

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
(Prof. Dr. P. F. Meyer-Marcotty)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Die sagittale Kompensationskurve

-

**Eine Untersuchung ihrer Veränderung und Abhängigkeit
von Zahnbogenlänge, -breite und -symmetrie
anhand multipel erstellter Klasse-I-Verzahnungen**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Franziska Sitter
aus
Nordhausen

Göttingen 2015

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

I. Berichterstatter/in: Prof. Dr. med. dent. D. Kubein-Mesenburg

II. Berichterstatter/in: PD Dr. W. Hahn

III. Berichterstatter/in: Prof. Dr. T. Meyer

Tag der mündlichen Prüfung: 23.06.2016

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	V
FACHBEGRIFFSGLOSSAR	VI
1 EINLEITUNG.....	1
2 LITERATURÜBERBLICK.....	3
2.1 Eugnathie.....	3
2.2 Die sagittale Kompensationskurve	6
2.2.1 Entstehung und Variation	9
2.2.2 Veränderung während des Wachstums	12
2.2.3 Abhängigkeit von der Zahnbogenform und -länge	14
2.2.4 Korrektur einer nicht idealen Kurve	17
2.2.5 Die Alexander-Disziplin	20
2.2.6 Rezidive und deren Behandlung	22
2.3 Funktionelle Frontzahnzuordnung.....	23
2.3.1 Basislinienzuordnung	25
2.3.2. Vertikale und sagittale Frontzahnstufe	25
2.4 Morphologie- und Okklusionskonzepte	26
2.4.1 Interkuspitationsposition.....	27
2.4.2 Systemführungen an Protrusionsfacetten	28
2.4.2.1 Theoretisch-protrusive Führungen an geraden Flächen... 28	
2.4.2.2 Theoretisch-protrusive Führungen an gekrümmten Flächen.....	31
2.4.3 Systemführungen an Retrusionsfacetten	32
3 FRAGESTELLUNG.....	33
4 MATERIAL UND METHODEN.....	35
4.1 Vorbereitende Maßnahmen.....	35
4.1.1 Entscheidung für einen Patientenfall	35

4.1.2 Herstellung des Urmodells und Vorbereitungen zur Aufstellung eines Klasse-I-Falls	36
4.1.3 Vorversuche	38
4.2 Aufstellen des Klasse-I-Falls	39
4.2.1 Richtlinien zur Aufstellung einer Klasse-I-Verzahnung.....	39
4.2.2 Materialien.....	39
4.2.2.1 SAM-Artikulator	39
4.2.2.2 Contour-Curve-Former	40
4.2.3 Prozedur der Klasse-I-Aufstellung.....	43
4.3 Messungen.....	45
4.3.1 Frühe Messungen	45
4.3.2. Messmethodik	46
4.3.2.1 Messapparaturen	46
4.3.2.2 Messung der sagittalen Kompensationskurve	48
4.3.2.3 Messungen in der Horizontalebene.....	49
4.5 Statistische Methoden	53
4.5.1 Erhobene Parameter in der Hauptuntersuchung.....	53
4.5.2 Statistisches Auswertungsverfahren	56
4.5.3 Korrelationsberechnungen	56
4.5.4 Hypothesentests.....	57
5 ERGEBNISSE.....	59
5.1 Gruppeneinteilungen	59
5.2 Vergleich der Studenten- und Doktorandenmodelle.....	60
5.2.1 Sagittale Kompensationskurve	60
5.2.1.1 Dritter Quadrant.....	61
5.2.1.2 Vierter Quadrant.....	65
5.2.2 Zahnbogenbreite	70

5.2.2.1 OK-Zahnbogenbreite	70
5.2.2.2 UK-Zahnbogenbreite	71
5.2.2.3 Eckzahndistanz	72
5.2.3 Zahnbogenlänge des Unterkiefers	73
5.2.4 Symmetrie des UK-Zahnbogens	74
5.2.4.1 Symmetrie der Eckzähne	74
5.2.4.2 Symmetrie der ersten Prämolaren.....	75
5.2.4.3 Symmetrie der zweiten Prämolaren	75
5.2.4.4 Symmetrie der ersten Molaren	76
5.2.4.5 Symmetrie der zweiten Molaren	77
5.2.5 Zahnbogenform des Unterkiefers.....	79
5.2.5.1 Dritter Quadrant.....	79
5.2.5.2 Vierter Quadrant.....	81
5.2.6 Numerische Einheiten	83
5.2.6.1 Mittellinienverschiebungen	83
5.2.6.2 Rotationen	83
5.2.6.3 Lücken.....	84
5.2.6.4 Stufen.....	84
5.3 Korrelationsberechnungen	85
5.4 Hypothesentests	86
6 DISKUSSION	88
6.1 Diskussion der Methodik	88
6.1.1 Diskussion des Versuchsaufbaus	88
6.1.2 Diskussion der Messungen und Ergebnisse	89
6.1.2.1 Sagittale Kompensationskurve	89
6.1.2.2 Zahnbogenbreite	93
6.1.2.3 Zahnbogenlänge des Unterkiefers	95

6.1.2.4 Symmetrie und Zahnbogenform des Unterkiefers	97
6.1.2.5 Ergebnisse der Korrelationsberechnungen	100
6.1.2.6 Ergebnisse des Zweistichproben-t-Tests (Welch-Test) ..	101
6.1.3 Stichprobenversuch.....	101
6.2 Diskussion der Ergebnisse im funktionellen Zusammenhang	106
6.3 Schlussfolgerungen für die Praxis.....	109
7 ZUSAMMENFASSUNG	111
8 ANHANG.....	113
8.1 Abbildungsverzeichnis.....	113
8.2 Tabellenverzeichnis.....	116
8.3 Grafische Darstellung der Ergebnisse.....	116
9 LITERATURVERZEICHNIS	120

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

bukk.	bukkal	n	Anzahl
CCF	Contour-Curve-Former	OK	Oberkiefer
CO	zentrische Okklusion	pal.	palatinal
CR	zentrische Kondylenposition	Pb	Prämolarenbreite
Diff.	Differenz	PKP	Physiologische Kondylenposition
Dr.	Doktorandenmodelle	Pos.	Position
dis.	Distal	Qu.	Quadrant
ES	Eckzahns Spitze	sag.	sagittal
HS	Höckerspitze	sag. Komp.	sagittale Kompensationskurve
IKP	Interkuspitationsposition	SNA	SNA-Winkel
i. V.	im Vergleich	SNB	SNB-Winkel
Kat.	Kategorie	Stk.	Stück
max.	maximal	Stud.	Studentenmodelle
Max.	Maximalwert	Tab.	Tabelle
Med.	Medianwert	UK	Unterkiefer
mes.	mesial	vert.	vertikal
Min.	Minimalwert	zentr.	zentral
mind.	mindestens	Zus.	Gesamtheit aller Modelle
MLV	Mittellinienverschiebung	Z	Zahn
MW	Mittelwert		

FACHBEGRIFFSGLOSSAR

Eckzahnführung	dynamische Okklusion zw. Ober- und Unterkieferfrontzähnen
Frontzahnführung	dynamische Okklusion zw. Ober- und Unterkiefer-eckzähnen
Gruppenführung	dynamische Okklusion zw. Seitenzähnen der Laterotrusionsseite
Laterotrusion	Unterkieferbewegung zur Seite aus der max. Interkuspitation
Laterotrusionsseite	Unterkieferabschnitt, welcher sich bei der Laterotrusion von der Mitte wegbewegt (Arbeitsseite)
Mediotrusionsseite	Unterkieferabschnitt, welcher sich bei der Laterotrusion zur Mitte hinbewegt (Balanceseite)
Okklusion	jeder Berührungskontakt der Zahnreihe des Oberkiefers mit dem Unterkiefer
Protrusion	symmetrische Unterkieferbewegung nach vorn aus der max. Interkuspitation
Retrusion	symmetrische Unterkieferbewegung nach hinten aus der max. Interkuspitation
SNA-Winkel	Winkel zw. der Nasion-Sella-Linie und dem A-Punkt ($82 \pm 2^\circ$), gibt die sag. Lage der Maxilla zur Schädelbasis an
SNB-Winkel	Winkel zw. der Nasion-Sella-Linie und dem B-Punkt ($80 \pm 2^\circ$), gibt die sag. Lage der Mandibula zur Schädelbasis an

1 EINLEITUNG

Die Spee'sche Kurve wurde erstmals 1890 vom deutschen Anatomen Ferdinand Graf von Spee (1855-1937) anhand Untersuchungen menschlicher Schädel beschrieben. Dieses natürliche Phänomen ist durch eine konvexe Anordnung der Oberkieferseitenzähne und die entsprechend konkave Anordnung der Unterkieferseitenzähne gekennzeichnet (Spee et al. 1890). Bei sagittaler Betrachtung des Unterkiefers beobachtet man eine bogenförmige Anordnung der Seitenzähne. Entsprechend diesem Konzept treffen sich alle Zahnachsen der UK-Seitenzähne in einem Punkt, welcher den Mittelpunkt eines Kreises darstellt. Die sagittale Kompensationskurve ist ein Teil des Kreises (Orthlieb 1997). Für die Bestimmung der Kurve dienen die Kauspitze des unteren Eckzahns, die folgenden bukkalen Höcker der unteren Prämolaren und Molaren sowie die vordere Grenze des Ramus mandibulae als Referenzpunkte. Die Spee'sche Kurve endet am vordersten Punkt des Kondylus (Kumar und Tamizharasi 2012). Diese entstandene Linie entspricht einer Kreisbahn mit einem Radius von ca. 65-80 mm (Lehmann und Hellwig 2002, Orthlieb 1997). Eine Verlängerung dieser Kurve durch das Kiefergelenk ist die allgemein bekannte Definition der Spee'schen Kurve (Lehmann und Hellwig 2002). Klinisch wird die Kurve durch den distalen Höcker des am weitesten distal stehenden Zahn im Zahnbogen sowie den Inzisalkanten der unteren mittleren Inzisivi definiert und als sagittale Kompensationskurve bezeichnet (Hitchcock 1983, Spee et al. 1890). Der tiefste Punkt ist der zweite Prämolare (Cheon et al. 2008) und wird als Kauzentrum bezeichnet. Der Abstand vom Kauzentrum zum Mittelpunkt des Kreises gibt den Radius der Spee'schen Kurve an (Orthlieb 1997) und ist ein Maß zur Beurteilung und zum Vergleich von sagittalen Kompensationskurven.

Im Milchgebiss ist die Spee'sche Kurve nur minimal feststellbar bzw. sehr flach. Mit beginnendem Durchbruch der bleibenden Dentition steigt ihre Ausprägung an und erreicht ein erstes Maximum. In Verbindung mit dem Durchbruch des zweiten Molaren nimmt die Ausprägung der Kurve erneut zu. In der jugendlichen Dentition flacht sie wieder ab, bis in der erwachsenen Dentition die Ausprägung erneut zunimmt (Marshall et al. 2008). Im adulten Gebiss kann die

Kurve auch flach sein, im Vergleich zum Milchgebiss erscheint sie jedoch stärker ausgeprägt.

Die zahlreichen Veränderungen und Variationen der sagittalen Kompensationskurve während des Zahnwechsels bzw. im Laufe des Lebens unterliegen dem Einfluss von Wachstum, Kraniofaziale Morphologie, Kaukraft, Frontzahnmorphologie, Ausprägung der Okklusion und der relativen Lage der Kiefergelenke zur Mandibula sowie von weiteren Faktoren (Ahmed et al. 2011, Braun et al. 1996, Cheon et al. 2008, Farella et al. 2002, Kubein 1979, Kubein 1980, Kubein et al. 1986, Marshall et al. 2008, Mohan et al. 2011, Salem et al. 2003, Shannon und Nanda 2004, Xu et al. 2004).

Im Rahmen der Überlegungen und Untersuchungen zur Biomechanik des stomatognathen Systems erhob sich die Frage, ob und gegebenenfalls wie sich die sagittale Kompensationskurve sowie die Länge, Breite und Symmetrie der Zahnbögen bei wiederholter Aufstellung in Neutralverzahnung trotz identischer Anatomie der Zähne verändert. Es sollte herausgefunden werden, ob die Zahnform die Ausprägung der sagittalen Kompensationskurve und damit verbunden die Form des Zahnbogens vorgibt. Um diese Aussagen zu bewerten, wurde ein ausgesuchter Patientenfall dubliert und von 45 Studenten in Neutralverzahnung aufgestellt. Zusätzlich erstellte die Doktorandin 20 weitere Modelle in Klasse-I-Verzahnung desselben Patientenfalls. Es sollten dabei die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Spee'schen Kurven bei Einzel- oder Mehrfachaufstellungen beobachtet und verglichen werden.

Dieser Fragestellung wird anhand von Modellvermessungen der aufgestellten Klasse-I-Fälle in der vorliegenden Arbeit nachgegangen.

Es wird die Entstehung und Bedeutung der sagittalen Kompensationskurve im Allgemeinen erörtert. Die Ergebnisse der Untersuchung und deren Schlussfolgerungen werden speziell für die Kieferorthopädie diskutiert.

2 LITERATURÜBERBLICK

2.1 Eugnathie

Die Eugnathie beschreibt ein morphologisch und funktionell optimales regelverzahntes Gebiss mit ausgeglichener Stellung der Zahnreihen. Es handelt sich um eine normale Ausbildung und Funktion des Kausystems. Es liegen keine Entwicklungsstörungen oder Anomalien vor.

Das eugnathe Gebiss sollte als Ziel jeder kieferorthopädischer Behandlung angesehen werden. Absolut eugnathe Gebisse sind jedoch sehr selten. Nicht jede geringe Abweichung muss behandelt werden.

Der Übergang zur Dysgnathie (Fehlentwicklungen der Zähne, Kiefer und/oder Kausystem) ist fließend.

Zusammenfassend beschreibt Schopf „eine volle Zahnzahl, normale Zahnformen, gut ausgeformte Zahnbögen, keinen Engstand, keine Lücken, keine Einzelzahnabweichung, normale vertikale Position der Zähne, korrekte Größen der Kieferbasen, korrekte Einlagerung der Kieferbasen in den Schädel, Übereinstimmung der Kiefermitten, eine neutrale Okklusion“ (Schopf 2000, S. 54) und eine ungehinderte statische sowie dynamische Okklusion als Merkmale für ein eugnathe Gebiss (Andrews 1975, Angle 1913).

Die Okklusion ist der Kontakt zwischen Oberkiefer- und Unterkieferzahnreihen in Schlussbisslage. Der US-amerikanische Kieferorthopäde Edward Hartley Angle definierte zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Okklusion. Er bezog sich dabei auf den Sechsjahrmolaren und wählte diesen als Bezugspunkt (Schlüssel) für das Vermessen von Fehlverzahnungen (Simon 1924). Es entstand die Angle-Klassifikation in drei Klassen bei sag. Betrachtung beider Kiefer (Angle 1899), welche die diagnostische Basis in Deutschland darstellt (Simon 1924). Die Angle-Klassifikation basiert auf skelettaler Relation von Unter- zu Oberkiefer (Dibbets 1996). Die Abweichungen bei Klasse II und Klasse III wird in Prämolarenbreite (Pb) gemessen (Angle 1899).

Eine solche Klassifikation ist notwendig und hilft bei der Diagnosestellung, der Behandlungsplanung von Dysgnathien sowie möglichen mechanischen Lösungen von Problemen (Katz 1992).

Die Angle-Klasse-I (s. Abb. 1) wird als Neutralokklusion beschrieben. Hierbei okkludiert der mesio-bukkale Höcker des ersten oberen Molaren in die Fissur zwischen dem mesio-bukkalen und zentro-bukkalen Höcker des ersten unteren Molaren (Angle 1899). Laut Angle liegt eine normale mesio-distale Relation der Zahnbögen sowie der Kiefergelenke vor (Dewey 1915).

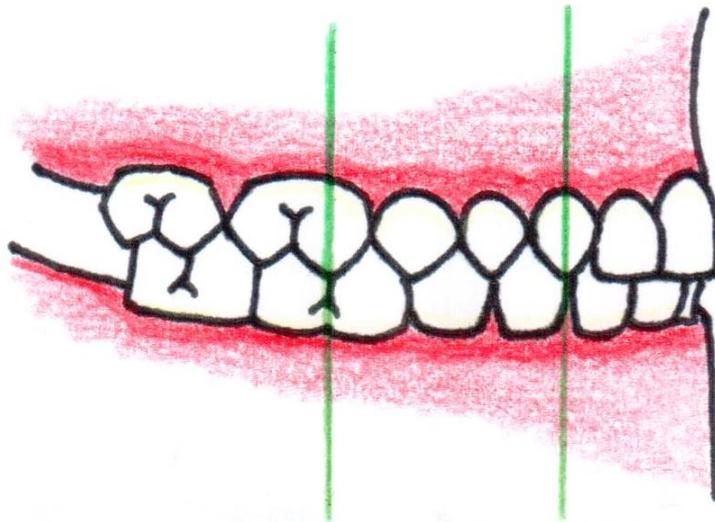


Abbildung 1: Angle-Klasse-I, Neutralverzahnung modifiziert nach Lehmann und Hellwig 2002, S. 51

Die Angle-Klasse-II (s. Abb. 2) wird als Distalbiss bezeichnet. Der mesio-bukkale Höcker des ersten oberen Molaren okkludiert vor dem mesio-bukkalen Höcker des ersten unteren Molaren. Klasse-II-Verzahnungen können durch eine distale Relation des Unterkiefers charakterisiert sein (Dewey 1915).

Kahl-Nieke (2010) beschreibt zusammenfassend die Unterkategorie II/1 als eine zusätzliche Anteinklination (Protrusion) der oberen Frontzähne. Zusätzlich ist der Oberkieferzahnbogen oft verschmälert. Es liegt ein hoher Gaumen vor. Die Unterkategorie II/2 ist durch eine zusätzliche Retroinklination (Retrusion) der oberen Frontzähne charakterisiert. Diese Fehlstellung wird auch als Deckbiss bezeichnet (Angle 1913).

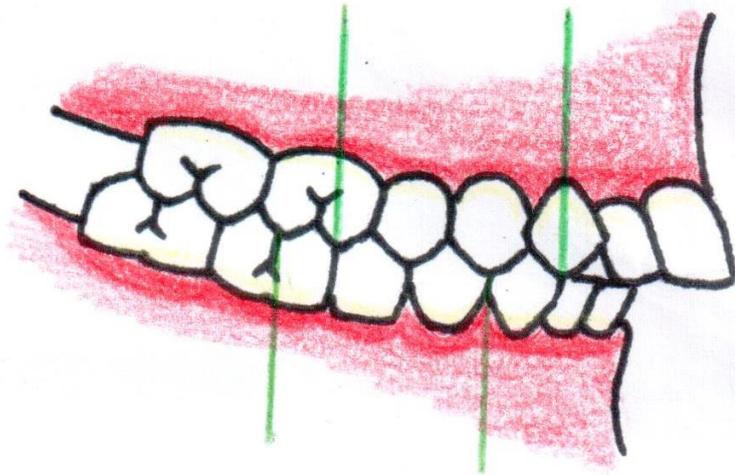


Abbildung 2: Angle-Klasse-II, Distalverzahnung modifiziert nach Lehmann und Hellwig 2002, S. 51

Zusammenfassend wird laut Kahl-Nieke die Angle-Klasse-III (s. Abb. 3) „nach Körbitz als Mesialbiss“ oder auch Progenie bezeichnet (Kahl-Nieke 2010, S. 7). Hierbei okkludiert der mesio-bukkale Höcker des ersten oberen Molaren hinter dem zentro-bukkalen Höcker des ersten unteren Molaren. Dabei entsteht eine umgekehrte Frontzahnstufe (Angle 1913). Es kann eine mesiale Lage des Unterkiefers in Relation zum Oberkiefer vorkommen (Dewey 1915).

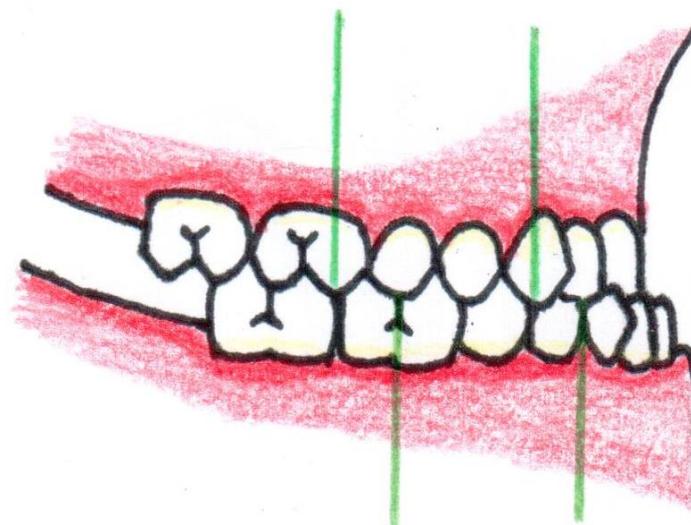


Abbildung 3: Angle-Klasse-III, Mesialverzahnung modifiziert nach Lehmann und Hellwig 2002, S. 51

Sind Patienten nicht komplett der Klasse II oder Klasse III zuzuordnen, so bewegen sie sich in einer gewissen Grauzone der Klasse I mit Tendenz zur Klasse II oder Klasse III (Katz 1992).

Andrews beschreibt in einer Publikation von 1972 die Klassifizierung einer Idealverzahnung anhand sechs Merkmalen, den sogenannten Schlüsseln. Betrachtet man die Molarenrelation, sollte der mesio-bukkale Höcker der oberen ersten Molaren zwischen den mesio-bukkalen und zentro-bukkalen Höcker der ersten unteren Molaren fassen. Dabei greift der mesio-palatinal Höcker der oberen Molaren in die korrespondierenden Fossae. Die mesio-distale Kronenangulation besagt, dass der gingivale Teil einer Zahnkrone weiter distal steht als der inzisale Teil. Die Kronen der oberen und unteren Inzisivi sind labio-lingual, die Seitenzähne bucco-lingual anguliert. In einem eugnathe Gebiss sind weder Rotationen noch Lücken vorhanden. Die Approximalkontakte sind eng. Die okklusale Ebene entspricht einer milden bis flachen Spee'schen Kurve, welche nicht tiefer als 1,5 mm sein sollte. Die Interkuspidation ist bei flachen Okklusionsebenen stabil. Ein Behandlungsziel in der Kieferorthopädie sollte eine Überkorrektur der Kurve sein, da diese sich aufgrund ihrer natürlichen Tendenz stärker ausprägen wird (Andrews 1972).

Insgesamt sollten alle der oben genannten Schlüssel Ziele einer modernen erfolgreichen kieferorthopädischen Behandlung sein.

2.2 Die sagittale Kompensationskurve

Die sagittale Kompensationskurve (s. Abb. 4) ist die kreisförmige Anordnung der Okklusion in der Sagittalen. Diese ist als eine konvexe Anordnung der Oberkieferseitenzähne und die korrespondierende konkave Anordnung der Unterkieferseitenzähne zu erkennen (Spee et al. 1890). Verbindet man die bukkalen Höcker mit einer Linie und betrachtet den Unterkiefer von sagittal, kann man eine nach unten konvexe Anordnung der Seitenzähne beobachten, welche als sagittale Kompensationskurve bezeichnet wird (Lehmann und Hellwig 2002).

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, wurde die Spee'sche Kurve erstmals 1890 vom deutschen Anatomen Graf von Spee anhand der Untersuchung menschlicher Schädel beschrieben.

Die Anordnung der Zähne auf kurvenförmigen Bahnen in der Sagittal- und Frontalebene wird von Spee (Spee et al. 1890) und Müller als Bewegungskompensationskurve, von Fabian und Beyschlag als Ausrichtung auf vorhandene und auftretende Kräfte, von Katz und Körber als Folge der Unterkieferkrüm-

mung oder von Parma als Folge phylogenetischer Reduktion beschrieben (Kubein 1979).

Laut Kumar und Tamizharasi (2012) ist die Spee'sche Kurve durch die Kauspitze des unteren Eckzahns, die folgenden bukkalen Höcker der unteren Prämolaren und Molaren sowie die vordere Grenze des Ramus mandibulae definiert. Sie endet am vordersten Punkt des Kondylus. Als weitgehend akzeptierte Referenzpunkte der sag. Kompensationskurve dient der bukkale Höcker des am meisten posterior gelegenen Molaren sowie die Inzisalkante des unteren mittleren Inzisivus (Shannon und Nanda 2004). Diese Definition dient v. a. der klinischen Beurteilung. Um die Tiefe der Kurve zu beurteilen, misst man den senkrechten Abstand vom tiefsten Punkt zur Okklusionsebene (Al-Saraff et al. 2010, Baydaş et al. 2004, Bernstein et al. 2007, Pandis et al. 2010, Preston et al. 2008, Salem et al. 2003, Shannon und Nanda 2004). Dies ist eine Ebene im Raum, welche aus dem Inzisalpunkt (Berührungspunkt beider unterer Inzisivi) und den beiden disto-bukkalen Höckerspitzen der am weitesten distal gelegenen Molaren konstruiert ist (Lehmann und Hellwig 2002, Shannon und Nanda 2004). Laut Cheon et al. (2008) ist der tiefste Punkt der sagittalen Kompensationskurve der zweite Prämolare (s. Abb. 4). Shannon und Nanda (2004) beschreiben den mesio-bukkalen Höcker des ersten Molaren als tiefste Stelle der Kurve. Die tiefste Position wird als Kauzentrum bezeichnet.

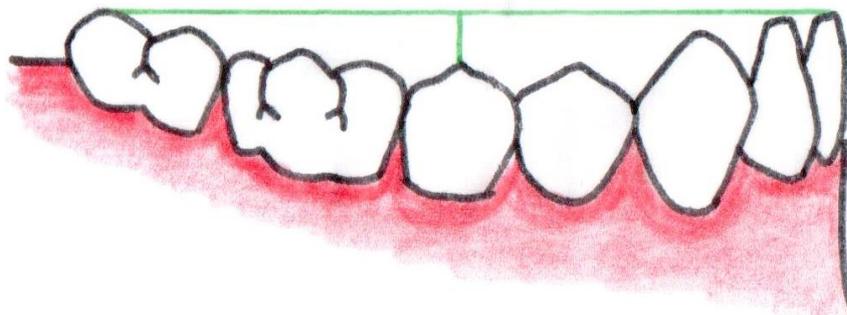


Abbildung 4: Die sagittale Kompensationskurve modifiziert nach Baydaş et al. 2004, S. 350

Der Abstand vom Kauzentrum zum Schnittpunkt aller verlängerten Zahnachsen der UK-Seitenzähne gibt den Radius der Spee'schen Kurve an (Orthlieb 1997). Dieser ist ein Maß zur Beurteilung und Vergleich von sag. Kompensationskurven.

Es wird angenommen, dass die Spee'sche Kurve biomechanische Funktionen während des Kauvorgang einnimmt. Spee nahm an, dass die Kurve das Vorwärts- und Rückwärtsgleiten der beiden Kiefer während des Kauvorganges ermöglicht (Shannon und Nanda 2004). Durch kurvenförmige Anordnung wird Kraft und Berührung der hinteren Molaren beim Mahlvorgang erhöht (Monson 1932, Osborn 1987, Salem et al. 2003). Das Vorhandensein einer Kurve ermöglicht den Zähnen der Kaukraft standzuhalten. Auch Salem et al. (2003) beschreiben, dass aufgrund des Vorhandenseins dieser Sphärik im natürlichen Gebiss ein größerer Widerstand gegen die Kaukraft vorliegt. Sie behaupteten Widerstand erhöht die Stabilität der Dentition in sich. Es kommen weniger physiologische Veränderungen vor (Salem 2003). Die Kurve sollte auch bei Zahnersatz jeglicher Art berücksichtigt werden. Bei herausnehmbarem Zahnersatz verhindert die Kurve Hebeleffekte (Shannon und Nanda 2004).

Es gibt keine signifikanten Unterschiede in den Maximalwerten zwischen der rechten und linken Seite der Mandibula (Marshall et al. 2008) sowie zwischen den Geschlechtern (Farella et al. 2002, Shannon und Nanda 2004, Xu et al. 2004).

In einer Studie von Cheon et al. (2008) war jedoch die sagittale Kompensationskurve auf der rechten Seite durchschnittlich tiefer als auf der linken Seite. Hierbei zeigten die Zahnbögen auch Asymmetrien auf. Sobald sich der Abstand der zweiten Molaren von der Mittellinie vergrößert, vertieft sich die Spee'sche Kurve (Cheon et al. 2008).

Xu et al. (2004) verglichen in einer Studie die Radien der Spee'schen Kurven von Oberkiefer mit den korrespondierenden Kurven im Unterkiefer. Die Ergebnisse veranschaulichten, dass der mittlere Radius des Oberkiefers signifikant größer ist als der des Unterkiefers. Somit zeigte sich, dass die Tiefe der Spee'schen Kurve im Unterkiefer deutlich tiefer ist als im Oberkiefer (Xu et al. 2004). Cheon et al. (2008) publizierten hingegen, dass die Tiefe der Spee'schen Kurve im OK mit der im UK korreliert (Cheon et al. 2008).

Laut Andrews (1972) können bei einer tiefen Kurve unmöglich die Eckzähne in Klasse-I-Verzahnung stehen, da okklusale Interferenzen resultieren und im Frontbereich Platzmangel herrscht. Bei flachen Kurven findet man eine gute

und stabile Interkuspitation vor. Aus diesem Grund sollte eine flache Kurve immer eines der Behandlungsziele in der Kieferorthopädie sein (Andrews 1972). Nach Andrews (1972) gilt eine Kurve ab 1,5 mm als ausgeprägt.

Im menschlichen Gebiss kann man weitere kurvenförmige Anordnungen der Zähne finden. Im Gegensatz zur sagittalen Kompensationskurve wird die Wilson-Kurve als transversale Kompensationskurve bezeichnet. Verbindet man in der Frontalebene die Höckerspitzen der Molaren miteinander, so entsteht aufgrund der Kronenflucht der unteren Seitenzähne der typische Verlauf. Hierbei stehen die lingualen Höcker der Unterkieferseitenzähne tiefer als die bukkalen (Lehmann und Hellwig 2002).

2.2.1 Entstehung und Variation

Im Milchgebiss (4-5 Jahre) ist die sag. Kompensationskurve nur minimal feststellbar bis flach (ca. 0,25 mm). Diese vertieft sich initial mit dem Durchbruch der Sechsjahresmolaren und den zentralen Inzisivi. Sie erreicht ein Maximum von 1,3 mm und verändert sich kaum bis zum Durchbruch der zweiten Molaren. Wenn dieser durchbricht, steigt sie erneut auf ein Maximum von über 2,0 mm. In der jugendlichen Dentition flacht die Kurve wieder auf unter 2,0 mm ab, wobei sie in der erwachsenen Dentition wieder auf über 2,0 mm ansteigt und stabil bleibt (Marshall et al. 2008). Im adulten Gebiss kann diese auch flach sein, im Vergleich zum Milchgebiss erscheint sie jedoch stärker definiert bis ausgeprägt.

Diese Annahme wird durch eine Patientenstudie von Kubein et al. (1986) bestätigt. Bei 183 Patientenfällen wurde zu Beginn und am Ende der kieferorthopädischen Behandlung die sagittale Kompensationskurve mit Radienschablonen vermessen.

Bei der Patientengruppe I waren bereits bleibende Zähne im Anfangsmodell vorhanden. Hier nahm der Radius der Kompensationskurve im Mittel zu, d. h. sie wurde flacher. Bei der Patientengruppe II waren Milchzähne im Anfangsmodell vorhanden. Hier nahm der Radius im Mittel leicht ab, d. h. die Kurve wurde ausgeprägter. Dies ist dadurch zu erklären, dass im Laufe der Milchgebissphase, die Kurve (Vergrößerung des Radius) abflacht. Mit dem Übergang zum bleibenden Gebiss würde jedoch ein Zurückspringen auf einen kleineren Radius

erfolgen, der im Laufe des weiteren Wachstums der Kiefer erneut zunehmen würde. Die Patientengruppe III (Extraktionsfall, bleibende Zähne) und IV (Extraktionsfall, Milchzähne) zeigen, dass eine Extraktionstherapie einen massiven Eingriff in die Ausbildung der sag. Kompensationskurve darstellt. Die Modelle zum Ende der Behandlung weisen in beiden Gruppen eine ausgeprägte Kurve mit verringertem Radius auf. Dabei ist die Ausprägung der Gruppe IV stärker, da im Milchgebiss die Kurve flacher ist.

Farella et al. (2002) publizieren, dass sich das stomatognathe System in geringem Ausmaße den dentoskelettalen Variationen durch Modifikation der Spee'schen Kurve anpasst. Nur ein Drittel der Variationen können anhand cephalometrischer Variablen erläutert werden. Die Spee'sche Kurve ist z. B. bei kleiner Gesichtshöhe ausgeprägter als bei großer (Farella et al. 2002). Ein Großteil der Aspekte bleiben ungeklärt und müssen anders begründet werden. Stärkeren Einfluss hat statt der fazialen wohl eher die dentale Morphologie (Cheon et al. 2008). Laut Kumar und Tamizharasi (2012) hat die vertikale cranio-faziale Dimension und die Position der Mandibula in Bezug zur vorderen Schädelbasis nur eine geringfügige Einwirkung auf die Ausprägung der Kurve.

Nach Kubein sind die Veränderungen in der Okklusion und somit der Kompensationskurve durch Anordnung der okklusalen und artikulären Elemente, der Frontzahnmorphologie, durch die individuelle Ausformung der Seitenzahnmorphologie und deren räumliche Beziehung zu den Kiefergelenken vorgegeben (Kubein et al. 1986).

Die Spee'sche Kurve ist nah assoziiert mit der Unterkieferfunktion. Es zeigt sich, dass Disharmonien zwischen vorderen und hinteren Teilen des Unterkiefers und okklusalen Kräften spezifische Veränderung verursachen können (Salem et al. 2003). Auch die Position der Kondylen in Relation zur Okklusionsebene beeinflusst die Form der Spee'schen Kurve. Je weiter die Dentition anterior liegt (je größer der Abstand zu den Kondylen ist), desto weniger ausgeprägt ist die Kurve. Ebenso ist die Kurve flacher, je weiter anterior die Mandibula liegt (Farella et al. 2002).

Laut Kubein et al. (1986) ist festzuhalten, dass die individuelle Ausprägung der sag. Kompensationskurve durch die Höckerhöhe und deren Veränderung von

mesial nach distal sowie durch die Längendifferenz der Basislinien im Oberkiefer- und Unterkiefer bestimmt wird.

Andere Autoren beschreiben weitere wichtige Zusammenhänge: Die sag. Kompensationskurve steht mit Overjet, Overbite und der sag. Position der Mandibula (Abstand zur Schädelbasis) sowie der Maxilla (SNA-, SNB-Winkel) in Beziehung. Je ausgeprägter die Spee'sche Kurve im Seitenzahnbereich ist, desto tiefer ist der Overbite in der Front (Cheon et al. 2008, Salem et al. 2003, Carcara et al. 2001). Findet man eine fächerförmige UK-Front vor, so ist nicht selten die Kurve ausgeprägt (Salem et al. 2003).

Die mandibulare Morphologie ist ebenfalls ausschlaggebend für die Ausbildung der Spee'schen Kurve. Die Mandibula rotiert während des Wachstums relativ zum Gesichtsschädel. So kann z. B. eine protrusive oder retrusive Lage resultieren. Exzessives vertikales Wachstum (Mandibula wächst abwärts) führt zu ausgeprägten bilateralen Kurvaturen am unteren Rand der Mandibula (Salem et al. 2003).

Ebenso kann das Vorkommen dieser Kurvaturen auf unruhiges bzw. arretiertes Wachstum hindeuten (Salem et al. 2003). Salem et al. (2003) stellen sich die Frage, ob die bilateralen Kurvaturen im Unterkiefer im direktem Zusammenhang mit vertikalem und sagittalem Wachstumspotential und damit verbundener Ausbildung der Spee'schen Kurve stehen. In einer Studie, in welcher 36 Fernröntgenseitenbilder und deren Modelle untersucht wurden, stellte sich heraus, dass eine signifikant negative Korrelation zwischen der durchschnittlichen Tiefe der Spee'schen Kurve und der Ausdehnungsgröße der Kurvaturen zu beobachten ist. Ebenso fanden Salem et al. (2003) heraus, dass eine statistisch positive Korrelation zwischen Flächenausdehnung der Kurvaturen und der unteren Gesichtshöhe vorliegt. Es ergab sich eine signifikant negative Korrelation zwischen den Mittelwerten der Oberflächengrößen der Kurvaturen und den Mittelwerten des Unterkieferkörpers (Salem et al. 2003). Daraus ist zu schlussfolgern, dass Patienten mit vergrößerten Oberflächen der Kurvaturen eine erhöhte untere vordere Gesichtshöhe, eine verkürzte Korpuslänge der Mandibula und eine niedrig ausgeprägte Spee'sche Kurve aufzeigen. Anders gesagt, wenn die untere vordere Gesichtshöhe erhöht ist, verkürzt sich die Länge der Mandibula. Eine

verkürzte Mandibula wiederum steht für vertikales Wachstum mit ausgeprägten Kurvaturen (Salem et al. 2003).

2.2.2 Veränderung während des Wachstums

Die idealen Anordnungsmöglichkeiten der okklusalen Morphologie und somit der Kompensationskurve sind durch primäre Anordnung der okklusalen und artikulären Elemente, Frontzahnmorphologie (Zahngröße, Ausformung der pal. Konkavität, Lage des Nullpunktes) und individuelle Ausformung der Seitenzahnmorphologie vorgegeben. Dominierende Wachstumsrichtungen sind auch als eine Folge okklusaler Determinierungen anzusehen (Kubein 1980).

Die Okklusion und ihre Veränderung im Wachstum, die Veränderung der artikulären Führungen in sich und in Relation zur Okklusion sowie alle aufgezählten Anteile im Verhältnis zu den skelettalen Strukturen sind gekoppelt. Dabei ist die okklusale Morphologie als eine Schlüsselposition (s. Absch. 2.4) zu betrachten, da diese relativ konstant bleibt (Kubein 1980).

Kubein (1980) erläutert, dass bei einer disto-kranialen Gelenkverschiebung bei gleichbleibender Frontführung und Seitenzahnordnung eine steilere artikuläre Führung notwendig sei. Allerdings ist die Zunahme der Neigung relativ zur Okklusionsebene abhängig von der Wachstumsrichtung und –strecke.

Beim Wachstum soll die Kondylenbahn relativ zur Okklusionsebene steiler werden. Allerdings nicht in dem Ausmaß, wie es nötig wäre, um das protrusive System bei stetiger Lokalisation des Rotationszentrum funktionsfähig zu halten. Es kommt zur Verschiebung des retrusiven IKP-Rotationszentrum nach disto-kranial, sowie zur Lageänderung des protrusiven IKP-Rotationszentrum nach mesio-kranial (Kubein 1980).

Entfernen sich die IKP-Rotationszentren der primären Kompensationskurven nach kranial von der Okklusion, so wird die okklusale Morphologie der sekundären Kompensationskurve (s. Abschn. 2.4.2.1) flacher. Kubein (1980) beschreibt ein geometrisches Modell, bei welchem die relative disto-kraniale Wachstumsrichtung der Kondylen und leichte Veränderung an den Gelenken mit Abflachung der sekundären Kompensationskurve (Radiusvergrößerung) einhergehen.

Der Radius einer Spee'sche Kurve ist bei Klasse-II-Verzahnung kleiner als bei Neutralverzahnung (Cheon et al. 2008, Farella et al. 2002). Aufgrund dessen haben im Allgemeinen Klasse-II-Patienten tiefere Kurven als Klasse-I-Patienten (Shannon und Nanda 2004). Eine ausgeprägte Kurve vor einer kieferorthopädischen Behandlung geht mit tiefem Overbite, großem Overjet und einer Distalverzahnung einher. Exzessive Kurven sind mit Tiefbissen und mesial inklinierten Molaren assoziiert. Hat ein Frontzahn keinen vertikalen Stop, so wird dieser weiter durchbrechen und den Biss sowie den damit verbundenen vorderen Anteil der Kurve vertiefen (Shannon und Nanda 2004). Um eine geeignete Frontzahnbeziehung zu generieren, muss die Kurve relativ mild bis flach sein (Andrews 1972, Shannon und Nanda 2004).

Baydaş et al. (2004) publizieren jedoch, dass es bei unterschiedlichen Ausprägungen der Spee'schen Kurve (flach oder ausgeprägt) keine signifikanten Unterschiede in der Position und Inklination der unteren und oberen Inzisivi sowie in einer Schachtelstellung der unteren Frontzähne gibt. Allerdings konnten statistische Unterschiede im Overjet und Overbite gemacht werden. Diese Messwerte sind bei ausgeprägten Kurven deutlich größer (Baydaş et al. 2004). Balridge (1969) berichtet, dass ein Abflachen der Spee'schen Kurve eine Verlängerung des Zahnbogens zur Folge hat. Dies führt zu einer Proklination der unteren Front und zu einer reduzierten Eckzahndistanz der unteren Eckzähne (Baydaş et al. 2004). AlQabandi et al. (1999) sagen, es gäbe keine Korrelation zwischen dem Ablachen der Spee'schen Kurve und Proklination der unteren Inzisivi. Allerdings fand diese Studie heraus, dass die Tiefe der Spee'schen Kurve mit der Intercaninen-Distanz im Unterkiefer korreliert. Dusek beschrieb 2000 in seiner Masterarbeit, je mehr die untere Front protrudiert steht, desto weniger ist die Spee'sche Kurve ausgeprägt (Baydaş et al. 2004).

Eine ausgeprägte Spee'sche Kurve resultiert u. a. aus einer Imbalance zwischen den okklusalen Kräften, durch Extrusion der unteren Inzisivi, Infraeruption der Prämolaren und mesiale Inklination der Molaren (Preston et al. 2008). Wenn die sag. Kompensationskurve zu ausgeprägt ist, wird der Platz für die Oberkieferzähne nicht ausreichend sein. Aus diesem Grund ist eine flache Kurve ideal für eine stabile Interkurspitation. Ist diese jedoch zu flach oder nicht mehr vorhanden, resultiert ein zu langer Zahnbogen und eine Distalverzahnung

der ersten Molaren. Eine invertierte Kurve ist eine Folge der Überbehandlung. Es resultieren Lücken in den Oberkieferzahnreihen (Andrews 1972).

2.2.3 Abhängigkeit von der Zahnbogenform und -länge

Der Zahnbogen hat im menschlichen Unterkiefer ungefähr die Form einer Parabel. Ihr Scheitelpunkt liegt zwischen den mittleren Scheidezähnen 31 und 41. Da in Neutralverzahnung die Oberkieferzähne die Zähne im Unterkiefer nach vestibulär übergreifen, entsteht im Oberkiefer ungefähr die Form einer Ellipse. Liegt eine Dysgnathie vor, kann ein Zahnbogen auch hufeisenförmig oder kubisch parabelförmig sein (Braun et al. 1998). Laut Henrikson et al. (2001) gibt es vier Haupttypen: Kreis, Elipse, Parabel und Hyperbel. Unter Umständen kann ein Zahnbogen auch konisch geformt sein (Henrikson et al. 2001). Es ist allgemein bekannt, dass die Zahnbogenform vom unterstützenden Knochenangebot, dem Eruptionsort der Zähne, umgebender Muskulatur und intraoraler Funktionskräfte geformt wird (Braun et al. 1998). Nach Andrews (1972) sollte in einer Klasse-I-Verzahnung der mesio-bukkale Höcker der oberen ersten Molaren zwischen den mesio-bukkalen und zentro-bukkalen Höcker der ersten unteren Molaren fassen. Dabei greift der mesio-palatinal Höcker der oberen Molaren in die korrespondierende Fossa. Sollte dies der Fall sein, so ist der gemessene Abstand der mesio-palatinalen Höcker der ersten oberen Molaren identisch mit der Distanz der korrespondierenden Fossae der ersten Molaren im Unterkiefer.

Al-Sarraf et al. (2010) fanden heraus, dass es eine negative Korrelation zwischen dem Zahnbogenumfang und der Tiefe der Spee'schen Kurve gibt. Dieses Erkenntnis bedeutet, dass ein Ansteigen des Umfangs mit der Abflachung der Kurve übereinstimmt. Anders gesagt, je länger der Zahnbogen ist, desto flacher ist die Kurve. Dieses Ergebnis ist identisch mit dem von Baldrige (1969). Er berichtet, dass das Abflachen der sag. Kompensationskurve zu einem Ansteigen des Umfangs der Zahnbögen führt. Oft kommt es dadurch zur Proklination der unteren Frontzähne. Al-Sarraf et al. (2010) stellen weiterhin fest, dass eine signifikant positive Korrelation zwischen Tiefe der Kurve und Overjet sowie Zahnbogenumfang und Overjet zu beobachten ist (Al-Sarraf et al. 2010).

Braun et al. (1998) vergleichen in einer Studie die Zahnbogenlängen und -formen von Klasse-I-, Klasse-II- und Klasse-III-Modellen. Es fällt dabei deutlich auf, dass generalisiert die unteren Zahnbögen der Klasse-II-Modelle um einen mittleren Wert von 2,3 mm schmaler sind als die der Klasse-I-Modelle. Ebenso sind die Längen der Klasse-II-Zahnbögen um einen mittleren Wert von 3,0 mm kürzer. Gründe dafür könnten ein schmaler Körper der Mandibula oder eine ausgeprägte sag. Kompensationskurve sein. Die Klasse-III-Modelle weisen eine verringerte Zahnbogenlänge um durchschnittlich 3,3 mm auf. Ihre Zahnbögen sind um 2,1 mm breiter. Die geringere Länge geht mit einem verstärkten Tonus der Lippenmuskulatur in der Frontzahnregion einher. Bei einer verringerten Zahnbogenlänge ist theoretisch die sag. Kompensationskurve erhöht, allerdings sei dies bei den Klasse-III-Modellen dieser Studie nicht vorgekommen (Braun et al. 1998).

Henrikson et al. (2001) publizieren, dass sich die Oberkieferzahnbogenbreite durchschnittlich vom 13. bis zum 31. Lebensjahr um 0,2 mm verringert. Die OK-Zahnbogenlänge verkleinert sich um 1,8 mm, die OK-Eckzahndistanz nur um 0,4 mm. Die Unterkieferzahnbogenbreite verkleinert sich während des Zeitraumes um 0,3 mm, wobei sich die UK-Zahnbogenlänge um 1,6 mm und die UK-Eckzahndistanz um 0,7 mm reduziert (Henrikson et al. 2001).

Pandis et al. (2010) stellten fest, dass die Nivellierung der Spee'sche Kurve nicht zwingend ein Ansteigen der Zahnbogenbreite und der intercaninen Distanz zur Folge hat. Diese Größen korrelieren nicht zwingend, sondern sind meistens zufällig (Pandis et al. 2010).

Balridge (1969) und Braun et al. (1996) publizieren, dass die Tiefe der sag. Kompensationskurve mit der Zahnbogenlänge korreliert. Je ausgeprägter die Kurve ist, desto kürzer sind die Zahnbögen. Je flacher die sag. Kompensationskurve ist, desto länger sind der Zahnbögen (Braun et al. 1996).

Auffallend ist, dass bisher keine Korrelationen zwischen Zahngröße, Höckergröße und -höhe untersucht wurden. Zusammenfassend betrachtet, müssten diese Korrelationen die Aufbiegung der Kompensationskurve bestimmen.

Als Symmetrie bezeichnet man die Eigenschaft eines Gebildes, beiderseits einer festgelegten Achse ein Spiegelbild zu ergeben. Gerlach (1968) beschreibt

in seiner Publikation „Asymmetrien im Kiefer-Gesichtsbereich“ dass man rechts und links dieser Achse eine spiegelbildliche Gleichheit vorfindet. Asymmetrie ist das Gegenteil, es fehlt die symmetrische Gesetzmäßigkeit. In asymmetrischen Körpern lassen sich keine Achsen anlegen. Die Menschen haben als Wirbeltiere einen links-rechts-symmetrischen Körper. Somit sind auch unsere Kiefer und Zahnbögen bilateral symmetrisch (Gerlach 1968).

Maurice und Kula (1998) publizieren, dass Populationen mit intakter Neutralverzahnung im permanenten Gebiss ohne kieferorthopädische Behandlung weniger als 1,0 mm transversale oder antero-posteriore Asymmetrien aufweisen. Patienten mit unbehandelter Klasse-II-Verzahnung haben stärkere Asymmetrien. Zahnbögen Erwachsener mit fehlenden Zähnen haben stärkere Asymmetrien als lückenlose vollbezahnte Kiefer. Viele Faktoren z. B. Extraktionen, Approximalkaries oder Habits können ausschlagend für dentale Asymmetrien sein (Maurice und Kula 1998). In einer Studie von Maurice und Kula (1998) an kaukasischen Kindern, welche sich im frühen Wechselgebiss befanden, hatten ca. 25 % transversale Asymmetrien größer als 2,0 mm. Nur 11,5 % hatten anteroposteriore Asymmetrien größer als 2,0 mm. Statistisch signifikante transversale Asymmetrien waren in der mandibulären Eckzahnregion zu finden. Oft hängt diese vorübergehende Asymmetrie mit asymmetrischem Zahndurchbruch zusammen. Gleich dem erwachsenen permanenten Gebiss nimmt auch die Asymmetrie im Wechselgebiss von anterior nach posterior zu. War eine Asymmetrie in einem Kiefer zu finden, war sie ebenfalls im Gegenkiefer vorhanden (Maurice und Kula 1998).

Diese Spiegelachse wird von der Mittellinie des Kiefers in antero-posteriorer Richtung gebildet. Die Abstände von festgelegten Punkten zu dieser Mittellinie und der Vergleich von rechter und linker Seite bilden die Grundlage für die Bestimmung der Symmetrie. Lear (1968) nutzte im Oberkiefer die Sutura palatina mediana als Mittellinie bzw. Achse. Diese Methode wurde traditionell genutzt, weil die Sutura gut auf den Modellen zu erkennen ist. Lear (1968) kam zur Erkenntnis, dass die Sutura palatina mediana nicht mit dem approximalen Kontaktpunkt der mittleren Inzisivi übereinstimmt. In seiner Studie beschreibt er eine max. Diskrepanz der Abstände zur Mittellinie von 5,7 mm im Bereich des oberen zweiten Molaren (Lear 1968).

Ferrario et al. (1993) publizieren, dass es keine signifikanten Unterschiede in Größe und Form der linken und rechten Kieferseiten bei Männern gibt. Bei Frauen ist der Unterkiefer symmetrisch. Die Hälften des Oberkiefers haben jedoch nicht die identische Form. Allerdings finden sich keine Größenunterschiede (Ferrario et al. 1993).

Schaefer et al. (2006) beschrieben, dass keine Korrelation zwischen Asymmetrie und dem Alter besteht. Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Weiterhin beschreiben Sie in ihrer Studie, dass direkte Asymmetrie mit umweltbedingtem Stress im Unterkiefer auftreten. Direkte Asymmetrien kommen gehäuft bei Inzucht in beiden Kiefern vor. Schwankende Asymmetrien häufen sich bei umweltbedingtem Stress in beiden Kiefern, wobei Inzucht zu schwankenden Asymmetrien im Unterkiefer führt. Zusammengefasst ist der Unterkiefer anfälliger für Asymmetrien im Vergleich zum Oberkiefer, da der Oberkiefer widerstandsfähiger sei. Die Wahrscheinlichkeit für eine Asymmetrie im Unterkiefer ist drei Mal größer als die im Oberkiefer (Schaefer et al. 2006).

2.2.4 Korrektur einer nicht idealen Kurve

Als Nivellierung bzw. Korrektur einer Spee'schen Kurve bezeichnet man den Vorgang, bei welchem die Inzisalkanten der unteren Inzisivi auf der gleichen horizontalen Ebene zu liegen kommen wie die bukkalen Höckerspitzen des am meisten posterior stehenden Molaren (Carcara et al. 2001). Anschließend sollen alle bukkalen Höckerspitzen und Inzisalkanten der UK-Front nahezu auf einer Ebene liegen. Es gibt keine allgemeine Einigung über ein biomechanisches Prinzip, welches benutzt werden sollte und stabile langanhaltende Ergebnisse bringt.

Zur Korrektur einer ausgeprägten Spee'schen Kurve gibt es mehrere Möglichkeiten. Zum einen können Molaren und Prämolaren extrudiert und aufgerichtet werden (Bernstein et al. 2007, Preston et al. 2008). Die ersten Molaren und zweiten Prämolaren werden dabei stärker extrudiert als die zweiten Molaren und ersten Prämolaren (Shannon und Nanda 2004). Diese Extrusion entspricht einer relativen sag. Verlängerung des UK-Zahnbogens. Aus der Abflachung der

Kurve folgt eine Abnahme der Frontzahnstufe. Einen Millimeter Extrusion der oberen oder unteren Molaren reduziert die Frontzahnstufe um 1,5 - 2,5 mm.

Diese Methode wird bei Patienten mit geringer Gesichtshöhe oder sehr starken Spee'schen Kurven angewendet. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass die Stabilität bei Patienten mit abgeschlossenem Wachstum fragwürdig ist. Weitere Nachteile sind eine relative Erhöhung des Frontzahnüberstands, eine Erhöhung des Interlabialabstands sowie eine Verschlechterung des sogenannten „gummy smile“ bzw. Zahnfleischlachsens (Kumar und Tamizharasi 2012).

Shannon und Nanda (2004) publizieren, dass es eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Maß des Aufrichtens des unteren zweiten Molaren und der Tiefe der Kompensationskurve gibt.

Eine weitere Möglichkeit zur Korrektur ist die Intrusion oberer und unterer Inzisivi (Bernstein et al. 2007, Preston et al. 2008).

Diese Methode sollten bei ausgewachsenen Patienten favorisiert werden. Indikationen sind hohe vertikale Dimension und großer Interlabialabstand. Risiko hierbei ist die externe Wurzelresorption (Kumar und Tamizharasi 2012).

Eine Kombination aus Prämolaren- oder Molaren-Extrusion und Inzisivi-Intrusion dient ebenfalls zur Nivellierung der sag. Kompensationskurve mittels Straight-Wire-Technik. Eine gute Möglichkeit dafür bietet das Einbiegen eines „Sweeps“ (invertierte Spee'sche Kurve) in einen Archwire-Bogen. Dabei handelt es sich um eine Biegungsart der zweiten Ordnung (Biegungen in der Vertikalebene). Der Bogen wird also in der Vertikalebene gekrümmt, welche die Spee'sche Kurve nivellieren soll. Somit dient diese Biegung zur Tiefbiss-Behandlung. Dabei sollten alle Zähne von 36 auf 46 mit Achter-Ligaturen versehen werden, um Lückenbildungen entgegenzuwirken. Schudy (1968) schlägt jedoch vor, einen Tiefbiss und eine ausgeprägte Kurve allein durch Molarenextrusion zu korrigieren. Da die Intrusion von Frontzähnen eine höhere Rezidivrate hat (Schudy 1968).

Ein durchgehender Archwire-Bogen ist an allen Zähnen im Zahnbogen befestigt. Er wird eingesetzt um Prämolaren und Molaren zu extrudieren. Segment-Bögen hingegen sind nur an bestimmte Zahnguppen fixiert (z. B. erste Molaren,

Frontzähne). Diese sollen untere Inzisivi intrudieren. Preston et al. (2008) verglich die beiden Methoden und fand heraus, dass beide Techniken ausgeprägte Spee'sche Kurven und Tiefbisse gleichermaßen erfolgreich korrigieren. Ebenso verglichen Dake und Sinclair (1989) sowie Weiland et al. (1996) die beiden Behandlungsmethoden. Dake und Sinclair (1989) stellten fest, dass beide Techniken bei erwachsenen Klasse-II-Patienten den Tiefbiss gleichermaßen effektiv und stabil korrigieren. Weiland et al. (1996) publizieren, dass an ausgewachsenen Patienten eine Behandlung mit Segmentbögen besser ist, als die konventionelle Archwire-Technik, sobald Inzisivi intrudiert werden müssen (Carcara et al. 2001). Im Fall eines Non-Extraktionsfalls mit Klasse-II-Verzahnung und Tiefbiss sind mit der Archwire-Technik nach Alexander (s. Abschnitt 2.2.5) 71 % der Kurven komplett nivelliert (gerade Okklusionsebene), bei der bioprogressiven Segment-Technik 69 %. Sollte eine Kurve nicht komplett nivelliert sein, so hat diese eine höhere Inzidenz für ein Rezidiv. Dieses ist meist weniger stark als der Ausgangszustand und tritt erst in einem langem Zeitraum nach Behandlungsabschluss auf (Preston et al. 2008). Allerdings gibt es Unstimmigkeiten zwischen den Befürwortern dieser kieferorthopädischen Techniken, welcher mechanische Ansatz zur Korrektur einer ausgeprägten Kurve der optimalste ist. Behandler, welche Segment-Bögen favorisieren, meinen, es käme zu einer Extrusion der posterioren Zähne bei der Nutzung von Archwire-Bögen. Dies würde zum Ansteigen der unteren Gesichtshöhe führen. Sie sagen ebenfalls, dass es bei Einbiegen einer invertierten Spee'schen Kurve (Sweep) in den Archwire-Bogen zur Kippung der unteren Inzisivi nach labial kommt. Auf der anderen Seite sind die Verfechter der Archwire-Bögen der Meinung, dass Prämolarextrusionen stabilere okklusale Veränderungen darstellen während Frontzahnintrusionen rezidivieren (Bernstein et al. 2007). Laut Bernstein et al. (2007) ist die Archwire-Technik mit Molarenextrusion und minimaler Frontzahnintrusion die effektivere Variante bei Klasse-II-Verzahnungen von Non-Extraktionsfällen mit Tiefbiss und initialer Spee'schen Kurve von 2 - 4 mm. Diese Technik kontrolliert die Position der UK-Front während der Nivellierung der Spee'schen Kurve. Laut Bernstein et al. (2001) bleibt das Ergebnis lange Zeit stabil (Bernstein et al. 2007).

Germane et al. (1992) fanden heraus, dass weniger als 1 mm Zahnbogen erforderlich ist. Sie beobachten, dass die Relation zwischen dem Nivellieren der

Kurve und dem erforderlichen Platz nicht einer linearen Beziehung folgt. Vielmehr ist sie abhängig von der Zahnbogenform und der Tiefe der Kurve (Pandis et al. 2010). Woods (1986) publiziert, dass der Umfang des Platzes von der benutzten Apparatur abhängig ist.

Eine weitere Behandlungsmöglichkeit bietet das Invisalign-System. Hierbei handelt es sich um eine individuell angefertigte Apparatur aus transparentem Kunststoff. Patienten empfinden dies oft als sehr komfortabel. Der herausnehmbare *Aligner* wird alle zwei Wochen neu angefertigt. Mit Hilfe des Systems ist eine effektive Korrektur eines Tiefbisses mit ausgeprägter Spee'schen Kurve bei normalen skelettalen Parametern möglich. Hierbei werden die oberen und unteren Frontzähne je nach Knochenangebot protrudiert und intrudiert. Der untere Inzisivus wird oft stärker intrudiert als der obere, um die Lachlinie zu erhalten. Oft müssen die unteren Frontzähne approximal reduziert werden, um die Zahnbreiten zu verringern. In seltenen Fällen kann eine permanente approximale Schmelzreduktion im Seitenzahnbereich vorgenommen werden, um den nötigen Platz zu schaffen. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass der *Aligner* im Gegensatz zu festsitzenden Apparaturen okklusale Interferenzen während der Behandlung aufhebt (Giancotti et al. 2008).

Patienten mit strukturellen Tiefbissen und ausgeprägten Spee'schen Kurven in Klasse-II-Relationen sind vielfach nur mit orthognathen Operationen zu behandeln (Giancotti et al. 2008). Heute sind vergleichbare Ergebnisse ebenso mit Herbst-Apparaturen zu erzielen.

2.2.5 Die Alexander-Disziplin

Diese moderne Therapiemethode wurde von Dr. R. G. Alexander entwickelt. Er veröffentlichte 2001 die Prinzipien der *Alexander-Disziplin*. Bei dieser Behandlung wird der Patient vollkommen in die Behandlung einbezogen. Seine Compliance ist ausschlaggebend für den Behandlungserfolg (Alexander 2001).

Alexander beschreibt 20 Prinzipien für eine optimale kieferorthopädische Behandlung. Unter anderem beschreibt er spezielle Brackets, welche für einen steigenden Interbraket-Abstand entwickelt wurden, sowie die Art und Weise des Anbringens der Brackets. Des Weiteren schildert Alexander die Verwendung eines modernen erprobten Bogen-Designs. Der initiale mandibuläre Bo-

gen soll flexibel und rechteckig sein, sodass eine bessere Kontrolle des Torques gewährleistet sei. Der Biss kann durch Invertieren der sag. Kompensationskurve akzentuiert und geöffnet werden. Bei Extraktionsfällen schlägt Alexander vor, die Therapie im Oberkiefer zu beginnen. Ziel ist es, potenzielle Bracket-Interferenzen mit Hilfe von Verbesserung des Overbites durch eine Akzentuierung der sag. Kompensationskurve zu erzielen (Alexander 2001).

Carcara et al. (2001), Bernstein et al. (2007) und Preston et al. (2008) publizieren, dass die Alexander-Disziplin als kontinuierliche Archwire-Technik effektiv in der Behandlung bzw. Nivellierung von ausgeprägten Spee'schen Kurven (2 - 4 mm) bei Klasse-II-Fällen ohne Extraktion mit Tiefbiss ist. Carcara et al. (2001) führen eine Studie durch, in welcher 71 % der Kurven komplett nivelliert waren. In 29 % der Fälle verblieb eine restliche Spee'sche Kurve von durchschnittlich 0,11 mm nach der Behandlung. Nach der anschließenden Retentionsphase stieg dieser Wert sogar auf 0,48 mm an. Es konnte insgesamt in allen Fällen eine durchschnittliche Reduktion der Kurve während der Behandlung um 2,30 mm ermittelt werden. Leider stieg die Tiefe der Kurve in nahezu allen Fällen nach der Behandlung wieder um 0,37 mm an. Dabei handelte es sich nur um einen Bruchteil der Ausgangskurven. Während der Behandlung reduzierten sich Overjet (-4,09 mm) und Overbite (-2,67 mm), nach der Behandlung stiegen beide Messgrößen erneut an. Der Overjet vergrößerte sich in 87,1 % der Fälle um 1,09 mm und der Overbite in 74 % der Fälle um 0,75 mm (Carcara et al. 2001).

Für diese Arbeit ist interessant, dass Carcara et al. (2001) in ihrer Studie die Länge der Zahnbögen vermessen. Dabei ist zu erkennen, dass während der Behandlung mit Archwire-Technik die Tiefe der Spee'schen Kurve reduziert wird, während die Zahnbogenlänge um einen mittleren Wert von 1,79 mm zunimmt. In 87 % der Fälle nimmt die Zahnbogenlänge nach der Retentionsphase um -2,16 mm ab. Wobei wie oben bereits erwähnt, die Spee'sche Kurve ebenfalls nach einer Behandlung um einen mittleren Wert von 0,37 mm \pm 0,40 mm rezidiert (Carcara et al. 2011). Wie auch Andrews ist Alexander der Auffassung, dass eine Spee'sche Kurve überkorrigiert werden sollte, sodass bei Rezidiven ein nur minimaler Wert des Ausgangswertes erzielt werden kann.

Die Verfechter der Segment-Bögen sind der Auffassung, dass es bei Verwendung von Archwire-Technik zur Extrusion der posterioren Zähne, Kippung der unteren Frontzähne und zum Öffnen der okklusalen Ebene kommen kann (Bernstein et al. 2007).

2.2.6 Rezidive und deren Behandlung

Rezidive nach einer kieferorthopädischen Korrektur der sagittalen Kompensationskurve werden beschrieben. Tiefe Kurven, welche in einem größeren Maß korrigiert werden müssen, haben ein höheres Risiko eines Rezidivs (Shannon und Nanda 2004). Bei Patienten, welche ein Rezidiv der Kurve aufzeigen, findet man im Allgemeinen zusätzlich ein Ansteigen von Overjet und Overbite, sowie Verschiebungen der unteren Frontzähne mit Reduzierung der Länge und Breite des Zahnbogens (Bernstein et al. 2007), was sich theoretisch leicht erklären lässt.

Laut Shannon und Nanda (2004) beträgt die Tiefe der Kurve vor Behandlung durchschnittlich 2,54 mm. Nach Korrektur sinkt sie auf nur 1,60 mm (63 %) und rezidiviert um 0,26 mm (16 %). Ursache dafür sind fortdauernder Durchbruch und Mesialkipfung der unteren Molaren. Allerdings sind Veränderungen im posterioren Bereich der Kurve eher selten und nicht ausschlagend für ein Rezidiv. Hauptursache liegt im vorderen Bereich: das Aufrichten und Extrudieren der unteren Frontzähne, Zunahme von Overbite und Overjet, Zunahme von Interinzisalwinkel sowie Abnahme der intercaninen Breite (von Eckzahn- zu Eckzahnspitze). Im Durchschnitt bricht ein unterer Inzisivus nach einer abgeschlossenen Behandlung um weitere 0,66 mm durch, ein Molar nur um weitere 0,23 mm. Ein Prämolare verändert seine Höhe nach einer Therapie nicht. Ausschließlich Veränderungen unterer Inzisivi und Molaren führen zum Rückfall der Spee'schen Kurve (Bernstein et al. 2007).

Andrews publiziert, dass die Spee'sche Kurve rezidiviert, weil der Unterkiefer stärker nach unten vorne wächst als der Oberkiefer. Dies zwingt die unteren Frontzähne nach hinten und oben, welche von den oberen Zähnen und der Lippe begrenzt werden (Baydaş et al. 2004). Somit entsteht bei tiefen Kurven ein großer Overbite.

Shannon und Nanda (2004) beobachten eine signifikante Korrelation zwischen der Tiefe der Kurve und der Stärke der Rezidiven.

Bernstein et al. (2007) und Preston et al. (2008) publizieren im Gegensatz zu Shannon und Nanda (2004), dass es keine Korrelation zwischen dem Maß der Korrektur der Kurve und dem Umfang eines Rezidivs gibt. Ebenso unterstützt Pandis et al. (2010), dass der Umfang eines Rezidivs nicht mit der Tiefe der initialen Kurve korreliert (Pandis et al. 2010). Laut Preston et al. (2007) führt die Anwendung der Alexander-Disziplin (s. Abschn. 2.2.5) bei Klasse-II-Verzahnungen von Non-Extraktionsfällen mit Tiefbiss und initialer Spee'schen Kurve von 2 - 4 mm zu stabilen Ergebnissen (Preston et al. 2007).

Preston et al. (2007) kritisieren, dass Shannon und Nanda in ihrer Studie keine Behandlungstechnik spezifizieren sowie Distal- und Mesialverzahnungen betrachtet wurden. Zusätzlich ist das Betrachtungsintervall nach Behandlungsabschluss von 2 Jahren und 8 Monaten zu kurz. Bei optimal behandelten Patienten sind Rezidive minimal und sie treten erst während eines langen Zeitraums auf. Es gibt keine signifikante Korrelation zwischen Umfang der Korrektur des Überbisses und den Rezidiven (Bernstein et al. 2007).

Patienten, bei denen die Molaren stark mesial gekippt stehen, haben ein höheres Potential für Rezidive (Shannon und Nanda 2004). Viele Kieferorthopäden überkorrigieren die sag. Kompensationskurve, um ein Rezidiv zu verhindern. Diese Art der Behandlung beruht auf Andrews Publikation (1972), in der er eine Überkorrektur als Behandlungsziel vorschlägt. Nach einer kieferorthopädischen Behandlung kommt es bei herausnehmbaren Retentionsgeräten (z. B. Hawley-Retainer) zu stärkeren Rezidiven als bei geklebten 3-3 Retainern (Shannon und Nanda 2004).

2.3 Funktionelle Frontzahnzuordnung

Das Kräftegeschehen an den pal. Konkavitäten, die genaue Betrachtung der Funktionsflächen sowie die Möglichkeit der metrischen Zuordnung von Ober- zu Unterkieferfrontzähnen zeigen, dass nicht nur eine Neutralverzahnung im Seiten-, sondern auch im Frontzahnbereich vorhanden ist (Kubein und Krüger 1979). Die sag. Kompensationskurve der rechten und linken Kieferseite stellen nur zwei Teilbereiche der Anordnungskurve der individuellen Zahnmorphologie

dar. Zusätzlich zu den beiden Kurven muss die Nullpunktlinie (s. Abb. 5) im Frontzahnbereich mit betrachtet werden (Kubein et al. 1986).

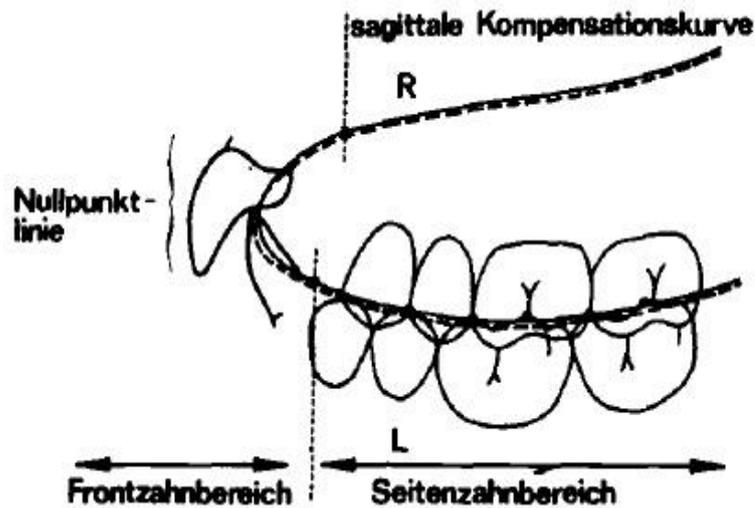


Abbildung 5: Anordnungskurve der Front- und Seitenzähne (Kubein et al.1986, S. 62), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Als Nullpunkt oder Basalpunkt (s. Abb. 6) bezeichnet man den Umschlagspunkt der pal. Konkavität zur Konvexität der oberen mittleren Inzisivi (Kubein und Wenzel 1982a). Er ist der einzige Punkt auf der Palatinalfläche, in welchem Scherkräfte und effektiver Hebelarm direkt angreifen und die Normalkräfte gemeinsam ihr Minimum oder Null erreichen können (Kubein und Wenzel 1982a). Somit ist eine optimale Belastung des Oberkieferfrontzahnes gewährleistet (Kubein und Krüger 1979). Der Nullpunkt scheint nach theoretischen Überlegungen der ideale Zuordnungspunkt der entsprechenden Inzisalkanten des Unterkiefers in der max. Verzahnung zu sein (Kubein und Wenzel 1982a).

Der untere Inzisivus sollte also einen Kontakt zum oberen Inzisivus im Nullpunkt haben.

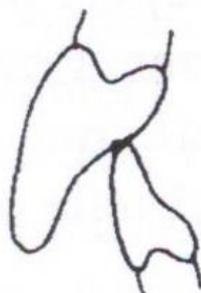


Abbildung 6: Nullpunktkontakt (Kubein und Krüger 1979, S. 170), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

2.3.1 Basislinienzuordnung

Verbindet man in der Horizontalebene alle möglichen Nullpunkte der oberen pal. Konkavitäten miteinander, entsteht die Nullpunktlinie (s. Abb. 7). Diese Linie entspricht den Inzisalkanten der Schneidezähne im Unterkiefer. Sie ist die ideale Zuordnungslinie von Oberkiefer- und Unterkieferfront (Kubein und Wenzel 1982a).

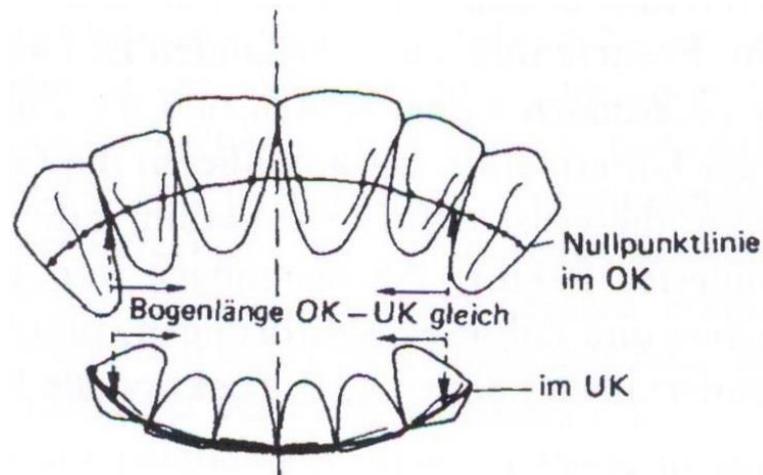


Abbildung 7: Metrische Punkte der Nullpunktlinien (Kubein und Krüger 1979, S. 170), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Vermisst man die Strecke auf der Nullpunktlinie von Mittelleiste Zahn 13 zur Mittelleiste Zahn 23, so ist diese gleich der Summe der horizontalen Länge der Inzisalkanten der Unterkieferfront. Kubein und Wenzel (1982a) publizieren eine Studie, in welcher an 1000 Gipsmodellen die funktionellen Frontzahnbreiten vermessen wurden. Die horizontale Längenmessung am Oberkiefer erfolgte dabei, wie in Abbildung 7 gezeigt, in Höhe der Nullpunktlinie von 12 bis 22, im Unterkiefer jeweils von Eckzahnspitze 33 zu Eckzahnspitze 43. Das Ergebnis der Studie zeigt, dass alle 1000 gemessenen Längen der Nullpunktlinien der des Unterkiefers entsprechen und dass keine Größendiskrepanz zu erkennen ist. Es gibt keine Größenmissverhältnisse zwischen den Funktionslinien im Ober- und Unterkiefer mit Ausnahme von Aplasie, Hyperplasie oder stark ausgeprägten Zapfenzähnen (Kubein und Wenzel 1982a).

2.3.2 Vertikale und sagittale Frontzahnstufe

Aufgrund der oben genannten Erkenntnis publizieren Kubein und Wenzel (1982b) eine weitere Methode zur Vermessung der Frontzahnrelation. Bei der

bisherigen statistischen Messung dienen die Inzisalkanten des Ober- und Unterkiefers als Messpunkte. Kubein und Wenzel (1982b) nutzten bei der funktionellen Messmethode den Nullpunkt im OK und die UK-Inzisalkanten. Idealerweise sollten die UK-Inzisalkanten im Nullpunkt zu liegen kommen, so dass die funktionelle sagittale und vertikale Stufe gleich 0 mm ist. Vergleicht man diesen funktionell gemessenen Wert mit dem der statistischen Messmethode, so entspricht dieser einer statistischen sagittalen Frontzahnstufe von 2 mm und einer statistisch vertikalen Frontzahnstufe von 4 mm (Kubein und Wenzel 1982b).

Ein weiteres Ziel jeder kieferorthopädischer Behandlung und jeglicher Rekonstruktion sollte sein, dass eine funktionelle Frontzahnzuordnung mit Kontakten der UK-Inzisalkanten in den entsprechenden Nullpunkten entsteht. Sollten diese nicht vorhanden sein, kann es zu Interferenzen in der Seitenzahnokklusion und in den Kiefergelenken kommen. Aufgrund der entstehenden Überbelastung können Diskoordinationen und pathologische Kiefergelenksveränderungen die Folge sein (Kubein und Krüger 1979).

2.4 Morphologie- und Okklusionskonzepte

Jeder Berührungskontakt der Zahnreihen in Kieferschluss wird als Okklusion bezeichnet. Die habituelle Okklusion wird bei zwangslosem Kieferschluss eingenommen. Dabei soll eine max. Interkuspitation bestehen (Lehmann und Hellwig 2002). Voraussetzung dafür ist das Vorliegen einer Neutralverzahnung mit Zahn-zu-zwei-Zahn-Beziehung. Die zentrische Okklusion (CO) stimmt biomechanisch mit der zentrischen Relation der Kiefergelenke (CO-CR) überein. Die Kiefergelenke sind demnach die distalsten Zähne des gesamten Systems

Während des Kauens sollen die Seitenzähne physiologisch in Zahnachse belastet werden. Sie stoppen die Schließbewegung ab und verhindern eine Überbelastung der Frontzähne. Die Frontzähne schützen bei der dynamischen Okklusion die Seitenzähne in dem sie eine Disklusion der letzteren verursachen (Lehmann und Hellwig 2002). Eine sichere feste Okklusion wird durch die Spee'sche Kurve zusammen mit condylärer und inzisaler Führung, der Höckerhöhe der Molaren und der Okklusionsebene determiniert (Salem et al. 2003).

Ganz allgemein findet man in der natürlichen Okklusion verschiedene Zwischenformen, die in mehrere „Okklusionskonzepte“ unterschieden werden.

Die frontzahngestützte Okklusion ist ein Konzept mit Frontzahnführung, die zur Disklusion aller übrigen Zähne führt (Schopf 2000). Die Führung erfolgt bei der eckzahngestützten Okklusion durch die Eckzähne. Es kommt bei der geführten Unterkieferbewegung zur sofortigen Disklusion aller übrigen Zähne. Die front-eckzahngestützte Okklusion erfolgt durch Führung der gesamten Frontzahngruppe. Der Seitenzahnbereich diskluert bei jeder geführten Unterkieferbewegung. Diese Okklusionsform kommt im natürlichen Gebiss häufig vor (Lehmann und Hellwig 2002). Die unilateral-balancierte Okklusion ist ein Konzept mit gleichmäßiger Führung durch Eck- und Seitenzähne einer Laterotrusionsseite, bei welcher die Balanceseite diskluert. Man findet sie in zweiter Häufigkeit im natürlichen Gebiss vor (Lehmann und Hellwig 2002). Bei der bilateral-balancierten Okklusion führen alle Zähne bei geführten Unterkieferbewegungen (Schopf 2000). Es kommen allseitig gleichmäßige Gleitkontakte ohne Disklusion vor. Dieses Konzept findet Anwendung in der Totalprothetik.

Biomechanisch sind die Okklusionsformen gleichwertig. Die frontzahngestützte und die bilateral-balancierte Okklusion stellen jedoch die am häufigsten vorkommenden Formen dar.

2.4.1 Interkuspitationsposition

Die Interkuspitationsposition bezeichnet den max. Vielpunktkontakt der Ober- und Unterkieferzahnreihen bei Kieferschluss. Man spricht auch von der statischen bzw. zentrischen Okklusion (CO). Als habituelle CO bezeichnet man den gewohnheitsmäßigen, individuellen max. Vielpunktkontakt. Als Retrale-Kontakt-Position (RKP) wird die Okklusion in der terminalen Scharnierachsenposition bezeichnet. Diese wird auch retrale Kontaktposition genannt. Die RKP ist im Idealfall mit der habituellen Interkuspitation identisch, dies ist nur selten der Fall. Oft liegen CO und RKP 1-2 mm auseinander.

Die CO stellt die Position des Unterkiefers dar, bei der protrusive okklusale Führungen in die retrusiven übergehen (Kubein 1980). Stimmt die Interkuspitation mit der zentrischen Relation der Kiefergelenke (CR) überein, so wird die reproduzierbare Lage von Unterkiefer zur Schädelbasis verriegelt. Optimale Funkti-

onsbeziehungen liegen also vor, wenn alle Funktionselemente in allen Einzelementen übereinstimmen. Es sollten die UK-Inzisalkanten im Nullpunkt der OK-Palatinalfächen zu liegen kommen, die Seitenzähne sollten max. Vielpunktkontakt auf Protrusions- und Retrusionsfacetten haben. Die okklusal bedingte CO-Achsenstellung soll dem artikulären Wendepunkt entsprechen (Kubein 1980). Wird der habituelle max. Vielpunktkontakt eingenommen, so sollte der Achsenpunkt auf dem PKP-Punkt oder auf der pro- oder retrusiven Kondylenbahn liegen. Somit liegen die pro- oder retrusiven CO-Rotationszentren auf den jeweiligen CO-Normalen. Stimmen CO-Achsenpunkt und PKP nicht überein, so resultiert eine disharmonische Okklusion mit einer unausgeglichene Zuordnung zu den Gelenken. Somit ist keine harmonische UK-Grenzführung möglich (Kubein 1980).

Bei mesialer Lage des CO-Achsenpunktes führen bei einer Protrusion okklusal und artikulär protrusive Strukturen. Bei einer retrusiven Bewegung führen okklusal retrusive Anteile sowie protrusive (bis zum Erreichen des PKP-Punktes) und retrusive artikuläre Elemente (Kubein 1980). Liegt der CO-Achsenpunkt distal des PKP-Punktes, führen protrusive okklusale und retrusive artikuläre Strukturen. Dabei wird immer der artikuläre Wendepunkt durchlaufen.

2.4.2 Systemführungen an Protrusionsfacetten

Wenn die artikuläre RKP distal der habituellen CO liegt oder beide übereinstimmen, so läuft eine Protrusionsbewegung initial im Front-, Seitenzahn- und Gelenkbereich später ausschließlich auf Protrusionsfacetten ab. Diese protrusiven Führungen weisen im abrasionsfreien Gebiss gekrümmte Führungen auf (Kubein 1979).

2.4.2.1 Theoretisch-protrusive Führungen an geraden Flächen

In einer protrusiven Bewegung auf geraden Flächen gleiten alle betroffenen Punkte näherungsweise auf konzentrischen Kreisen um den momentan ermittelten Normalen-Schnittpunkt. Diese konzentrischen Kreise sind geometrische Orte für die Okklusalpunkte, welche sich ohne Kollision oder Separation gegeneinander bewegen können (Kubein 1979). Als *primäre Kompensationskurve* oder *Kompensationskreise* (s. Abb. 8) bezeichnet Kubein (1979) diese konzentrischen Kreise um den jeweiligen Systemrotationspunkt.

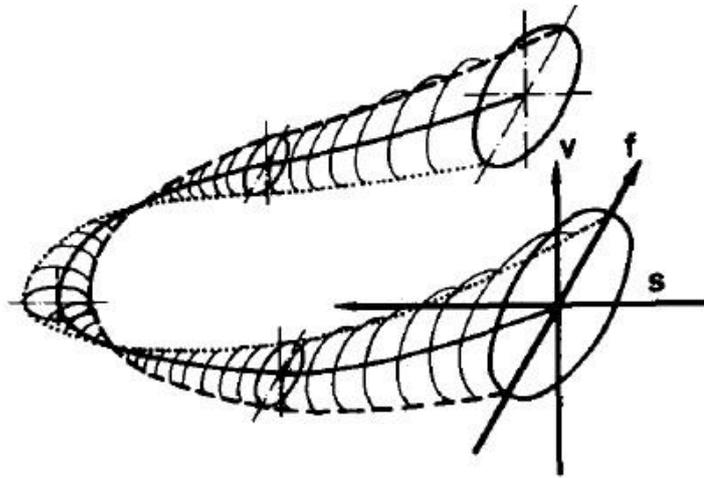


Abbildung 8: Anordnungsspielraum der okklusalen Morphologie (Kubein et al. 1986, S. 62), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Kubein publiziert (1979) eine Anordnungsmöglichkeit der okklusalen Morphologie (Zuordnung gerader Seitenzahfacetten zu geraden Front- und Gelenkführungen). Distal der pal. Konkavitäten ist ein Punkt Z festgelegt, welcher den mes. Kontaktpunkt eines ersten Prämolaren in der Sagittalebene darstellt. Im Anschluss dienen Dreiecke als Zahnmodelle, welche in Größe, Höckerhöhe und Abhangneigung nicht veränderbar sind. Hierbei liegen die Approximalpunkte eng aneinander und die Protrusionsfacetten auf den konzentrischen Kreisbahnen. Die Höckerverbindungs- oder Basislinie entspricht der sag. Kompensationskurve und wird als *sekundäre Kompensationskurve* (s. Abb. 9) definiert (Kubein 1979, Kubein et al. 1986).

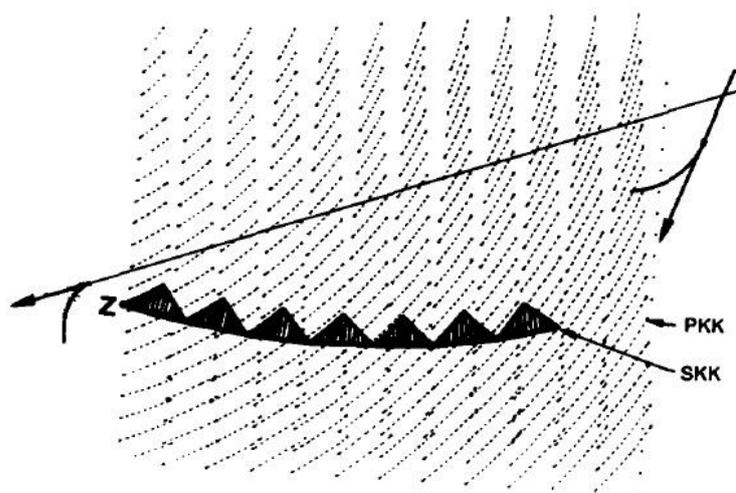


Abbildung 9: Sekundäre Kompensationskurve (Kubein et al. 1986, S. 52), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Verändert man die Neigung der Höckerabhänge, so verändert sich auch die Lage der Kurve. Liegen Höcker mit geringerer Abhangneigung und Höhe vor, so liegt die Anordnung der Zähne auf einer Kurve, welche ebenfalls im Punkt Z beginnt aber steiler nach kranial verläuft (s. Abb. 10). Kubein (1979) schlussfolgert, dass bei einer Höckerhöhe gleich Null die primäre Kompensationskurve den mesialen Prämolaren-Kontaktpunkt der sekundären Kompensationskurve entspricht.

Gerade Protrusionsfacetten in einem kurzen Funktionsbereich verlaufen immer parallel zu den primären Kompensationskurven (Kubein 1979, Kubein et al. 1986).

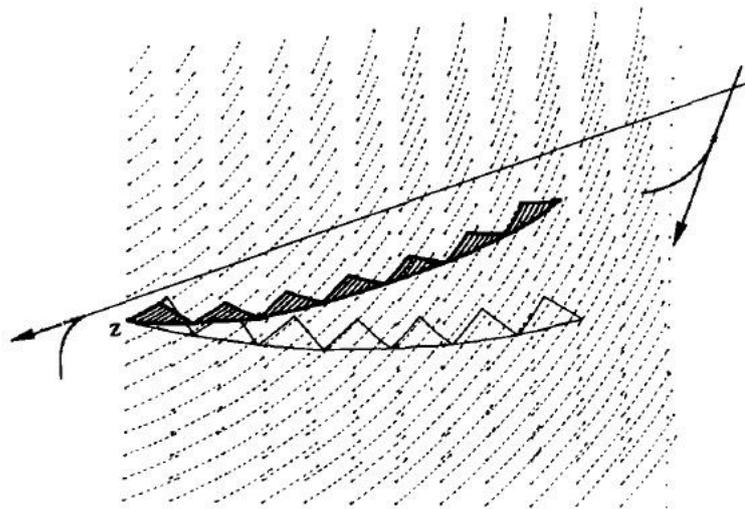


Abbildung 10: Lageveränderung der Kurve bei Veränderung der Höckerabhangsneigung (Kubein et al. 1986, S. 52), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Die sekundäre Kompensationskurve ist eine Folge der initialen oder terminalen Führung in Front- und Kiefergelenken sowie deren Verhältnis zueinander in räumlicher und richtungsorientierter Hinsicht. Die Lokalisation des mesialen Kontaktpunktes des ersten Prämolaren im Verhältnis zur pal. Konkavität sowie die okklusale Anordnungsmöglichkeit sind ausschlaggebend für die Veränderung der sekundären Kompensationskurve (Kubein 1979).

Verkleinert man z. B. die Höckerhöhe und Abhangneigung nach distal, so steigt die sekundäre Kurve distal an (Kubein et al. 1986). Dies ist der Fall, wenn die frontalen und artikulären Führungen in der IKP parallel sind oder die frontale steiler als die artikuläre Führung ist. Eine Zunahme der Höckerhöhe geht mit einer Abflachung der sekundären Kurve einher (Kubein 1979). Variiert man die

Höckerbasisliniendifferenz oder die Höckerhöhe, so verändert sich die Aufbiegung der sag. Kompensationskurve (s. Abb. 11) (Kubein et al. 1986).

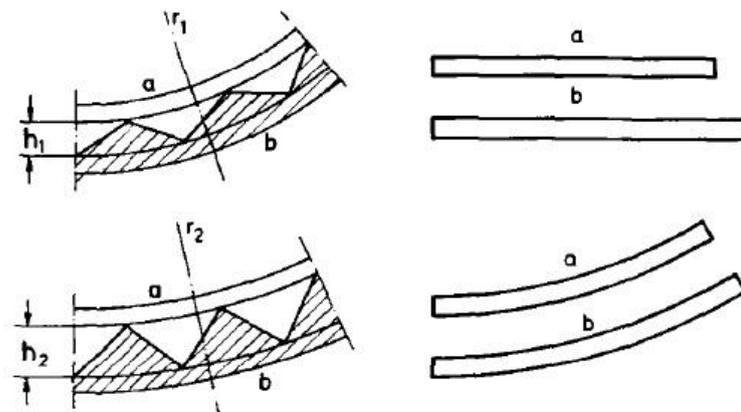


Abbildung 11: Höcker-Fossa-Relation (Kubein et al. 1986, S. 61), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Anhand der Illustration in Abbildung 11 wird deutlich, dass Zähne, welche aufgrund von Attrition und Abrasion eine verringerte Höckerhöhe aufweisen, einen kleineren Radius der Spee'schen Kurve zeigen. Somit ist die Kurve ausgeprägter. Vollständige Zähne mit hoher Höckerhöhe hingegen weisen einen größeren Radius und damit eine flachere Spee'sche Kurve auf.

Ebenfalls findet man bei Extraktionsfällen (erste Prämolaren wurde extrahiert) kürzere Radien und damit verbunden ausgeprägtere Kurven vor (Kubein et al. 1986).

Abbildung 11 verdeutlicht, dass die sag. Kompensationskurve durch die Zahnmorphologie vorgegeben ist. Eine komplette Nivellierung bei Straight-Wire-Technik - besonders mit festen Bögen - kann die sag. und vert. Stufe verkleinern oder in Molarenregion zum Distalbiss führen.

2.4.2.2 Theoretisch-protrusive Führungen an gekrümmten Flächen

Frontzähne und Gelenke

Das funktionelle Geschehen der Grenzführungen findet hauptsächlich an gekrümmten Flächen wie z. B. an Frontzähnen und Gelenken statt. Bei einer Protrusion aus der CO entsteht initial eine primäre Kompensationskurve mit einem mesio-kranialen Rotationszentrum. Hier gibt es einen Bereich, in welchem beide Führungen parallel zu einander sind, da die zugehörigen primären

Kompensationskurven Geraden sind (Rotationszentrum liegt im Unendlichen). Sobald eine gemeinsame Führung aus Zähnen und Kiefergelenken vorliegt, kommt es während der Funktion zur ständigen Veränderung der primären Kompensationskurve und der entsprechenden Rotationszentren (Kubein 1979). Kubein (1979) beschreibt, dass die Bewegungskurven im Seitenzahnbereich nur Wegekurven von Punkten sind, z. B. von Höckerspitzen. Sie sind nicht mit der okklusalen Morphologie gleichzusetzen. Morphologie und Bewegungskurven stehen aber im Zusammenhang (Kubein 1979).

Variiert man die Führungskurven zwischen Front- und Gelenkführung, beeinflusst dies die Lage der Systemrotationszentren. Wenn z. B. die Frontführung steiler als die Gelenkführung ist, bedingt dies ein disto-kaudales Systemrotationszentrum. Die Führungskurven sind der jeweiligen Front- und Kiefergelenkführung umso ähnlicher, je näher diese an der selbigen positioniert sind. Die frontale und artikuläre Führung kann z. B. beim Ausgleiten aus der CO parallel sein (Kubein 1979).

Seitenzähne und Gelenke

Betrachtet man während einer Protrusion die Seitenzähne und Gelenke, so fällt auf, dass okklusale Führungen im Seitenzahnbereich nicht derartig gestaltet sind wie Frontzähne. Sie können nicht die Wege nachfahren, welche durch die Punkteschar bei Front- und Gelenkführung dargestellt werden. Bei einer Systemführung, d. h. Führung an Gelenken und Seitenzähnen würde in den seltensten Fällen die Achsrichtung der Zähne zueinander konstant bleiben. Jedoch ist diese Veränderung als gering anzunehmen.

2.4.3 Systemführungen an Retrusionsfacetten

Wenn es nicht zu okklusalen Interferenzen kommen soll, müssen Pro- und Retrusionsfacetten identisch sein. Wie oben beschrieben, stellt die CO jene Position des Unterkiefers dar, bei der protrusive okklusale Führungen in die retrusiven übergehen. Beim Eingleiten in die CO von mes. oder dis. Richtung sind verschiedene primäre Kompensationskurven und Rotationszentren vorhanden. Sie bedingen aber dieselbe Kompensationskurve (Kubein 1980).

3 FRAGESTELLUNG

In der zahnärztlichen Literatur findet man eine Vielzahl an klinischen Studien, welche sich mit der sag. Kompensationskurve beschäftigen. Oft wird ihre Entstehung (Braun et al. 1996, Kubein 1979, Kubein 1980, Kubein et al. 1986), das Verhalten während des Wachstums (Marshall et al. 2008, Mohan et al. 2011, Shannon und Nanda 2004) oder die Abhängigkeit von bestimmten Faktoren (Cheon et al. 2008, Farella et al. 2002, Salem et al. 2003) untersucht. Dazu dienen oft Röntgenaufnahmen (v. a. Fernröntgenseitenbilder) und Gipsmodelle von Behandlungsbeginn bzw. Abschlussmodelle.

Bis dato verglich keine Studie die entstandenen sag. Kompensationskurven in erneut aufgestellten Modellen, welche auf einen Ausgangsfall zurückgehen und damit aus anatomisch identischen Zähnen erstellt wurden.

Für diese Studie wurde ein ausgesuchter Patientenfall 65-mal dupliziert bzw. erneut in Neutralverzahnung aufgestellt. Dafür wurden Ober- und Unterkiefermodell dubliert und die einzelnen Zähne eines Zahnkranzes voneinander getrennt, so dass ein Puzzle der Okklusion jeweils erneut erstellt werden musste.

Von der Gesamtheit der Modelle sollte ein 3. Klinisches Fachsemester mit insgesamt 45 Studenten den ausgesuchten Fall in Neutralverzahnung im Rahmen des Technikkurses aufstellen. Jeder Student erstellte nur ein Modell.

Die Doktorandin erstellte weitere 20 Modelle in Klasse-I-Verzahnung.

Ziel dieser Studie ist die Beobachtung und der Vergleich der sag. Kompensationskurven, ob und gegebenenfalls wie sich die Kurven verändern. Interessant ist die ermittelte Durchschnittstiefe beider Kieferseiten und an welcher Position die tiefste Stelle zu finden ist. Möglicherweise können Minimal- und Maximalwerte der Kurven erfasst werden. Es soll gezeigt werden, dass die Zahnbogenlänge und -breite von der Spee'schen Kurve abhängig sind. Eventuell kann eine Hypothese aufgestellt werden, ab welchen Werten keine Neutralverzahnung mehr möglich ist. Es ist besonders wichtig herauszufinden, ob es gravierende Unterschiede in den Ergebnissen zwischen den Modellen der Doktorandin und denen der Studenten gibt. Nach Überlegungen zur Okklusion und Morphologie

der sag. Kompensationskurve ist bei der Verwendung von identischen Zähnen und idealer Aufstellung in Neutralverzahnung theoretisch nur eine Variante der Zahnbogenform und Spee'schen Kurve möglich. Dieser Idee soll anhand dieser Studie praktisch nachgegangen werden.

Diese Arbeit soll untersuchen, ob es gewisse Schwankungen bzw. einen Spielbereich gibt, in welchem die sag. Kompensationskurve variierbar ist und die Verzahnung immer noch einer Klasse I entspricht.

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 Vorbereitende Maßnahmen

Bevor die Versuche durchgeführt wurden, mussten einige Vorbereitungen getroffen werden. Zuerst musste ein Patientenfall ausgesucht werden. Im Anschluss daran wurden Vorversuche durchgeführt, um genügend Informationen für den Hauptversuch zu gewinnen.

4.1.1 Entscheidung für einen Patientenfall

Das wichtigste Kriterium für den auszuwählenden Patientenfall war, dass die kieferorthopädische Behandlung bereits erfolgreich abgeschlossen war. Das bedeutet, dass sowohl Eckzähne als auch die ersten Molaren in Angle-Klasse-I bzw. in Neutralposition stehen sollten. Die zweiten Molaren sollten vollständig eingeordnet, die Weisheitszähne allerdings nicht vorhanden sein. Der Okklusionsbefund transversal und vertikal musste neutral sein. Es sollten keine großen Restaurationen, Anomalien oder Hypoplasien vorhanden sein. Die Zähne sollten lückenlos ohne Rotationen in einem harmonisch ausgeformten Zahnbogen (OK: ellipsoid, UK: paraboloid) mit Nullpunktkontakten in der Front stehen.

Bei dem Patientenfall, für den man sich entschied, handelte es sich um ein Abschlussmodell nach einer erfolgreichen kieferorthopädischen Behandlung (s. Abb. 12).



Abbildung 12: Abschlussmodell des ausgesuchten Patientenfalls

Zu diesem Zeitpunkt hatte der Patient keinerlei Restaurationen. Die sag. Stufe der funktionellen Frontzahnzuordnung betrug 0 mm, die vert. hingegen 2,0 mm.

Der Overjet (statistisch sag.) beträgt 2,0 mm, der Overbite (statistisch vert.) 3,0 mm. Die sag. Kompensationskurve war sehr flach (1,0 mm). Es war nicht möglich eine rein eugnathe Neutralverzahnung zu finden, welche jedes erhobene Kriterium erfüllte. Aufgründdessen waren sieben Rotationen (14, 24, 31, 35, 37, 45, 46), jedoch keine Stufe und keine Lücke zu finden. Ein Inzisalpunkt war vorhanden aber keine Mittellinienverschiebung. Die Zahnbögen hatten eine harmonisch nahezu symmetrische Form. Die Breite des Oberkiefers (Distanz mesio-palatinale Höckerspitzen Zahn 16 bis Zahn 26) betrug 44,04 mm. Der Unterkiefer (Distanz korrespondierende Fossae Zahn 36 bis Zahn 46) war 44,08 mm breit. Misst man im Unterkiefer die Strecke von Eckzahnspitze zu Eckzahnspitze, so erhielt man einen Wert von 27,30 mm. Die Länge des Unterkieferzahnbogens betrug 40 mm.

4.1.2 Herstellung des Urmodells und Vorbereitungen zur Aufstellung eines Klasse-I-Falls

Von dem Hartgipsmodellpaar des Patientenfalls wurde mittels Dubliermasse (dünnfließend, auf Silikonbasis) eine Negativform für je Ober- und Unterkiefer hergestellt (s. Abb. 13). Mittels dieser Negativformen konnten Duplikate aus Hartgips (s. Abb. 14) erstellt werden, welche zur weiteren Bearbeitung dienten.

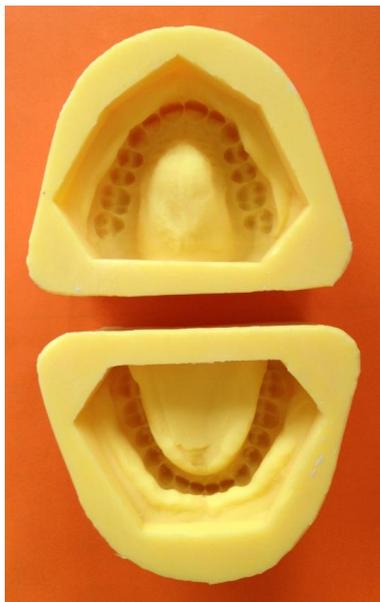


Abbildung 13: Negativform aus Dubliermasse



Abbildung 14: Duplikate aus Hartgips

Zuerst wurden mit einer sehr feinen Gipsmodellsäge die Zahnkränze des Ober- und Unterkiefers abgetrennt. Die übrig gebliebenen Sockel und die abgetrennten Zahnkränze wurden mit einem Nasstrimmer getrimmt und getrocknet (s. Abb. 15). Im Anschluss wurden Ober- und Unterkieferzahnkranz sowie Sockel erneut mit Dubliermasse abgeformt (s. Abb. 16). Mit Hilfe der neu entstandenen Negativformen konnten beliebig viele Sockel und Zahnkränze der Ober- und Unterkiefer des Patientenfalls hergestellt werden.

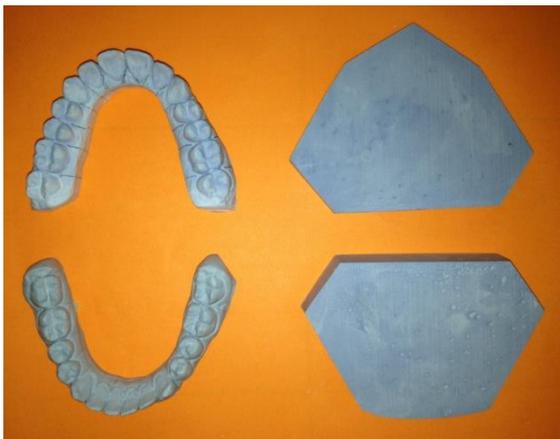


Abbildung 15: Zahnkränze und Sockel aus Hartgips

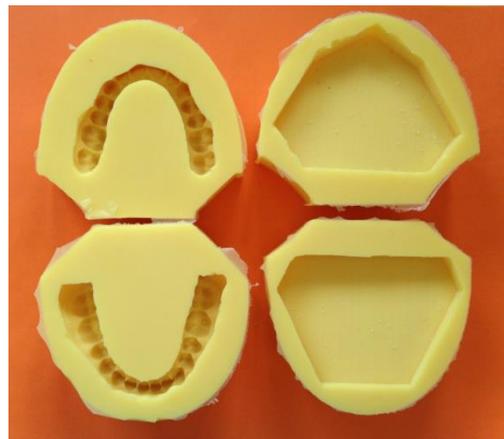


Abbildung 16: Negativformen aus Dubliermasse

Jeder Zahnkranz wurde zersägt. Das bedeutet, dass mit Hilfe eines sehr feinen Sägeblattes per Hand 28 Zähne pro Modell voneinander getrennt wurden (s. Abb. 17). Aufgrund des dünnen Sägeblattes wurden die Approximalkontaktpunkte so gering wie möglich geschädigt und weitestgehend erhalten.

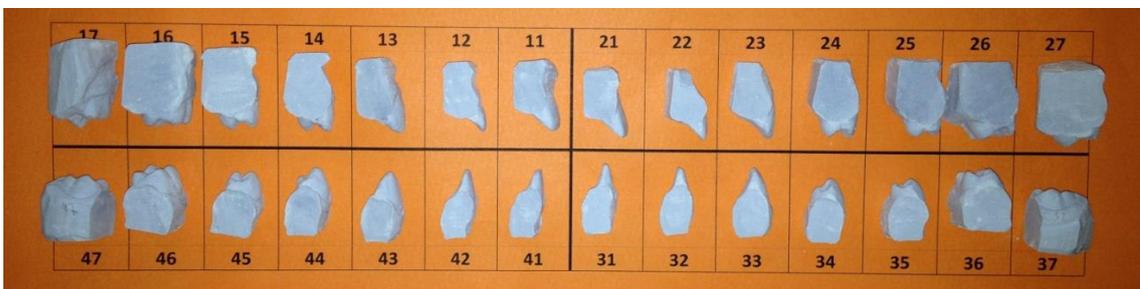


Abbildung 17: Zertrennter Zahnkranz

Im Anschluss wurde jeder einzelne „Zahn-Baustein“ mit dem Handstück und einer *birnenförmigen Hartmetallgipsfräse (2,3 mm im Durchmesser, H77FSQ.104, Komet)* bearbeitet, um die Sägekanten zu glätten. Dabei musste

sehr vorsichtig vorgegangen werden, um den Bereich des Approximalkontaktes nicht zu schädigen. Das Bearbeiten der Bausteine war ebenfalls nötig, damit die Person, welche die Modelle erneut aufstellte, keinen Anhaltspunkt der ursprünglichen Morphologie erhielt.

Nun waren für jedes neu aufzustellende Modell jeweils ein OK- und UK-Sockel und 28 einzelne mit der Fräse bearbeitete Gipszähne vorbereitet (s. Abb. 18).



Abbildung 18: Nierenschale mit Sockel und Zähnen für die Modellaufstellung

4.1.3 Vorversuche

Innerhalb der Vorversuche wurden einige Neutralverzahnungen des Patientenfalls aufgestellt. Somit konnte getestet werden, ob das Vorhaben überhaupt möglich war. Es wurde der grobe Abstand der Sockelplatten im Artikulator bestimmt. Auf diese Art und Weise wurden Einartikulierhilfen aus *Silaplast Futur (DETAX)* für den Versuch im Studentenkurs hergestellt. Dabei handelte es sich um ein knetbares kondensations-vernetztes Silikon. Des Weiteren wurden zwei Wachssorten: *Tribos Plattenwachs M gingiva (Gebdi)* und *Periphery Wax (Sigma)* getestet. Man entschied sich für letzteres, da es weicher ist und man die Zähne leichter rotieren konnte. Mit Hilfe von *Silaplast Futur (DETAX)* konnte ein Abdruck der pal. Anteile der oberen Frontzähne erstellen werden. Dieser wurde als Schlüssel zur Überprüfung der idealen Frontzahnstellung bei den Studentenmodellen verwendet, um eine grobe Orientierung über die beginnende Zahnbogenform zu erhalten.

4.2 Aufstellen des Klasse-I-Falls

Für diese Studie stellte die Doktorandin den ausgesuchten Patientenfall insgesamt 20-mal erneut in Klasse-I-Verzahnung auf. Zusätzlich sollte ein 3. Klinisches Fachsemester mit insgesamt 45 Studenten im Rahmen des Technikkurses den gleichen Fall in Neutralverzahnung aufstellen. Jeder Student sollte dabei nur ein Modell, bestehend aus Ober- und Unterkiefer, erstellen.

4.2.1 Richtlinien zur Aufstellung einer Klasse-I-Verzahnung

In erster Linie sollten sich die Personen, die die Modelle erneut aufstellten, an der eugnathen Morphologie orientieren. Die sechs Schlüssel der Okklusion (s. Abschn. 2.1) Andrews (Andrews 1972) mussten berücksichtigt werden. So musste der mesio-bukkale Höcker des ersten oberen Molaren in die Fissur zwischen mesio-bukkalem und zentro-bukkalem Höcker des ersten unteren Molaren greifen. Dabei okkludierte der mesio-palatinal Höcker in die korrespondierende Fossa des ersten unteren Molaren. Die labio-linguale Kroneninklination und mesio-distale Kronenangulation mussten beachtet werden. Die Zahnbögen sollten harmonisch ausgeformt, im Oberkiefer ellipsoid und im Unterkiefer paraboloid sein. Dementsprechend müssen Lücken, Rotationen, Stufen sowie eine Mittellinienverschiebung vermieden werden. Die Approximalkontakte sollten eng sein. Bei der Aufstellung der Klasse I musste ebenfalls auf eine funktionelle Frontzahnzuordnung geachtet werden. In der Sagittal-Vertikalebene sollten die UK-Inzisalkanten im Umschlagspunkt der pal. Konkavität in die Konvexität der OK-Inzisivi zu liegen kommen.

4.2.2 Materialien

Zur Aufstellung der Klasse-I-Verzahnung mittels der vorbereiteten Sockelplatten und der einzelne Zähne wurde ein Artikulator und passende Sockelplatten, ein Contour-Curve-Former, geeignetes Wachs (*Periphery Wax, Sigma*) sowie das übliche Zahntechniker-Besteck (z. B. Wachsmesser, Modellierinstrumente) benötigt.

4.2.2.1 SAM-Artikulator

Bei allen verwendeten Artikulatoren handelte es sich um den justierbaren *SAM Artikulator 2P ART 300 (Schul-Artikulator München)* (s. Abb. 19). Ein Artikulator ist ein Gerät zur Simulation der Kiefergelenksbewegung für die Herstellung von

feststehenden und herausnehmbaren Zahnersatz (z. B. Totalprothesen) sowie Schienen. Gipsmodelle von Ober- und Unterkiefer werden mittels einer vorher angefertigten Kieferrelationsbestimmung in Kieferschluss montiert. Ein justierbarer Artikulator kann nach patientenindividuellen Messwerten eingestellt werden. Der verwendete Artikulator ist verstellbar im Bennet-Winkel und in der Gelenkbahnneigung. Der Inzisalteller ist plan. Es handelt sich um einen Arcon-Artikulator, d. h. die Kondylen befinden sich wie im menschlichen Körper unterhalb der Gelenkpfannen.



Abbildung 19: Modellaufstellung in Artikulator 2P ART 300 vor dem Fixieren mit rosa Abdruckgips

4.2.2.2 Contour-Curve-Former

Der *Contour-Curve-Former* (CCF, *Whaledent International*) (s. Abb. 20) ist eine von Kubein-Meesenburg und Meyer entwickelte mechanische Hilfe zur Aufstellung der idealen Position der oberen Frontzähne. Er ist ein Werkzeug zur idealen Einstellung der funktionellen Frontzahnzuordnung mit Nullpunktkontakt und Basislinienzuordnung. Der CCF dient der diagnostischen Vermessung und Ausformung pal. Konkavitäten. Somit können anteriore Führungsflächen oberer Frontzähne bei der Herstellung von Restaurationen optimal angepasst werden. Die oberen Frontzähne werden biomechanisch ideal zur Scharnierachse ange-

ordnet. Er ist als ein Artikulatorzusatzgerät speziell passend für den SAM Artikulator 2P. Für Non-Arcon Geräte benötigt man eine spezielle Adaptation (Kubein-Meesenburg und Meyer 1987a).



Abbildung 20: Contour-Curve-Former

Der CCF besteht aus zwei Hauptträgern, welche über ein verschiebliches Gelenk im 90°-Winkel miteinander verbunden sind. Die zwei Kugeln am hinteren Teil entsprechen den Kondylen im unteren Teil des Artikulators. Diese werden in die Gelenkboxen des abnehmbaren Oberteils des Artikulators eingesetzt, welches auf dem Kopf steht. Allerdings muss hierfür der Stützstift entfernt werden, wenn dieser am abnehmbaren Teil des Artikulators befestigt ist. Der vordere Teil des CCF besteht aus einer neigbaren Metallscheibe, dem sogenannten Konturkurveneinsatz, welche in die pal. Konkavität der oberen Frontzähne passt. Sollte diese zu groß oder zu klein sein, gibt es austauschbare Scheiben, so dass für jede anatomische Variation die passende gefunden wird.

Bei der Frontzahnaufstellung beginnt man mit dem oberen mittleren Inzisivus. Dieser muss nun so geneigt werden, dass die Mittellinie der Scheibe genau auf dem vorher angezeichneten Nullpunkt (s. Abschn. 2.3) zu liegen kommt, so dass die ideale Position der oberen mittleren Frontzähne gefunden wird. Dann ist der ideale individuelle sag. Morphologiewinkel β sowie Winkel μ eingestellt (Kubein-Meesenburg und Meyer 1987b). Beides sind Winkel, welche zur biomechanischen Zuordnung der Frontzähne dienen und im Fernröntgenseitenbild vermessen werden können. Der Winkel β (s. Abb. 21) ist der Winkel zwischen der Zahnachse des oberen mittleren Inzisivus und der tatsächlichen Wendepunkt tangente (Tangente, welche die pal. Kurvatur des oberen Schneidezahnes nur im Wendepunkt schneidet).

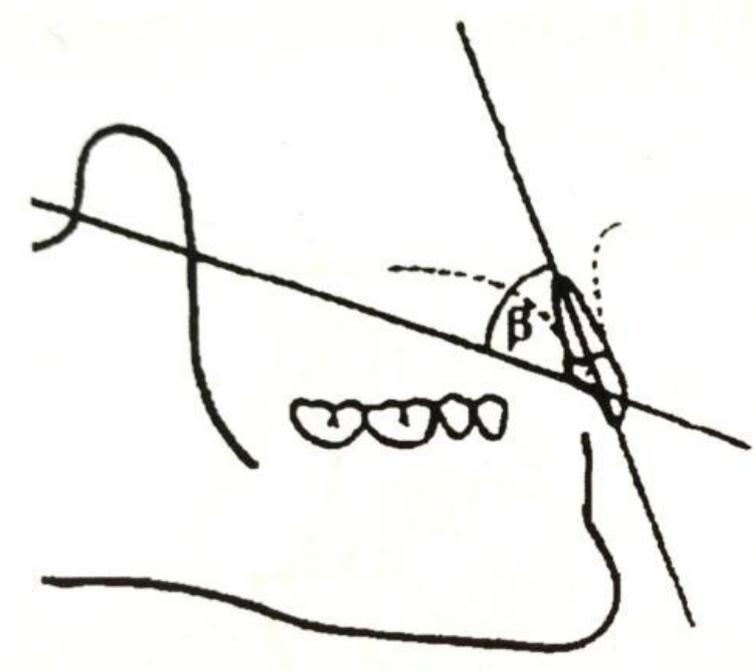


Abbildung 21: Morphologiewinkel β (Unterrichtsskript für Studenten (2001): Kommentar zum kieferorthopädischen Behandlungsplan, S. 46), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Winkel μ misst man zwischen der Zahnachse des unteren mittleren Inzisivus und der Verbindungslinie der Inzisalkante des unteren mittleren Inzisivus und dem Kondylusmittelpunkt (s. Abb. 22).

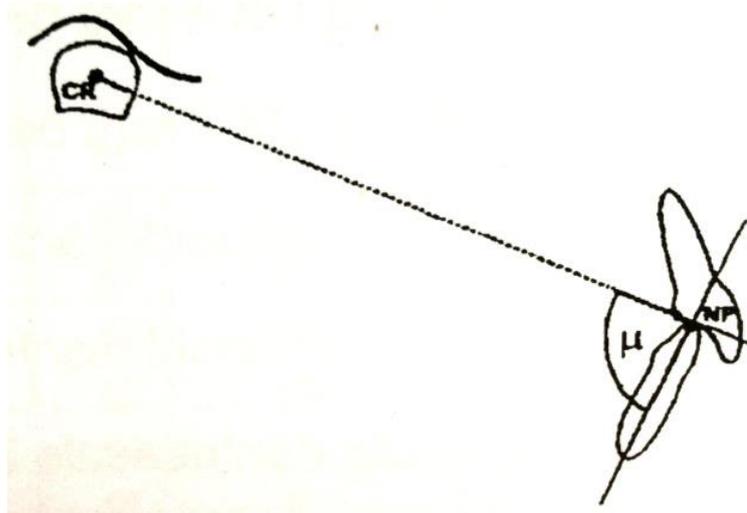


Abbildung 22: Winkel μ (Unterrichtsskript für Studenten (2001): Kommentar zum kieferorthopädischen Behandlungsplan, S. 47), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Wird mit dem Aufstellen der seitlichen Schneide- und Eckzähnen fortgefahren, muss drauf geachtet werden, dass zusätzliche Rotationen in mesio-distaler

Richtung entsprechend einem harmonischen Zahnbogen eingebaut werden müssen.

In erster Linie wird der CCF jedoch für die Herstellung von individuell geformten festsitzenden Restaurationen verwendet. Mit Hilfe des CCF ist es möglich, eine suffiziente Okklusion im Frontzahnbereich durch Führungsflächen pal. Konkavitäten herzustellen. Somit kann das Auftreten von Funktionsstörungen vermieden werden. Ist es nicht möglich die funktionelle Frontzahnzuordnung einzustellen, z. B. aufgrund Fehlstellungen der Frontzähne (z. B. rotierte, pro- oder retrudierte Inzisiven), so sollte der Patient vorerst kieferorthopädisch behandelt werden (Kubein-Meesenburg und Meyer 1987).

4.2.3 Prozedur der Klasse-I-Aufstellung

Zu Beginn wurden die Sockelplatten abnehmbar mit Alabastergips einartikuliert. Dafür fräste man Retentionen in OK- und UK-Sockel. Anschließend wurde eine Gips-zu-Gips-Isolation aufgetragen. Für die Studenten wurden die Retentionsflächen vorher gekennzeichnet, um zu verhindern, dass die Sockelplatten falsch herum einartikuliert wurden. Es sollte mit dem UK-Sockel begonnen werden. Mit Hilfe des im Vorversuch hergestellten Silaplast-Schlüssels wurde der OK-Sockel abnehmbar fixiert. Nach Trocknen des Gipses sollten die Sockelplatten entfernt und mit Gewebeklebeband wieder fixiert werden. An allen sechs oberen Frontzähnen (13-23) mussten die Nullpunkte (S. Abb. 7) mit einem Bleistift angezeichnet werden.

Nun waren die Vorbereitungen getroffen und die Aufstellung der Neutralverzahnung mit *Periphery Wax (Sigma)* konnte begonnen werden. Man legte sich eine Stange Wachs im groben Verlauf des Zahnbogens auf den Oberkiefer-Sockel und drückte diese fest an. Die mittleren oberen Inzisivi wurden wie oben beschrieben mit dem CCF positioniert und festgewachst. Der gleiche Vorgang wurde für seitliche Schneide- und Eckzähne wiederholt. Allerdings mussten diese zusätzlich entsprechend einem harmonischen Zahnbogen in mesio-distaler Richtung rotiert werden. Stand die obere Front in idealer Position, setzte man die Aufstellung der unteren Frontzähne fort. Begonnen wurde mit den mittleren Schneidezähnen. Anschließend wurden seitliche Schneide- und Eckzähne in Position gestellt. Besonders wichtig war hierbei, dass die Inzisalkanten der unteren Front auf der Verbindungslinie der Nullpunkte der Palatinalflächen der

oberen Front zu liegen kamen (s. Abb. 8). Die Neigung der oberen Front sollte stets mittels CCF überprüft werden, da es bei der Positionierung der UK- gegen die OK-Front zu Fehler kommen konnte. Eventuell waren Korrekturen notwendig, um Verschleppungen von Fehlern während der weiteren Aufstellung zu vermeiden.

Die Studenten und die Doktorandin stellten zuerst die obere Front vollständig auf. Im Anschluss wurde die Position und Neigung der Frontzähne mittels CCF kontrolliert und bei Bedarf korrigiert. Um die beginnende Zahnbogenform zu überprüfen, wurde der Silikonschlüssel aus den Vorversuchen zur Hilfe genommen.

Im Anschluss an die Frontzahnaufstellung setzten die Studenten und die Doktorandin die Seitenzahnaufstellung auf nur einer Seite fort. Zuerst wurde der untere erste Prämolare und im Anschluss daran der obere erste Prämolare positioniert. Wichtig bei der Aufstellung des unteren ersten Prämolaren war, dass der obere Eckzahn dabei in Neutralverzahnung stehen sollte. Hiernach wurden der untere zweite Prämolare und beide unteren Molaren aufgestellt. Dabei musste besonders auf die sag. Kompensationskurve und eine harmonisch-paraboloide Zahnbogenform ohne Lücken und Rotationen geachtet werden. War eine Seite bis zum zweiten unteren Molar aufgestellt, konnten die Zähne auf der anderen Seite ebenfalls angeordnet werden.

Daraufhin wurden der zweite obere Prämolare und beide oberen Molaren einer Seite aufgestellt. Es musste darauf geachtet werden, dass die ersten Molaren in Klasse-I-Verzahnung standen. Im Anschluss fuhr man mit der Aufstellung der oberen Seitenzähne der anderen Seite fort. Wichtig war auch hier die Neutralverzahnung der ersten Molaren. Bei richtiger Aufstellung entstand automatisch die ellipsoide Zahnbogenform.

Zuletzt wurden die Positionen der aufgestellten Zähne kontrolliert. Es musste ein letztes Mal die Neigung der oberen Frontzähne mit dem CCF überprüft werden. Alle UK-Frontzähne sollten an den Nullpunkten Kontakte mit ihren Antagonisten aufweisen. Mittellinienverschiebungen durften nicht vorhanden sein. Falls letzte Fehler festgestellt werden, sollten diese behoben werden.

Abschließend wurden die aufgestellten Zahnkränze mit rosa Abdruckgips am Sockel fixiert. So konnten die Positionen der Zähne nicht mehr verändert werden.

4.3 Messungen

4.3.1 Frühe Messungen

Vor den eigentlichen Messungen wurden mehrere Varianten getestet. Zum einen wurde eine digitale fotografische Vermessung nach Pandis et al. (2010) ausprobiert. Dafür wurde jedes OK- und UK-Modell in der Horizontalebene, beide Kiefer in Okklusion sowie der Unterkiefer in der Sagittalebene von links und rechts fotografiert. Mit Hilfe der am Modell befestigten und abfotografierten Millimeterskala, welche als Maßstab diente und des Computerprogramms *GIMP* (*GNU Image Manipulation Program, GPL, Das GIMP-Team, Version 2.8.10, 2013*) konnten eingezeichnete Strecken anhand der Pixelanzahl in Millimeter-Werte umgerechnet werden. Da dieses Ergebnis nicht exakt den reellen Werten entsprach und nicht eindeutig reproduzierbar war, konzentrierte man sich auf analoge Messmethoden, wie z. B. Millimeterfolie und Messschieber. Zusätzlich wurde eine eigene Messapparatur angefertigt.

Für die anschließenden Messungen teilte man die aufgestellten Modelle in Untergruppen (s. Tab.1) ein, da die Doktorandin und einige Studenten nicht bei allen Modellen jedes Kriterium zur Herstellung einer Neutralverzahnung einhalten konnten. Die Modelle wurden in Kategorie A (erste Molaren und Eckzähne stehen in Neutralverzahnung), Kategorie B (erste Molaren stehen in Neutralverzahnung und mindestens ein Eckzahn weicht nach distal ab) und Kategorie C (mindestens ein Molar und mindestens ein Eckzahn weicht nach distal ab) unterteilt (s. Abschn. 5.1).

Hier wurden bereits einige numerische Messungen u. a. die Anzahl der Stufen, Lücken und Rotationen pro Modell durchgeführt. Ebenfalls wurde notiert, ob der Inzisalpunkt und eine Mittellinienverschiebung vorhanden sind. Dabei war es uninteressant, um welches Maß die Mittellinie verschoben war. Anschließend wurde die funktionelle Frontzahnzuordnung kontrolliert, indem man von dorsal

in die Modelle hineinschaute. Ob die Inzisalkanten in den Basalpunkt griffen, konnte man ebenfalls gut erkennen, wenn man das Modell auf den Kopf stellte und von unten dagegen schaute. Für jeden Frontzahn wurde einzeln notiert, ob er Kontakt in Schlussbisslage hatte.

4.3.2 Messmethodik

4.3.2.1 Messapparaturen

Millimeterfolie

Die verwendete Millimeterfolie entsprach genau dem Millimeterpapier. Sie zählt ebenfalls zu den mathematischen Papieren und besteht aus einem rechtwinkligen Gitternetz mit einer Maschenweite von 1 mm. Zur Übersichtlichkeit sind die 10er und 100er Schritte durch verstärkte Linien gekennzeichnet. Die Folie ist durchsichtig. Man kann sie auf Körper legen und diese vermessen (s. Abb. 23). So sind z. B. Strecken und Flächenmessungen möglich. Diese Folie wurde verwendet, um die Unterkieferzahnbogenlänge, die Unterkieferseitenzahnblöcke sowie die Symmetrie der UK-Bögen zu messen. Sie wurde mittels Laserdrucker erstellt und mit Hilfe von Millimeterpapier auf die Richtigkeit des Maßstabs überprüft.



Abbildung 23: Millimeterfolie auf Modell

Messschieber

Ein Messschieber (auch Schieblehre) ist ein Längen-Messgerät. Mit Hilfe des Innen- und Außenmaßes können Körper vermessen werden. Hierzu legt man für die Außenmessung die Messschenkelpaare an einen Körper von außen, für die Innenmessung an die Wände eines Hohlraums von innen an. Bei dem verwendeten Messschieber (s. Abb. 24) handelt es sich um das Modell 16EX (Mahr GmbH, Esslingen). Diese Schieblehre hat ein digitales batteriebetriebenes LCD-Anzeigefeld, welches eine Auflösung von 0,01 mm angibt. Die Kapazität des Messschiebers entspricht 150 mm. Die zu vermessende Strecke kann metrisch oder zöllig angegeben werden. Die Schieblehre misst bis zu einer Genauigkeit von $\pm 0,03$ mm. Zusätzlich wurden an den originalen Messschieber filigranere Außenmaße angebracht.



Abbildung 24: Messschieber 16EX, Mahr GmbH, Esslingen

Messapparatur der sagittalen Kompensationskurve

Um die sag. Kompensationskurve der erstellten Modelle zu vermessen, wurde eine individuelle Messapparatur gebaut. Dazu wurde ein Draht (08, hart) am Zahnbogen des Unterkiefer-Urmodells entlang gebogen, welcher zur Herstellung von Klammern an Zahnsparren verwendet wird. Dafür wurden insgesamt sieben Höckerspitzen pro Quadrant (Eckzahnspitze, Höckerspitze des ersten und zweiten Prämolaren, mesio-bukkale und zentro-bukkale Höckerspitze des ersten Molaren, mesio-bukkale und disto-bukkale Höckerspitze d. zweiten Molaren) sowie der Inzisalpunkt mit *Nagellack (Colour & Go, red, Essence)* markiert. Der Draht wurde in horizontaler, sagittaler und vertikaler Ebene optimal an den Verlauf der Höckerspitzen angepasst, so dass dieser auf den markierten Punkten auflag. Nur im Bereich der mittleren und seitlichen Inzisivi lag der Draht auf den Schneidekanten nicht auf. Dieser Draht wurde mit *Tribos Plattenwachs M gingiva (Gebdi)* in Bereichen ohne Markierungen fixiert. Anschließend wurden

die sieben Markierungen der Höckerspitzen sowie der Inzisalpunkt auf die entsprechenden Stellen auf dem Draht mit *Nagellack (Colour & Go, red, Essence)* übertragen. Für die Vermessung der Modelle, bei denen eine Lücke zwischen den mittleren unteren Inzisivi vorhanden und damit kein eindeutiger Inzisalpunkt eingebaut war, wurde die naheliegende Position eines Inzisalpunktes (Mittelpunkt der Lücke) angenommen. Zuletzt wurden in die beiden Drahtenden Retentionen eingebogen, welche in einem Gipsblock fixiert wurden. Dafür baute man eine Form aus *Tribos Plattenwachs M gingiva (Gebdi)*, die anschließend mit Gips aufgefüllt wurde.

Dieser optimal passende Draht (s. Abb. 25) entsprach dem Zahnbogenverlauf des ausgesuchten Patientenfalls. Die Markierungen auf dem Draht dienten als Referenzpunkte der originalen sag. Kompensationskurve. Es konnte nun die Abweichung der Kurve in den Studenten- und Doktorand-Modellen in Bezug zum Urmodell vermessen werden.



Abbildung 25: Messapparatur der sagittalen Kompensationskurve auf dem Urmodell

4.3.2.2 Messung der sagittalen Kompensationskurve

Der Draht der oben beschriebenen individuell angefertigten Messapparatur wurde an die sag. Kompensationskurve eines zu vermessenen Modells wie in Abbildung 26 angelegt.



Abbildung 26: Messung der sagittalen Kompensationskurve im 3. Quadranten

Der Draht wurde so positioniert, dass die Markierungen auf dem Draht genau auf den Höckerspitzen zu liegen kamen. Das war oft nicht an allen sieben Markierungspunkten möglich, da die Kurven der aufgestellten Modelle nach unten abwichen. Das zu vermessende Modell wurde mit untergelegten Wachskeilen ausnivelliert, so dass mindestens zwei Messpunkte in Position waren. Mit dem oben genannten Messschieber wurden die negativen (bei tieferer Kurve) oder positiven (bei flacherer Kurve) Abstände der Höckerspitzen zu den Markierungspunkten auf dem Referenzdraht vermessen. Jeder der sieben Messpunkte pro Quadrant (s. Tab. 1) wurde dreimal vermessen. Es entstanden drei Messwerte pro Messpunkt.

Sr33	Eckzahnspitze des 3. Quadranten	Sr43	Eckzahnspitze des 4. Quadranten
Sr34	bukkale Höckerspitze des ersten Prämolaren des 3. Quadranten	Sr44	bukkale Höckerspitze des ersten Prämolaren des 4. Quadranten
Sr35	bukkale Höckerspitze des zweiten Prämolaren des 3. Quadranten	Sr45	bukkale Höckerspitze des zweiten Prämolaren des 4. Quadranten
Sr36mb	mesio-bukkale Höckerspitze des ersten Molaren des 3. Quadranten	Sr46mb	mesio-bukkale Höckerspitze des ersten Molaren des 4. Quadranten
Sr36zb	zentro-bukkale Höckerspitze des ersten Molaren des 3. Quadranten	Sr46zb	zentro-bukkale Höckerspitze des ersten Molaren des 4. Quadranten
Sr37mb	mesio-bukkale Höckerspitze des zweiten Molaren des 3. Quadranten	Sr47mb	mesio-bukkale Höckerspitze des zweiten Molaren des 4. Quadranten
Sr37db	disto-bukkale Höckerspitze des zweiten Molaren des 3. Quadranten	Sr47db	disto-bukkale Höckerspitze des zweiten Molaren des 4. Quadranten

Tabelle 1: Messpunkte im 3. und 4. Quadranten

4.3.2.3 Messungen in der Horizontalebene

Messung der Zahnbogenbreiten

Um die Zahnbogenbreite des Oberkiefers (D66OK) zu erhalten, wurde die Distanz zwischen den mesio-palatinalen Höckerspitzen der ersten oberen Molaren mit dem oben genannten Messschieber (s. Abb. 27) vermessen. Jedes Modell wurde dreimal ausgelotet, um drei Messwerte pro Modell zu erhalten.

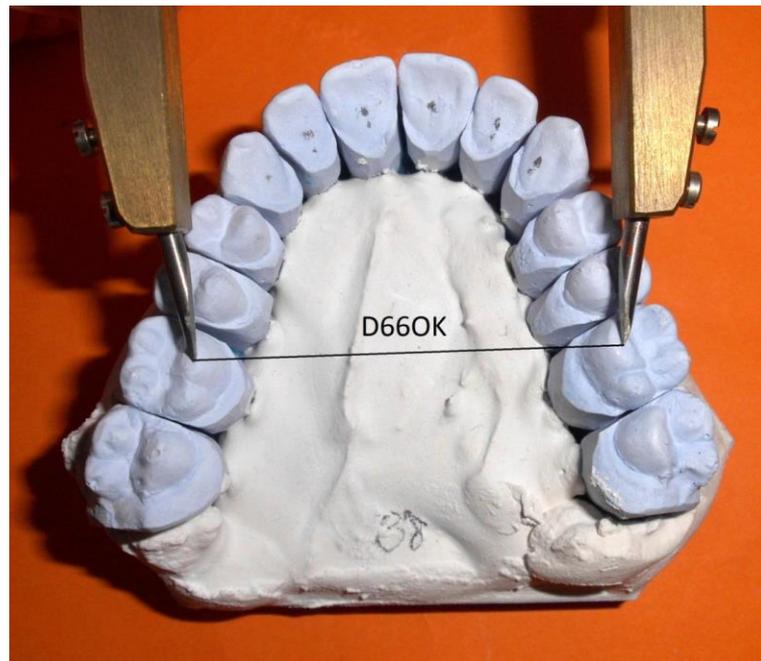


Abbildung 27: Messung der OK-Zahnbogenbreite

Um die Zahnbogenbreite des Unterkiefers (D66UK) zu bestimmen, wurde die Distanz zwischen den Mittelpunkten der Zentralfissuren bzw. den korrespondierenden Fossae der beiden unteren ersten Molaren mit dem oben genannten Messschieber (s. Abb. 28) vermessen. Wieder wurde jedes Modell dreimal vermessen. Somit erhielt man drei Messwerte pro Modell.

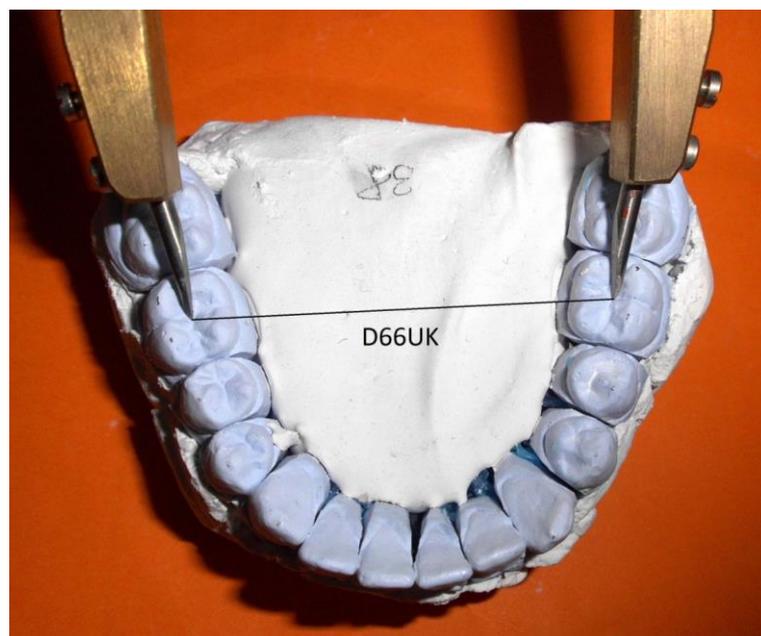


Abbildung 28: Messung der UK-Zahnbogenbreite

Im Unterkiefer wurde zusätzlich die Distanz zwischen den Eckzahnspitzen (D33UK) mit dem oben genannten Messschieber ausgelotet (s. Abb. 29). Jedes Modell wurde dreimal vermessen, um drei Messwerte zu erhalten.

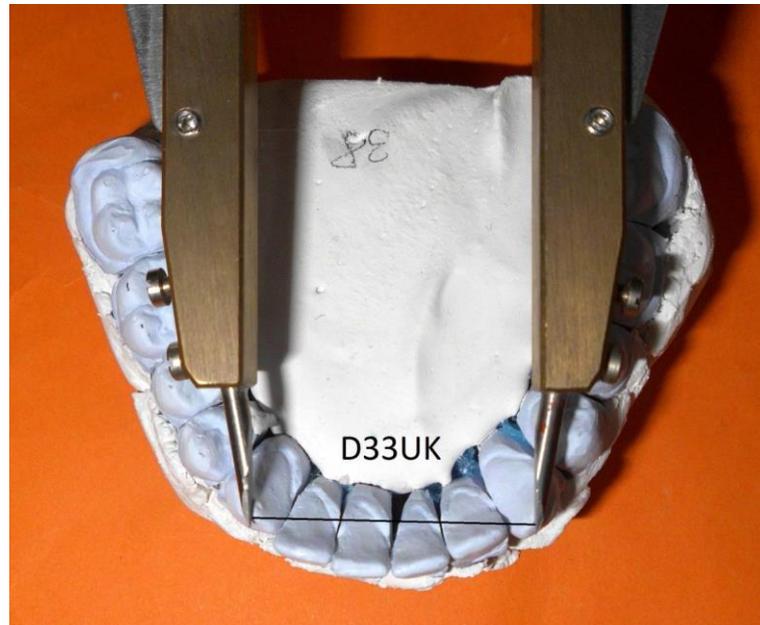


Abbildung 29: Messung der Eckzahndistanz

Messung des Unterkieferzahnbogens

Um die gesamte *Länge des Unterkieferzahnbogens* zu vermessen, wurde die oben genannte Millimeterfolie benutzt. Dabei wurde diese plan auf die Okklusionsebene aufgelegt. Eine Linie verband dabei die beiden disto-bukkalen Höckerspitzen der zweiten unteren Molaren (37db-47db). Eine Senkrechte zu dieser Strecke 37db-47db wurde durch den Inzisalpunkt gezogen. Die Distanz zwischen dem Inzisalpunkt und der Strecke 37db-47db ergab die Länge des Unterkieferzahnbogens (s. Abb. 30). Diese war gleichzeitig die Mittellinie des Zahnbogens sowie die Spiegelachse und dient der Symmetrievermessung. Wieder wurde jedes Modell dreimal vermessen, um drei Messwerte pro Modell zu erhalten.

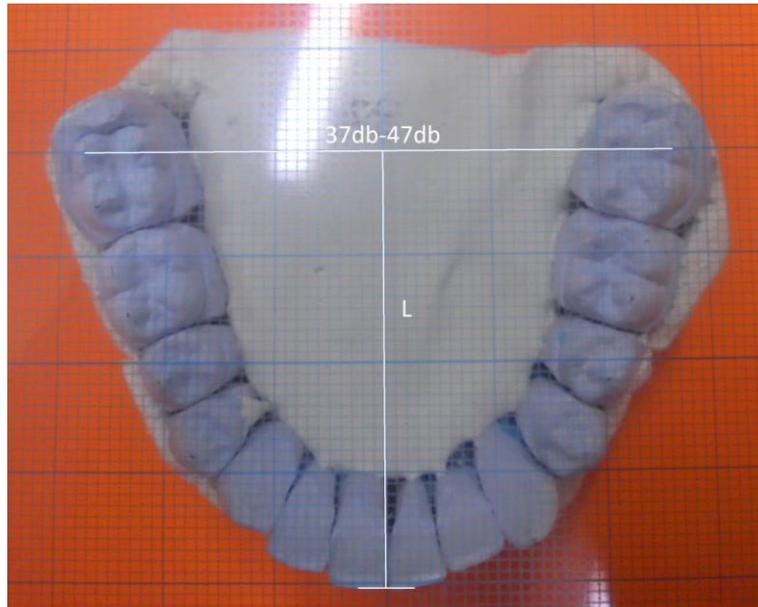


Abbildung 30: Messung der Länge des Unterkieferzahnbogens

Messung der Symmetrie

Mit Hilfe der Millimeterfolie war die Symmetrie des Unterkieferzahnbogens zu überprüfen. Wie oben bereits beschrieben wurde die Millimeterfolie so am UK-Modell angelegt, dass eine Linie die beiden disto-bukkalen Höckerspitzen der zweiten unteren Molaren verband. Auf dieser entstandenen Strecke 37db-47db wurde eine Senkrechte durch den Inzisalpunkt gezogen. Diese Senkrechte war die Mittellinie und Spiegelachse des Unterkiefers. Auf ihr konnten weitere Senkrechten zur Mittellinie durch die Kauspitze des Eckzahnes sowie alle Höckerspitzen gezogen werden. Diese gezogenen Linien waren ebenfalls Parallelen zur Strecke 37db-47db (s. Abb. 31). Der Abstand von einem Referenzpunkt zur Mittellinie auf einer Kieferhälfte wurde mit dem Abstand auf der anderen Seite verglichen. Es konnten Aussagen über die Symmetrie, Asymmetrie und Breite des Zahnbogens gemacht werden. Es waren sieben Messwerte pro Quadrant: Kauspitze Eckzahn (B33, B43), Höckerspitze erster Prämolare (B34, B44), Höckerspitze zweiter Prämolare (B35, B45), mesio-bukkale Höckerspitze (B36mb, B46mb) und zentro-bukkale Höckerspitze (B36zb, B46zb) des ersten Molaren, mesio-bukkale Höckerspitze (B37mb, B47mb) und disto-bukkale Höckerspitze (B37db, B47db) des zweiten Molaren zu messen. Anschließend wurden die Strecken (Mittellinie – Referenzpunkt) beider Seiten subtrahiert. Die Differenz galt als Maß für die Asymmetrie. Jedes Modell wurde drei Mal vermessen, so dass für jeden Messpunkt drei Messwerte aufgenommen wurden.

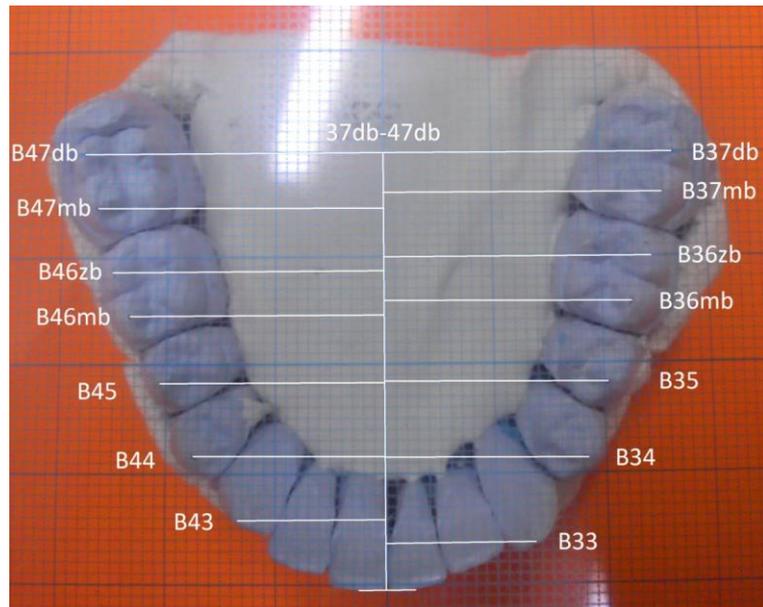


Abbildung 31: Messung Symmetrie mit Millimeterfolie

4.5 Statistische Methoden

4.5.1 Erhobene Parameter in der Hauptuntersuchung

Minimal- bzw. Maximalwert (Min./Max.)

Diese Werte stellen den kleinsten bzw. größten Datenwert des Datensatzes dar.

Mittelwert (MW)

Der Mittelwert oder Durchschnitt bildet aus zwei oder mehr Zahlen eine weitere, die zwischen den gegebenen Zahlen liegt. Es werden alle Werte addiert und durch die Anzahl der Werte dividiert:

$$\text{Mittelwert: } \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

In der Statistik wird der Mittelwert als Erwartungswert gedeutet, ein sogenannten Lageparameter einer Häufigkeits- oder Wahrscheinlichkeitsverteilung, der die Lage der Elemente einer Stichprobe oder Grundgesamtheit in Bezug auf die Messskala beschreibt.

Medianwert (Med.)

Der Medianwert ist ein Mittelwert für Verteilungen. Der Medianwert einer Auflistung von Zahlenwerten ist derjenige Wert, welcher an der mittleren Stelle steht, wenn man die Werte der Größe nach sortiert. Allgemein teilt ein Median einen Datensatz in zwei Hälften, so dass die Werte der einen kleiner, in der anderen

größer als der Medianwert sind. Er kann bestimmt werden, indem alle Werte aufsteigend geordnet werden. Wenn die Anzahl der Werte ungerade ist, ist die mittlere Zahl der Median. Sollte die Anzahl der Werte gerade sein, wird der Median meist als arithmetisches Mittel der beiden mittleren Zahlen definiert, welche dann Unter- und Obermedian heißen. Eine wichtige Eigenschaft des Median ist die Robustheit gegenüber Ausreißern.

Standardabweichung (SD)

Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Werte einer Zufallsvariablen um ihren Erwartungswert. Sie ist definiert als die Quadratwurzel aus deren Varianz. Die Standardabweichung hat die gleiche Dimension wie die Messwerte der Beobachtungsreihe.

Interquartilsabstand

Er gibt den Wertebereich an, in dem sich die mittleren 50 % der Daten befinden. Im Verhältnis zu anderen Streuungsmaßen ist der Interquartilsabstand wenig anfällig für Ausreißer und neben der mittleren absoluten Abweichung ein robuster Schätzer. Er ist die Differenz zwischen dem dritten und ersten Quartil.

$$\text{Interquartilsabstand} = Q_3 - Q_1 = Q_{0,75} - Q_{0,25}$$

Somit repräsentiert er die Spannweite des ersten und dritten Quartils. Er verwendet das erste und dritte Quartil als Referenz, somit liegen immer insgesamt 50 % der Daten innerhalb des Interquartilsabstands. Er ist ein Streuungsmaß und erlaubt Rückschlüsse über die Verteilung der Daten. Ein geringer Interquartilsabstand bedeutet, dass die Daten nahe beieinander liegen bzw. näher am Median liegen. Ein großer Interquartilsabstand hingegen bedeutet, dass die Daten weit auseinander liegen, also nicht konsistent sind. Liegt der Median genau in der Mitte, so ist die Verteilungsfunktion symmetrisch. Somit ist bei einer symmetrischen Verteilungsfunktion die mittlere absolute Abweichung das Doppelte des Interquartilsabstandes. Im Gegensatz zur Standardabweichung bedeutet ein Interquartilsabstand von Null nicht, dass die Daten keine Streuung besitzen.

Boxplot-Diagramm

Oft werden Boxplot-Diagramme (Box-Whisker-Plots) wie in Abbildung 34 verwendet, um Daten anschaulich darzustellen. Der Vorteil eines Box-Whisker-Plots ist, dass er viele verschiedene statistische Kennwerte darstellen kann, aber gleichzeitig überschaubar bleibt.

Der Minimalwert stellt sich am Ende eines Whiskers oder als entferntester Ausreißer dar. Das untere Quartil sind die kleinsten 25 % der Datenwerte. Diese sind kleiner oder gleich diesem Kennwert. Sie stellen den Beginn der Box dar. Beim Median-Wert handelt es sich um den dicken Strich innerhalb der Box. Das obere Quartil stellt die kleinsten 75 % der Datenwerte dar und ist kleiner oder gleich diesem Kennwert. Es wird als Ende der Box dargestellt. Der Maximalwert entspricht dem Ende eines Whiskers oder dem entferntesten Ausreißer. Als Spannweite bezeichnet man den gesamten Wertebereich des Datensatzes. Es handelt sich dabei um die gesamte Länge des Boxplots inkl. Ausreißer. Die Länge der Box gibt den Interquartilsabstand an.

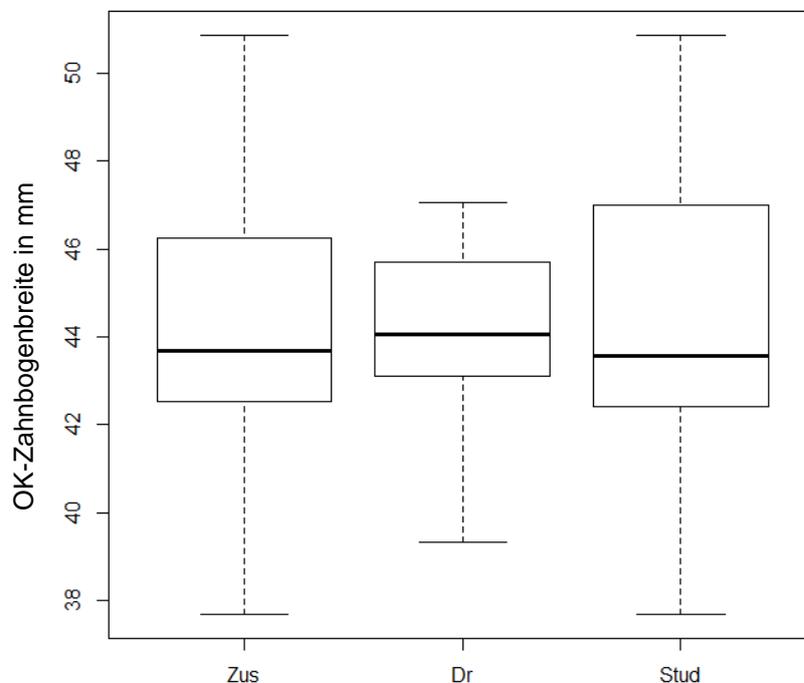


Abbildung 32: Boxplot-Diagramm am Beispiel der OK-Zahnbogenbreite

In Abbildung 32 werden beispielsweise die OK-Zahnbogenbreiten dreier Modellkategorien grafisch aufgezeigt: die Gesamtheit aller vermessenen Modelle

(Zus), die Doktorandenmodelle (Dr) sowie die Studentenmodelle (Stud). Somit kann man die OK-Breiten dieser drei Kategorien direkt miteinander vergleichen.

4.5.2 Statistisches Auswertungsverfahren

Bei dem verwendeten Computerprogramm zur Statistik-Erstellung handelt es sich um *R* (*R Development Core Team, The R Foundation for Statistical Computing, GNU, General Public License, Version 3.1.0, 2014*). *R* ist eine freie Programmiersprache, welche für statistisches Rechnen und für die Erstellung statistischer Grafiken genutzt wird. Sie ist in Anlehnung an die Programmiersprache *S* entstanden, mit dieser kompatibel und lehnt an die Programmiersprache *Scheme* an. *R* ist Teil des GNU-Projekts und somit auf vielen Plattformen verfügbar. Das Programm gilt als Standardsprache für statistische Problemstellungen im kommerziellen und wissenschaftlichen Bereich.

R ist eine die Groß- und Kleinschreibung beachtende Interpretersprache. Die einfachste Datenstruktur in *R*, welche grundsätzlich Elemente gleichen Typs sein sollen, stellt einen Vektor dar. Entsprechend werden Rechenoperationen auf alle Elemente dieser Datenstrukturen angewendet. Bei Zuweisung unterschiedlicher Datentypen zu einem Vektor werden die Daten entsprechend umgewandelt, um einheitliche Datentypen zu erhalten.

4.5.3 Korrelationsberechnungen

Die Abhängigkeit zwischen zwei untersuchten Messgrößen wird mit der Korrelationsanalyse untersucht. Diese Analysen sollen Auskunft über Art und Grad des Zusammenhanges der Messgrößen geben. Liegt ein Zusammenhang zwischen zwei Größen vor, so lässt sich der Stichprobenkorrelationskoeffizient r angeben.

Die Korrelationsanalyse untersucht Zusammenhänge zwischen Zufallsvariablen anhand einer Stichprobe. Der Korrelationskoeffizient r ist ein Maß für die Stärke und Richtung eines linearen Zusammenhanges. Ein Korrelationskoeffizient von $r = 0$ bedeutet, dass kein Zusammenhang zwischen zwei Messgrößen besteht. Nähert sich r -1 oder 1 an, wird eine lineare Abhängigkeit wahrscheinlicher. Ist $r = -1$ oder 1 stehen beide Messgrößen in einem funktionellen linearen Zusammenhang. Die Größenordnung r wird wie folgt berechnet:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2\right] \left[\sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2\right]}}$$

In dieser Studie spricht man von einer Korrelation, wenn $r \geq 0,7$. Aufgrund des Umfangs an Berechnungsergebnissen werden nur Korrelationen und Korrelationen $r \geq 0,6$ evaluiert. Deshalb wurde in der vorliegenden Arbeit kein Korrelationsstest durchgeführt.

Des Weiteren wurde ein sogenannten Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (auch: U-Test) durchgeführt. Dieser ist ein parameterfreier statistischer Test, welcher einen Homogenitätstest darstellt und zur Überprüfung der Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen dient. Es wird getestet, ob zwei Messgrößen zu derselben Grundgesamtheit gehören. Die Ergebnisse des Tests waren nicht von Belang und wurden deshalb nicht weiter aufgeführt.

4.5.4 Hypothesentests

Als Hypothesentests wurden t-Tests durchgeführt. Ein t-Test bezeichnet eine Gruppe von Hypothesentests mit t-verteilter Testprüfgröße.

Der Einstichproben-t-Test dient zur Prüfung eines vermuteten Zusammenhangs zwischen der Differenz zweier Messgrößen (Lagetest gegen Null). Mit Hilfe von Mittelwerten, Standardabweichungen und Stichprobenanzahl prüft der Einstichproben-t-Test, ob sich der Mittelwert einer Grundgesamtheit von einem vorgegebenen Sollwert unterscheidet. Der p -Wert¹ des Einstichproben-t-Tests gibt also die Signifikanz an.

Ein Zweistichproben-t-Test prüft anhand der Mittelwerte zweier Stichproben, ob die Mittelwerte zweier Messgrößen einander gleich sind. Ebenso prüft er gegen die Alternative, ob einer der Mittelwerte kleiner ist als der andere. Dieser kann in diesem Fall nicht angewendet werden, weil zwei unabhängige Stichproben mit ungleichen Standardabweichungen in beiden Grundgesamtheiten vorliegen. Aus diesem Grund muss der sogenannte Welch-Test eingesetzt werden. Diesen abgewandelten t-Test kann man durchführen, wenn die Stichproben aus normalverteilten Grundgesamtheiten stammen und die t-Größe und die Zahl der Freiheitsgrade angepasst werden. Der Test ist eine Näherungslösung, da es für ungleiche Varianzen keine exakte Lösung gibt. Er schätzt also Varianzen, wel-

che ungleich sein sollten. Die Wahrscheinlichkeit wird als p -Wert² angegeben und nimmt Werte zwischen Null und Eins an. Er deutet an, wie wahrscheinlich es ist, ein solches Stichprobenergebnis oder ein noch extremeres zu erhalten, wenn die Nullhypothese wahr ist. Mit diesem Wert wird aufgezeigt, wie extrem das Ergebnis ist. Je kleiner der p -Wert, desto mehr spricht das Ergebnis gegen die Nullhypothese. Der p -Wert sollte unter 5 % (p -Wert $< 0,05$) liegen. Wenn die Nullhypothese verworfen wird, gilt das Resultat als statistisch signifikant. Signifikant bedeutet hierbei überzufällig.

5 ERGEBNISSE

Ziel dieser Studie war es, Untersuchungen zur sag. Kompensationskurve durchzuführen. Dafür wurden die Kurven sowie Zahnbogenlängen, -breiten und -symmetrie der erstellten Modelle vermessen. Des Weiteren wurde untersucht, in welchem Verhältnis bzw. Zusammenhang diese Größen zueinander stehen. Es sollte herausgefunden werden, ob die Tiefe der sag. Kompensationskurve mit der Zahnbogenlänge oder -breite korreliert.

5.1 Gruppeneinteilungen

Für die anschließenden Messungen wurden die aufgestellten Modelle in Untergruppen (s. Tab. 2) eingeteilt, da die Doktorandin und einige Studenten nicht bei allen Modellen jedes Kriterium zur Herstellung einer Neutralverzahnung einhalten konnten.

Bei den Kategorien, die mit einem „S“ benannt wurden, handelte es sich um Modelle, welche von Studenten erstellt wurden. Insgesamt lagen 45 Studenten-Modelle vor. Waren die Modelle durch ein „D“ gekennzeichnet, so wurden diese von der Doktorandin hergestellt. Sie stellte den ausgesuchten Fall insgesamt 20 Mal auf. Bei der *Kategorie A* lag nach der Angle-Klassifikation eine Neutralverzahnung vor. Hier standen obere und untere erste Molaren sowie die Eckzähne in Normalverzahnung. Zählte man die Modelle der *Kategorie A* zusammen, so erhielt man 39 Stück. In der *Kategorie B* standen die oberen und unteren Molaren in Neutralverzahnung, mindindestens die Eckzähne einer Seite wichen von der Norm nach distal ab. Insgesamt lagen 15 Modelle der *Kategorie B* vor. In der *Kategorie C* wichen mindindestens die Molaren einer Seite oder beider Seiten sowie mindestens die Eckzähne einer Seite oder beider Seiten von der Neutralverzahnung nach distal ab. Es handelte sich bei der *Kategorie C* um insgesamt vier Modelle. In *Kategorie D* fand man Modelle vor, welche aus verschiedenen Gründen nicht weiter vermessen werden konnten. Bei diesen sieben Modellen lagen Frakturen der Frontzähne vor, waren Zähne falsch positioniert oder war keine eindeutige Okklusion vorhanden.

D-A	erste Molaren und Eckzähne stehen in Neutralverzahnung (15 Stk.)	S-A	erste Molaren und Eckzähne stehen in Neutralverzahnung (24 Stk.)
D-B	erste Molaren stehen in Neutralverzahnung und mind. ein Eckzahn weicht nach distal ab (3 Stk.)	S-B	erste Molaren stehen in Neutralverzahnung und mind. ein Eckzahn weicht nach distal ab (12 Stk.)
D-C	mind. ein Molar und mind. ein Eckzahn weichen nach distal ab (2 Stk.)	S-C	mind. ein Molar und mind. ein Eckzahn weichen nach distal ab (2 Stk.)
D-D	nicht beurteilbar (0 Stk.)	S-D	nicht beurteilbar, aufgrund von z. B. Frakturen, falsche Zahnwahl (7 Stk.)

Tabelle 2: Kategorie-Einteilung

Wie oben beschrieben, wurden alle Modelle vor der eigentlichen Messung kategorisiert. Es wurde die Einhaltung der Aufstellungs-Richtlinien überprüft. Dabei konnte man feststellen, dass es schwer fiel einen perfekten symmetrischen Zahnbogen zu erstellen. Leider konnte man beim Überfliegen der Modelle schon erkennen, dass die Zahnbogenbreite stark und die Zahnbogenlänge weniger stark variiert. Es wurden viele Lücken, Stufen und Rotationen eingebaut. Häufig fand man Mittellinienverschiebungen vor. Desweiteren war nicht immer ein Inzisalpunkt vorhanden. Die sag. Kompensationskurve schien bei vorerst oberflächlicher Betrachtung generell ausgeprägter als am Ausgangsfall.

5.2 Vergleich Studenten- und Doktorandenmodelle

5.2.1 Sagittale Kompensationskurve

Verglich man die folgenden Tabellen (s. Tab. 3 - 16) der Ergebnisse des dritten und vierten Quadranten, so stellte man fest, dass die Kompensationskurven sowohl von den Studenten als auch von der Doktorandin deutlich ausgeprägter aufgestellt wurden, als es im Ausgangsmodell der Fall ist. Die Kurven der Doktorandenmodelle waren im Mittelwert tiefer als die der Studenten (s. Abb. 33 - 38). Betrachtete man die Gesamtheit der Messpunkte, so war die größte Abweichung im Kauzentrum bzw. im Bereich des ersten Molaren zu finden.

5.2.1.1 Dritter Quadrant

Betrachtete man alle sieben Messpunkte im dritten Quadranten (s. Abb. 33 - 35, s. Tab. 3 - 9), so fand man die stärkste Abweichung von der Originalkurve an den Messpunkten Sr36mb und Sr36db. Am mesio-bukkale Höcker des ersten Molaren (s. Tab. 6) aller Modelle betrug die mittlere Abweichung $-0,47 \pm 0$ mm. Die Kurven wurden im Kauzentrum um ca. $0,47 \pm 0$ mm (Min.: $-1,53$ mm; Max.: $0,54$ mm) tiefer erstellt als im Originalmodell. Die mittlere Tiefe des Messpunktes Sr36mb der Kat.-A-Modelle der Doktorandin betrug $-0,73 \pm 0,44$ mm (Min.: $-1,53$ mm; Max.: 0 mm), der Studenten jedoch nur $-0,33 \pm 0,32$ mm (Min.: $-1,03$ mm; Max.: 0 mm). Die Doktorandenmodelle der Kat.-A waren an Messpunkt Sr36mb im Mittelwert $0,40$ mm tiefer erstellt als die S-A-Modelle.

Der zentro-bukkale Höcker des ersten Molaren (s. Tab. 7) aller Modelle war im Mittelwert ebenfalls $-0,44 \pm 0$ mm (Min.: $-1,42$ mm; Max.: $0,52$ mm) tiefer aufgestellt. Dabei ergab sich ein Mittelwert für die Kat.-A der Doktorandin von $-0,59 \pm 0,36$ mm (Min.: $-1,42$ mm; Max.: 0 mm) und für die Kat.-A der Studenten von $-0,37 \pm 0,31$ mm (Min.: $-1,07$ mm; Max.: 0 mm).

Es fiel auf, dass Eckzähne und disto-bukkale Höcker des zweiten Molaren geringere Abweichungen zur Originalkurve zeigten. Im Gesamtdurchschnitt saß der Eckzahn (s. Tab. 3) $-0,17 \pm 0$ mm (Min.: $-1,57$ mm; Max.: 0 mm), in den Doktorandenmodellen (Kat.-A) jedoch nur $-0,12 \pm 0,27$ mm (Min.: $-1,02$ mm; Max.: 0 mm) tiefer. In den Studentenmodellen (Kat.-A) war dieser $-0,29 \pm 0,53$ mm (Min.: $-1,57$ mm; Max.: 0 mm) tiefer positioniert.

Der disto-bukkale Höcker des zweiten Molaren (s. Tab. 9) stand nahezu auf der Höhe der Originalkurve. Im Mittelwert aller Modelle saß dieser nur um $-0,12 \pm 0$ mm tiefer (Min.: $-1,22$ mm; Max.: 0 mm). In den Kat.-A-Modellen der Doktorandin betrug sogar der Mittelwert 0 ± 0 mm (Min.: 0 mm; Max.: 0 mm), wobei die Studentenmodelle (Kat. A) einen Mittelwert von $-0,18 \pm 0,33$ mm (Min.: $-1,22$ mm; Max.: 0 mm) erreichten.

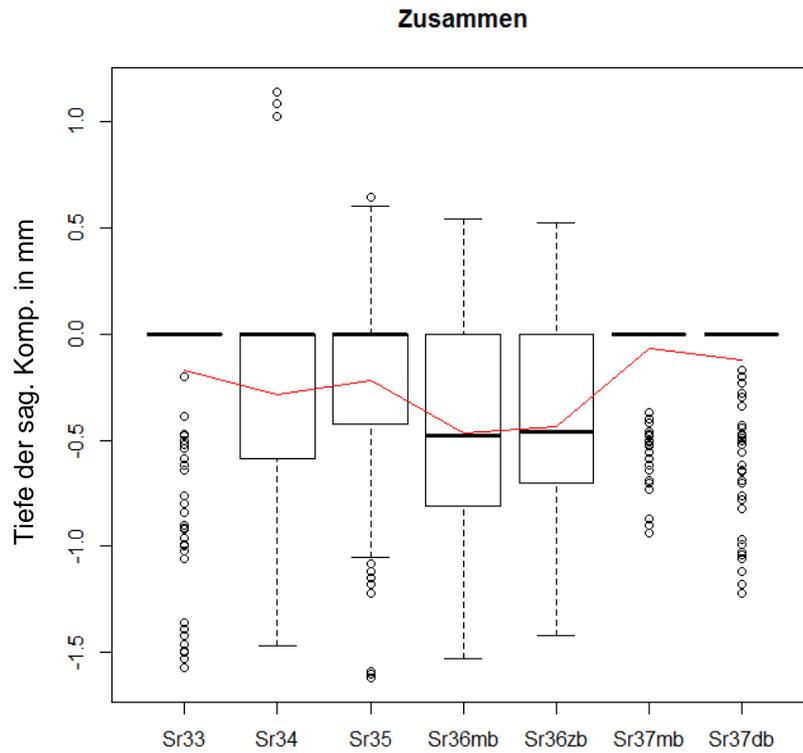


Abbildung 33: mittlere sagittale Kompensationskurve des 3. Quadranten (Doktorandin und Studenten)

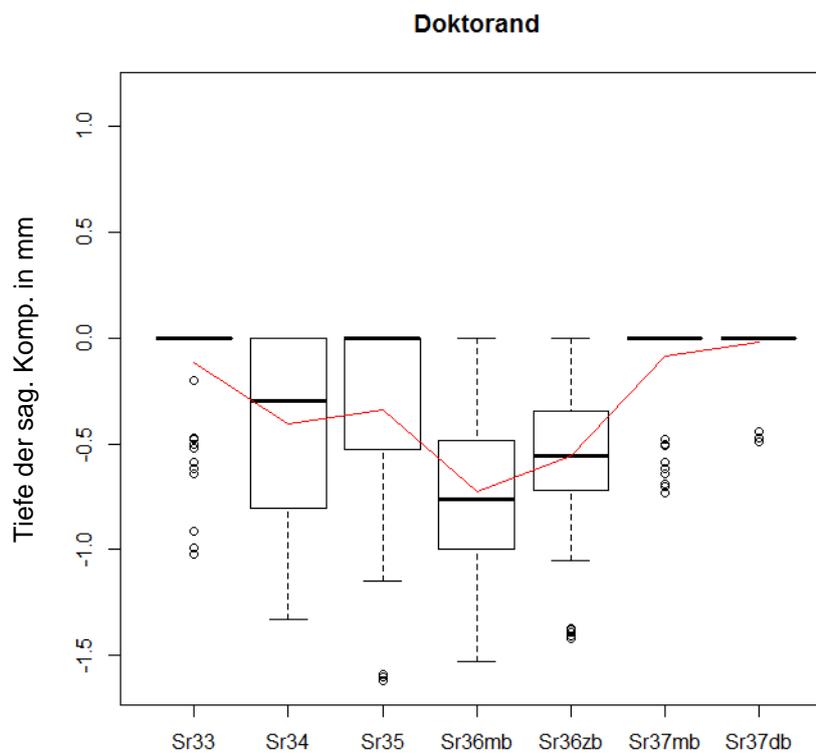


Abbildung 34: mittlere sagittale Kompensationskurve des 3. Quadranten (Doktorandin)

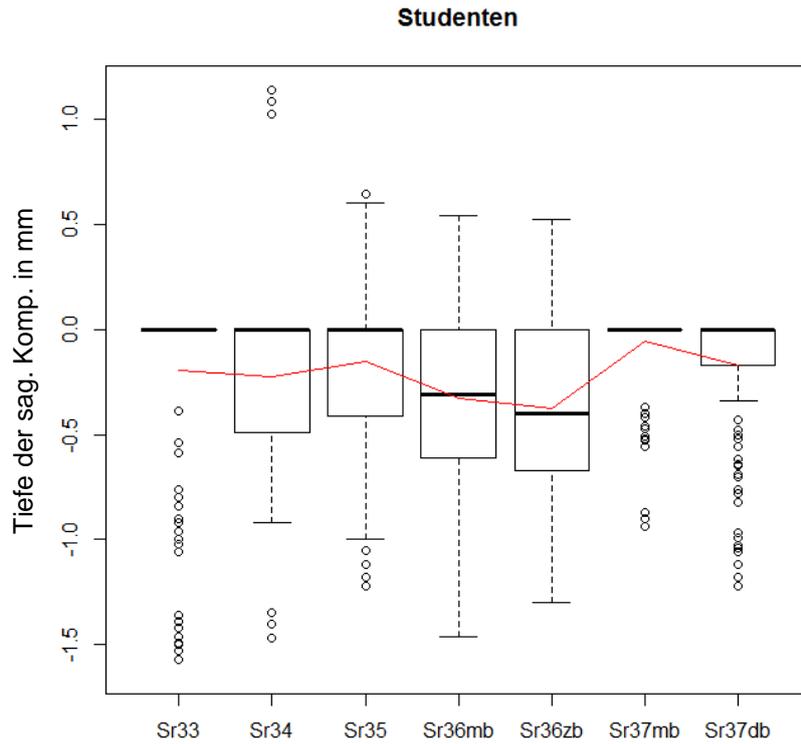


Abbildung 35: mittlere sagittale Kompensationskurve des 3. Quadranten (Studenten)

Sr33

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,57	-1,57	-1,02	-1,02	0	-0,64	-1,57	-1,57	-0,84	0
MW	-0,17	-0,22	-0,12	-0,12	0	-0,31	-0,20	-0,29	-0,67	0
Med.	0	0	0	0	0	-0,30	0	0	0	0
Max.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SD	0	0,46	0,27	0,28	0	0,34	0,41	0,53	0,24	0

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 3: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr33

Sr34

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,47	-1,47	-1,33	-1,10	-1,33	-1,04	-1,47	-1,47	-0,70	0
MW	-0,29	-0,31	-0,40	-0,32	-0,94	-0,50	-0,22	-0,31	-0,11	0
Med.	0	0	-0,3	0	-0,99	-0,47	0	0	0	0
Max.	1,14	0	0	0	-0,59	0	1,14	0	1,14	0
SD	0	0,39	0,45	0,39	0,28	0,54	0,41	0,40	0,45	0

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 4: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr34

Sr35

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,62	-1,62	-1,62	-1,62	-0,90	-0,42	-1,22	-0,88	-1,22	-1,05
MW	-0,22	-0,22	-0,34	-0,36	-0,43	-0,20	-0,15	-0,13	-0,15	-0,50
Med.	0	0	0	0	-0,42	-0,19	0	0	0	-0,49
Max.	0,64	0,52	0	0	0	0	0,64	0,52	0,64	0
SD	0	0,40	0,45	0,50	0,38	0,22	0,37	0,30	0,46	0,55

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 5: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr35

Sr36mb

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
N	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,53	-1,53	-1,53	-1,53	-0,92	-1,48	-1,46	-1,03	-1,46	-1,16
MW	-0,47	-0,48	-0,72	-0,73	-0,74	-1,07	-0,33	-0,33	-0,28	-0,84
Med.	-0,48	-0,44	-0,76	-0,76	-0,80	-1,05	-0,31	-0,34	0	-0,87
Max.	0,54	0	0	0	-0,50	-0,69	0,54	0	0,54	-0,49
SD	0	0,42	0,43	0,44	0,17	0,40	0,42	0,32	0,56	0,30

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 6: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr36mb

Sr36zb

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
N	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,42	-1,42	-1,42	-1,42	-0,56	-1,42	-1,30	-1,07	-1,04	-1,30
MW	-0,44	-0,45	-0,87	-0,59	-0,47	-0,70	-0,38	-0,37	-0,33	-0,93
Med.	-0,46	-0,44	0	-0,63	-0,48	-0,69	-0,40	-0,40	-0,39	-0,92
Max.	0,52	0	0	0	-0,40	0	0,52	0	0,52	-0,60
SD	0	0,35	0,40	0,36	0,05	0,76	0,40	0,31	0,49	0,35

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 7: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr36zb

Sr37mb

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
N	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-0,94	-0,94	-0,73	-0,64	-0,73	0	-0,94	-0,94	-0,56	0
MW	0	-0,06	-0,87	-0,07	-0,24	0	-0,06	-0,05	-0,09	0
Med.	-0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SD	0	0,19	0,22	0,19	0,35	0	0,19	0,20	0,19	0

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 8: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr37zb

Sr37db

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,22	-1,22	-0,49	0	-0,49	0	-1,22	-1,22	-1,06	0
MW	-0,12	-0,11	-0,02	0	-0,16	0	-0,17	-0,18	-0,21	0
Med.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SD	0	0,28	0,10	0	0,23	0	0,34	0,33	0,37	0

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 9: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr37db

5.2.1.2 Vierter Quadrant

Betrachtete man alle sieben Messpunkte im vierten Quadranten (s. Abb. 36 - 38, s. Tab. 10 - 16), so fand man wie im dritten Quadranten die stärkste Abweichung von der Originalkurve an den Punkten Sr46mb und Sr46db. Am mesio-bukkale Höcker des ersten Molaren (s. Tab. 13) aller Modelle betrug die mittlere Abweichung $-0,79 \pm 0$ mm. Die Kurven wurden im Kauzentrum um ca. $0,79 \pm 0$ mm (Min.: -2,68 mm; Max.: 0 mm) tiefer erstellt als die Originalkurve. Die mittlere Tiefe des Messpunktes Sr46mb der Kat.-A-Modellen der Doktorandin betrug $-1,12 \text{ mm} \pm 0,65$ (Min.: -2,68 mm; Max.: 0 mm), der Studenten jedoch nur $-0,61 \pm 0,41$ mm (Min.: -1,82 mm; Max.: -0,56 mm).

Der zentro-bukkale Höcker des ersten Molaren (s. Tab. 14) aller Modelle war im Mittelwert jedoch nur $-0,74 \pm 0$ mm (Min.: -2,71 mm; Max.: 0,37 mm) tiefer aufgestellt. Dabei ergab sich ein Mittelwert für die Kat.-A der Doktorandin von $-1,05 \pm 0,59$ mm (Min.: -2,17 mm; Max.: -0,30 mm) und für die Kat.-A der Studenten von $-0,57 \pm 0,40$ mm (Min.: -1,43 mm; Max.: 0,37 mm).

Es fällt auf, dass Eckzähne und disto-bukkale Höcker des zweiten Molaren geringere Abweichungen zur Originalkurve zeigten. Im Gesamtdurchschnitt saß der Eckzahn (s. Tab. 10) $-0,13 \pm 0$ mm (Min.: -1,43 mm; Max.: 1,54 mm), in den Doktorandenmodellen (Kat.-A) jedoch nur $-0,26 \pm 0,45$ mm (Min.: -1,43 mm; Max.: 0 mm) tiefer. In den Studentenmodellen (Kat.-A) war er $-0,06 \pm 0,38$ mm (Min.: -1,40 mm; Max.: 0 mm) tiefer positioniert.

Man kann sagen, dass der disto-bukkale Höcker des zweiten Molaren (s. Tab. 16) auf der gleichen Höhe der Originalkurve stand, denn der Mittelwert aller Modelle beträgt nur $-0,03 \pm 0$ mm (Min.: -0,59 mm; Max.: 0 mm). In den

Kat.-A Modellen der Doktorandin betrug der Mittelwert sogar 0 ± 0 mm (Min.: 0 mm; Max.: 0 mm), wobei die Studentenmodelle (Kat.-A) einen Mittelwert von $-0,05 \pm 0,14$ mm (Min.: -0,59 mm; Max.: 0 mm) erreichten.

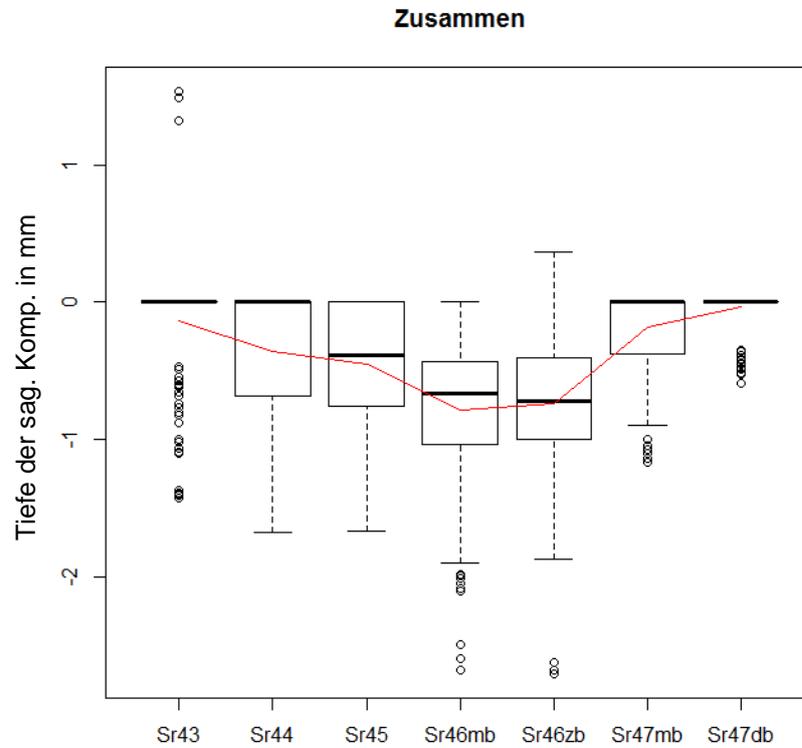


Abbildung 36: mittlere sagittale Kompensationskurve des 4. Quadranten (Doktorandin und Studenten)

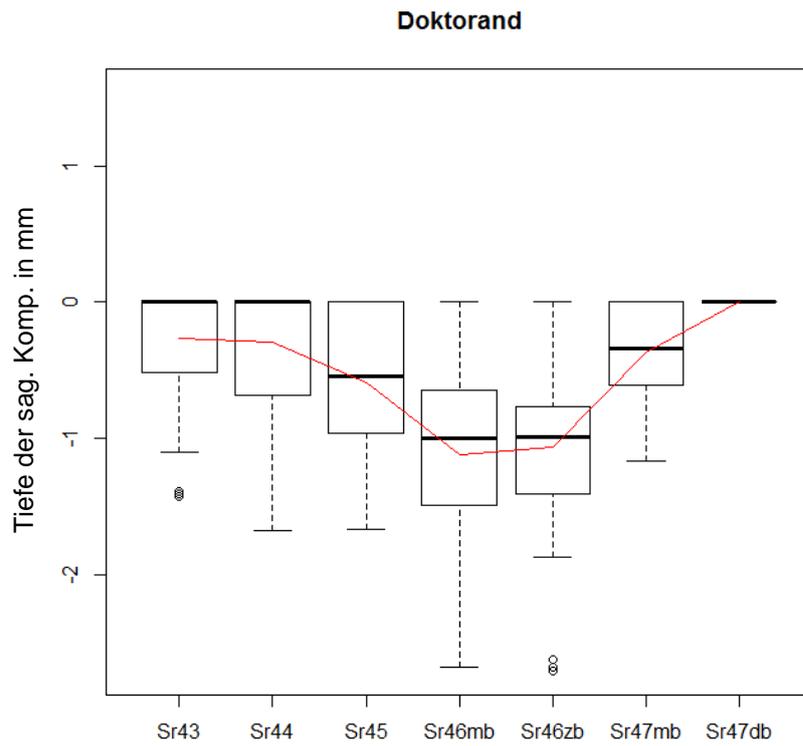


Abbildung 37: mittlere sagittale Kompensationskurve des 4. Quadranten (Doktorandin)

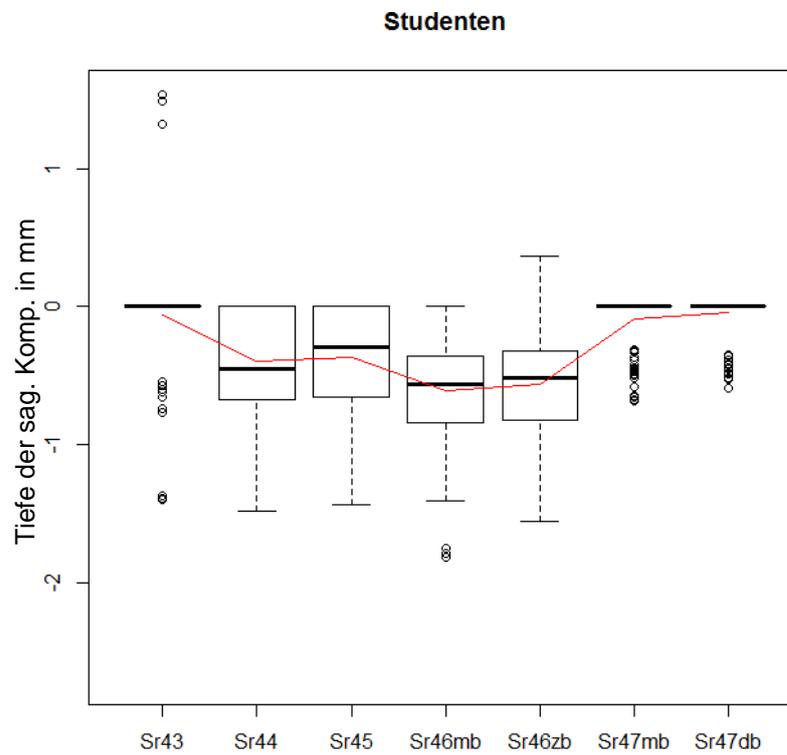


Abbildung 38: mittlere sagittale Kompensationskurve des 4. Quadranten (Studenten)

Sr43

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,43	-1,09	-1,43	-1,09	-1,43	-1,10	-1,40	-0,77	-1,40	0
MW	-0,13	-0,13	0,26	-0,20	-0,47	-0,54	-0,06	-0,08	-0,16	0,73
Med.	0	0	0	0	0	-0,53	0	0	0	0,66
Max.	1,54	0	0	0	0	0	1,54	0	0	1,54
SD	0	0,28	0,45	0,35	0,71	0,59	0,38	0,22	0,41	0,80

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 10: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr43

Sr44

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,68	-1,12	-1,68	-0,77	-1,68	-1,39	-1,48	-1,12	-1,48	-1,20
MW	-0,56	-0,32	-0,30	-0,22	-0,55	-0,68	-0,40	-0,39	-0,43	-0,58
Med.	0	0	0	0	0	-0,66	-0,45	-0,48	-0,25	-0,57
Max.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SD	0	0,36	0,49	0,32	0,83	0,75	0,43	0,36	0,51	0,64

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 11: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr44

Sr45

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,67	-1,67	-1,67	-1,67	-1,60	-1,12	-1,44	-1,34	-1,44	-0,89
MW	-0,45	-0,42	-0,59	-0,55	-0,85	-0,82	-0,37	-0,35	-0,44	-0,43
Med.	-0,39	-0,37	-0,54	-0,51	-1,03	-0,82	-0,29	-0,23	-0,38	-0,41
Max.	0	0	0	0	0	-0,51	0	0	0	0
SD	0	0,43	0,51	0,48	0,67	0,30	0,38	0,30	0,37	0,47

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 12: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr45

Sr46mb

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-2,68	-2,68	-2,68	-2,68	-1,52	-2,10	-1,82	-1,34	-1,82	-1,26
MW	-0,79	-0,79	-1,12	-1,15	-1,25	-1,48	-0,61	-0,37	-0,71	-0,71
Med.	-0,67	-0,65	-1	-1,00	-1,44	-1,48	-0,56	-0,59	-0,55	-0,68
Max.	0	0	0	-0,20	-0,73	-0,85	0	0	0	-0,19
SD	0	0,55	0,65	0,65	0,33	0,66	0,41	0,34	0,48	0,51

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 13: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr46mb

Sr46zb

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-2,71	-2,71	-2,71	-2,71	-1,85	-1,87	-1,56	-1,43	-1,56	-0,95
MW	-0,74	-0,75	-1,06	-1,05	-1,18	-1,49	-0,57	-0,57	-0,59	-0,67
Med.	-0,73	-0,75	-0,99	-0,86	-1,05	-1,48	0	-0,59	-0,49	-0,65
Max.	0,37	0,37	0	-0,30	-0,79	-1,12	0,37	0,37	0	-0,45
SD	0	0,53	0,59	0,59	0,36	0,37	0,40	0,39	0,43	0,22

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 14: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr46zb

Sr47mb

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-1,17	-1,17	-1,17	-1,17	-0,82	-0,52	-0,68	-0,52	-0,68	0
MW	-0,18	-0,19	-0,36	-0,38	-0,36	-0,46	-0,09	-0,07	-0,14	0
Med.	0	0	-0,34	-0,34	-0,29	-0,45	0	0	0	0
Max.	0	0	0	0	0	-0,39	0	0	0	0
SD	0	0,32	0,38	0,41	0,35	0,05	0,19	0,16	0,25	0

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 15: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr47mb

Sr47db

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
N	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	-0,59	-0,59	-1,17	0	0	0	-0,59	-0,59	-0,53	0
MW	-0,03	-0,01	-0,36	0	0	0	-0,05	-0,02	-0,11	0
Med.	0	0	-0,34	0	0	0	0	0	0	0
Max.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SD	0	0,09	0	0	0	0	0,14	0,11	0,19	0

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 16: Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr47db

Prüfte man nun die Werte der linken und rechten Seite, so wurde deutlich, dass die sag. Kompensationskurve im vierten Quadranten im Vergleich zum Originalmodell deutlich ausgeprägter aufgestellt wurde als im dritten (s. Abb. 33 - 38). Auf beiden Seiten lag die tiefste Stelle der Kurve am Messpunkt der mesio-bukkalen Höckerspitze der ersten Molaren. Diese betrug im Mittelwert aller Modelle links $-0,47 \pm 0$ mm und rechts $-0,79 \pm 0$ mm. So kam eine mittlere Differenz von ca. $-0,32$ mm zustande. Die Kat.-A-Modelle hatten die tiefste Stelle links bei $-0,48 \pm 0,42$ mm und rechts bei $-0,79 \pm 0,55$ mm.

5.2.2 Zahnbogenbreite

5.2.2.1 OK-Zahnbogenbreite

Vergleich man die Oberkieferzahnbogenbreiten (s. Abb. 39, s. Tab. 17) miteinander, so stellte man fest, dass der Mittelwert aller Modelle $44,04 \pm 0,50$ mm (Min.: 37,67 mm; Max.: 50,88 mm) betragen. Besonders interessant hierbei war, dass dieser Mittelwert genau der OK-Zahnbogenbreite im Originalmodell entsprach, denn der Ausgangsfall hatte ebenfalls eine Molaren-Distanz von 44,04 mm.

Der Mittelwert aller Kat.-A-Modelle betrug $44,22 \pm 2,67$ mm (Min.: 37,67 mm; Max.: 50,88 mm). Die Kat.-A-Modelle der Studenten waren im Durchschnitt ca. 0,6 mm breiter als die der Doktorandin. Es war zu beobachten, dass die durchschnittliche UK-Zahnbogenbreite der Kat.-B und Kat.-D Modelle mindestens einen Millimeter erhöht oder erniedrig waren.

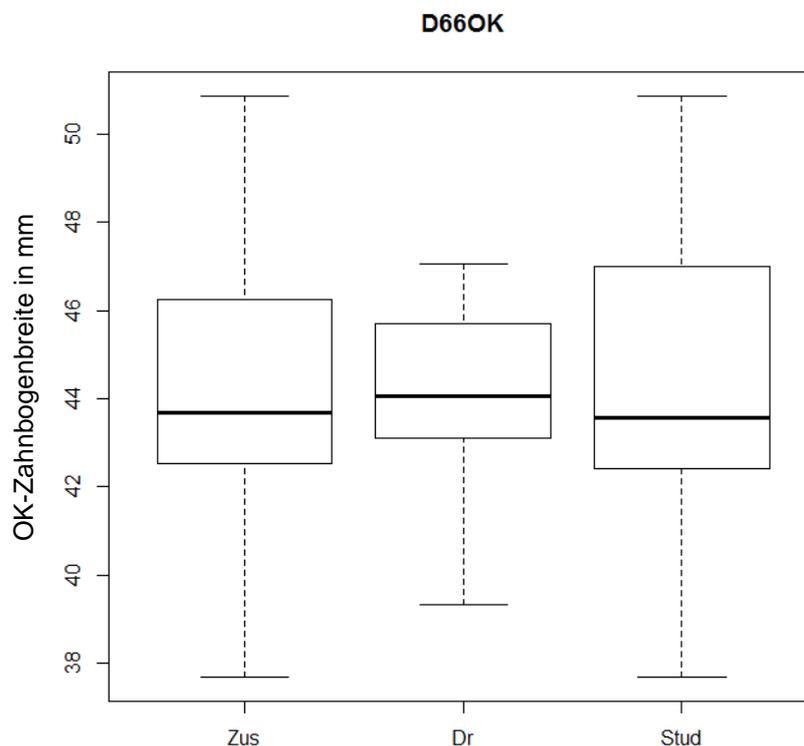


Abbildung 39: Vergleich der OK-Zahnbogenbreiten (D66OK)

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
N	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	37,67	37,67	39,32	39,32	43,41	41,35	37,67	37,67	38,28	42,89
MW	44,04	44,22	44,12	43,85	45,59	43,99	44,00	44,45	42,76	45,97
Med.	43,68	43,96	44,05	43,81	46,40	44,01	43,56	43,97	42,91	45,93
Max.	50,88	50,88	47,06	47,06	46,85	46,64	50,88	50,88	48,76	48,97
SD	0,50	2,70	1,89	1,77	1,56	2,82	3,02	3,13	2,51	3,14

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 17: Vergleich der OK-Zahnbogenbreite (D66OK)

5.2.2.2 UK-Zahnbogenbreite

Stellte man die gemessenen UK-Zahnbogenbreiten (s. Abb. 40, s. Tab. 18) gegenüber, so erhielt man einen Mittelwert aller Modelle von $45,08 \pm 0,30$ mm (Min.: 38,42 mm; Max.: 51,29 mm) und einen der Kat.-A-Modellen von $45,10 \pm 2,60$ mm (Min.: 38,42 mm; Max.: 51,29 mm). Die Kat.-A-Modelle der Studenten waren ca. 0,93 mm breiter als diese der Doktorandin. Die UK-Zahnbogenbreite war im Vergleich zum Originalmodell (44,08 mm) um ca. 1,0 mm erhöht. Vergleich man den Wert mit dem herausgefundenen Mittelwert der OK-Zahnbogenbreite, so stellte man ebenfalls eine Differenz von ca. 1,04 mm fest. Das bedeutet, dass der Unterkiefer im Durchschnitt ca. einen Millimeter zu breit erstellt wurde.

Es war zu sehen, dass die durchschnittliche UK-Zahnbogenbreite der Kat.-B und Kat.-C Modellen mindindestens einen Millimeter positiv oder negativ abwich.

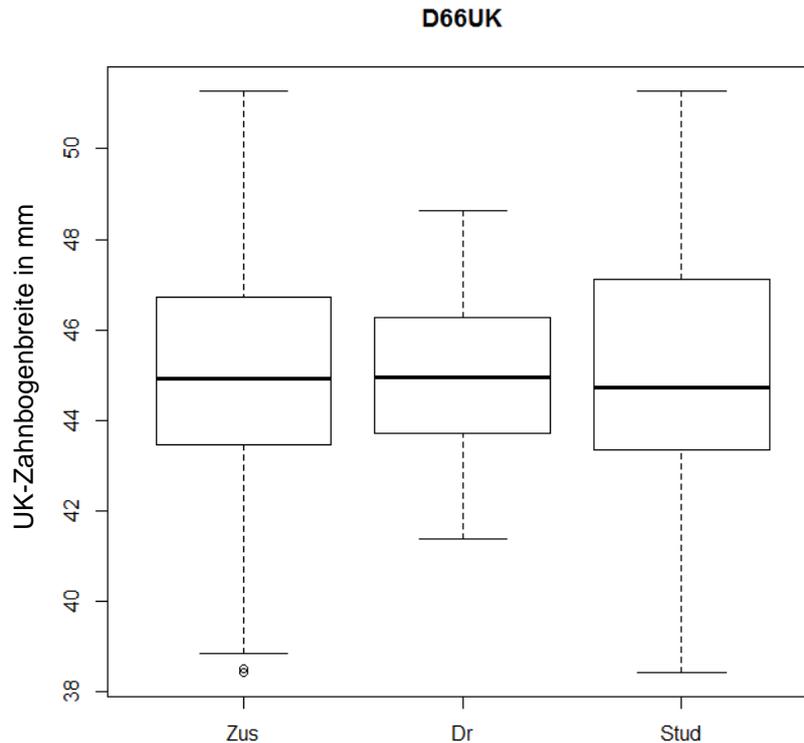


Abbildung 40: Vergleich der UK-Zahnbogenbreiten (D66UK)

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	38,42	38,42	41,39	41,39	43,48	45,95	38,42	38,42	39,34	43,89
MW	45,08	45,10	44,96	44,53	46,33	46,52	45,15	45,46	44,40	46,35
Med.	44,92	44,96	44,96	44,71	46,80	46,59	44,73	45,16	44,54	46,33
Max.	51,29	51,29	48,46	46,91	48,64	47,08	51,29	51,29	50,18	48,72
SD	0,30	2,60	1,64	1,44	2,02	0,47	2,90	3,07	2,62	2,31

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 18: Vergleich der UK-Zahnbogenbreite (D66UK)

5.2.2.3 Eckzahndistanz

Verglich man die ermittelten Eckzahndistanzen (s. Abb. 41, s. Tab. 19) miteinander, so war der erhobene Mittelwert aller Modelle $26,69 \pm 0,29$ mm (Min.: 24,64 mm; Max.: 28,96 mm). Interessant war, dass die Mittelwerte der Eckzahndistanzen der gesamten Studentenmodelle ($26,69 \pm 0,78$ mm; Min.: 24,64 mm; Max.: 28,96 mm) und die der ZA-Modelle ($26,69 \pm 0,64$ mm; Min.: 25,46 mm; Max.: 28,96 mm) nahezu identisch waren und sich nur in den Standardabweichungen unterschieden. Insgesamt waren die Mittelwerte geringer als die Eckzahnbreiten im Originalmodell (27,80 mm).

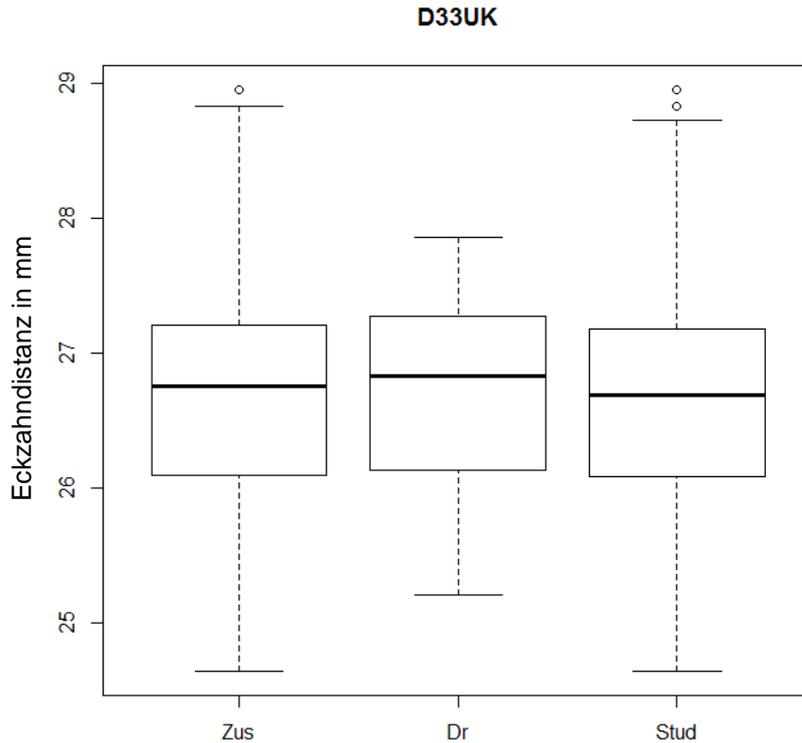


Abbildung 41: Vergleich der Eckzahndistanz (D33UK)

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	24,64	25,46	25,21	25,46	26,57	25,21	24,64	25,55	24,64	25,79
MW	26,69	26,69	26,71	26,71	27,19	25,71	26,69	26,68	26,73	26,14
Med.	26,76	26,64	26,83	26,64	27,17	24,75	26,69	26,66	26,84	26,14
Max.	28,96	28,04	27,86	27,80	27,86	26,21	28,96	28,04	28,96	26,40
SD	0,29	0,64	0,72	0,69	0,37	0,40	0,78	0,61	1,07	0,24

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 19: Vergleich der Eckzahndistanz (D33UK)

5.2.3 Zahnbogenlänge des Unterkiefers

Stellte man die erhobenen Werte der UK-Zahnbogenlänge (s. Abb. 42, s. Tab. 20) gegenüber, so erhielt man einen Mittelwert von $39,60 \pm 0$ mm (Min.: 37,00 mm, Max.: 42,50 mm). Die Länge im Originalmodell betrug 40,00 mm. Die durchschnittliche UK-Zahnbogenlänge der Kat.-A-Modelle zählte $39,33 \pm 1,21$ mm (Min.: 37,00 mm; Max.: 42,00 mm). Die Länge der Kat.-A-Modelle der Studenten waren ca. 0,81 mm kürzer als die Doktorandenmodelle. Bei den Kat.-B und Kat.-C-Modellen fand man mindestens einen Millimeter Abweichung vor.

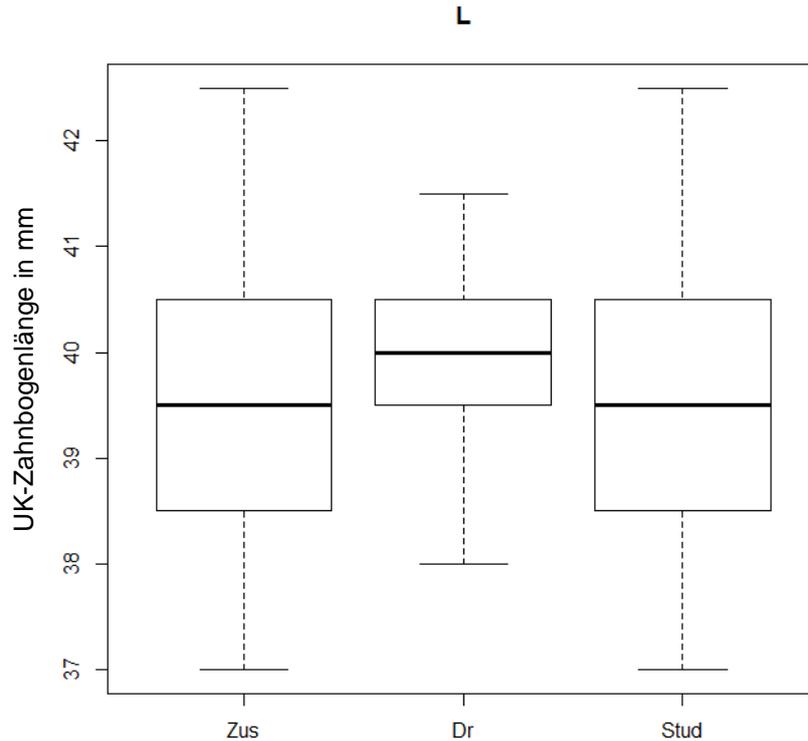


Abbildung 42: Vergleich der UK-Zahnbogenlänge (L)

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	37,00	37,00	38,00	38,50	38,00	40,00	37,00	37,00	37,00	37,50
MW	39,60	39,33	39,87	39,83	39,50	40,67	38,50	39,02	40,43	38,42
Median	39,50	39,50	40,00	40,00	39,50	40,75	39,50	39,00	40,75	38,50
Max.	42,50	42,00	41,50	41,50	41,00	41,00	42,50	42,00	42,50	39,50
SD	0	1,21	0,88	0,88	1,03	0,41	0,15	1,29	1,38	0,86

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 20: Vergleich der UK-Zahnbogenlänge (L)

5.2.4 Symmetrie des UK-Zahnbogens

5.2.4.1 Symmetrie der Eckzähne

Vergleich man die Messwerte (s. Tab. 21), betrug die durchschnittliche Differenz aus den Abständen der Referenzpunkte zur Mittellinie der linken und rechten Kieferseite ca. 0,20 mm. Es lag eine sehr geringe Asymmetrie des Zahnbogens vor. Lediglich in den Kategorien S-B (0,29 mm) und S-C (0,41 mm) waren die Differenzen leicht erhöht. Die erhobenen Werte waren deutlich niedriger als die Eckzahn-Differenz im Originalmodell (0,67 mm).

		Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n		58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	33	12,00	12,00	12,00	12,00	13,00	12,00	12,00	12,50	12,00	12,50
	43	11,50	12,00	12,00	12,00	12,50	12,00	11,50	12,00	11,50	12,00
MW	33	13,19	13,15	13,02	12,98	13,22	12,50	13,28	13,26	13,29	13,08
	43	12,99	12,97	12,95	12,92	13,17	12,33	13,00	12,99	13,00	12,67
Diff.		0,20	0,18	0,07	0,06	0,05	0,17	0,02	0,27	0,29	0,41
Med.	33	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	12,50	13,00	13,00	13,25	13,25
	43	13,00	13,00	13,00	13,00	13,50	12,25	13,00	13,00	13,00	12,75
Max.	33	14,50	14,50	14,00	14,00	13,50	13,00	14,50	14,50	14,50	13,50
	43	14,50	14,50	14,50	14,50	13,50	13,00	14,50	14,50	14,50	13,50
SD	33	0	0,44	0,52	0,48	0,26	0,55	0,48	0,38	0,64	0,49
	43	0	1,65	0,53	0,45	0,43	0,41	0,60	0,58	0,59	0,61

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Diff.: Differenz, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 21: Symmetrievergleich der Eckzähne

5.2.4.2 Symmetrie der ersten Prämolaren

Man fand im Bereich des ersten Prämolaren eine durchschnittliche Asymmetrie von ca. 0,60 mm (s. Tab. 22). Die Kat.-A-Modelle wiesen eine Asymmetrie von nur ca. 0,35 mm auf. In den Kat.-B und Kat.-C-Modellen fand man deutlich höhere Abweichungen der Symmetrie vor, z. B. bis zu ca. 5,17 mm. Im Originalmodell lag eine symmetrische Situation vor (0 mm).

		Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n		58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	34	15,00	15,00	15,00	15,00	18,00	18,00	16,50	16,50	16,50	16,50
	44	16,00	16,00	16,00	16,00	17,00	17,00	16,00	16,00	16,00	18,50
MW	34	18,52	18,26	18,37	17,69	18,89	22,67	18,60	18,61	18,75	17,58
	44	17,92	17,91	17,97	18,04	17,89	17,50	17,89	17,82	17,86	18,83
Diff.		0,60	0,35	0,40	0,35	1,00	5,17	0,72	0,79	0,89	1,25
Med.	34	18,50	18,00	18,00	18,00	19,00	22,75	19,00	18,50	19,00	17,50
	44	18,00	18,00	17,50	17,50	17,50	17,50	18,00	18,00	18,00	19,00
Max.	34	27,00	20,50	27,00	19,50	20,00	27,00	20,50	20,50	20,00	19,00
	44	27,00	27,00	27,00	27,00	19,00	18,00	19,00	19,00	19,00	19,00
SD	34	0,45	0,99	2,13	0,83	0,70	4,75	0,93	0,92	0,87	1,20
	44	0	1,65	2,15	2,51	0,89	0,55	0,76	0,75	0,76	0,26

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Diff.: Differenz, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 22: Symmetrievergleich der ersten Prämolaren

5.2.4.3 Symmetrie der zweiten Prämolaren

Im Bereich des zweiten Prämolaren fand man eine durchschnittliche Asymmetrie von ca. 0,19 mm vor (s. Tab. 23). Die Kat.-A-Modelle wiesen mittelwertig eine leichte Asymmetrie von ca. 0,23 mm auf, welche niedriger als die Differenz im Originalmodell war (0,30 mm). Interessant war, dass Kat. D-C nur eine

durchschnittliche Differenz von ca. 0,08 mm aufwies. Damit fand man nahezu eine symmetrische Zahnbogenform trotz Klasse-II vor.

		Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n		58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	35	18,50	19,00	19,00	19,00	20,50	20,00	18,50	19,50	18,50	20,00
	45	18,00	18,00	19,00	19,00	20,50	20,50	18,00	18,00	18,50	22,00
MW	35	21,25	21,17	20,75	20,59	21,22	21,08	21,52	21,53	21,57	21,42
	45	21,06	20,94	20,99	20,76	21,61	21,00	21,10	21,06	20,89	22,00
Diff.		0,19	0,23	0,24	0,17	0,38	0,08	0,42	0,47	0,32	0,58
Med.	35	21,00	21,00	21,00	20,50	21,00	21,25	21,50	21,50	21,50	21,50
	45	21,00	21,00	20,50	20,50	21,50	21,00	21,00	21,00	20,75	22,00
Max.	35	24,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	24,00	23,50	24,00	22,50
	45	23,50	23,50	23,50	23,50	23,00	21,50	23,50	23,50	23,00	22,00
SD	35	0	0,92	0,75	0,71	0,62	1,02	0,98	0,85	1,22	1,20
	45	0,26	1,12	1,15	1,17	0,86	0,45	1,12	1,08	1,17	0

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Diff.: Differenz, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 23: Symmetrievergleich der zweiten Prämolaren

5.2.4.4 Symmetrie der ersten Molaren

Messpunkt: mesio-bukkale Höckerspitze

Die durchschnittliche Asymmetrie im Bereich der mesio-bukkalen Höckerspitze des ersten Molaren (s. Tab. 24) betrug ca. 0,45 mm, die der Kat.-A-Modelle ca. 0,43 mm. Beide waren vergleichbar mit dem Wert im Originalmodell (0,53 mm). Die Werte der Kategorien D-B, S-A und S-B von ca. 1,07 mm, ca. 0,90 mm und ca. 0,99 mm sind deutlich erhöht.

		Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n		58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	36	21,00	21,50	21,50	21,50	23,00	24,00	21,00	21,50	21,00	24,00
	46	20,50	20,50	21,50	21,50	23,50	24,00	20,50	20,50	21,00	24,00
MW	36	24,01	23,95	23,32	23,08	23,61	24,17	24,39	24,50	24,17	24,88
	46	23,56	23,52	23,64	23,40	24,67	24,08	23,51	23,60	23,18	24,50
Diff.		0,45	0,43	0,32	0,32	1,07	0,09	0,88	0,90	0,99	0,38
Med.	36	24,00	23,50	23,50	23,00	23,50	24,00	24,50	24,50	24,00	24,25
	46	23,50	23,50	23,50	23,00	25,00	24,00	23,50	23,50	23,50	24,50
Max.	36	27,00	27,00	25,00	24,00	24,50	24,50	27,00	27,00	27,00	25,00
	46	26,50	26,50	26,00	26,00	25,50	24,50	26,50	26,50	25,00	25,00
SD	36	0,52	1,38	0,70	0,62	0,49	0,26	1,37	1,44	1,39	0,49
	46	0,26	1,30	1,20	1,25	0,90	0,20	1,26	1,33	1,15	0,55

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Diff.: Differenz, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 24: Symmetrievergleich der mesio-bukkalen Höckerspitze der ersten Molaren

Messpunkt: zentro-bukkale Höckerspitze

Es lag eine mittlere Differenz im Bereich der zentro-bukkalen Höckerspitzen des ersten Molaren (s. Tab. 25) von ca. 1,21 mm vor. Die durchschnittliche Asymmetrie der Kat.-A-Modelle betrug ca. 1,07 mm, vergleichbar mit dem Wert des Originalmodells (0,90 mm). Dabei war die mittlere Asymmetrie der D-A-Modelle mit 0,17 mm deutlich niedriger als die der S-A-Modelle mit ca. 1,63 mm. In der Kategorie S-B lag sogar eine mittlere Abweichung von ca. 1,93 mm vor.

		Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n		58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	36	22,50	22,50	22,50	22,50	25,00	25,50	22,50	23,00	22,50	25,50
	46	20,00	20,00	22,50	22,50	25,00	25,00	20,00	20,00	21,00	24,50
MW	36	25,77	25,66	25,05	24,78	25,50	25,92	26,15	26,21	25,96	26,75
	46	24,56	24,59	24,80	24,61	26,00	25,25	24,42	24,58	24,03	25,58
Diff.		1,21	1,07	0,25	0,17	0,50	0,67	1,73	1,63	1,93	1,17
Med.	36	25,50	25,00	25,00	25,00	25,50	26,00	26,00	26,00	26,00	26,75
	46	24,50	24,50	25,00	24,50	26,00	25,25	24,50	24,50	24,00	25,75
Max.	36	30,00	30,00	26,50	25,50	26,50	26,00	30,00	30,00	29,50	28,00
	46	27,50	27,50	27,00	27,00	27,00	25,50	27,50	27,50	26,50	26,50
SD	36	0	1,61	0,83	0,76	0,75	0,20	1,70	1,75	1,71	1,37
	46	0,26	1,47	1,27	1,25	0,87	0,27	1,53	1,61	1,34	1,02

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Diff.: Differenz, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 25: Symmetrievergleich der zentro-bukkalen Höckerspitze der ersten Molaren

5.2.4.5 Symmetrie der zweiten Molaren

Messpunkt: mesio-bukkale Höckerspitze

Die durchschnittliche Asymmetrie im Bereich der mesio-bukkalen Höckerspitze des zweiten Molaren (s. Tab. 26) betrug ca. 1,12 mm, die der Kat.-A-Modelle sogar ca. 1,19 mm. Im Originalmodell fand man sogar einen Seitenunterschied von ca. 1,6 mm. Erstaunlich war, dass der Mittelwert aller Doktorandenmodelle ca. 0,01 mm betrug, trotzdem in Kategorie D-C eine mittlere Abweichung von 3,33 mm vorherrschte. Die mittlere Asymmetrie in Kat. S-A betrug ca. 1,91 mm und lag damit über dem Gesamt- und dem Kat.-A-Durchschnitt.

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C	
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2	
Min.	37	18,00	22,50	18,00	23,00	26,00	18,00	18,50	22,50	18,50	27,00
	47	20,50	20,50	23,50	23,50	24,50	24,00	20,50	20,50	22,50	26,00
MW	37	26,86	27,08	26,10	26,17	27,22	22,50	27,27	27,65	26,35	27,50
	47	25,74	25,89	26,09	26,13	26,61	25,83	25,55	25,74	25,01	27,00
Diff.		1,12	1,19	0,01	0,04	0,61	3,33	1,72	1,91	1,36	0,50
Med.	37	27,00	27,00	26,00	26,00	26,50	22,50	27,00	27,50	26,75	27,50
	47	26,00	26,00	26,50	26,50	27,50	26,00	26,00	26,00	24,75	27,00
Max.	37	31,50	31,50	29,00	28,00	29,00	27,00	31,50	31,50	31,00	28,00
	47	29,00	29,00	29,00	29,00	27,50	27,50	29,00	29,00	27,50	28,00
	37	0	1,90	2,14	1,05	1,37	4,57	2,45	2,09	3,10	0,55
	47	0,26	1,72	0,36	1,50	1,34	1,84	1,75	1,84	1,65	1,10

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Diff.: Differenz, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 26: Symmetrievergleich der mesio-bukkalen Höckerspitze der zweiten Molaren

Messpunkt: disto-bukkale Höckerspitze

Es lag ein mittlere Differenz im Bereich der disto-bukkalen Höckerspitzen des zweiten Molaren (s. Tab. 27) von ca. 1,37 mm vor. Die durchschnittliche Asymmetrie der Kat.-A-Modelle betrug sogar 1,42 mm. Einen deutlich niedrigen Wert von ca. 0,60 mm fand man im Originalmodell. Dabei war die mittlere Asymmetrie der D-A-Modelle mit ca. 0,28 mm deutlich niedriger als die der S-A-Modelle mit ca. 2,12 mm. Die stärkste Asymmetrie fand man in Kat. D-C mit 3,25 mm.

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C	
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2	
Min.	37	19,00	23,00	19,50	23,50	26,50	19,50	19,00	23,00	19,00	27,50
	47	20,00	20,00	24,00	24,00	25,00	25,00	20,00	20,00	22,50	26,50
MW	37	27,62	27,87	26,97	27,14	27,67	23,25	27,97	28,32	27,06	28,33
	47	26,25	26,45	26,79	26,86	27,22	26,50	25,96	26,20	25,25	27,75
Diff.		1,37	1,42	0,18	0,28	0,45	3,25	2,01	2,12	1,81	0,58
Med.	37	27,50	27,50	27,00	27,00	27,00	23,25	28,00	28,00	27,25	28,25
	47	26,50	27,00	27,50	27,50	28,00	26,50	26,00	26,50	25,50	27,75
Max.	37	33,00	33,00	30,00	29,00	29,50	27,00	33,00	33,00	32,50	29,50
	47	30,00	30,00	30,00	30,00	29,00	28,00	30,00	30,00	28,00	29,00
SD	37	0,26	2,17	2,12	1,24	1,39	4,11	2,75	2,49	3,31	0,93
	47	0	2,06	1,68	1,69	1,70	1,64	2,09	2,24	1,65	1,37

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Diff.: Differenz, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 27: Symmetrievergleich der disto-bukkalen Höckerspitze der zweiten Molaren

Verglich man die Asymmetrien (s. Tab. 22 - 27) miteinander, so wurde deutlich, dass im Bereich der Eckzähne und Prämolaren eine durchschnittlich geringere Asymmetrie vorherrschte. Je weiter distal man den Zahnbogen betrachtete, erkannte man eine Zunahme der Asymmetrie. Beobachtete man nur die ZA-Werte aller Kat.-A-Modelle (33-43: 0,18 mm; 34-44: 0,35 mm; 35-45: 0,23 mm; 36mb-46mb: 0,43 mm; 36zb-46zb: 1,07 mm; 37mb-47mb: 1,19 mm;

37db-47db: 1,42 mm) bestätigte sich, dass die Asymmetrie weiter distal stärker wurde.

Des Weiteren fiel auf, dass im Bereich der Kat.-B und Kat.-C große Werte erreicht wurden. Diese Zähne standen somit weniger symmetrisch als die Kat.-A-Modelle mit neutraler Eckzahn- und Molarenverzahnung. Im Bereich der ersten Prämolaren lagen hier Werte von $\geq 0,50$ mm vor. Im Bereich dem zentro-bukkalen Höcker der ersten Molaren wurden Werte von bis zu ca. 1,93 mm erreicht. Im Bereich der mesio-bukkalen bzw. disto-bukkalen Höckerspitze lagen sogar ca. 3,33 mm bzw. ca. 3,25 mm Unterschied vor.

5.2.5 Zahnbogenform des Unterkiefers

Bei den gesamten Modellen war der Fall, dass die Abstände der Messpunkte zur Mittellinie von mesial nach distal hin zunahmen. Dies war die Basis für eine typische parabelförmige Zahnbogenform im Unterkiefer.

Verglich man die Zahnbogenformen bzw. die Zahnbogenverläufe (s. Abb. 43 - 48) miteinander, so stellte man fest, dass die Messpunkte des vierten Quadranten generell näher an der Mittellinie lagen als die des dritten Quadranten. Somit konnte man sagen, dass die Bogenform im vierten Quadranten steiler verlief als im flacheren dritten Quadranten. Betrachtete man z. B. die Maximalwerte am disto-bukkalen Höcker des zweiten Molaren (s. Tab. 29), so fand man einen Unterschied von bis zu ca. 3,0 mm (37db: $33,00 \pm 2,49$ mm; 47db: $30,00 \pm 2,24$ mm) in den S-A-Modellen.

5.2.5.1 Dritter Quadrant

Es war zu erkennen, dass generell der dritte Quadrant der Kat.-A-Modelle der Studenten flacher aufgestellt war als jene der Doktorandenmodelle (s. Tab. 21 - 27). Auf der linken Kieferseite der S-A-Modelle war der Abstand zur Mittellinie durchschnittlich um ca. 1,0 mm größer als der der D-A-Modelle. Dies war der Grund für breitere Zahnbögen der Studenten. Diese Werte gleichen sich mit den Ergebnissen der Messungen der OK-Zahnbogen- sowie UK-Zahnbogenbreiten (s. Tab. 17 - 19), denn hier waren die Studentenmodelle durchschnittlich breiter als die Doktorandenmodelle.

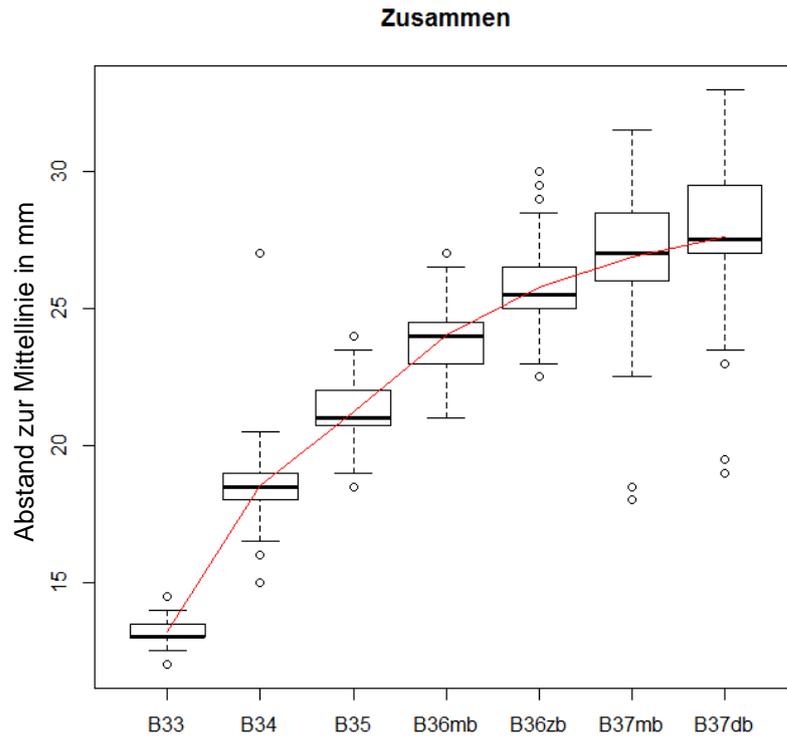


Abbildung 43: mittlerer Zahnbogenverlauf des 3. Quadranten (Doktorandin und Studenten)

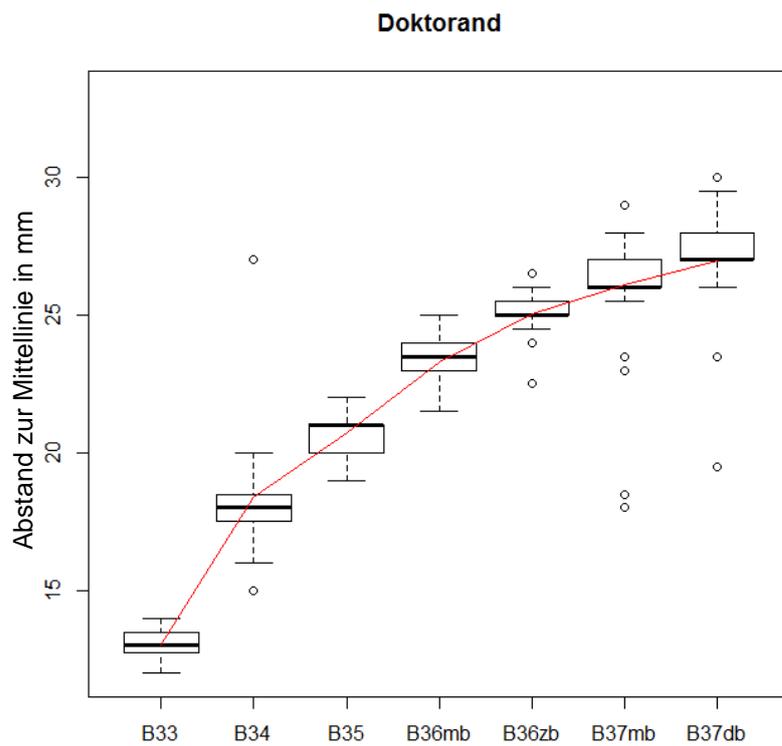


Abbildung 44: mittlerer Zahnbogenverlauf des 3. Quadranten (Doktorandin)

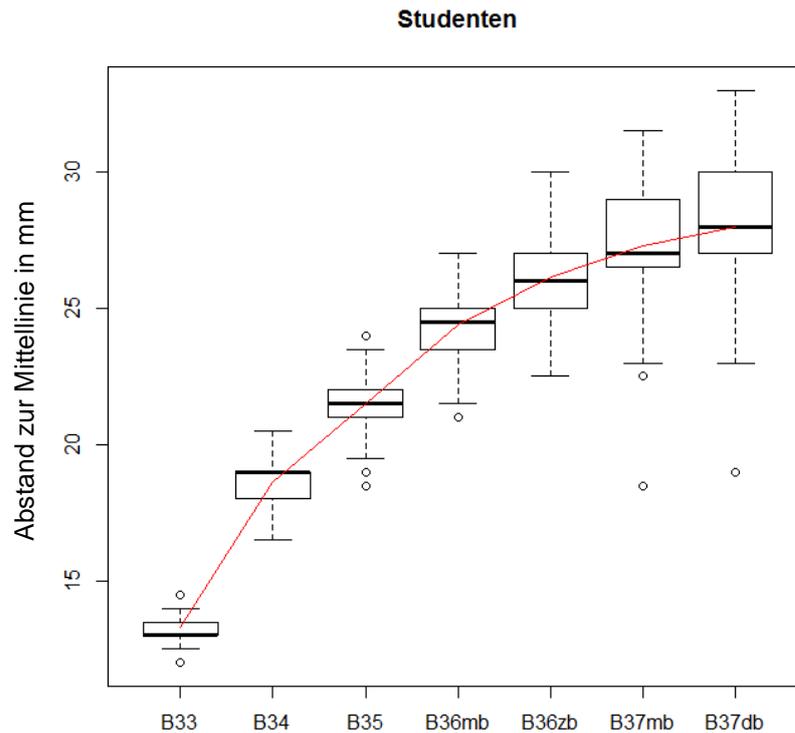


Abbildung 45: mittlerer Zahnbogenverlauf des 3. Quadranten (Studenten)

5.2.5.2 Vierter Quadrant

Verglich man die Doktoranden- und Studentenmodelle miteinander, so fiel auf, dass lediglich im Bereich des zweiten Molaren (s. Tab. 26 - 27) Abstandsunterschiede von ca. 0,54 mm mesio-bukkal und ca. 0,83 mm disto-bukkal zu finden waren. Es war zu beobachten, dass Studenten- und Doktorandenmodelle der Kat.-A keine nennenswerten Unterschiede ($\leq 0,5$ mm) in den Abständen zur Mittellinie im vierten Quadranten aufwiesen (s. Tab. 21 - 27). Dies war mit den Ergebnissen der Kat.-B und Kat.-C-Modellen zu erklären, denn diese Werte wichen um ca. 0,50-1,0 mm zum jeweiligen Kat.-A-Wert ab.

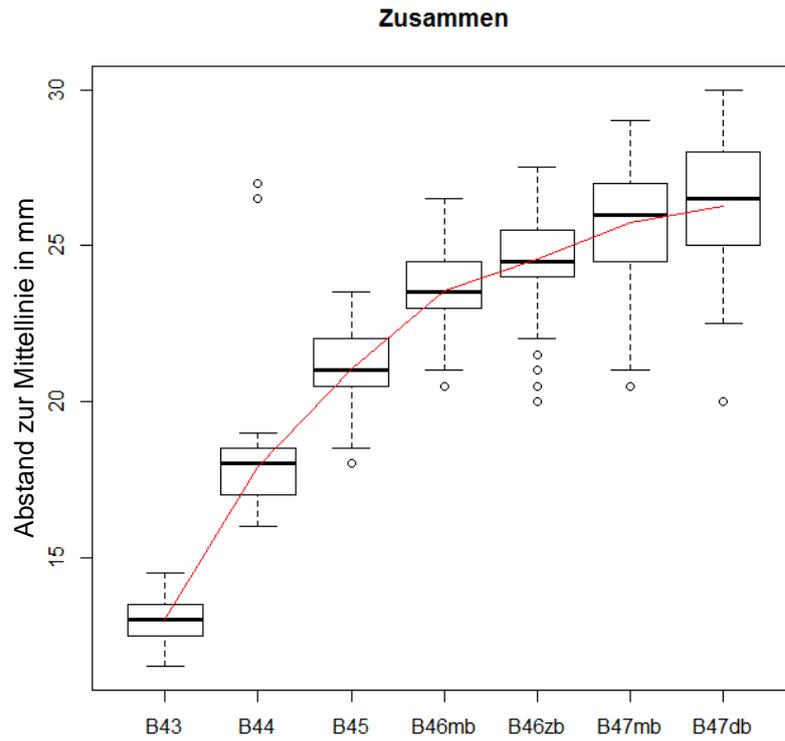


Abbildung 46: mittlerer Zahnbogenverlauf des 4. Quadranten (Doktorandin und Studenten)

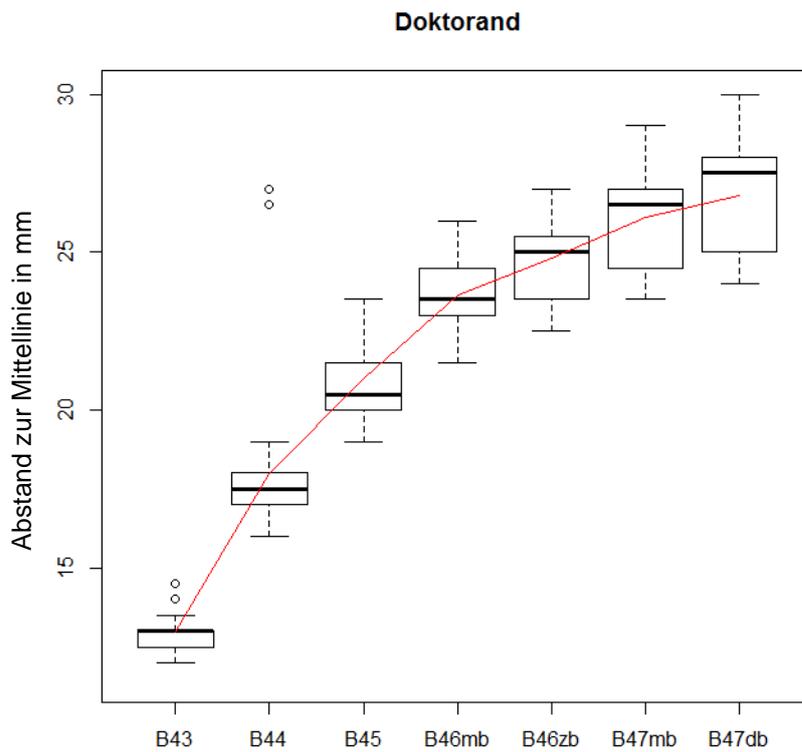


Abbildung 47: mittlerer Zahnbogenverlauf des 4. Quadranten (Doktorandin)

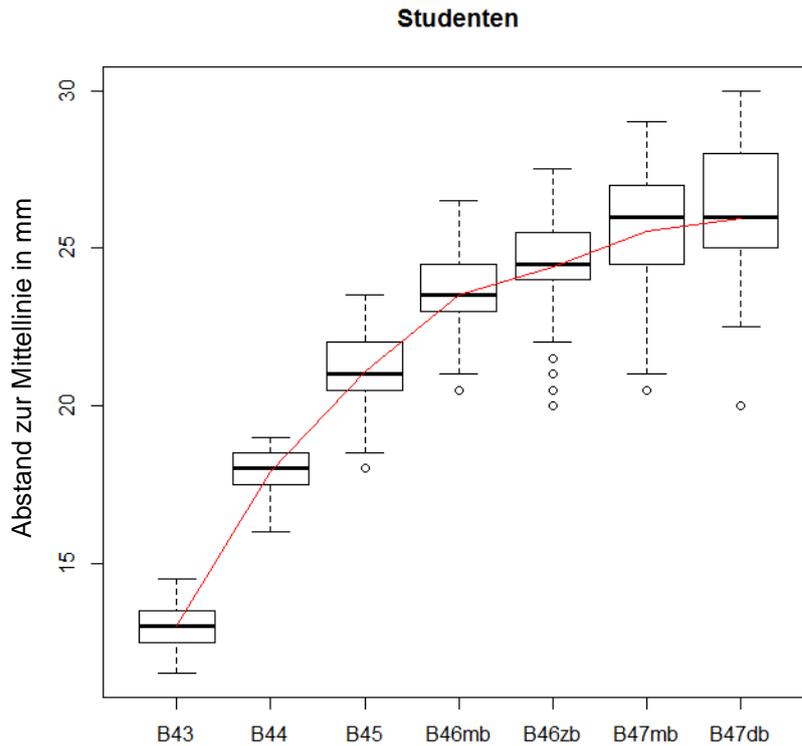


Abbildung 48: mittlerer Zahnbogenverlauf des 4. Quadranten (Studenten)

5.2.6 Numerische Einheiten

5.2.6.1 Mittellinienverschiebungen

Durchschnittlich hatten 33 % der insgesamt 65 Modelle eine MLV (s. Tab. 28). Sogar 46 % der Kat.-A-Modelle wiesen eine MLV auf (D-A:33 %, S-A:54 %).

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MW	0,33	0,46	0,48	0,33	0,33	0,5	0,43	0,54	0,42	0,50
Proz.	33	46	48	33	33	50	43	54	42	50
Max.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Proz.: Prozent, Max.: Maximalwert

Tabelle 28: Vergleich der Mittellinienverschiebungen (MLV)

5.2.6.2 Rotationen

Betrachtete man die Messergebnisse (s. Tab. 29), so waren im Durchschnitt in einem aufgestellten Modell $6,15 \pm 0$ Rotationen (Min.: 0, Max.: 11,00) zu finden. Die Kat.-A-Modelle wiesen nur durchschnittlich $5,64 \pm 2,77$ Rotationen auf. Interessant war, dass in Kategorie D-B und D-C deutlich mehr Rotationen zu finden waren ($\geq 8,0$). Die Anzahl an Rotationen in Kategorie S-B und S-D war ebenfalls höher als die der Kategorie S-A.

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
N	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	0	0	3,0	3,0	6,0	7,0	0	0	4,0	4,0
MW	6,15	5,64	6,16	6,07	8,33	8,0	5,89	5,38	6,92	5,5
Median	6,00	5,00	7,0	6,0	8,0	8,0	5,0	5,0	6,50	5,5
Max.	11,0	11,0	11,0	10,0	11,0	9,0	11,0	11,0	11,0	7,0
SD	0	2,77	2,28	2,26	2,18	1,10	2,87	3,03	2,53	1,64

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 29: Vergleich der Anzahl der Rotationen

5.2.6.3 Lücken

Zählte man die Lücken (s. Tab. 30), so erhielt man eine mittlere Anzahl von $5,2 \pm 0$ Lücken pro Modell (Min.: 0, Max.: 14,00). Die Kat.-A-Modelle wiesen durchschnittlich $4,44 \pm 3,36$ Lücken auf (D-A: 3,33; S-A:5,12). In den übrigen Kategorien D-B, D-C, S-B und S-C fand man deutlich mehr sogar bis zu $8,50 \pm 0,55$ Lücken vor (Kat. D-C).

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	0	0	0	0	4,0	8,0	0	0	4,00	1,00
MW	5,20	4,44	3,86	3,33	4,67	8,50	5,92	5,12	8,08	5,50
Median	5,00	4,00	3,00	2,00	4,00	8,50	6,00	5,50	8,00	5,50
Max.	14,0	11,00	11,0	11,0	6,00	9,00	14,00	11,00	14,00	10,00
SD	0	3,36	3,34	3,34	1,00	0,55	3,68	3,20	3,40	4,93

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD: Standardabweichung

Tabelle 30: Vergleich der Anzahl der Lücken

5.2.6.4 Stufen

Verglich man die Anzahl der Stufen (s. Tab. 31), so wurde deutlich, dass in einem Modell durchschnittlich $1,97 \pm 0$ Stufen (Min.: 0, Max.: 8,0) eingebaut waren. Die Kat.-A-Modelle wiesen durchschnittlich nur $1,72 \pm 1,89$ Stufen auf. Es war zu beobachten, dass Modelle der Kategorien D-B, D-C sowie S-B deutlich mehr Stufen aufwiesen als der Durchschnitt. In Kat. D-C fand man bis zu $5,0 \pm 2,19$ Lücken vor.

	Zus.	ZA	Dr.	D-A	D-B	D-C	Stud.	S-A	S-B	S-C
n	58	39	20	15	3	2	38	24	12	2
Min.	0	0	0	0	2,0	3,0	0	0	0	0
MW	1,97	1,72	3,0	2,73	4,0	5,0	1,41	1,83	2,25	1,0
Median	2,0	1,00	3,0	3,0	3,0	5,0	1,0	0,50	2,50	1,0
Max.	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	5,0	5,0	5,0	2,0
SD	0	1,89	2,27	2,07	2,2	2,19	1,50	1,45	1,38	1,10

Zus.: Gesamtheit aller Modelle, ZA: Modelle der Kategorie A, Dr.: Gesamtheit der Doktorandenmodelle, Stud.: Gesamtheit der Studentenmodelle, n: Anzahl, Min.: Minimalwert, MW: Mittelwert, Med.: Median, Max.: Maximalwert, SD.: Standardabweichung

Tabelle 31: Vergleich der Anzahl der Stufen

5.3 Korrelationsberechnungen

Zur Anschauung der vorliegenden Korrelationen dienen Abbildungen 57-59 sowie Tabelle 32.

MG 1	MG 2	r-Wert
D66OK	D66UK	0,94
	B47mb	0,83
	B47db	0,83
	B46zb	0,80
	B46mb	0,78
	B36zb	0,77
	B36mb	0,72
D66UK	B46zb	0,85
	B46mb	0,84
	B36zb	0,83
	B47mb	0,82
	B47db	0,81
	B36mb	0,77
	B45	0,61
D33UK	B43	0,70
L	D66UK	-0,61

MG1: Messgröße 1, MG 2: Messgröße 2, r-Wert: Korrelationswert, D66OK: Zahnbogenbreite OK mes.-pal. HS 16-26, D66UK: Zahnbogenbreite UK Fossae 36-46, D33UK: Distanz Eckzahndistanz ES 33-43, L: Länge d. UK-Zahnbogens, B36mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Zahn 36, B36db: Symmetriemessung zentr.-bukk. HS Zahn 36, B37mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Zahn 37, B37db: Symmetriemessung dist.-bukk. HS Zahn 37, B45: Symmetriemessung bukk. HS Zahn 45, B46mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Zahn 46, B46db: Symmetriemessung zentr.-bukk. HS Zahn 46, B47mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Zahn 47, B47db: Symmetriemessung dist.-bukk. HS Zahn 47

Tabelle 32: Ergebnisse der Korrelationsberechnungen

Leider ergaben sich zwischen den Messungen der Tiefe der Spee'schen Kurve (Sr-Werte) keine Korrelationen $r \geq 0,60$ mit den übrigen Messwerten.

Es ergab sich in den Korrelationsberechnungen eine signifikante Korrelation zwischen den Zahnbogenbreiten und den Abständen der Mittellinie zu den Messpunkten (s. Tab 32). Signifikante Korrelationen von $r \geq 0,70$ gab es zwischen den UK- oder OK-Zahnbogenbreiten (D66UK, D66OK) und den Abständen der Mittellinie zur Höckerspitze 36mb, 36zb, 37mb, 37db sowie 46mb, 46zb,

47mb, 47db. Eine Korrelation von $r = 0,61$ berechnete man lediglich zwischen D66UK und B45.

Zwischen der Eckzahnbreite (D33UK) und dem Messpunkt B43 fand man ebenfalls eine signifikante positive Korrelation von $r = 0,70$.

Eine negative Korrelation von $r = -0,61$ zwischen der Länge der Zahnbögen (L) und Molarendistanz im UK (D66UK) war zu erkennen. Das bedeutete, wenn die Distanz der ersten Molaren oder Eckzähne sowie die Abstände der Messpunkte von der Mittellinie erhöht waren, so war die Zahnbogenlänge bzw. -tiefe erniedrigt.

5.4 Hypothesentests

Im Folgenden sind die Ergebnisse der t-Tests (Welch-Test) aufgeführt. Für beide Tests wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der D-A und S-A-Modelle verwendet. Bei Angabe des p -Wertes nutzt man „*e-x“ ($= *10^{-x}$) als vereinfachte Darstellung.

Die Ergebnisse des Einstichproben-t-Tests sind zu vernachlässigen und nicht weiter zu erläutern, da kein Effekt vorliegt, welcher wissenschaftlichen Nutzen hat.

Der Welch-Test schätzt Varianzen, diese können ungleich sein. Je kleiner der p -Wert² ist ($p < 0,05$), desto größer ist der Unterschied (s. Tab. 33). Je kleiner p , desto signifikanter ist die Varianz. In der Tabelle 34 konnte gezeigt werden, dass in 40 % der gesamten p -Werte aus Mittelwerten und Standardabweichungen der Kat.-A-Modellen die Varianz signifikant ist (fett gedruckte p -Werte²).

Messgr.	MWd	SDd	MWs	SDs	p -Wert ²
Sr33	-0.1242222	0.2786289	-0.2865278	0.5329856	0.0332741
Sr34	-0.3193333	0.3935815	-0.3065278	0.3955996	0.8646873
Sr35	-0.3622222	0.4963223	-0.1320833	0.2951005	0.006483206
Sr36mb	-0.7246667	0.43747	-0.3245833	0.3216679	1.146792e-06
Sr36zb	-0.5926667	0.3585095	-0.3676389	0.3107034	0.0008163572
Sr37mb	-0.07422222	0.1927491	-0.05416667	0.1954608	0.5873192
Sr37db	0	0	-0.17875	0.3340867	2.24195e-05
Sr43	-0.2	0.3523428	-0.08152778	0.2188102	0.04698194
Sr44	-0.2157778	0.3178228	-0.3851389	0.3645757	0.009371433
Sr45	-0.5488889	0.4772565	-0.34625	0.3835359	0.01856261
Sr46mb	-1.115111	0.6508617	-0.5780556	0.3361365	3.469875e-06
Sr46zb	-1.053333	0.5926865	-0.5673611	0.3872692	6.601307e-06
Sr47mb	-0.376	0.4072714	-0.06861111	0.1572054	1.179874e-05
Sr47db	0	0	-0.02208333	0.1070598	0.08439211
D66OK	43.84844	1.766459	44.45139	3.131332	0.1861802

D66UK	44.52956	1.438249	45.46417	3.065885	0.02819046
D33UK	26.70867	0.6905979	26.68347	0.6094656	0.841408
L	39.83333	0.8790491	39.02083	1.287638	9.290325e-05
B33	12.97778	0.4762013	13.26389	0.3750326	0.0009970433
B34	17.68889	0.8277083	18.61111	0.9162931	1.676792e-07
B35	20.58889	0.7094243	21.52778	0.8470699	3.362259e-09
B36mb	23.07778	0.6211752	24.5	1.436447	4.10827e-11
B36zb	24.77778	0.7579545	26.20833	1.753769	2.045792e-08
B37mb	26.16667	1.049892	27.64583	2.090282	1.62129e-06
B37db	27.14444	1.241435	28.31944	2.487016	0.0009706498
B43	12.92222	0.4517083	12.99306	0.5783236	0.4613021
B44	18.04444	2.506406	17.81944	0.7473218	0.5604813
B45	20.75556	1.170772	21.0625	1.077744	0.158571
B46mb	23.4	1.250454	23.59722	1.325904	0.4194392
B46zb	24.61111	1.251766	24.57639	1.604702	0.8962588
B47mb	26.13333	1.501514	25.74306	1.836625	0.212787
B47db	26.85556	1.694316	26.20139	2.235532	0.07580557
MLV	0.3333333	0.4767313	0.5416667	0.5017575	0.02647894
RotAnz	6.066667	2.26033	5.375	3.032396	0.1618585
LuckAnz	3.333333	3.337119	5.125	3.201837	0.005116068
StufAnz	2.733333	2.071451	1.083333	1.45108	1.364011e-05

Messgr.: Variabel, MWd: Mittelwert D-A, SDd: Standardabweichung D-A, MWs: Mittelwert S-A, SDs: Standardabweichung S-A, p-Wert2: Signifikanzwert, Sr33: sag. Komp. ES Zahn 33, Sr34: sag. Komp. bukk. HS Z 34, Sr35: sag. Komp. bukk. HS Z 35, Sr36mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 36, Sr36zb: sag. Komp. zentr.-bukk. HS Z 36, Sr37mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 37, Sr37db: sag. Komp. dist.-bukk. HS Z 37, Sr43: sag. Komp. ES Z 43, Sr44: sag. Komp. bukk. HS Z 44, Sr45: sag. Komp. bukk. HS Z 45, Sr46mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 46, Sr46zb: sag. Komp. zentr.-bukk. HS Z 46, Sr47mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 47, Sr47db: sag. Komp. dist.-bukk. HS Z 47, D66OK: Zahnbogenbreite OK mes.-palat. HS 16-26, D66UK: Zahnbogenbreite UK Fossae 36-46, D33UK: Distanz Eckzahndistanz 33-43, L: Länge d. UK-Zahnbogens, B33: Symmetriemessung ES Z 33, B34: Symmetriemessung bukk. HS Z 34, B35: Symmetriemessung bukk. HS Z 35, B36mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 36, B36db: Symmetriemessung zentr.-bukk. HS Z 36, B37mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 37, B37db: Symmetriemessung, dist.-bukk. HS Z 35, B43: Symmetriemessung ES Z 43, B44: Symmetriemessung bukk. HS Z 44, B45: Symmetriemessung Z bukk. HS 45, B46mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 46, B46db: Symmetriemessung zentr.-bukk. HS Z 46, B47mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 47, B47db: Symmetriemessung dist.-bukk. HS Z 45, MLV: Mittellinienverschiebung, RotAnz: Anzahl d. Rotationen, LukAnz: Anzahl d. Lücken, StufAnz: Anzahl d. Stufen

Tabelle 33: Ergebnisse des Zweistichproben-t-Tests (Welch-Test)

6 DISKUSSION

6.1 Diskussion der Methodik

Die Ergebnisse dieser Arbeit beruhen auf zahlreichen methodischen und statistischen Parametern. Diese Parameter wurden alle genau definiert, um Fehler zu vermeiden bzw. so gering wie möglich zu halten. Es erfolgte eine kriterienorientierte Auswahl von Ausgangsfall und von erhobenen Parameter. Des Weiteren kam eine geeignete Messmethodik zur Anwendung. Der konsequente Einsatz geeigneter Messinstrumente und die wiederholten Messungen an randomisierten Modellen ermöglichten die Erarbeitung reproduzierbarer und aussagekräftiger Ergebnisse.

6.1.1 Diskussion des Versuchsaufbaus

Die Auswahl des Ausgangsfalls erfolgte nach den in der Literatur üblichen Kriterien für eugnathe Verzahnungen (s. Abschn. 2.1, Andrews 1972, Kahl-Nieke 2010, Schopf 2000) sowie einer ausgezeichneten Modellqualität und das Nichtvorhandensein von Restaurationen, Anomalien oder Hypoplasien. Nach Durchsicht von etwa 15 Modellen konnten sieben in die engere Auswahl genommen werden, welche nahezu alle erforderlichen Kriterien (s. Abschn. 4.1.1) erfüllten. Nach erneuter Evaluation legte man sich auf ein Modell fest. Um alle Kriterien einzuhalten entschied man sich für ein Modell mit sieben Rotationen.

Aufgrund der Problematik, alle Kriterien einer Neutralverzahnung beim Erstellen der Modelle zu berücksichtigen, entstand kein Modell, welches eine definitionsgemäße eugnathe Neutralverzahnung aufweist. Oft waren eingebaute Rotationen, minimale Lücken, kleinste Stufen oder fehlende Nullpunktkontakte Schuld.

Wie bereits oben beschrieben (s. Abschn. 4.1. - Abschn. 4.2) wurden insgesamt 45 Studenten- und 20 Doktorandenmodelle erstellt. Davon konnten nur 58 Modelle ausgewertet werden, da sieben Modelle aufgrund von Frakturen bzw. falscher Zahnwahl nicht beurteilbar waren. Die Statistik dieser Arbeit basierte auf diesen 58 untersuchten Modellen (20 Doktoranden- und 38 Studentenmodelle). Als Hauptkriterium für die oben genannte Einteilung (s. Abschn. 5.1) diente die Klassifikation nach Angle (s. Abschn. 2.1). Demnach wiesen nur 38 Modelle im Eck- und Seitenzahnbereich eine Neutralverzahnung auf. Leider entstanden

insgesamt 19 Modelle mit einer Klasse-II-Situation in Eck- und/ oder Molarenbereich, da die Erstellung einer eugnathen Neutralverzahnung eine sehr komplexe Aufgabe war. Ernüchternd war das Ergebnis, dass nur 38 von insgesamt 65 Modellen der reinen Klasse I entsprachen. Es musste bei der Erstellung auf jedes Detail geachtet werden, sonst bedingte ein Fehler den nächsten. Zusätzlich standen die Studenten unter Zeitdruck. Trotz ausgiebiger Information der Studenten mit Hilfe von Präsentationen und Versuchsanleitungen gelang es nicht, die Studenten angemessen für die Studie zu motivieren.

Für die Erstellung der einzelnen 28 Gipszähne pro Modell mussten die Zahnkränze des Ober- und Unterkiefers mit einer Gipsmodellsäge durchtrennt werden. Dazu wurde eines der feinsten Sägeblätter ausgewählt. Die Zähne nur so gering wie möglich zu beschädigen und eine totale Erhaltung des ursprünglichen approximalen Kontaktpunktes zu gewährleisten, war trotz größter Sorgfalt unmöglich. Dies wird der Grund für den Einbau minimaler Lücken sein.

6.1.2 Diskussion der Messungen und Ergebnisse

6.1.2.1 Sagittale Kompensationskurve

Messungen

In der aktuellen Literatur wird das Vermessen mit Hilfe eines Parallelometers mit einem Anzeigeelement als geeignete Messmethode beschrieben (Salem et al. 2003, Shannon und Nanda 2004, Preston et al. 2008). Hierbei diente als Bezugsgröße die Okklusionsebene, welche durch den Inzisalpunkt und distobukkalen Höcker der zweiten Molaren verlief. Shannon und Nanda (2004) richteten ein zu vermessendes Modell im Parallelometer aus. Anschließend wurde mit einem Messgerät, der sogenannten „Gauge“, der senkrechte Abstand der am tiefsten stehenden Höckerspitze bzw. des Kauzentrums gemessen. Damit war ein akkurates Messergebnis von $\pm 0,3$ mm zu erreichen. Salem et al. (2003) verwendeten eine ähnliche Messmethode. Mit Hilfe eines *Palatometers* (GPM, Switzerland) wurde der senkrechte Abstand der am meisten infraokkludierenden Höckerspitze zur Okklusionsebene bestimmt. Dabei diente ein vertikal-eindrückbarer spitz zulaufender Stift mit einer 0,50 mm-Skala als Referenz. Preston et al. (2008) nutzten ebenfalls ein *Palatometer* (GPM, East Rutherford NJ). Braun et al. (1998) spannten die zu vermessenden Modelle in eine

Koordinaten-Mess-Maschine (Brown and Sharp Micro Val, North Kingston, RI), welche in der Präzisions-Maschinenindustrie Verwendung findet. Eine friktionslose luftgetragene Sonde nahm die Koordinaten eines Punktes im Raum in allen drei Achsen bis zu 0,001 mm auf. Die Modelle wurden gegen eine festgelegte Ebene fixiert. Die Daten wurden automatisch digital übertragen und zu einer Datenbank generiert. Die Genauigkeit betrug 0,006 mm und die Reproduzierbarkeit 0,004 mm. Je UK-Zahnbogen wurden insgesamt 18 bzw. neun Messungen pro Quadrant durchgeführt: Inzisalkante der mittleren Inzisivi, Eckzahnspitze, Höckerspitze der ersten und zweiten Prämolaren sowie mesio- und disto-bukkale Höcker der ersten und zweiten Molaren. Auf diese Art und Weise wurde die Zahnbogenform in allen drei Raumrichtungen (somit auch die Spee'sche Kurve) von 80 Modellen aufgenommen (Braun et al. 1998). Al-Sarraf et al. (2010) und Baydaş et al. (2004) vermaßen die Kurven der Studienmodelle mit Hilfe einer auf die Modelle aufgelegten planen Ebene. Der Abstand von dieser Fläche zur tiefsten Höckerspitze wurde vermessen. Kubein et al. (1986) nutzten eigens angefertigte Radienschablonen (Kunststoffscheiben), um den Radius der sag. Kompensationskurve an den Studienmodellen zu vermessen. Als Maß für die Tiefe der Kurve diente in dieser Studie der Krümmungsradius. Diejenigen Kunststoffscheiben, die alle oder die meisten bukkalen Höcker berührten, wurden verwendet. Bernstein et al. (2007) nutzten in ihrer Studie für die Bestimmung der Spee'schen Kurve ausschließlich Fernröntgenseitenbilder. Mit Hilfe eines Lineals mit einer 0,50 mm-Skala wurde der senkrechte Abstand der am tiefsten stehenden Höckerspitze zur Okklusionsebene bestimmt. Angelehnt an die Messmethode von Kubein et al. (1986) hätte man wie bei der verwendeten Millimeterfolie eine Radienschablone auf eine Folie drucken und die Modelle vermessen können. Eine weitere Möglichkeit stellte die digitale fotografische Vermessung (s. Abschn. 4.3.1) dar. Pandis et al. (2010) nutzten zur Vermessung ihrer Studienmodelle standardisierte Fotos, welche von der linken und rechten UK-Seite vor und nach der kieferorthopädischen Behandlung angefertigt wurden. Zur Auswertung der Fotos nutzten wurde das Computerprogramm *Viewbox 4.0 (Dhal, Greece)* genutzt, mit dessen Hilfe eine Linie vom mittleren Inzisivus zum zweiten Molaren eines Quadranten gezogen und der senkrechte Abstand dieser Linie zur tiefsten Höckerspitze markiert und vermessen wurde. Zusätzlich vermaßen Pandis et al. (2010) Fernröntgenseitenbilder der Patienten.

Vor der eigentlichen Messung testete die Doktorandin diese fotografische Möglichkeit nach Pandis (s. Abschn. 4.3.1). Sie fotografierte alle UK-Modelle von der rechten und linken Seite. Anschließend zeichnete sie in dem Bild-Bearbeitungsprogramm *GIMP* („*GNU Image Manipulation Program*“) die Okklusionsebene sowie den senkrechten Abstand zu der am tiefsten stehenden Höckerspitze ein. Mit Hilfe einer Millimeterskala, welche zuvor an den Modellen angebracht und abfotografiert wurde, wurden die Pixelwerte in Millimeter umgerechnet. Wie oben bereits beschrieben, wurde diese Auswertungsmethode aufgrund von Ungenauigkeiten verworfen.

Zur Vermessung der Modelle entschied man sich für die eigens ausgedachte und gebaute Messapparatur (s. Abschn. 4.3.2.1). Es war die einfachste Methode, die neu entstandenen Kurven direkt mit dem Ausgangsfall zu vergleichen. Da dieses Gerät am Originalmodell entstanden ist, beziehen sich alle Messergebnisse auf dieses und nicht wie in der aktuellen Literatur auf die Okklusionsebene (Al-Sarraf et al. 2010, Baydaş et al. 2004, Berstein et al. 2007, Pandis 2010, Preston et al. 2008, Salem et al. 2003, Shannon und Nanda 2004) oder auf ein digitales Koordinatensystem (Braun et al. 1998). Es wurden alle erstellten Kurven in Bezug zur Ausgangskurve gesetzt. Die Abweichungen der Modellkurven wurden mit dem oben genannten Messschieber (s. Abschn. 4.3.2.1) vermessen. Laut Herstellerangaben maß er bei einer Genauigkeit von $\pm 0,03$ mm bis zu einer Stelle von 0,01 mm. Ebenso hätte man mit einem Lineal oder einer mit Skala-bedruckten Folie den Abstand messen, die Variante des Messschiebers ist jedoch exakter.

Ergebnisse

Wie oben erwähnt, beziehen sich diese in Abschnitt 5 beschriebenen Ergebnisse nur auf das Originalmodell und nicht auf die Okklusionsebene. Daher waren die Messergebnisse nicht direkt mit denen anderer Studien vergleichbar. Um einen direkten Vergleich zu erhalten, müsste man zusätzlich das Originalmodell zur Okklusionsebene vermessen. Mit diesem zusätzlichen Wert und den vermessenen Modellwerten können dann wiederum Aussagen über die Tiefe der sag. Kompensationskurve in Bezug zur Okklusionsebene getroffen werden. Diese Werte wären dann mit denen der aktuellen Literatur vergleichbar.

Cheon et al. (2008) gaben in ihrer Studie an, dass die sag. Kompensationskurve auf der rechten Seite durchschnittlich tiefer war als auf der linken Seite. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigten diese Aussage. Durchschnittlich waren im vierten Quadranten die sag. Kurven ca. -0,32 mm tiefer als diese des dritten Quadranten. Cheon et al. (2008) beschrieben, dass durch unterschiedliche Tiefen der Spee'schen Kurven Asymmetrien im Zahnbogen auftreten. Sobald sich der Abstand der zweiten Molaren von der Mittellinie vergrößerte, vertiefte sich die Spee'sche Kurve (Cheon et al. 2008). Da es sich aber nur um sehr geringe Unterschiede handelte, konnte diese Erkenntnis vernachlässigt werden. Dieser Effekt konnte bei den Modellen aller Kategorien beobachtet werden. Es gab kein Modell, in dem die Tiefen der sag. Kompensationskurven links und rechts identisch waren. Es kann angenommen werden, dass dies der Grund für die Asymmetrie des Zahnbogens (s. Abschn. 6.1.2.4) war.

Pandis et al. (2010) stellten fest, dass die Nivellierung der Spee'sche Kurve nicht zwingend ein Ansteigen der Zahnbogenbreite und der intercaninen Distanz zur Folge hatte. Diese Größen korrelieren nicht zwingend miteinander, sondern waren meistens zufällig (Pandis et al. 2010). Dies konnte durch die Ergebnisse dieser Studie bestätigt werden. Es fanden sich keine signifikanten Korrelationen zwischen der Tiefe der Spee'schen Kurve, der OK- sowie UK-Zahnbogenbreite und der Eckzahndistanz (s. Abb. 57 - 58).

Ebenso konnten die Ergebnisse der Studie von AlQabandi et al. (1999) durch die vorliegende Studie nicht bestätigt werden. Jene fand heraus, dass die Tiefe der Spee'schen Kurve mit der Intercaninen-Distanz im Unterkiefer korreliert. Wie oben bereits beschrieben, fand sich in dieser Arbeit keine nennenswerte Korrelation zwischen der Tiefe und der Eckzahndistanz.

Balridge (1969) berichtet jedoch, dass ein Abflachen der Spee'schen Kurve eine Verlängerung des Zahnbogens zur Folge hatte. Dies führt zu einer Proklination der unteren Front und zu einer reduzierten unteren Eckzahndistanz (Baydaş et al. 2004). Shannon und Nanda (2004) publizierten, dass bei einem Rezidiv der Kurve die Eckzahndistanz abnimmt. Eine Abhängigkeit der zwei Größen voneinander konnte durch die Messwerte der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden, da keine nennenswerte Korrelationen vorlagen. Grund dafür könnte das Einbauen von Lücken, Rotationen oder Stufen in den Zahnbogen

sein. Beispielsweise erhöhten Lücken den Zahnbogenumfang und täuschten bei einer ausgeprägten Kurve eine zu hohe Umfanglänge vor. Man hätte den Zahnbogenumfang im UK (s. Abschn. 6.1.3) und zusätzlich die Lücken in den Modellen messen und addieren sollen. Die Summe der Lücken würde anschließend vom UK-Umfang abgezogen werden. Damit hätte man die Fehler bei der Aufstellung der Korrelationsberechnungen mit einbeziehen und ausgleichen können.

6.1.2.2 Zahnbogenbreite

Messungen

Braun et al. (1998) vermaßen die Oberkiefer- sowie die Unterkiefer-Zahnbogenbreiten, indem die Distanzen zwischen den disto-bukkalen Höcker- spitzen der zweiten Molaren (Molarbreite) in Millimetern ausgelotet wurden. Henrikson et al. (2001) hingegen nutzten die mesio-bukkalen Höckerspitzen der ersten Molaren als Messpunkte für die Bestimmung der Zahnbogenbreite. Zusätzlich dazu erhoben Henrikson et al. (2001) wie Akkaya et al. (1980) die Eck- zahnbreite im Ober- und Unterkiefer als Distanz zwischen den Eckzahnspitzen. Die Studienmodelle wurden an zwei festgelegten Zeitpunkten (13. und 31. Le- bensjahr) vermessen. Ziel ihrer Studie war der Vergleich der Zahnbogenbreiten zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Aznar et al. (2006) vermaßen die Zahnbo- genbreiten sowie Eckzahndistanzen direkt im Patientenmund mit einem feinen spitz zulaufendem Tastzirkel exakt bis auf 0,01 mm. Berlocher et al. (1980) vermaßen die Zahnbogenbreite im Oberkiefer anhand des am stärksten lingual liegenden Punktes des Gingivarandes der zweiten Milchmolaren an Gipsmodel- len. Die Milcheckzahndistanz wurde ebenfalls an dem Punkt des Gingivarandes vermessen, welcher am weitesten lingual lag (Berlocher et al. 1980). Akkaya et al. (1998) vermaßen in ihrer Studie die OK-Zahnbogenbreiten an den Mittel- punkten zwischen disto-bukkalen und mesio-palatinalen Höckern des ersten oberen Molaren. Für die Messung im UK nutzten sie die Zentralfissur der ersten Molaren.

Man entschied sich, die OK-Zahnbogenbreite (s. Abschn. 4.3.2.3) anhand der Distanz der mesio-palatinalen Höcker von Zahn 16 zu 26 zu messen, da diese in die korrespondierenden Fossae der Zähne 36 und 46 okkludierten. Diese Fossae

stellten in der aktuellen Arbeit sowie bei Akkaya et al. (1980) die Messpunkte der UK-Zahnbogenbreiten dar. Bei Bildung der Differenz der OK- und UK-Breite konnten direkt Aussagen über die Größendiskrepanz zwischen den Kiefern getroffen werden. In der Literatur wird häufig die Kauspitzendistanz für die Eckzahndistanzmessung als optimale ideale Variante angegeben (Akkaya et al. 1980, Henrikson et al. 2001). Deshalb entschied man sich, ebenfalls die Eckzahnspitzen von Zahn 33 und 34 als Messpunkte zu wählen.

Für die Messung der Zahnbogenbreiten sowie die Eckzahndistanzen wurde der oben genannte Messschieber (s. Abschn. 4.3.2.1) genutzt. Man hätte ebenfalls ein Lineal bzw. Messfolie benutzen können. Allerdings ist die Genauigkeit des Messschiebers von $\pm 0,03$ mm bis zu einer Stelle 0,01 mm gegeben. Eine weitere Möglichkeit stellt eine digitale Auswertung mittels Fotos (s. Abschn. 4.3.1) dar.

Ergebnisse

In dieser Studie erhielt man eine durchschnittliche OK-Zahnbogenbreite aller Klasse-I-Modelle (Kat.-A) von $44,22 \pm 2,70$ mm (Min.: 37,67 mm, Max.: 50,88 mm). Die UK-Zahnbogenbreite der Klasse-I-Modelle betrug $54,10 \pm 2,60$ mm (Min.: 38,42 mm, Max.: 51,29 mm). Eine mittlere Klasse-I-Eckzahndistanz von $26,69 \pm 0,64$ mm (Min.: 25,46 mm, Max.: 28,04 mm) wurde ermittelt. Generell waren die OK- und UK-Modelle der Studenten breiter aufgestellt als die Doktorandenmodelle.

Braun et al. (1998) erhielten eine mittlere OK-Zahnbogenbreite von 52,3 mm (Min.: 46,4 mm, Max.: 58,4 mm) sowie eine UK-Zahnbogenbreite von 58,2 mm (Min.: 53,3 mm, Max.: 63,8 mm) der Klasse-I-Modelle. Die untersuchten Klasse-II-Modelle von Braun et al. (1998) wiesen eine mittlere OK-Zahnbogenbreite von 50,5 mm (Min.: 46,6 mm, Max.: 55,7 mm) sowie eine UK-Zahnbogenbreite von 56,2 mm (Min.: 51,8 mm, Max.: 59,9 mm) auf. Wie oben genannt (s. Abschn. 2.2.3), waren die Klasse-II-Zahnbögen generell bis ca. 2,0 mm schmaler als die der Klasse I.

Die ermittelten Werte dieser Studie erschienen im Vergleich zu Brauns Werten zu niedrig. Das lag an den unterschiedlich gewählten Messpunkten. Seine Beobachtung von schmaleren Zahnbögen im Falle der Klasse II im Vergleich mit

Klasse I konnte nicht bestätigt werden. Die OK-Zahnbögen der Kat.-C-Modelle (Distalverzahnung im Eck- und Molarenbereich) waren bis zu ca. 1,46 mm schmaler, aber auch bis zu ca. 1,75 mm breiter (s. Tab. 17). Die ermittelten UK-Zahnbogenbreiten verhielten sich gegensätzlich zu Brauns Ergebnissen. Die Werte in Kat.-C waren bis zu ca. 1,42 mm größer als in den Klasse-I-Verzahnungen (s. Tab. 18). Lediglich bei den ermittelten Eckzahndistanzen bestätigten sich Brauns Ergebnisse. Die Kat.-C-Modelle (Klasse II) sind im Vergleich mit den Kat.-A-Modellen (Klasse I) bis zu ca. 0,98 mm schmaler (s. Tab. 19). Allerdings muss man bei dem Vergleich der Ergebnisse beachten, dass Braun reale Patientenmodelle vermaß. Die vorliegende Studie verglich zahlreiche Varianten eines Patientenfallas. Somit waren Abweichungen der Werte vorbestimmt.

6.1.2.3 Zahnbogenlänge des Unterkiefers

Messungen

Braun et al. (1998) vermaßen die Zahnbogenlängen bzw. -tiefen beider Kiefer, indem eine Gerade durch die disto-bukkale Höcker der ersten Molaren und eine darauf liegende Senkrechte durch den Approximalkontaktpunkt der mittleren Inzisivi generiert wurde. Der Abstand vom Kontaktpunkt zum Schnittpunkt mit der Geraden in Millimetern entsprach der Zahnbogenlänge bzw. -tiefe. Mit Hilfe einer speziellen Formel, der sogenannten Beta-Funktion, der Zahnbogenlänge (Y), der Zahnbogenbreite (X) und den speziellen Messpunkten (a,b,c,d,e) errechneten Braun et al. (1998) die Zahnbogenformen der untersuchten Modelle.

$$Y = \frac{a \left[\frac{X-b+cm}{c} \right]^{d-1} \left[1 - \frac{X-b+cm}{c} \right]^{e-1}}{[m^{d-1}n^{e-1}]}$$

$$m = \frac{d-1}{d+e-2} \quad n = \frac{e-1}{d+e-2}$$

Die Studie von Braun et al. (1998) zeigte, dass die verwendete Beta-Funktion eine akkurate Repräsentation der Zahnbögen darstellt (Braun et al. 1998). Henrikson et al. (2001) vermaßen die Zahnbogenlängen der Studienmodelle an zwei festgelegten Zeitpunkten (13. und 31. Lebensjahr). Zweck der Studie war

der Vergleich der Zahnbogenlängen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Auf den erstellten Fotos der Modelle wurde genau wie bei Braun et al. (1998) eine Linie durch die mesio-bukkale Höcker der ersten Molaren gezogen. Eine Senkrechte auf dieser durch den approximalen Kontaktpunkt der Inzisivi stellte die Zahnbogenlänge dar. Sie wurde in Millimetern angegeben.

Aufgrund der zuvor gelesenen Studie von Braun et al. (1998) entschied man sich, die Länge des UK-Zahnbogens auf diese Weise zu vermessen. Mit Hilfe der Millimeterfolie (s. Abschn. 4.3.2.2) vermaß man die Länge des UK-Zahnbogens und die Symmetrie des UK-Zahnbogens.

Statt der Millimeterfolie hätte man ein Lineal verwenden können. Allerdings war die Folie leichter auf dem Modell zu positionieren. Eine weitere Möglichkeit stellte eine digitale fotografische Vermessung (s. Abschn. 4.3.1) dar. Eine Verwendung des Messschiebers war als ungünstig anzusehen, da man hier eine Verbindungslinie zwischen den disto-bukkale Höckern der zweiten Molaren hätte vorher einzeichnen müssen. Beim Auflegen der Folie konnte man eine der Linien direkt auf diesen zwei Punkten ausrichten.

Ergebnisse

Braun et al. (1998) publizierten in ihrer Arbeit, dass die mittlere UK-Zahnbogenlänge der Klasse-I-Modelle 44,7 mm (Min.: 39,5 mm, Max.: 51,3 mm) betrug. Die durchschnittliche UK-Zahnbogenlänge der Klasse-II-Modelle war mit 43,9 mm (Min.: 38,4 mm, Max.: 48,6 mm) um ca. 0,80 mm kürzer. Ebenfalls waren die Klasse-II-Oberkiefer im Durchschnitt ca. 1,10 mm kürzer als diese der Klasse I.

Die Klasse-I-Modelle der vorliegenden Studie wiesen eine mittlere UK-Zahnbogenlänge von $39,33 \pm 1,21$ mm (Min.: 37,00 mm, Max.: 42,00 mm) auf. Es konnten Brauns Ergebnisse zum Teil bestätigt werden. Die Zahnbogenlängen der Klasse-II-Modelle der Doktorandin (Kat.-C) waren länger (durchschnittlich ca. 0,84 mm) als die der Klasse-I-Modelle. Gründe dafür können das Einbauen von Lücken sowie die Protrusion der Frontzähne sein. Damit wird eine vergrößerte Zahnbogenlänge vorgetäuscht. Es sollte bei dem Vergleich der Ergebnisse beachten werden, dass Braun reale Patientenmodelle vermaß. Die

Messungen der vorliegenden Arbeit verglichen zahlreiche Varianten eines Patientenfallas. Somit waren Abweichungen der Messwerte vorbestimmt.

6.1.2.4 Symmetrie und Zahnbogenform des Unterkiefers

Messungen

Traditionell nutzte man die anatomische Mittellinie des Gaumens zur Symmetriestimmung im Oberkiefer. Lear (1968) nutzte ebenfalls die Sutura palatina mediana, weil diese bereits auf einem Modell gut zu erkennen war und eine zuverlässige Orientierung darstellte (Lear 1968). Er wachste eine 1 mm breite Linie an den vestibulären Flächen der Oberkieferzahnreihe (17-27), welche anschließend in Metall überführt wurde. Die Linie verlief horizontal und senkrecht zu den Zahnachsen. Die Metallschnur wurde zwischen den mittleren Inzisivi getrennt und geröntgt. Es entstanden für beide Quadranten Aufnahmen in unterschiedlichen Graustufen. Dabei konnten wie in Abbildung 49 die Abstände von der Mittellinie (Sutura palatina mediana) zur maximalen bukkalen Konvexität der ersten Prämolaren (A1, A2) sowie der zweiten Molaren (B1, B2) gemessen werden. Die Röntgenaufnahmen beider Quadranten wurden übereinandergelegt und verglichen.

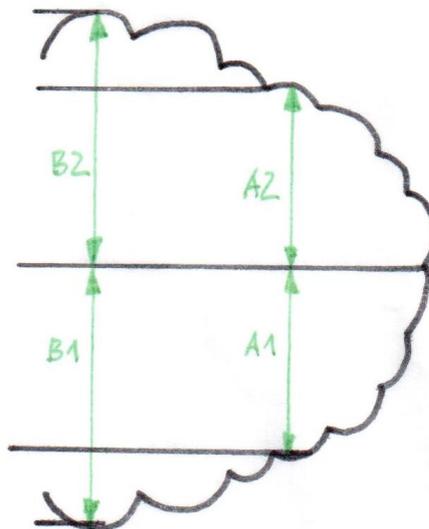


Abbildung 49: Symmetriestimmung modifiziert nach Lear 1968, S. 58

Schaefer et al. (2006) nutzen für die Bestimmung der Symmetrie an den Studienmodellen 26 nonokklusale Punkte (s. Abb. 50), da sich die zu untersuchenden Patienten im Zahnwechsel befanden (Abrasionen, Zähne im Durchbruch). Aus diesem Grund dienten die Höckerspitzen nicht als brauchbare Referenz-

punkte. Stattdessen nutzten Schaefer et al. (2006) 13 Punkte pro Kiefer, die sich vestibulär so weit wie möglich zervikal am Gingivalsaum befanden. Die Digitalisierung erfolgte über ein 3D-Digitalisiergerät (*Polhemus Fastrak*) mit Übertragung in ein Koordinatensystem (Schaefer et al. 2006).



Abbildung 50: Symmetriestimmung modifiziert nach Schaefer et al. 2006, S. 134

Maurice und Kula (1998) nutzten zur Vermessung der Studienmodelle 19 Orientierungspunkte, die klinisch deutlich abzuschätzen und zu erkennen waren (s. Abb. 51).

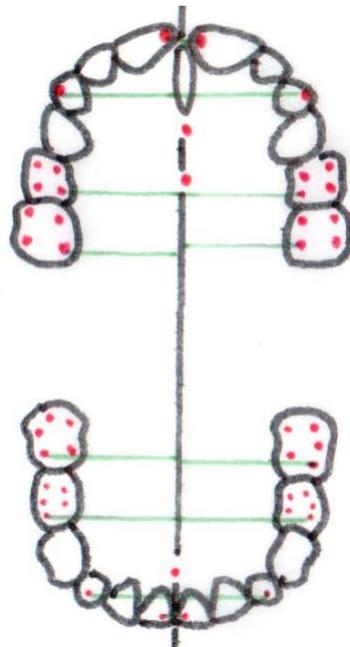


Abbildung 51: Symmetriestimmung modifiziert nach Maurice und Kula 1998, S. 38

Alle zu vermessenden Modelle wurden mit einer *digitalen Spiegelreflexkamera (Nikon Inc, Tkyo, Japan)* fotografiert und ausgedruckt. Auf dem Foto wurde als Mittellinie wie bei Lear (1968) die Raphe palatina mediana im Oberkiefer eingezeichnet (gedachte Spiegelachse). Im Anschluss wurden die Fotos erneut digitalisiert sowie parallele und senkrechte Strecken durch die Messpunkte gezogen und berechnet. Die Strecken (Mittellinie – Referenzpunkt) beider Seiten wurden subtrahiert. Die Differenz war ein Maß für die Asymmetrie (Maurice und Kula 1998).

In der vorliegenden Arbeit entschied man sich für eine abgewandelte Variante nach Maurice und Kula (1998) zur Symmetriestimmung. Die Mittellinie bzw. Spiegelachse wurde als Senkrechte durch den Kontaktpunkt der mittleren Inzisivi auf der Verbindungslinie der disto-bukkalen Höckerspitzen der zweiten Molaren gebildet. Anschließend wurden die Abstände aller festgelegten Punkte (s. Abschn. 4.3.2.3) zur Spiegelachse gemessen. Man entschied sich für sieben Messpunkte pro Quadrant (Eckzahn und bukk. Höckerspitzen), da diese reproduzierbar waren und schon in weiteren Studien verwendet wurden. Wie bei Maurice und Kula wurden die Strecken beider Seiten subtrahiert. Die Differenz war ein Maß für die Asymmetrie.

Vor der eigentlichen Messung testete die Doktorandin die fotografische Möglichkeit der Vermessung der Symmetrie (s. Abschn. 4.3.1). Wie oben bereits beschrieben, wurde diese Auswertungsmethode aufgrund Ungenauigkeiten verworfen. Die Vermessung erfolgte mittels Millimeterfolie, da diese einfach zu verwenden ist

Ergebnisse

Maurice und Kula (1998) publizierten Werte der transversalen Asymmetrien. Im Oberkiefer nahm die transversale Asymmetrie von mesial nach distal kontinuierlich zu (mittlerer Inzisivus: 0,40 mm - erster Molar: 0,86 mm). Im Unterkiefer war die gleiche Tendenz, mit Ausnahme des seitlichen Inzisivus zu erkennen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind nur bedingt mit den Ergebnissen von Maurice und Kula (1998) vergleichbar, da hier der Unterkiefer mit vollständiger permanenter Bezahnung vermessen wurde. Jedoch konnte bestätigt wer-

den, dass die transversale Asymmetrie zunahm, je weiter distal die Abstände gemessen wurden (33-43: 0,18 mm - 37db-47db: 1,42 mm). Generell waren die durchschnittlichen Asymmetrien der vorliegenden Arbeit größer als die von Maurice und Kula (1998).

Lear (1968) beschrieb eine max. Diskrepanz der Abstände zur Mittellinie von 5,7 mm im Bereich des oberen zweiten Molaren (Lear 1968). In der Studie fand man eine max. Abweichung von ca. 5,17 mm im Bereich der ersten Prämolaren links in den Kat.-C-Modellen der Doktorandin.

6.1.2.5 Ergebnisse der Korrelationsberechnungen

Die Korrelationsberechnungen stellten laut der aktuellen Literatur (Berlocher et al. 1980, Cheon et al. 2008, Salem et al. 2003) eine angemessene Variante zur statistischen Berechnung dar. Sie lieferten präzise und sichere Ergebnisse, die mit anderen Studien vergleichbar sind.

Man fand eine negative Korrelation von $r = -0,61$ zwischen der Zahnbogenlänge (L) und der Molarendistanz im UK (D66UK). Das bedeutet, dass die Zahnbogenlänge bzw. -tiefe erniedrigt ist, wenn die Distanz der ersten Molaren oder Eckzähne sowie die Abstände der Messpunkte von der Mittellinie erhöht waren.

Es fanden sich in den Berechnungen Korrelationen von $r > 0,7$ zwischen den Zahnbogenbreiten und den Abständen der Mittellinie zu den Messpunkten (S. Abschn. 5.3). Das bedeutet: je breiter der Zahnbogen wird, desto größer wird der Abstand der Messpunkte zur Mittellinie. Dies ist natürlich eine Trivialität.

Leider ergaben sich zwischen den Messungen der Tiefe der Spee'schen Kurve (Sr-Werte) keine Korrelationen von $r \geq 0,70$ mit den übrigen Messwerten. Somit konnte die Studie von AlQabandi et al. (1999) nicht bestätigt werden. Diese stellte fest, dass die Tiefe der Spee'schen Kurve mit der Intercaninen-Distanz im Unterkiefer korreliert. Auch die Arbeit von Balridge (1969), welche berichtete, dass ein Abflachen der Spee'schen Kurve eine Verlängerung des Zahnbogens zur Folge hat, konnte durch diese Ergebnisse nicht bekräftigt werden.

Man hätte die Differenzen der Abstände der Messpunkte zur Mittellinie gegen Tiefe der Kurve korrelieren lassen können, um die Abhängigkeit der Asymmet-

rie von der Tiefe der Kurve zu überprüfen. Mit diesen Berechnungen hätte man die Ergebnisse von Cheon et al. (2008) überprüfen können.

6.1.2.6 Ergebnisse des Zweistichproben-t-Tests (Welch-Test)

Hypothesentests sind laut aktueller Literatur (Baydaş et al. 2004, Berlocher et al. 1980, Bernstein et al. 2007, Carcara et al. 2001, Cheon et al. 2008, Pandis et al. 2010, Preston et al. 2008, Salet et al. 2003, Shannon und Nanda 2004) angemessene Tests zur statistischen Auswertung.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden (s. Abschn. 5.4, s. Tab. 33), dass bei 40 % der gesamten p-Werte aus den Mittelwerten und den Standardabweichungen der untersuchten Messgrößen der Kat.-A-Modelle die Varianz signifikant war. Dies bedeutete, dass in weniger als der Hälfte der untersuchten Parameter die Verteilung von Werten um den Mittelwert mit den Standardabweichungen bei Klasse-I-Modellen (Eckzahn- und Molarenbereich) in einem überzufälligen Zusammenhang standen.

6.1.3 Stichprobenversuch

Messungen

Die Ergebnisse dieser Studie brachten leider keine konkreten Antworten auf die vorher gestellten Fragen. Anhand unserer Messungen konnte keine Abhängigkeit der Ausprägung der sag. Kompensationskurve von der Zahnbogenform, -länge und -breite bewiesen werden. Es konnte lediglich eine negative Korrelation zwischen der Zahnbogenlänge und -breite nachgewiesen werden.

Um weitere Aussagen über die Abhängigkeit der Spee'schen Kurve von der Zahnbogenlänge zu treffen, verglich man stichprobenartig den Zahnbogenumfang gemessen an den Inzisalkanten, Eckzahnsitzen und bukkalen Höckern im Unterkiefer mit der Länge der korrespondierenden Nullpunktlinie im Oberkiefer. Dafür wurden jeweils ein Modellpaar aus der Kat.-A (Eckzähne und Molaren in Neutralverzahnung) mit einer flachen sag. Kompensationskurve und ein weiteres Modellpaar der Kat.-C (mindestens ein Eckzahn und mindestens ein Molar

weicht nach distal ab) mit einer ausgeprägten Kurve untersucht. Es wurden Studenten- mit Doktorandenmodellen verglichen.

Berlocher et al. (1980) vermaßen Zahnbogenumfang und -breite beider Kiefer mit Hilfe eines flexiblen Drahtes. Beginn- und Endpunkte des Drahtes im Oberkiefer waren die distalen Flächen der zweiten Milchmolaren (Berlocher et al. 1980).

Akkaya et al. (1998) nutzten als Bezugspunkte für eine Vermessung des Zahnbogenumfangs die mesialen Flächen der ersten Molaren (s. Abb. 52). Sie vermaßen alle Strecken zwischen den Approximalkontakten der Molaren, Prämolaren, Eck- und Frontzähne und addierten diese zusammen, um den Zahnbogenumfang zu erhalten.

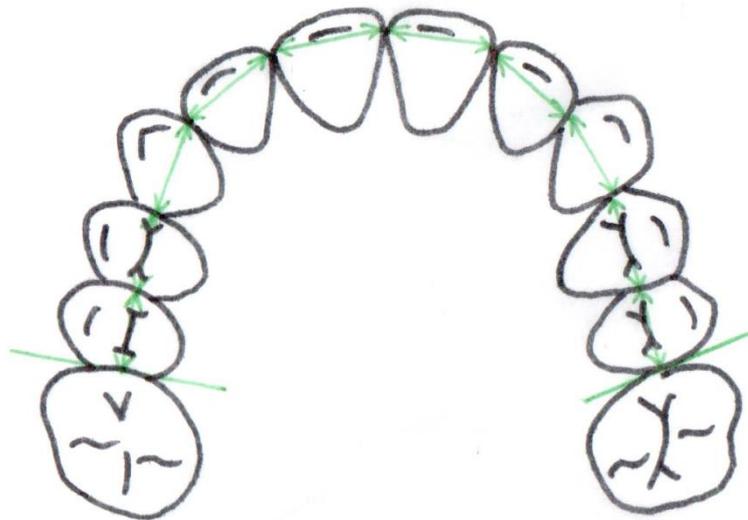


Abbildung 52: Messung des Zahnbogenumfangs mittels Kontaktpunktstrecken modifiziert nach Akkaya et al. 1998, S. 257

Aufgrund der einfachen Durchführbarkeit entschied man sich für eine Messmethode, die in abgewandelter Form auf Berlocher et al. (1980) zurückgeht. Statt Draht wurde Zahnseide verwendet. Für diesen Versuch wurde diese im Unterkiefer auf die bukkalen Höckerspitzen sowie auf die Inzisalkanten aufgelegt und mit *Tribos Plattenwachs M gingiva (Gebdi)* festgewachst (s. Abb. 53). Dabei waren Beginn und Ende des Fadens die disto-bukkalen Höckerspitzen der zweiten unteren Molaren. Im Oberkiefer wurde der Faden in den korrespondierenden Fossae sowie an der Nullpunktlinie (s. Abb. 54) befestigt. Als Start- und Endpunkte wurden die Fossae der zweiten oberen Molaren definiert, in welchen die disto-bukkalen Höcker der zweiten unteren Molaren okkludieren.



Abbildung 53: Faden auf UK-Modell



Abbildung 54: Faden auf OK-Modell

Um die Längen der Kiefer zu vergleichen, wurden die Zahnseidefäden mit einer Pinzette vorsichtig abgenommen und mit Wachs auf Millimeterpapier befestigt (s. Abb. 55). Anschließend wurden die Fäden mit dem oben genannten Messschieber (s. Abschn. 4.3.2.1) vermessen.

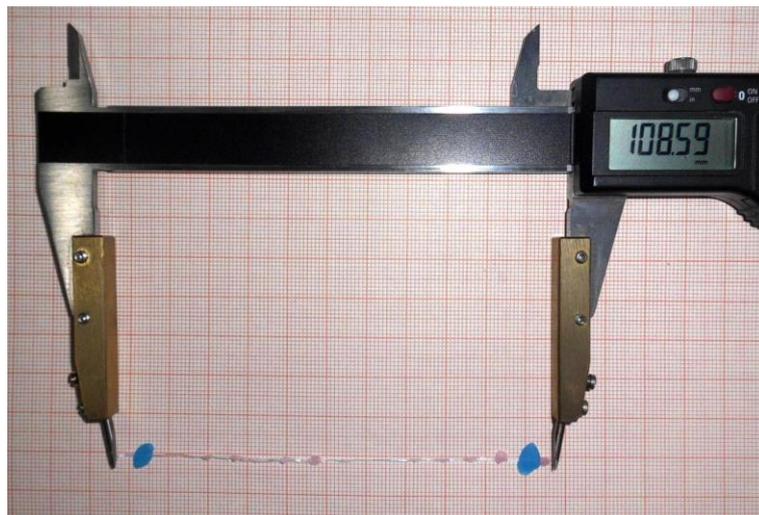


Abbildung 55: Vermessen des Fadens

Ergebnisse

In Tabelle 34 sind die Messergebnisse dargestellt. Im Ausgangsfall fand man die geringste Differenz zwischen OK- und UK-Zahnbogenumfang von ca. 2,27 mm vor. Die Kat.-A-Modelle wiesen einen Differenzwert von bis zu ca. 4,0 mm auf. Interessant war, dass bei dem vermessenen Studentenmodell der Kat.-C (S-C) eine Differenz von 3,10 mm vorlag. Diese war geringer als jene in den erstellten Kat.-A-Modellen und damit näher am Ausgangswert. Besonders beachtenswert war das Messergebnis des Doktorandenmodells der Kat.-C (D-C).

Hier lag eine Differenz von ca. 6,37 mm vor. Betrachtete man die Umfangmessung des Oberkiefers, so stellte man einen deutlich erhöhten Wert von ca. 116,47 mm fest. Dieser war im Vergleich zum Ausgangswert von ca. 109,79 mm um ca. 6,68 mm erhöht. Der UK-Umfang war um ca. 2,58 mm höher als im Originalmodell. Gleichzeitig fand man hier eine ausgeprägte sag. Kompensationskurve vor, welche um einen max. Wert von ca. 1,36 mm tiefer war als die Ausgangskurve. Dadurch war das Platzangebot in der Front verringert und die Inzisivi standen stark protrudiert. Diese Protrusion könnte der Grund für den aussagekräftigen Längenunterschied des UK-Umfangs sowie der OK-Basallinie sein.

		Sr	Pos.	OK	MWok	UK	MWuk	Diff.
AF				109,92		107,64		
				109,76		107,45		
				109,68	109,79	107,46	107,52	2,27
Dr. 1	D-A	-0,78	Sr46zb	111,17		107,51		
				111,23		107,48		
				111,19	111,20	107,43	107,47	3,73
Stud. 1	S-A	-0,5	Sr35	109,00		104,56		
				109,03		104,81		
				108,59	108,87	105,23	104,87	4,00
Dr. 2	D-C	-1,36	Sr44	116,30		110,09		
				116,60		110,07		
				116,52	116,47	110,15	110,10	6,37
Stud. 2	S-C	-1,17	Sr46mb	106,87		104,52		
				107,83		104,26		
				107,62	107,44	104,25	104,34	3,10

Sr: tiefste Stelle der sag. Komp. in mm in Bezug zur Originalkurve, Pos.: Position der tiefsten Stelle, OK: Oberkieferumfang in mm, MWok: Mittelwert OK-Umfang, UK: Unterkieferumfang in mm, MWuk: Mittelwert UK-Umfang, MW: Mittelwert in mm, Diff.: Differenz OK-UK, AF: Ausgangsfall, Dr.: Doktorandenmodell, Stud.: Studentenmodell

Tabelle 34: Stichprobenversuch

Kubein et al. (1986) publizierten, dass die individuelle Ausprägung der sag. Kompensationskurve durch die Höckerhöhe, deren Veränderung von mesial nach distal sowie durch die Längendifferenz der Basislinien im Oberkiefer- und Unterkiefer bestimmt wird (s. Abschn. 2.4.2.1, s. Abb. 11). Die Neigung der Höckerabhänge von den in der Studie verwendeten Zähnen war definitiv festgelegt und bei allen Modellen gleich, da identische Zähne eines Ausgangsfalls verwendet wurden. Aufgrund dessen war auch die Höckerhöhe in mesio-distaler Richtung nicht veränderbar. Demnach konnte laut Kubein et al. (1986) eine Veränderung der Ausprägung der Kurve nur noch in der Längendifferenz der Basislinien (Höckerbasisliniendifferenz) liegen, da die okklusale Anordnung variabel war.

Ist keine sag. Kompensationskurve in einem Gebiss vorhanden (gerade Okklusionsebene), so ist laut Kubein et al. (1986) die Länge der Höckerbasislinie im UK größer als jene im OK. So kann in diesem Fall als Folge der planen Okklusionsebene ein Distalbiss (*sekundäre Klasse II*) resultieren. Subtrahiert man den UK-Umfang vom OK-Umfang erhält man eine negative Differenz. Bei einer milden bis flachen Kurve in Neutralverzahnung sollte die Höckerbasisliniendifferenz der Ober- und Unterkiefer gleich Null sein. Das bedeutet, dass OK- und UK-Basislinien gleich lang sein sollten. Experimentiert man gedanklich Kubeins Theorie weiter, kann man schlussfolgern, dass bei einer Klasse-II-Verzahnung aufgrund einer ausgeprägten Kompensationskurve (*primäre Klasse II*) durch z. B. protrudierter UK-Front eine positive Differenz resultiert. Bei der tiefen Spee'schen Kurve wäre die UK-Basislinie im Vergleich zum OK verkürzt.

Die Ergebnisse der Kat.-C-Modelle (Klasse-II-Verzahnung) im Stichprobenversuch bestätigten die Annahme, dass bei ausgeprägten Spee'schen Kurven positive Differenzwerte vorliegen (D-C: 6,37 mm, S-C: 3,10 mm). Entgegengesetzt Kubeins Theorie fand man in den Kat.-A (Neutralverzahnung) ebenso positive Werte, obwohl theoretisch die OK- und UK-Basislinien gleich lang sein sollten. Man erkannte eine Tendenz. Beim Ausgangsfall fand man eine sehr flache Kurve mit einer Differenz von 2,27 mm vor. Das bestätigte die Annahme, dass bei milden Kurven die Differenz abnahm.

Ein Grund für dieses Ergebnis könnte das Einarbeiten von Rotationen, Lücken und Stufen gewesen sein. Lücken erhöhen beispielsweise den Zahnbogenumfang und täuschen bei einer flachen Kurve eine zu hohe Höckerbasislinie und die damit verbundenen positiven Differenzwerte vor. Im vorliegenden Studentenmodell der Kat.-A (S-A) war dies der Fall. Hier lagen drei Rotationen und sechs Lücken vor. Man hätte zusätzlich die Lücken in den Modellen messen und addieren müssen, um die Summe anschließend von der UK- und OK-Basallinie abzuziehen. Somit hätte man die Fehler der Aufstellung in die Berechnungen einbeziehen können.

Es lagen leider nicht genug Fallzahlen für diese Messmethode vor, so dass keine definitive Aussage über die Abhängigkeit des Ausprägungsgrades der sag. Kompensationskurve von der Höckerbasisliniendifferenz getroffen werden kann. Anhand der untersuchten Modelle war lediglich eine Tendenz erkennbar. Zu-

sammenfassend kann gesagt werden, dass bei den ausgewählten Klasse-II-Fällen mit ausgeprägten sag. Kompensationskurven (*primäre Klasse II*) die Höckerbasislinie im UK um einiges kürzer war als die des Oberkiefers. Bei den Klasse-I-Modellen mit milden Kurven war die Höckerbasislinie im Unterkiefer demzufolge gering kürzer als die des Oberkiefers. Es resultierten nur geringe positive Differenzwerte, die beim weiteren Abflachen der Kurve gegen Null gingen würden. Leider liegen keine Messwerte von *sekundären Klasse-II-Modellen* (keine Spee'sche Kurve mit resultierendem Distalbiss) vor. Hier wäre typischerweise der UK-Umfang geringer als der des OK.

Zur Bestätigung dieser Tendenzen müsste der Stichprobenversuch an allen Studienmodellen fortgeführt werden.

6.2 Diskussion der Ergebnisse im funktionellen Zusammenhang

Zu Beginn der vorliegenden Studie nahm man an, es gäbe nur einen minimalen Spielraum, in welchem die Zähne angeordnet werden können, um eine funktionierende Okklusion zu erhalten. Man spekulierte über eine Variante, in der sich alle entstandenen Modelle gleichen sollten. Ebenfalls wurde angenommen, die Ausprägung der Spee'sche Kurve könnte von bestimmten Parametern der Zahnbogenform beeinflusst werden.

Interessant ist das Ergebnis, dass die Tiefe der sagittalen Kompensationskurve von keinem erhobenen Messwerte abhängig ist (z. B. Symmetrie, Zahnbogenbreite oder Länge). Die Tiefe der Kurve korreliert mit keinem Wert. Die Kurve ist bei den gesamten Modellen in variablen Tiefen mit den unterschiedlichsten Zahnbogenbreiten und -längen entstanden.

Nach Auswertung der Messergebnisse stellte sich heraus, dass die Streubreite der Zahnbogenlängen und -breiten deutlich größer war als gedacht. Eine funktionelle Okklusion aller Klasse-I-Fälle war bei den unterschiedlichsten UK-Zahnbogenbreiten (Min.: 38,42 mm; Max.: 51,29 mm) und -längen (Min.: 37,00 mm; Max.: 42,00 mm) vorhanden. Die Zahnbogenlängen korrelierten dabei negativ mit den Zahnbogenbreiten.

Die OK-Zahnbogenbreite des Ausgangsfalls beträgt 44,04 mm. Besonders interessant ist, dass die ermittelte durchschnittliche OK-Zahnbogenbreite aller ver-

messenen Modelle $44,04 \pm 0,5$ mm beträgt. Nun könnte man annehmen, dass in diesem Fall die anfänglich vermutete These bekräftigt wurde. Dennoch wurde durch diese Studie bewiesen, dass anatomisch identische Zähne in den unterschiedlichsten Zahnbogenbreiten und -längen bei funktioneller Okklusion angeordnet sein können. Die Idealverzahnung lässt nur eine „ideale“ Position zu. Je weiter man davon abweicht, ist die Okklusion noch eugnath, tendiert aber schon leicht zur Dysgnathie. Erst beim Unter- bzw. Überschreiten gewisser Minimal- bzw. Maximalwerte gleitet man aus der neutralen Okklusion heraus. Beim weiteren Fortfahren würden distale und mesiale Bisslagen entstehen.

Betrachtet man Abbildung 56 (Kubein et al. 1986, S.62), die bereits im Abschnitt 2.4.2 erläutert wurde und den Anordnungsspielraum der okklusalen Morphologie beschreibt, bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie das Gedankenkonzept hinter dieser Grafik.

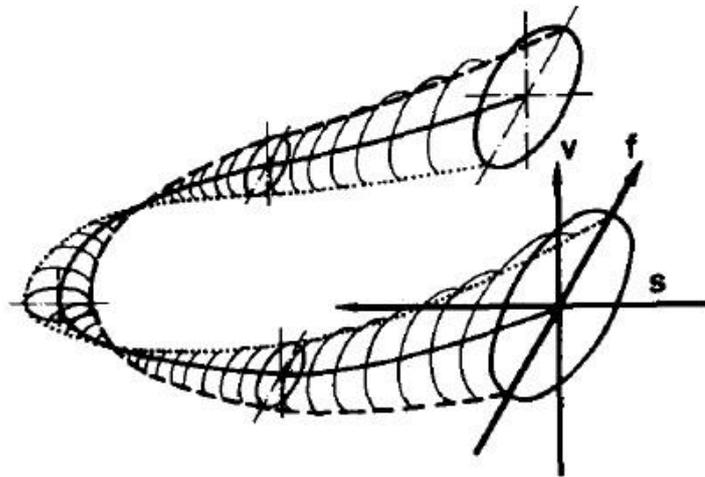


Abbildung 56: Anordnungsspielraum der okklusalen Morphologie (Kubein et al. 1986, S. 62), die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Verfasser

Verändert man den Zahnbogen in der Breite, so korreliert diese Veränderung negativ mit der Zahnbogenlänge. Je breiter der Zahnbogen wird, umso kürzer wird er. Dementsprechend können anatomisch identische Zähne nicht immer, wie vorher gedacht, nur in einer einzigen Position angeordnet werden. Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten, in der eine Neutralverzahnung möglich ist. So ist es bei der Vererbung von bestimmten Zahnformen möglich, dass diese Zähne funktionell neutral in einem schmalen oder breiten Kiefer angeordnet sein können. Dementsprechend sind die Zahnbögen im schmalen Kiefer länger als

in einem breiten Kiefer. Sollte genug Platz vorhanden sein, sind sogar Lücken möglich.

Diese Überlegung bestätigte sich während eines freiwilligen Auslandsaufenthaltes der Autorin in Nyabondo, Kenia. Dort arbeitete die Doktorandin als Zahnärztin und behandelte in 3 Wochen eine große Anzahl an Patienten. Generell unterscheidet sich das Gebiss der kenianische Bevölkerung von den Europäern durch ein vergrößertes Viszerokranium sowie ein verkleinertes Neurokranium. Aufgrund der kräftigen vergrößerten Mandibula sind die Zahnbögen breit, wobei die Länge der Zahnbögen nicht deutlich verkürzt erscheint. Oft war ein Platzüberschuss mit geringen Lücken in beiden Kiefern vorhanden, welche eine ausgeglichene Länge vortäuschte. In diesem vorliegendem Fall sind die Lücken positiv zu bewerten, da sich zwischen den nicht vorhandenen Approximalkontakten keine Karies bilden kann. Trotz dieser Lücken hatten die Patienten eine ideale Okklusion ohne okklusale Störkontakte. Laut Andrews „Sechs Schlüssel der Okklusion“ (Andrews 1972) kann man dann nicht mehr von einem eugnathen Biss sprechen. Denn für eine neutrale Bisslage sind definitionsgemäß enge Approximalkontakte und das Fehlen von Lücken charakteristisch.

Führt man nun das Gedankenexperiment fort: Die Zähne der kenianischen Menschen befänden sich in schmalen, z. B. europäischen Kiefern, so würden die Lücken durch ein mesiale Aufwandern der weiter distal stehenden Zähne verschwinden. Somit würde sich der Zahnbogen verschmälern. So erhielte man eine schmale Zahnbogenbreite mit negativ korrelierter Zahnbogenlänge.

Was immer die Natur an Zahn- und Kieferformen zur Verfügung stellt, sie ist immer instande die optimale Okklusion zu erstellen. Dafür wird passend zu den individuellen Zahnformen die ideale Anordnung der Zahnbögen arrangiert. Aufgrund der visuellen Erfahrung der Autorin in Afrika könnte gesagt werden, dass jede Morphologie in jedem Schädel gefunden werden könnte.

Dementsprechend zeigten die Messergebnisse dieser Studie, dass das Spiel für die Anordnung der individuellen Morphologie und die Streubreite der Zahnbogenformen wesentlich größer ist, als zuerst vermutet. Weiterführend könnte man in einer aufbauenden Studie genaue Maximal- und Minimalwerte von Pa-

rametern (z.B. Tiefe der Spee'schen Kurve, Zahnbogenbreite und -länge) ermitteln, bei welchen man die ideale funktionelle Okklusion initial aufsprengt.

Von den insgesamt 58 beurteilbaren Modellen sind 67 % in Klasse-I-Verzahnung entstanden. In den restlichen 33 % der Modelle entstanden Klasse-II-Verzahnungen (26 % erste Molaren in Klasse I, Eckzähne in Klasse II; 7 % erste Molaren und Eckzähne in Klasse II). Erstaunlicherweise entstand kein Modell in Mesialverzahnung. Interessant ist, dass die Doktorandin 75 % ihrer Modelle in Klasse-I aufstellte, die Studenten jedoch nur 67 %. Der Grund dafür könnte evtl. sein, dass die Spee'sche Kurve aller Studentenmodellen durchschnittlich flacher erstellt wurde (MW: $-0,33 \pm 0,32$ mm am Messpunkt Sr36mb; MW: $-0,37 \pm 0,34$ mm am Messpunkt Sr46 mb) als bei den Doktorandenmodellen (MW: $-0,76 \pm 0,43$ mm am Messpunkt Sr36mb, MW: $-1,12 \pm 0,65$ mm am Messpunkt Sr46mb).

Die Unterkiefer-Zahnbogenlänge des Ausgangsfalls beträgt 40,00 mm. Durchschnittlich sind die entstandenen Modelle kürzer als der Ausgangsfall, da im Vergleich zum Urmodell generell tiefere Spee'sche Kurven entstanden sind. Die Klasse-I-UK-Modelle der Studenten sind durchschnittlich $39,02 \pm 1,9$ mm lang. Die Länge der Klasse-I-UK-Modelle der Doktorandin beträgt durchschnittlich $39,83 \pm 0,88$ mm. Paradox ist, dass die durchschnittliche UK-Länge der Doktorandin im Vergleich zu den Studentenmodellen erhöht ist, trotz allgemein tiefere Kurve. Gründe dafür könnten Rotationen, Lücken sowie Stufen sein.

Demnach zeigt die vorliegende Arbeit, egal wie „lieblos“ Zähne auf Kieferbasen durch Studenten, Doktoranden oder die Natur selbst arrangiert werden, so ist eine Fülle an Variationen der funktionellen Okklusion möglich. Je „liebloser“ bzw. unkontrollierter diese Anordnung jedoch geschieht, desto eher ist die Tendenz trotz erhaltener Okklusion von der Euginathie zur Dysgnathie z. B. durch die Entstehung von Lücken, Stufen sowie Rotationen.

6.3 Schlussfolgerungen für die Praxis

Da die Untersuchungen dieser Studie nicht an Patienten, sondern an künstlich erstellten Modellen durchgeführt und keine aussagekräftigen signifikanten Korrelationen aufgezeigt wurden, konnte keine definitive Aussage über die Abhängigkeit der sag. Kompensationskurve von Zahnbogenform, -breite, -länge sowie

-symmetrie getroffen werden. Es konnten lediglich Tendenzen aufgezeigt werden. Zur Bestätigung müsste der Stichprobenversuch an allen Studien- bzw. an Patientenmodellen fortgeführt werden.

Für die kieferorthopädische Therapie stellt sich die Frage, in welchem Umfang eine ausgeprägte Spee'sche Kurve im Verlauf einer Multiband-Behandlung korrigiert werden sollte. Andrews (1972) befürwortet als kieferorthopädisches Behandlungsziel ein totales Abflachen der Kurve. Manche Autoren (Alexander 2001) schlagen sogar eine leichte Überkorrektur vor, um das Maß eines möglichen Rezidivs so gering wie möglich zu halten. Deshalb ist in den vorgefertigten Straight-Wire-Bögen keine Spee'sche Kurve eingearbeitet. Laut Kubein (1979) sollte die Kurve ebenfalls nivelliert werden, um okklusale Interferenzen und daraus resultierende Kiefergelenksdysfunktionen zu vermeiden. Aktuell plädiert Prof. Kubein-Meesenburg für die Erhaltung der individuellen Morphologie.

Demzufolge ist es sinnvoll und empfehlenswert, die sag. Kompensationskurve im physiologischen Rahmen der Okklusion zu korrigieren. Sie sollte keinesfalls komplett auf 0 mm nivelliert werden, da sie in der anatomischen individuellen Morphologie vorgegeben ist. Wie Spee im Jahr 1890 feststellte, ist diese Kurve Teil des stomatognathen Systems und besitzt biomechanische Funktionen während des Kauvorgangs (Shannon und Nanda 2004). Die Kurve sollte in der sagittalen und vertikalen Ebene optimiert werden, sodass sie weiterhin als ein Teil der individuellen Morphologie besteht. Während der Nivellierung sollte besonders auf die Beibehaltung einer symmetrischen Zahnbogenform sowie das Einhalten einer Neutralverzahnung im Molarenbereich geachtet werden. Die Gefahr bei der Nivellierung ist, dass zum Behandlungsende die Eckzähne in Neutralverzahnung stehen. Aufgrund der zu flach bis gar nicht eingebauten Spee'schen Kurve der vorgefertigten Bögen kann es zur Distalisierung des ersten unteren Molaren und somit zum Distalbiss kommen.

Jeder kieferorthopädisch-behandelnde Zahnarzt sollte ausreichend Kenntnis über die sagittale Kompensationskurve besitzen, um sämtliche Formen von Dysgnathien adäquat therapieren zu können.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer allgemeinen Erörterung der Entstehung, Bedeutung, Veränderung und Korrektur der sagittalen Kompensationskurve wurde diese anhand der Vermessung von 58 Modellen untersucht, die erneut in Neutralverzahnung aufgestellt wurden. Dabei wurde speziell die Abhängigkeit der sagittalen Kompensationskurve von Länge, Breite und Symmetrie der Zahnbögen ermittelt sowie die Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei Einzel- oder Mehrfachaufstellungen beobachtet und verglichen. Die Ergebnisse der Studie und deren Schlussfolgerungen wurden besonders für die Kieferorthopädie diskutiert.

Insgesamt zeigt sich, dass es zwischen dem Verständnis der therapeutischen Veränderung und einem Rezidiv der sagittalen Kompensationskurve eine ziemliche Verwirrung und eine Spanne in den Differenzen der Untersuchungsergebnisse gab. Anhand der Untersuchungen konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Zahnform eine Ausprägung der sagittalen Kompensationskurve sowie die Form des Zahnbogens vorgibt. Umso interessanter war das Ergebnis, dass unterschiedliche Ausprägungen der Kurven, Zahnbogenbreiten und -längen bei funktioneller Okklusion entstanden.

Eindeutig nachgewiesen wurde eine negative Korrelation der Zahnbogenbreite mit der Zahnbogenlänge. Es bestanden keine weiteren Korrelationen der sagittalen Kompensationskurve mit den übrigen Messwerten größer als 0,6 oder kleiner als -0,6. Demnach waren keine signifikanten Abhängigkeiten der untersuchten Größen nachzuweisen.

Die gesamten Modelle der Studenten waren breiter aufgestellt als die Doktorandenmodelle.

Es waren Unterschiede zwischen den sagittalen Kompensationskurven der Doktoranden- und Studentenmodellen zu erkennen. Die Kurven der Doktorandenmodelle waren in beiden Quadranten deutlich tiefer. Die Gesamtheit aller Modelle wies im 4. Quadranten tiefere Kurven als im 3. Quadranten auf.

Im Mittel wiesen alle Modelle einen kürzeren dritten Quadranten auf. Der Zahnbogen links war kürzer.

Aus der Horizontalebene betrachtet, verlief der Zahnbogen im vierten Quadranten steiler als im flacheren dritten Quadranten.

Als Ziel einer kieferorthopädischen Behandlung wird das Abflachen einer ausgeprägten Kurve empfohlen, um eine Neutralverzahnung weitestgehend einzustellen. Der kieferorthopädische Behandler sollte ausreichende Kenntnis über den idealen Verlauf der Spee'schen Kurve besitzen, damit beim Gebrauch von starren Bögen während der terminalen Behandlung mit Straight-Wire-Technik eine Neutralverzahnung im Molarbereich gewährleistet bleibt.

8 ANHANG

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Angle-Klasse-I, Neutralverzahnung modifiziert nach Lehmann und Hellwig 2002, S. 51	4
Abbildung 2:	Angle-Klasse-II, Distalverzahnung modifiziert nach Lehmann und Hellwig 2002, S. 51	5
Abbildung 3:	Angle-Klasse-III, Mesialverzahnung modifiziert nach Lehmann und Hellwig 2002, S. 51	5
Abbildung 4:	Die sagittale Kompensationskurve modifiziert nach Baydaş et al. 2004, S. 350	7
Abbildung 5:	Anordnungskurve der Front- und Seitenzähne	24
Abbildung 6:	Nullpunktkontakt	24
Abbildung 7:	Metrische Punkte der Nullpunktlinien	25
Abbildung 8:	Anordnungsspielraum der okklusalen Morphologie	29
Abbildung 9:	Sekundäre Kompensationskurve	29
Abbildung 10:	Lageveränderung der Kurve bei Veränderung der Höckerabhangsneigung	30
Abbildung 11:	Höcker-Fossa-Relation	31
Abbildung 12:	Abschlussmodell des ausgesuchten Patientenfalls	35
Abbildung 13:	Negativform aus Dubliermasse	36
Abbildung 14:	Duplikate aus Hartgips	36
Abbildung 15:	Zahnkränze und Sockel aus Hartgips	37
Abbildung 16:	Negativformen aus Dubliermasse	37
Abbildung 17:	Zertrennter Zahnkranz	37
Abbildung 18:	Nierenschale mit Sockel und Zähnen für die Modellaufstellung	38
Abbildung 19:	Modellaufstellung in Artikulator 2P ART 300 vor dem Fixieren mit rosa Abdruckgips	40
Abbildung 20:	Contour-Curve-Former	41
Abbildung 21:	Morphologiewinkel β	42
Abbildung 22:	Winkel μ	42

Abbildung 23:	Millimeterfolie auf Modell	46
Abbildung 24:	Messschieber 16EX, Mahr GmbH, Esslingen	47
Abbildung 25:	Messapparatur der sagittalen Kompensationskurve auf dem Urmodell	48
Abbildung 26:	Messung der sagittalen Kompensationskurve im 3. Quadranten	48
Abbildung 27:	Messung der OK-Zahnbogenbreite	50
Abbildung 28:	Messung der UK-Zahnbogenbreite	50
Abbildung 29:	Messung der Eckzahndistanz	51
Abbildung 30:	Messung der Länge des Unterkieferzahnbogens	52
Abbildung 31:	Messung Symmetrie mit Millimeterfolie	53
Abbildung 32:	Boxplot-Diagramm am Beispiel der OK-Zahnbogenbreite	55
Abbildung 33:	mittlere sagittale Kompensationskurve des 3. Quadranten (Doktorandin und Studenten)	62
Abbildung 34:	mittlere sagittale Kompensationskurve des 3. Quadranten (Doktorandin)	62
Abbildung 35:	mittlere sagittale Kompensationskurve des 3. Quadranten (Studenten)	63
Abbildung 36:	mittlere sagittale Kompensationskurve des 4. Quadranten (Doktorandin und Studenten)	66
Abbildung 37:	mittlere sagittale Kompensationskurve des 4. Quadranten (Doktorandin)	67
Abbildung 38:	mittlere sagittale Kompensationskurve des 4. Quadranten (Studenten)	67
Abbildung 39:	Vergleich der OK-Zahnbogenbreiten (D66OK)	70
Abbildung 40:	Vergleich der UK-Zahnbogenbreiten (D66UK)	72
Abbildung 41:	Vergleich der Eckzahndistanz (D33UK)	73
Abbildung 42:	Vergleich der UK-Zahnbogenlänge (L)	74
Abbildung 43:	mittlerer Zahnbogenverlauf des 3. Quadranten (Doktorandin und Studenten)	80
Abbildung 44:	mittlerer Zahnbogenverlauf des 3. Quadranten (Doktorandin)	80
Abbildung 45:	mittlerer Zahnbogenverlauf des 3. Quadranten (Studenten)	81

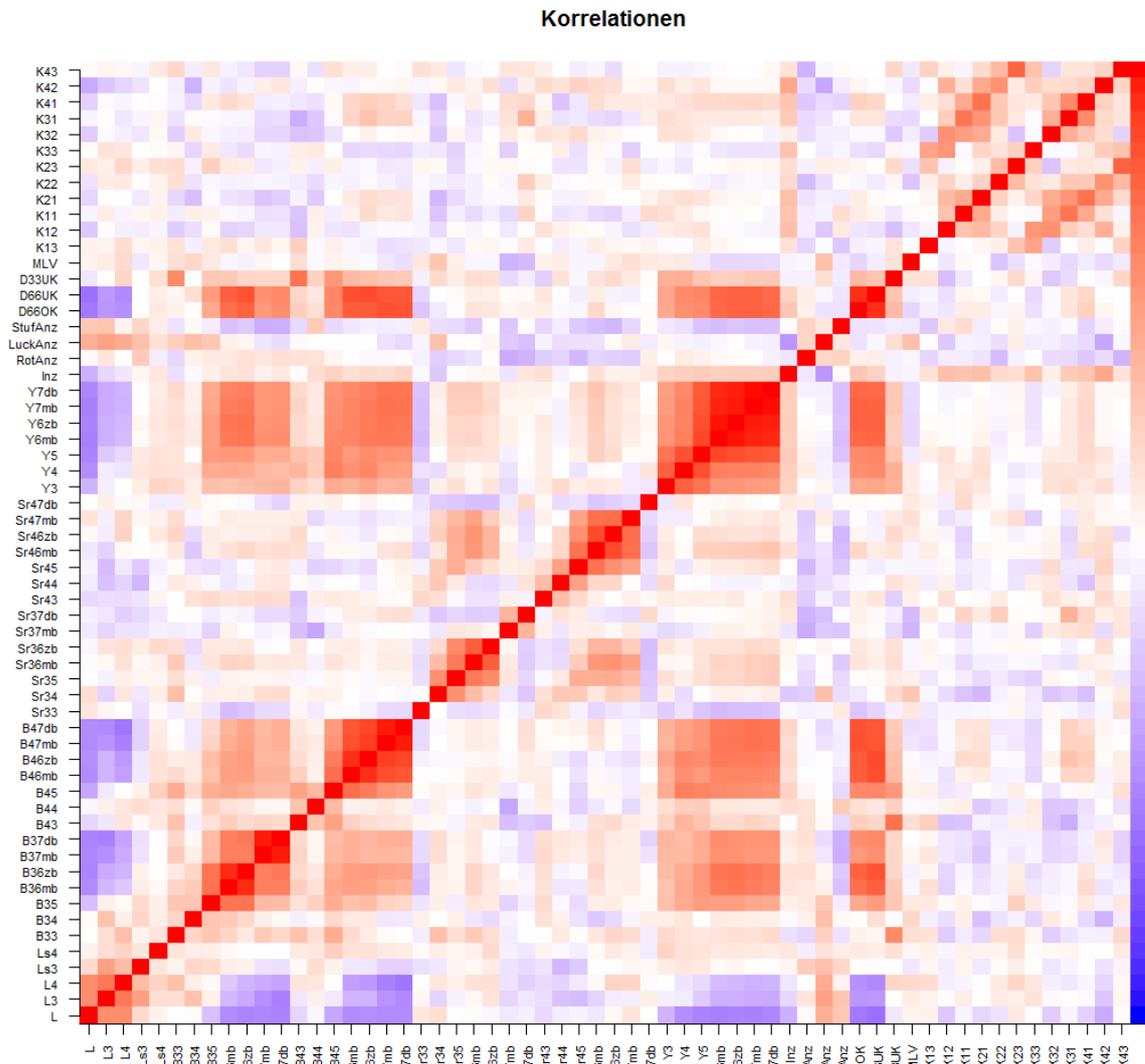
Abbildung 46:	mittlerer Zahnbogenverlauf des 4. Quadranten (Doktorandin und Studenten)	82
Abbildung 47:	mittlerer Zahnbogenverlauf des 4. Quadranten (Doktorandin)	82
Abbildung 48:	mittlerer Zahnbogenverlauf des 4. Quadranten (Studenten)	83
Abbildung 49:	Symmetriebestimmung modifiziert nach Lear 1968, S. 58	97
Abbildung 50:	Symmetriebestimmung modifiziert nach Schaefer et al. 2006, S 134	98
Abbildung 51:	Symmetriebestimmung nach modifiziert nach Maurice und Kula 1998, S. 38	98
Abbildung 52:	Messung des Zahnbogenumfangs mittels Kontaktpunktstrecken modifiziert nach Akkaya et al. 1998, S. 257	102
Abbildung 53:	Faden auf UK-Modell	103
Abbildung 54:	Faden auf OK-Modell	103
Abbildung 55:	Vermessen des Fadens	104
Abbildung 56:	Anordnungsspielraum der okklusalen Morphphologie	108
Abbildung 57:	Korrelationsberechnungen in Farbe	118
Abbildung 58:	Korrelationsberechnungen in schwarz-weiß	119

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Messpunkte im 3. und 4. Quadranten	49
Tabelle 2:	Kategorie-Einteilung	60
Tabelle 3:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr33	63
Tabelle 4:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr34	63
Tabelle 5:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr35	64
Tabelle 6:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr36mb	64
Tabelle 7:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr36zb	64
Tabelle 8:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr37mb	64
Tabelle 9:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr37db	65
Tabelle 10:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr43	68
Tabelle 11:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr44	68
Tabelle 12:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr45	68
Tabelle 13:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr46mb	68
Tabelle 14:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr46zb	69
Tabelle 15:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr47mb	69
Tabelle 16:	Vergleich der Abweichungen zur Originalkurve am Messpunkt Sr47db	69
Tabelle 17:	Vergleich der OK-Zahnbogenbreite (D66OK)	71
Tabelle 18:	Vergleich der UK-Zahnbogenbreite (D66UK)	72
Tabelle 19:	Vergleich der Eckzahndistanz (D33UK)	73
Tabelle 20:	Vergleich der UK-Zahnbogenlänge (L)	74
Tabelle 21:	Symmetrievergleich der Eckzähne	75

Tabelle 22:	Symmetrievergleich der ersten Prämolaren	75
Tabelle 23:	Symmetrievergleich der zweiten Prämolaren	76
Tabelle 24:	Symmetrievergleich der mesio-bukkalen Höcker- spitze der ersten Molaren	76
Tabelle 25:	Symmetrievergleich der zentro-bukkalen Höcker- spitze der ersten Molaren	77
Tabelle 26:	Symmetrievergleich der mesio-bukkalen Höcker- spitze der zweiten Molaren	78
Tabelle 27:	Symmetrievergleich der disto-bukkalen Höcker- spitze der zweiten Molaren	78
Tabelle 28:	Vergleich der Mittellinienverschiebungen (MLV)	83
Tabelle 29:	Vergleich der Anzahl der Rotationen	84
Tabelle 30:	Vergleich der Anzahl der Lücken	84
Tabelle 31:	Vergleich der Anzahl der Stufen	85
Tabelle 32:	Ergebnisse der Korrelationsberechnungen	85
Tabelle 33:	Ergebnisse des Zweistichproben-t-Tests (Welch-Test)	86
Tabelle 34:	Stichprobenversuch	104

8.3 Grafische Darstellung der Ergebnisse



L: Länge d. UK-Zahnbogens, L3: Länge d. UK-Seitenzahnblocks im 3. Qu. (horizontal), L4: Länge d. UK-Seitenzahnblocks im 4. Qu. (horizontal), Ls3: Länge d. UK-Seitenzahnblocks im 3.Qu. (sag.), Ls4: Länge d. UK-Seitenzahnblocks im 4. Qu. (sag.), B33: Symmetriemessung ES Z 33, B34: Symmetriemessung bukk. HS Z 34, B35: Symmetriemessung bukk. HS Z 35, B36mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 36, B36db: Symmetriemessung zentr.-bukk. HS Z 36, B37mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 37, B37db: Symmetriemessung dist.-bukk. HS Z 37, B43: Symmetriemessung ES Z 43, B44: Symmetriemessung bukk. HS Z 44, B45: Symmetriemessung bukk. HS Z 45, B46mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 46, B46db: Symmetriemessung zentr.-bukk. HS Z 46, B47mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 47, B47db: Symmetriemessung dist.-bukk. HS Z 47, Sr33: sag. Komp. ES Z 33, Sr34: sag. Komp. bukk. HS Z 34, Sr35: sag. Komp. bukk. HS Z 35, Sr36mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 36, Sr36zb: sag. Komp. zentr.-bukk. HS Z 36, Sr37mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 37, Sr37db: sag. Komp. dist.-bukk. HS Z 37, Sr43: sag. Komp. ES Z 43, Sr44: sag. Komp. bukk. HS Z 44, Sr45: sag. Komp. bukk. HS Z 45, Sr46mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 46, Sr46zb: sag. Komp. zentr.-bukk. HS Z 46, Sr47mb: sag. Komp. mes.-bukk. HS Z 47, Sr47db: sag. Komp. dist.-bukk. HS Z 47, Y3: Symmetriemessung ES Z 33, Y4: Symmetriemessung bukk. HS Z 34, Y5: Symmetriemessung bukk. HS Z 35, Y6mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 36, Y6zb: Symmetriemessung zentr.-bukk. HS Z 36, Y7mb: Symmetriemessung mes.-bukk. HS Z 37, Y7db: Symmetriemessung dist.-bukk. HS Z 37, Inz: Inzislappung, RotAnz: Anzahl d. Rotationen, LUKAnz: Anzahl d. Lücken, StufAnz: Anzahl d. Stufen, D66OK: Zahnbogenbreite OK mes.-palat. HS 16-26, D66UK: Zahnbogenbreite UK Fossae 36-46, D33UK: Distanz Eckzahndistanz 33-43, MLV: Mittellinierverschiebung, K13: Nullpunktkontakt Z 13, K12: Nullpunktkontakt Z 12, K11: Nullpunktkontakt Z 11, K21: Nullpunktkontakt Z 21, K22: Nullpunktkontakt Z 22, K23: Nullpunktkontakt Z 23, K33: Nullpunktkontakt Z 33, K32: Nullpunktkontakt Z 32, K31: Nullpunktkontakt Z 31, K41: Nullpunktkontakt Z 41, K42: Nullpunktkontakt Z 42, K43: Nullpunktkontakt Z 43

Abbildung 57: Korrelationsberechnungen in Farbe

9 LITERATURVERZEICHNIS

Ahmed I, Nazir R, Erum G, Ahsan T (2011): Influence of malocclusion on the depth of curve of Spee. J Pak Med Assoc 61(11), 1056-1059

Akkaya S, Lorenzon S, Üçm TT (1998): Comparison of dental arch and arch perimeter changes between bonded rapid and slow maxillary expansion procedures. Eur J Orthod 20(3), 255-261

Alexander RG (2001): The Principles of the Alexander Discipline. Semin Othod 7(2), 62-66

AlQabandi AK, Sadowsky C, BeGole EA (1999): A comparison of the effects of rectangular and round arch wires in leveling the curve of Spee. Am J Orthod Dentofacial Orthop 116(5), 522-529

Al-Sarraf HA, Agha NF, Al-Dawoody AD (2010): A Comparative Study of Curve of Spee and Arch Circumference Between Class I Normal Occlusion and Class II Division 1 Malocclusion. Al-Rafidain Dent J 10(2), 341-347

Andrews LF (1972): The six keys to normal occlusion. Am J Orthod 62(3), 296–309

Andrews LF: The Straight-Wire Appliance. Syllabus of Philosophy and Techniques. 2. Auflage; L.F. Andrews, San Diego, 1975

Angle EH: Die Okklusionsanomalien der Zähne. 2. Auflage; Meusser, Berlin

Angle EH (1899): Classification of malocclusion. Dent Cosmos 41(3), 248-264
1913

- Aznar T, Galán AF, Marin I, Domínguez A (2006): Dental arch diameters and relationships to oral habits. *Angle Orthod* 76(3), 441-445
- Balridge DW (1969): Leveling the curve of Spee: its effect on the mandibular arch length. *J Pract Orthod* 3(1), 26-41
- Baydaş B, Yavuz I, Atasaral N, Ceylan I, Dağsuyu IM (2004): Investigation of the changes in the positions of upper and lower incisors, overjet, over bite, and irregularity index in subjects with different depths of curve of Spee. *Angle Orthod* 74(3), 349-355
- Berlocher WC, Mueller BH, Tinanoff N (1980): The effect of maxillary palatal expansion on the primary dental arch circumference. *Pediatr Dent* 2(1), 27-30
- Bernstein RL, Preston CB, Lampasso J (2007): Leveling the curve of Spee with a continuous archwire technique: A long term cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131(3), 363–371
- Braun S, Hnat WP, Johnson BE (1996): The curve of Spee revisited. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110(2), 206–210
- Braun S, Hnat WP, Fender DE, Legan HL (1998): The form of the human dental arch. *Angle Orthod* 68(1), 29-36
- Carcara S, Preston CB, Jujeyda O (2001): The Relationship Between the Curve of Spee, Relapse, and The Alexander Discipline. *Semin Orthod* 7(2), 90-99
- Cheon SH, Park YH, Paik KS, Ahn SJ, Hayashi K, Yi WJ, Lee SP (2008): Relationship between the curve of Spee and dentofacial morphology evaluated with a 3-dimensional reconstruction method in Korean adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133(5), 640.e7-14

- Dake ML, Sinclair PM (1989): A comparison of the Ricketts and Tweed-type arch leveling techniques. *AmJ Orthod* 95(1), 72-78
- Dewey M (1915): Classification of malocclusion. *Int J Orthod* 1(3) 133-147
- Dibbets JMH (1996): Morphological associations between the Angle classes. *Eur J Orthod* 18(2), 111-118
- Dusek M: The Curve of Spee: A Search for Causation. Master Thesis. Memphis 2000
- Farella M, Michelotti A, van Eijden TM, Martina R (2002): The curve of Spee and craniofacial morphology: a multiple regression analysis. *Eur J Oral Sci* 110(4), 277–281
- Ferrario VF, Sforza C, Miani JA, Serrao G (1993): Dental arch asymmetry in young healthy human subjects evaluated by Euclidean distance matrix analysis. *Arch Oral Biol* 38(3), 189-194
- Gerlach HG (1968): Asymmetrien im Kiefer-Gesichtsbereich. *Fortschr Kieferorthop* 29(3-4), 436-532
- Germane N, Staggars JA, Rubenstein L, Revere JT (1992): Arch length considerations due to the curve of Spee: A mathematical model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 102(3), 251-255
- Giancotti A, Mampieri G, Greco M (2008): Correction of Deep Bite in adults using the Invisalign System. *J Clin Orthod* 42(12), 719-726
- Henrikson J, Persson M, Thilander B (2001): Long-term stability of dental arch form in normal occlusion from 13 to 31 years of age. *Eur J Orthod* 23(1), 51-61

- Hitchcock HP (1983): The curve of Spee in Stone Age man. Am J Orthod 84(3), 248-253
- Kahl-Nieke B: Einführung in die Kieferorthopädie. Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie. 3. überarbeitete Auflage; Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 2010
- Katz MI (1992): Angle classification revisited 2: a modified Angle classification. Am J Orthod Dentofacial Orthop 102(3), 277-284
- Kubein D (1979): The compensation curve ZWR 88(23-24), 1059–1066
- Kubein D (1980): Development of compensation curves (II) ZWR. 89(7), 40–50
- Kubein D, Krüger W (1979): Physioillogische Frontzhanzuordnung. Fortschr Kieferorthop 40(2), 167–174
- Kubein D, Wenzel B (1982a): Untersuchung zur neutralen Frontverzahnung. Dtsch Zahnärztl Z 37(6), 479–481
- Kubein D, Wenzel B (1982b): Sagittale und Vertikale Abweichungen von der idealen Frontzhanzuordnung. Eine Untersuchung an kieferorthopädischen Fällen vor und nach der Behandlung. Dtsch Zahnärztl Z 37(8), 663-668
- Kubein D, Jäger A, Hoffmann G. (1986): The sagittal compensation curve and its variation with age as an expression of age-related form and structural changes of the mandible. A theoretical and statistical study. Fortschr Kieferorthop 47(1), 48–66

- Kubein-Meesenburg D, Meyer G (1987a): Die praktische Anwendung des individuellen Frontzahn-Rekonstruktionskonzeptes: Handhabung des Kontur-Kurven-Formers (Contour-Curve-Former-CCF) I. Quintessenz 38, 1-18
- Kubein-Meesenburg D, Meyer G (1987b): Die praktische Anwendung des individuellen Frontzahn-Rekonstruktionskonzeptes: Handhabung des Kontur-Kurven-Formers (Contour-Curve-Former-CCF) II. Quintessenz 38, 19-27
- Kumar KP, Tamizharasi S. (2012): Significance of curve of Spee: An orthodontic review. J Pharm Bioallied Sci 4(2), 323–328
- Lear CSC (1968): Symmetry Analyses of the Palate and Maxillary Dental Arch. Angle Orthod 38(1), 56-62
- Lehmann KM, Hellwig E: Zahnärztliche Propädeutik. 9. überarbeitete Auflage; Urban und Fischer Verlag, München 2002
- Marshall SD, Caspersen M, Hardinger RR, Franciscus RG, Aquilino SA, Southard TE (2008): Development of the curve of Spee. Am J Orthod Dentofacial Orthop 134(3), 344–352
- Maurice TJ, Kula K (1998): Dental arch asymmetry in the mixed dentition. Angle Orthod 68(1), 37-44
- Mohan M, D'Souza M, Kamath G, Parolia A (2011): Comparative evaluation of the curve of Spee in two age groups and its relation to posterior teeth disclusion. Indian J Dent Res 22(1), 179
- Monson GS (1932): Applied mechanics to the theory of mandibular movements. Dent Cosmos 74(1), 1039–1053

- Orthlieb JD (1997): The curve of Spee: understanding the sagittal organization of mandibular teeth. *Cranio* 15(4), 333-340
- Osborn JW (1987): Relationship between the mandibular condyle and the occlusal plane during hominid evolution: some of its effects on jaw mechanics. *Am J Phys Anthropol* 73(2), 193-207
- Pandis N, Polychronopoulou A, Sifakakis I, Makou M, Eliades T(2010): Effects of levelling of the curve of Spee on the proclination of mandibular incisors and expansion of dental arches: a prospective clinical trial. *Aust Orthod J* 26(1), 61-69
- Preston CB, Maggard MB, Lampasso J, Chlalabi O (2008): Long-term effectiveness of the continuous and the sectional archwire techniques in leveling the curve of spee. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 133(4), 550–555
- Salem OH, Al-Sehaibany F, Preston CB (2003): Aspects of mandibular morphology, with specific reference to the antegonial notch and the curve of Spee. *J Clin Pediatr Dent* 27(3), 261–265
- Schaefer K, Lauc T, Mitteroecker P, Gunz P, Bookstein FL (2006): Dental arch asymmetry in an isolated Adriatic community. *Am J Phys Anthropol* 129(1), 132-142
- Schopf P: Curriculum Kieferorthopädie. Band I. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage; Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2000
- Schudy FF (1968): The control of vertical overbite in clinical orthodontics. *Angle Orthod* 38(1), 19–38
- Shannon KR, Nanda RS (2004): Changes in the curve of Spee with treatment and at 2 years posttreatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125(5), 589–596

- Simon PW (1924): On gnathostatic diagnosis in orthodontics. *Int J Orthod* 10(12), 755-785
- Spee FG, Biedenbach MA, Hotz M, Hitchcock HP (1890): The gliding path of the mandible along the skull. *J Am Dent Assoc* 100(5), 670–675
- Unterrichtsskript für Studenten (2001): Kommentar zum kieferorthopädischen Behandlungsplan, Abteilung Kieferorthopädie, Georg-August-Universität Göttingen
- Weiland FJ, Bartleon HP, Droschl H (1996): Evaluation of continuous arch and segmented arch leveling techniques in adult patients: A clinical study. *Am J Orthod* 110(6), 647-652
- Woods M (1986): A reassessment of space requirement from lower arch leveling. *J Clin Orthod* 20(1), 770-7
- Xu H, Suzuki T, Muronoi M, Ooya K (2004): An evaluation of the curve of Spee in the maxilla and mandible of human permanent healthy dentitions. *J Prosteth Dent* 92(6), 536-539

DANKSAGUNG

Mein herzlicher Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Kubein-Meesenburg, Direktor der Abteilung Kieferorthopädie des Uniklinikums Göttingen, für die Vergabe des Themas, die engagierte Betreuung der Arbeit sowie seine wertvollen Hinweise und Anregungen. An dieser Stelle möchte ich mich für die gute Zusammenarbeit und für seine Geduld bei den zahlreichen konstruktiven Gesprächen bedanken.

Ich danke Herrn Röse für die Mit Hilfe bei der Planung und Betreuung sowie Materialleihgabe zur Durchführung des Experiments.

Des Weiteren möchte ich mich bei denjenigen bedanken, die bei der Studiense-
rie zur vorliegenden Arbeit mitgewirkt haben. Mein ganz besonderer Dank gilt dem damaligen 3. Klinischen Fachsemester, welches im Technikkurs der Kie-
ferorthopädie die Studienmodelle erstellte.

Mein weiterer Dank gilt den Mitarbeitern der Abteilung Kieferorthopädie, insbe-
sondere Herr Dr. rer. nat. Henning Dathe.

LEBENS LAUF

Ich wurde am 16.06.1990 in Nordhausen am Harz als einziges Kind meiner Eltern Beate Sitter, geb. Becker, und Andreas Sitter geboren. Ich bin deutsche Staatsangehörige und ledig.

Im Jahr 1996 wurde ich in die Grundschule Sülzhayn eingeschult. Zur dritten Klasse wechselte ich in die Goeckingk-Grundschule Ellrich. Im September 2000 ging ich auf das Herder-Gymnasium in Ilfeld. Ab September 2005 besuchte ich das Herder-Gymnasium in Nordhausen. Dort erlangte ich im Juni 2008 die Allgemeine Hochschulreife.

Zum Wintersemester desselben Jahres begann ich das Zahnmedizinstudium an der Georg-August-Universität Göttingen, wo ich im September 2009 die Naturwissenschaftliche Vorprüfung, im März 2011 die Zahnärztliche Vorprüfung und im November 2013 die Zahnärztliche Prüfung ablegte. Im selben Monat erhielt ich meine Approbation.

Seit April 2013 führte ich begleitend zum Studium die Experimente zu meiner Dissertation durch. Nach dem Examen widmete ich mich ein halbes Jahr der Auswertung der Ergebnisse und dem Schreiben der Arbeit.

Im Februar und März 2014 machte ich eine 5-wöchige Famulatur mit der Hilfsorganisation „Dentists for Africa“ in Nyabondo, Kenia.

Im Juli 2014 nahm ich eine Stelle als Vorbereitungsassistentin in einer oralchirurgisch orientierten Zahnarztpraxis in Dresden auf. Seit Januar 2015 arbeite ich als Vorbereitungsassistentin in einer allgemeinstomatologischen Zahnarztpraxis in Ohorn, welche auf endodontische Behandlungen spezialisiert ist.