J. (1998): Longitudinal dental arch changes in adults. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 114 (1), S. 88-99.
- Costalos, P.; Sarraf, K.; Cangialosi, T.; Efstratiadis, S. (2005): Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 128 (5), S. 624–629.
- Dager, M.; McNamara, J.; Baccetti, T.; Franchi, L. (2008): Aging in the craniofacial complex. In: *The Angle orthodontist* 78 (3), S. 440-444.
- Dahlberg, G. (1940): *Statistical methods for medical and biological students*. New York: Interscience Publications, S. 122-132.
- Dalstra, M.; Melsen, B. (2009): From Alginate Impressions to Digital Virtual Models: Accuracy and Reproducibility. In: *Journal of Orthodontics* 36 (1), S. 36–41.
- DeKock, W. (1972): Dental arch depth and width studied longitudinally from 12 years of age to adulthood. In: *American Journal of Orthodontics* 62 (1), S. 56-66.

- d'Incau, E.; Couture, C.; Maureille, B. (2012): Human tooth wear in the past and the present: tribological mechanisms, scoring systems, dental and skeletal compensations. In: *Archives of Oral Biology* 57 (3), S. 214–229.
- Donachie, M. A.; Walls, A.W.G. (1995): Assessment of tooth wear in an ageing population. In: *Journal of Dentistry* 23 (3), S. 157–164.
- Downs, W. B. (1938): Mesial Drift. In: *The Angle orthodontist* 8 (2), S. 77–99.
- Duterloo, H. (1991): Development of the dentition under the influence of functional factors. In: *Cranio-facial Growth Series*, S. 103-122.
- Gardner, S.; Chaconas, S. (1976): Posttreatment and postretention changes following orthodontic therapy. In: *The Angle orthodontist* 46 (2), S. 151-161.
- Goldstein, M. S.; Stanton, F. L. (1935): Changes in dimensions and form of the dental arches with age. In: *International Journal of Orthodontia and Dentistry for Children* 21 (4), S. 357–380.
- Harndt, E.; Weyers, H. (1967): Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde im Kindesalter. Unter Mitarbeit von P. Adler. Berlin: Quintessenz Verl, S. 18-54.
- Harris, E.; Woods, M.; Robinson, Q. (1993): Dental health patterns in an urban Midsouth population: Race, sex, and age changes. In: *Quintessence International* 24 (1), S. 45-52.
- Harris, E. F. (1997): A longitudinal study of arch size and form in untreated adults. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 111 (4), S. 419-427.
- Harzer, W. (2011): Kieferorthopädie. 43 Tabellen. 3., vollst. neubearb. Aufl. Stuttgart: Thieme (Checklisten der Zahnmedizin), S. 41-48.
- Heikinheimo, K.; Nyström, M.; Heikinheimo, T.; Pirttiniemi, P.; Pirinen, S. (2012): Dental arch width, overbite, and overjet in a Finnish population with normal occlusion between the ages of 7 and 32 years. In: *European journal of orthodontics* 34 (4), S. 418–426.
- Hensel, E.; Born, G.; Körber, V.; Altvater, T.; Gesch, D. (2003): Prevalence of defined symptoms of malocclusion among probands enrolled in the Study of Health in Pomerania (SHIP) in the age group from 20 to 49 years. In: *Journal of orofacial orthopedics* 64 (3), S. 157-166.
- Horowitz, S. L.; Hixon, E. H. (1969): Physiologic recovery following orthodontic treatment. In: *American Journal of Orthodontics* 55 (1), S. 1–4.
- Hrdlička, A. (1936): Growth during Adult Life. In: *Proceedings of the American Philosophical Society* 76 (6), S. 847–897.



- Humerfelt, A.; Slagsvold, O. (1972): Changes in occlusion and craniofacial pattern between 11 and 25 years of age. A follow-up study of individuals with normal occlusion. In: *European Orthodontic Society*, S. 113-122.
- Isaacson, R. J.; Zapfel, R. J.; Worms, F. W.; Erdman, A. G. (1977): Effects of rotational jaw growth on the occlusion and profile. In: *American Journal of Orthodontics* 72 (3), S. 276–286.
- Israel, H. (1973): Age factor and the pattern of change in craniofacial structures. In: *American journal of physical anthropology* 39 (1), S. 111–128.
- John, U.; Greiner, B.; Hensel, E.; et al. (2001): Study of Health in Pomerania (SHIP): A health examination survey in an east German region: Objectives and design. In: *International Journal of public health* 46 (3), S. 186-194.
- Johnson, K. (1977): Cases six years postretention. In: *The Angle orthodontist* 47 (3), S. 210-221.
- Jonsson, T.; Arnlaugsson, S.; Saemundsson, S. R.; Magnusson, T. E. (2009): Development of occlusal traits and dental arch space from adolescence to adulthood: a 25-year follow-up study of 245 untreated subjects. In: *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 135 (4), S. 456–462.
- Kaidonis, J. A.; Ranjitkar, S.; Lekkas, D.; Townsend, G. C.; Grimoud, A. (2012): An Anthropological Perspective: Another Dimension to Modern Dental Wear Concepts. In: *International Journal of Dentistry* 2012, S. 74-82.
- Knott, V. B. (1961): Size and form of the dental arches in children with good occlusion studied longitudinally from age 9 years to late adolescence. In: *American journal of physical anthropology* 19 (3), S. 263–284.
- Knott, V. B. (1972): Longitudinal study of dental arch widths at four stages of dentition. In: *The Angle orthodontist* 42 (4), S. 387–394.
- Kokich, V. G. (1976): Age changes in the human frontozygomatic suture from 20 to 95 years. In: *American Journal of Orthodontics* 69 (4), S. 411–430.
- Korkhaus, Gustav (1932): Orthodontische Diagnostik, dreidimensionale Modellvermessung. In: *Fortschritte der Zahnheilkunde* (8), S. 719–736.
- Krogman, W. (1962): *The Human Skeleton in Forensic Medicine*: Springfield, CC Thomas, S. 480-492.
- Lavergne, J.; Gasson, N. (1978): The influence of jaw rotation on the morphogenesis of malocclusion. In: *American Journal of Orthodontics* 73 (6), S. 658–666.

- Leifert, M. F.; Leifert, M. M.; Efstratiadis, S. S.; Cangialosi, T. J. (2009): Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 136 (1), S. 16-22.
- Leighton, B. C. (1978): Variationen der normalen Gebißentwicklung von der Geburt bis zum Erwachsenenalter. In: *Fortschritte der Kieferorthopädie* 39 (3), S. 181–195.
- Little, R. M. (1975): The irregularity index: a quantitative score of mandibular anterior alignment. In: *American Journal of Orthodontics* 68 (5), S. 554–563.
- Little, R. M. (1990): Stability and relapse of dental arch alignment. In: *British journal of orthodontics* 17 (3), S. 235–241.
- Love, R. J.; Murray, J. M.; Mamandras, A. H. (1990): Facial growth in males 16 to 20 years of age. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 97 (3), S. 200–206.
- Lundström, A. (1969): Changes in crowding and spacing of the teeth with age. In: *Dent. Practit. dent. Rec.* 19, S. 218–224.
- Massaro, C.; Miranda, F.; Janson, G.; Rodrigues de Almeida, R.; Pinzan, A.; Martins, D. R.; Garib, D. (2018): Maturational changes of the normal occlusion: A 40-year follow-up. In: *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 154 (2), S. 188-200.
- Mayers, M.; Firestone, A. R.; Rashid, R.; Vig, K. (2005): Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 128 (4), S. 431–434.
- Meredith, H. V. (1945): Toward a working concept of physical growth. In: *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery* 31 (9), S. 440–458.
- Moorrees, C. (1959): *The Dentition of the Growing Child: A longitudinal Study of Dental Development between 3 and 18 Years of Age.* Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1959, S. 249-250.
- Moorrees, C.; Chadha, J. (1965): Available Space For The Incisors During Dental Development - A Growth Study Based On Physiologic Age. In: *The Angle orthodontist* 35 (1), S. 12–22.
- Moyers, R. E. (1984): *Handbook of orthodontics for the student and general practitioner.* 3rd ed. Chicago: Year Book Medical, S. 166-241.
- Mühlberg, G.; Bräuninger, H.; Weiskopf, J. (1969): Zur kritischen Bewertung des Pontschen Indexes unter Berücksichtigung des geschlechtsbedingten Einflusses. In: *Deutsche Stomatologie* 19 (9), S. 689–700.

- Murphy, T. R. (1964): A biometric study of the helicoidal occlusal plane of the worn Australian dentition. In: *Archives of Oral Biology* 9 (3), S. 255–267.
- Orban, B. J.; Sicher, H.; Bhaskar, S. N. (1972): Orban's Oral histology and embryology. 7th ed. Saint Louis: Mosby, S. 5-66.
- Pont, A. (1909): Der Zahn-Index in der Orthodontie. In: *Zahnärztliche Orthopädie* 3, S. 306–321.
- Proffit, W. R. (1978): Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. In: *The Angle orthodontist* 48 (3), S. 175–186.
- Proffit, W. R.; Fields, H., Sarver, D. M. (2012): Contemporary Orthodontics, 5e: Elsevier India, S. 18-96.
- Radlanski, R. J. (2017): Stabilität im Kauorgan bei 50 plus. Lebenslanges Gesichtswachstum und permanenter Knochenumbau. In: *Zahnärztliche Mitteilungen* (11), S. 20-25.
- Radlanski, R. J.; Wesker, K. H. (2015): Das Gesicht. Bildatlas klinische Anatomie. 2., komplett überarb. Aufl. Berlin: Quintessenz Verl, S. 330-343.
- Richardson, M. E. (1986): Late lower arch crowding. The role of facial morphology. In: *The Angle orthodontist* 56 (3), S. 244–254.
- Richardson, M. E. (1994): The etiology of late lower arch crowding alternative to mesially directed forces: a review. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 105 (6), S. 592–597.
- Richardson, M. E. (1995): A preliminary report on lower arch crowding in the mature adult. In: *European journal of orthodontics* 17 (3), S. 251–257.
- Richardson, M. E.; Gormley, J. S. (1998): Lower arch crowding in the third decade. In: *European journal of orthodontics* 20 (5), S. 597–607.
- Ross, A. H.; Williams, S. E. (2010): Craniofacial growth, maturation, and change: teens to midadulthood. In: *The Journal of craniofacial surgery* 21 (2), S. 458-461.
- Sadler, T. W.; Drews, U.; Langman, J. (2014): Taschenlehrbuch Embryologie. Die normale menschliche Entwicklung und ihre Fehlbildungen. 12., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Thieme, S. 400-403.
- Sanin, C.; Savara, B. S. (1973): Factors that affect the alignment of the mandibular incisors: A longitudinal study. In: *American Journal of Orthodontics* 64 (3), S. 248–257.
- Schopf, P. (2008): Curriculum Kieferorthopädie // Schädel- und Gebissentwicklung, Prophylaxe, kieferorthopädische Diagnostik, herausnehmbare Behandlungsgeräte. 4. Auflage // 4., überarb. und erw. Aufl. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, S. 40-48.

- Schröder, W. (2005): Untersucherunterschiede (Untersucherreliabilitäten) bei der Erhebung von kieferorthopädischen Dysgnathiesymptomen anhand der Einteilung in die kieferorthopädischen Indikationsgruppen (KIG). Dissertation. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Greifswald, S. 10-17.
- Schroeder, H. E. (1987): Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks. Stuttgart: Thieme, S. 224-288.
- Schulhof, R. (1976): Third molars and orthodontic diagnosis. In: *Journal of Clinical Orthodontics* 10 (4), S. 272-281.
- Schumacher, G. H. (1997): Anatomie für Zahnmediziner. Lehrbuch und Atlas. 3., vollst. neubearb. Aufl. Heidelberg: Hüthig (Dentothek), S. 270-330.
- Schwarz, A. M. (1951): Lehrgang der Gebissregelung. Wien-Innsbruck: Urban & Schwarzenberg, S. 225-235.
- Selwyn, S. L. (1973): An assessment of patients with periodontally involved migrated incisors. In: *Journal of Dentistry* 1 (4), S. 153–157.
- Shapiro, P. A. (1974): Mandibular dental arch form and dimension. In: *American Journal of Orthodontics* 66 (1), S. 58–70.
- Sillman, J. H. (1951): Serial study of good occlusion from birth to 12 years of age. In: *American Journal of Orthodontics* 37 (7), S. 481–507.
- Sillman, J. H. (1964): Dimensional changes of the dental arches: Longitudinal study from birth to 25 years. In: *American Journal of Orthodontics* (Vol. 50), Artikel No. 11, S. 824–842.
- Sinclair, P.; Little, R. (1983): Maturation of untreated normal occlusions. In: *American Journal of Orthodontics* 83 (2), S. 114–123.
- Smith, R. J.; Bailit, H. L. (1977): Variation in dental occlusion and arches among Melanesians of Bougainville Island, Papua New Guinea. I. Methods, age changes, sex differences and population comparisons. In: *American journal of physical anthropology* 47 (2), S. 195–208.
- Southard, T. E.; Behrents, R. G.; Tolley, E. A. (1989): The anterior component of occlusal force Part 1. Measurement and distribution. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 96 (6), S. 493–500.
- Southard, T. E.; Behrents, R. G.; Tolley, E. A. (1990): The anterior component of occlusal force. In: *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 97 (1), S. 41–44.

- Splieth, C.; Wiesmann, U.: Wachstum und Entwicklung bei Kindern und Jugendlichen In: Splieth, C.; Biffar, R.; Axelsson, P. (2002): *Kinderzahnheilkunde in der Praxis*. Berlin: Quintessenz-Verlags-GmbH, S. 31-56.
- Stallard, H. (1923): The anterior component of the force of mastication and its significance to the dental apparatus. In: *Dental Cosmos* 65, S. 457-474.
- Stanley, L. S. (1962): The influence of mandibular third molars on mandibular anterior teeth. In: *American Journal of Orthodontics* 48, S. 786–787.
- Tanoi, A.; Motegi, E.; Sueishi, K. (2012): Change in dentition over 20 years from third decade of life. In: *Orthodontic Waves* 71 (3), S. 90–98.
- Thilander, B. (2009): Dentoalveolar development in subjects with normal occlusion. A longitudinal study between the ages of 5 and 31 years. In: *European journal of orthodontics* 31 (2), S. 109–120.
- Tibana, R. H. W.; Palagi, L. M.; Miguel, J. A. M. (2004): Changes in dental arch measurements of young adults with normal occlusion-a longitudinal study. In: *The Angle orthodontist* 74 (5), S. 618–623.
- Towfighi, P. P.; Brunsvold, M. A.; Storey, A. T.; Arnold, R. M.; Willman, D. E.; McMahan, C. (1997): Pathologic Migration of Anterior Teeth in Patients With Moderate to Severe Periodontitis. In: *Journal of Periodontology* 68 (10), S. 967–972.
- Tränkmann, J.: Entwicklung der Dentition und Okklusion In: Diedrich, P.; Bauer, W.; Haunfelder, D. (Hg.) (2000): *Orofaziale Entwicklung und Diagnostik*. Studienausg. der 4. Aufl. 2000. München: Elsevier Urban & Fischer (Praxis der Zahnheilkunde Kieferorthopädie, 1), S. 49-70.
- Trauner, F. (1912): The causes of progressive movement of the teeth toward the front. In: *American Journal of Orthodontics*, S. 144-158.
- Tsiopas, N.; Nilner, M.; Bondemark, L.; Bjerklin, K. (2013): A 40 years follow-up of dental arch dimensions and incisor irregularity in adults. In: *European journal of orthodontics* 35 (2), S. 230-235.
- van der Linden, Frans P. G. M. (1981): *Gebitsontwikkeling*. 2e, gew. dr. Alphen aan den Rijn, Nijmegen: Stafleu & Tholen; Instituut voor Orthodontie, Katholieke Universiteit (Tandheelkundige scholing voor studenten in de tandheelkunde en nascholing voor tandartsen, dl. 1), S. 7-63.
- Vieira, E. P.; Barbosa, M. S.; Quintão, C.; Normando, D. (2015): Relationship of tooth wear to chronological age among indigenous Amazon populations. In: *PLOS ONE* 10 (1), S. 116-138.
- Völzke, H. (2012): Study of Health in Pomerania (SHIP). Konzept, Kohortendesign und ausgewählte Ergebnisse. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 55 (6-7), S. 790–794.

Weiglein, A.: Kopf, Cranium, Hals, Collum In: Waldeyer, A.; Anderhuber, F. (Hg.) (2012): Waldeyer - Anatomie des Menschen. Lehrbuch und Atlas in einem Band; 19., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: de Gruyter (De Gruyter Studium), S. 800-817.

Weiß, C. (2019): Basiswissen medizinische Statistik. 7., vollständige und überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 104-105.

Zilberman, O.; Huggare, J.; Parikakis, K. (2003): Evaluation of the Validity of Tooth Size and Arch Width Measurements Using Conventional and Three-dimensional Virtual Orthodontic Models. In: *The Angle orthodontist* 122 (5), S. 512-522.

## 10 Danksagung

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr. Krey, meinem Doktorvater, ganz herzlich bedanken, für die Überlassung des Themas und die hervorragende Betreuung dieser Arbeit, sowie seine vielen wertvollen Impulse und seine Unterstützung.

Ich danke auch den Mitwirkenden der Study of Health in Pomerania für die umfangreichen Untersuchungen an den Probanden, welche meine Arbeit erst ermöglicht haben.

Ganz herzlich möchte ich mich auch bei meinen Eltern für Ihre Unterstützung bedanken, welchen diese Arbeit daher gewidmet ist.