Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie, Endodontologie,
Präventive Zahnheilkunde und Kinderzahnmedizin
(Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Thomas Kocher)
im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
(Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Reiner Biffar)
der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Thema:

Zusammenhang zwischen der Ober- und Unterkieferzahnbogenausdehnung in transversalen und longitudinalen Dimensionen und der fazialen Gesichtsmorphologie

Inaugural-Dissertation
zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent)

der
Universitätsmedizin
der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
2017

vorgelegt von: Frau Susanna Bergmann
geboren am: 06.07.1989
in: Kyritz

Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. Max P. Baur
1.Gutachter:	Prof. Dr. Thomas Kocher
2.Gutachter:	Prof. Dr. Helge Fischer-Brandis
Ort, Raum:	Hörsaal ZZMK, Universität Greifswald
Tag der Disputation:	09.Oktober 2017

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 9
1.1 Einführung 9
1.1.1 Gesichtstyp 9
1.1.2 Wachstumsprozesse des Gesichtes und der beiden Kiefer 10
1.1.2.1 Wachstum des Gesichtsschädels und des Oberkiefers 10
1.1.2.2 Wachstum des Gaumens 12
1.1.2.3 Wachstum des Unterkiefers 12
1.1.2.4 Entwicklung der Zahnbögen 13
1.1.2.5 Einflussfaktoren auf das Wachstum 14
1.1.3 Sexualdimorphismus des Gesichtsschädels 14
1.1.4 Gesichtsmorphologie, Zahnbogen- und Kieferdimensionen 15
1.2 Magnetresonanztomografie 16
2 Zielstellung und Hypothesen 18
Hypothese 1 18
Hypothese 2 18
Hypothese 3 18
Hypothese 4 18
Hypothese 5 18
3 Material und Methoden 19
3.1 Probandengut 19
3.1.1 Study of Health in Pomerania (SHIP) 19
3.1.2 Assoziiertes zahnmedizinisches Projekt (ASSPro) 21
3.1.3 Probandengut der vorliegenden Dissertation 22
3.2 Untersuchungen an den Modellen 23
3.2.1 ASSPro-Dentalmodelle 23
3.2.2 Modelldigitalisierung 24
3.2.3 ImageJ 25
3.2.4 Modellvermessung 25
3.2.4.1 Breitenbestimmung 25
3.2.4.2 Längenbestimmung 27
3.2.4.3 Overjet und Overbite 27

3.2.5 Ausschlusskriterien ... 28
3.2.5.1 Ausschlusskriterium A: ... 28
3.2.5.2 Ausschlusskriterium B: ... 28
3.3 Röntgenologische Untersuchung ... 29
3.3.1 MRT-Aufnahmen ... 29
3.3.2 Referenzpunkte auf den Ganzkörper-MRT-Aufnahmen ... 29
3.3.3 Distanzen auf den Ganzkörper-MRT-Aufnahmen ... 30
3.3.4 Software OsiriX ... 34
3.4 Statistische Methoden ... 35
3.5 Qualitätskontrolle der Untersucher ... 36
3.5.1 Messungen auf den ASSPro-Dentalmodellen ... 36
3.5.2 Messungen auf den MRT-Aufnahmen ... 39
4 Ergebnisse ... 40
4.1 Probandencharakteristika ... 40
4.2 Ergebnisse hinsichtlich der Hypothesen ... 41
4.2.1 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 1 ... 41
4.2.2 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 2 ... 44
4.2.3 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 3 ... 46
4.2.4 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 4 ... 47
4.2.5 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 5 ... 48
5 Diskussion ... 51
5.1 Diskussion der Methodik ... 51
5.1.1 Qualität der Modellvermessung ... 52
5.1.2 Qualität der digitalen Aufnahmen ... 53
5.1.3 Qualität der statistischen Verfahren ... 54
5.2 Diskussion der Ergebnisse ... 56
5.2.1 Selektionsprozess des Probandenguts ... 56
5.2.2 Unterschiedliche Breite vom Ober- und Unterkiefer ... 57
5.2.3 Hypothese 1 ... 57
5.2.4 Hypothese 2 ... 58
5.2.5 Hypothese 3 ... 60
5.2.6 Hypothese 4 ... 62

5.2.7 Hypothese 5 65

6 Zusammenfassung 67

7 Literaturverzeichnis 69

Danksagung 77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Richtungen des suturalen Knochenwachstums am Gesichtsschädel 11
Abbildung 2 Verlängerung der apikalen Unterkieferbasis in der Sagittalen durch Apposition (+) und Resorption (-) 13
Abbildung 3 Sexualdimorphismus des Gesichtes 15
Abbildung 4 Region Vorpommern 19
Abbildung 5 Darstellung des Probandenauswahlprozesses 23
Abbildung 6 Messchieblehre der Firma Mitutoyo 24
Abbildung 7 Breitenmessung (B1-B5) und Längenmessung (L1-L2) am Oberkiefer 26
Abbildung 8 Breitenmessung (B1-B5) und Längenmessung (L1-L2) am Unterkiefer 26
Abbildung 9 Darstellung von Overbite und Overjet 28
Abbildung 10 obere Gesichtshöhe (G-Ans) 31
Abbildung 11 Nasenhöhe (N-Ans) 31
Abbildung 12 untere Gesichtshöhe (Ans-Me) 32
Abbildung 13 totale Gesichtshöhe (G-Me) 32
Abbildung 14 Jochbogenbreite/ Gesichtsbreite (Zy-Zy) 33
Abbildung 15 Interkondylarabstand (Cd-Cd) 33
Abbildung 16 kraniale Breite (Eu-Eu) 33
Abbildung 17 Darstellung des Schädels mit der Software OsiriX v3.8.1. 35
Abbildung 18 Bland-Altman-Plot für Distanz B1 im Unterkiefer 38
Abbildung 19 Bland-Altman-Plot für Distanz B1 im Oberkiefer 38
Abbildung 20 Grafische Darstellung der Ergebnisse von Hypothese 1 bei Verwendung des Ausschlusskriteriums A 43
Abbildung 21 Säulendiagramm zum Izard Index 44
Abbildung 22 Bigoniale Breite (Go-Go) 59
Abbildung 23 A-D Schematische Übersicht zum Zusammenhang zwischen dem Overbite und der Länge des Untergesichtes 64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Parameter zur Ermittlung der oralen Mundgesundheit in SHIP .. 20
Tabelle 2 Anzahl der geladenen und teilnehmenden Personen an ASSPro ... 22
Tabelle 3 Ausgeschlossene Distanzen abhängig vom Befund der Referenzzähne 29
Tabelle 4 Unabhängige und Abhängige Variablen der Hypothesen 1-5 36
Tabelle 5 ICC für die Intrarater-Reliabilität des Hauptuntersuchers (Overbite, Overjet) 37
Tabelle 6 ICC für die Intrarater-Reliabilität des Hauptuntersuchers (Breiten- und Längenmessung am Ober- und Unterkiefer) 37
Tabelle 7 ICC für die Interrater-Reliabilität 39
Tabelle 8 Baseline-Tabelle der Probandencharakteristika 40
Tabelle 9 Ergebnisse zur Assoziation der Zahnbogenbreite im Oberkiefer (B1-B6) und dem Jochbogenabstand (Zy-Zy) sowie der kranialen Breite (Eu-Eu) 42
Tabelle 10 Ergebnisse zur Assoziation der Zahnbogenbreite im Unterkiefer (B1-B5) und dem Interkondylarabstand (Cd-Cd) 45
Tabelle 11 Ergebnisse zur Assoziation des Overjets und der Zahnbogenbreite im Ober- und Unterkiefer 46
Tabelle 12 Ergebnisse zur Assoziation zwischen dem Overbite und verschiedenen Distanzen der Gesichtslänge 47
Tabelle 13 Distanzen der ASSPro-Dentalmodelle für das Ausschlusskriterium A im Vergleich zwischen Männern und Frauen 49
Tabelle 14 Maße der MRT-Distanzen für das Ausschlusskriterium A im Vergleich zwischen Männern und Frauen 50

Abkürzungsverzeichnis

MRT	MAGNETRESONANZTOMOGRAFIE
CT	COMPUTERTOMOGRAFIE
DVT	DIGITALE VOLUMENTOMOGRAFIE
BZW.	BEZIEHUNGSWEISE
KI	KONFIDENZINTERVALL
TP	TEILPROJEKT
INKL.	INKLUSIVE
ENGL.	ENGLISCH

1 Einleitung

1.1 Einführung

Von Geburt an durchlebt der Mensch eine Reihe von Entwicklungen des Geistes und des Körpers. Jeder Einzelne ist in der Lage, an sich selbst oder an einer anderen Person während der gesamten Lebenszeit fortwährende Veränderungen des äußeren Erscheinungsbildes zu beobachten. Das Studium von Form und Größe verschiedener körperlicher Komponenten stand bereits in der frühesten Antike im Interesse des Menschen, was unter anderem auch durch die Kunst der frühen Bevölkerung zum Ausdruck gebracht wurde. Im Rahmen der zahnärztlichen Tätigkeit spielt besonders die Morphologie der Maxilla, der Mandibula sowie des Schädels eine entscheidende Rolle. Das Wissen um deren anatomische Zusammenhänge ermöglicht es, die Notwendigkeit einer Behandlung einzustufen, den richtigen Zeitpunkt des Behandlungsbeginns sowie die Dauer der Behandlung zu bestimmen und mögliche Erfolge bereits vor Behandlungsbeginn abzuschätzen.

In früheren Studien konnten bereits Zusammenhänge zwischen der Zahnbogenausdehnung und verschiedenen Aspekten der Gesichtsmorphologie hergestellt werden. Dazu wurden Messungen an getrockneten Schädeln oder Dentalmodellen durchgeführt, verschiedene röntgenologische Verfahren (Computertomografie, laterale und frontale Röntgenaufnahmen des Schädels) angewandt oder digitale Aufnahmen genutzt.

In dieser Studie wird nun der Zusammenhang zwischen der Ober- und Unterkieferzahnbogenausdehnung in transversaler und longitudinaler Dimension und der fazialen Gesichtsmorphologie untersucht. Weiterhin wird in der vorliegenden Arbeit diskutiert, ob zwischen Männern und Frauen Unterschiede in der Morphologie des Kiefers und des Schädels bestehen.

1.1.1 Gesichtstyp

Abhängig vom Verhältnis von der Länge und Breite des Gesichtes wird zwischen einem dolichofazialen (vertikalen) und einem brachyfazialen (horizontalen) Gesichtsschädelaufbau unterschieden. Der dolichofaziale Gesichtsschädelaufbau zeigt im Profil ein langes unteres Gesichtsdrittel („long face syndrome“[1]) und einen stumpfen Kieferwinkel. Die transversalen Dimensionen des Gesichtes sind dabei schmaler ausgeprägt. Der brachyfaziale Gesichtsschädelaufbau zeichnet sich im Profil durch ein kurzes unteres Gesichtsdrittel („short face syndrome“ [2]) aus. Der Unterkiefer ist kräftig ausgebildet.[3,4]

Aus transversaler Sicht erscheint das Gesicht somit sehr breit. Probanden, welche mit einem dolichofazialen Gesicht ausgestattet sind, weisen für gewöhnlich einen schmaleren Ober- und Unterkiefer auf als Probanden mit brachyfazialen Gesichtsschädelmerkmalen.[3–6] Zwischen den beiden Extremtypen findet sich der mesofaziale Typ mit ausgewogenen Verhältnissen zwischen Gesichtshöhe und -breite.

1.1.2 Wachstumsprozesse des Gesichtes und der beiden Kiefer

Am Schädel treffen zwei verschiedene Arten des Knochenwachstums aufeinander. Während die Schädelbasis durch enchondrale Ossifikation und somit zuerst aus Knorpelgewebe entsteht, entwickeln sich die Knochen des Gesichtsschädels und des Schädeldaches direkt aus dem desmalen Mesenchym (desmale Ossifikation).

Das Knochenwachstum verläuft an der Oberfläche der Knochen oder an den Nahtstellen. Dabei erfolgen am Periost oder Endost des Knochens unterschiedliche An- und Abbauprozesse von Knochensubstanz. Nach Delaire[7] ist das periostale Wachstum von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu zählen vor allem Gewebe und viszerale Strukturen, die am Schädelknochen ansetzen und ihn umgeben. Weitere Faktoren sind das Wachstum der Nasennebenhöhlen, das Wachstum sowie der Saugvorgang der Zunge, der Zahndurchbruch und die Aktivität der Kaumuskulatur.

Die Expansion des Schädels folgt der zeitgleich nebeneinander verlaufenden, aber immer aufeinander abgestimmten Folge von Appositions- und Resorptionsvorgängen sowie der Verlagerung knöcherner Anteile in allen drei Raumebenen.

1.1.2.1 Wachstum des Gesichtsschädels und des Oberkiefers

Das Wachstum des Gesichtsschädels vollzieht sich durch Wachstumsprozesse an den Suturen, bindegewebige Verbindungen zwischen zwei Knochenplatten, die den Oberkieferknochen umgeben und sich zwischen Schädelbasis und Gesichtsschädel befinden, aber auch durch Synchondrosen, welche unter anderem die Voraussetzung für das suturale Knochenwachstum liefern. Synchondrosen beschreiben knorpelige Verbindungen zwischen zwei Knochenplatten. Sie behalten ihr Wachstumspotenzial trotz der Einwirkung von Druckkräften bei (druckadaptives Wachstum). Im Gegensatz dazu werden Suturen bei Druckeinwirkung in ihrem Wachstum gehemmt (zugadaptives Wachstum). Finden Wachstumsprozesse an den Synchondrosen statt, werden die Knochen auseinander bewegt und üben somit Zug auf die Suturen aus, welche wiederum zum

Wachstum angeregt werden.[8] Abhängig vom Verlauf der Sutur folgen Wachstumsprozesse nach lateral, vertikal und anterioposterior (siehe Abbildung 1).

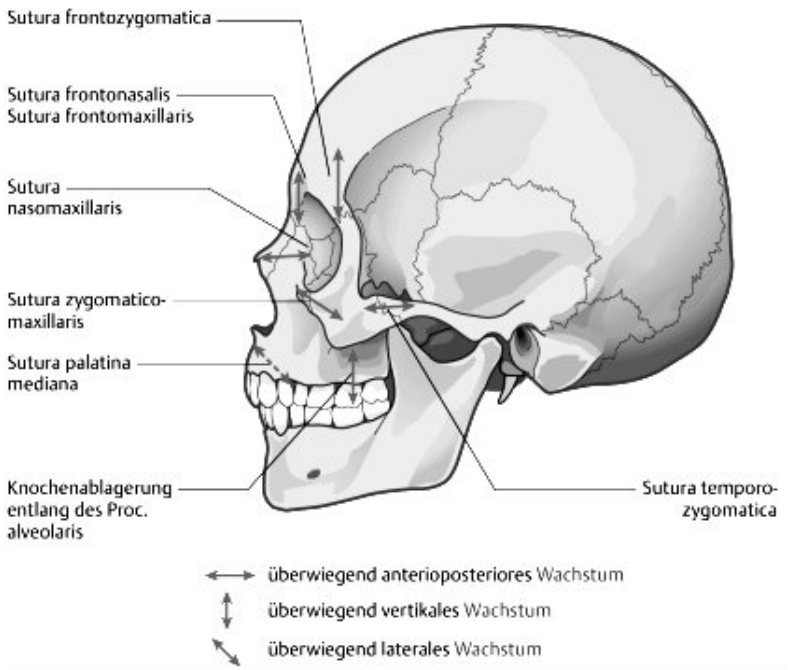


Abbildung 1 Richtungen des suturalen Knochenwachstums am Gesichtsschädel[9]

Eine weitere wachstumsaktive Zone des Oberkiefers bildet der Tuber maxillae. Seine posteriore Verlängerung bietet den nötigen Platz für die durchbrechenden Molaren. Appositions- und Resorptionsvorgänge an der äußeren und inneren Tuberfläche verlagern den Oberflächenkomplex nach anterior kaudal. Gleichzeitig vergrößern sich die Sinus maxillares. Eine weitere Ventralverlagerung folgt dem Wachstum der vorderen Schädelgrube der Schädelbasis. Diese grenzt mit ihren Suturen direkt an den orbito-naso-maxillären Komplex, welcher den Oberkiefer bildet und hat somit eine wichtige Leitfunktion für dessen Wachstum. Der Unterkiefer wird dagegen mehr durch die Nähe zur mittleren Schädelgrube beeinflusst.[10]

Die Maxilla hat eine besondere Rolle für die Ausprägung von Form und Gestalt des Gesichtes. Dieser Knochen gliedert sich in den Corpus maxillae, der den rechten und linken Sinus maxillaris umschließt sowie in die Knochenfortsätze Processus zygomaticus, Processus frontalis, Processus alveolaris und Processus palatinus. Die beiden letzten bilden zusammen mit dem Os palatinum den knöchernen Gaumen. Verschiedene Untersucher beschäftigten sich bereits mit dem postnatalen Wachstum des Gaumens in

allen drei Richtungen sowie mit dem Verschluss der Gaumennähte, auf welche im Folgenden eingegangen wird.

1.1.2.2 Wachstum des Gaumens

Das Wachstum des Gaumens in vertikaler Richtung resultiert durch Knochenresorptionsprozesse an der nasalen Seite des harten Gaumens und appositionelles Knochenwachstum an der oralen Seite, was mit einer Absenkung der Maxilla einhergeht.[11–14] Dieser Vorgang vollzieht sich bis zu einem Lebensalter von 13-14 Jahren.[14] Die Appositionsvorgänge sind an den Alveolarfortsätzen ausgeprägter als am Gaumendacht, wodurch sich ein Gaumengewölbe bildet.

Das Längenwachstum des Gaumens setzt sich aus suturalen Wachstumsprozessen an der transversalen Gaumennaht und aus Knochenappositionsprozessen am posterioren Gaumenrand zusammen.[11–14] Es konnten dort Knochenappositionen in verschiedenen Studien bis ins Erwachsenenalter beobachtet werden,[15,16] wohingegen die sagittale Größenzunahme an der transversalen Gaumennaht meist nur bis ins Lebensalter von 13-15 Jahren anhielt.[14]

Die transversale Zunahme des Gaumens ist gekennzeichnet durch orale Knochenresorption, vestibuläre periostale Knochenformation und suturales Wachstum an der sagittalen Gaumennaht. Eine vollständige Verknöcherung dieser Sutur tritt bei Männern mit dem 17. Lebensjahr ein.[12] Bei Frauen findet dieser Vorgang in der Regel zwei Jahre früher statt. Ab diesem Zeitpunkt können nur noch inaktive Osteoblasten nachgewiesen werden.[14]

1.1.2.3 Wachstum des Unterkiefers

Die Größenzunahme des Unterkiefers vollzieht sich an den von Periost umkleideten Knochenflächen durch desmale Ossifikation, am sekundären Knorpel des Caput mandibulae durch enchondrale Ossifikation und im Desmodont an den Alveolarforsätzen. Postnatale Suturen sind dahingegen nicht vorhanden. Es finden Wachstumsvorgänge in alle drei Raumrichtungen statt.

Der Unterkiefer ist im Gesamten von Periost umgeben, sodass das periostale Wachstum an allen Oberflächen stattfinden kann. Jedoch ist das periostale Wachstum an den verschiedenen Bereichen des Unterkiefers unterschiedlich stark ausgeprägt. Am posterioren Rand des Ramus mandibulae laufen Appositionsprozesse ab. Dies führt zu einer Verschiebung des Unterkiefers nach anterior (engl. displacement). Im Kinnbereich fin-

det jedoch kaum Knochenwachstum statt. Weiterhin zeigen sich Appositionsprozesse posterior des Processus condylaris und Processus coronoideus, während anterior davon Resorption auftritt. Es zeigt sich eine Remodellierung des Ramus mandibulae nach posterior, während sich der Corpus mandibulae insgesamt verlängert und verbreitert (siehe Abbildung 2). Gleichzeitig verlängert sich die apikale Basis und bietet somit ausreichend Platz für den Durchbruch der permanenten Molaren. Überdies erfolgt das sagittale Wachstum der Mandibula durch Wachstumprozesse am Caput mandibulae, welche Änderungen des hinteren Mandibulaanteils bedingen.[17]

Das vertikale Wachstum des Corpus mandibulae erfolgt hauptsächlich durch die Entwicklung des Alveolarkammknochens während der Zahnbildung. [17] Transversal breitet sich der Unterkieferknochen durch Appositions- und Resorptionsvorgänge v-förmig aus.

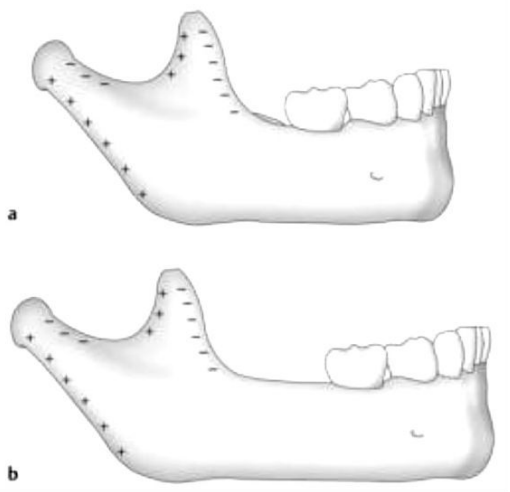


Abbildung 2 Verlängerung der apikalen Unterkieferbasis in der Sagittalen durch Apposition (+) und Resorption (-)[17]

1.1.2.4 Entwicklung der Zahnbögen

Mit dem Wachstum der Maxilla und der Mandibula geht zeitgleich die Änderung der Zahnbögen in allen drei Dimensionen einher. Es ist wichtig, zwischen einer induzierten und einer natürlichen Änderung zu unterscheiden. Moorrees et al.[18] zeigten mit ihrer Studie eine beachtliche Variation der Zahnbogenformen durch das natürliche Wachstum, mit der allgemeinen Tendenz zur Zunahme der intermolaren Breiten während des Zahnwechsels. Auch Knott[19] beobachtete in ihrer Longitudinalstudie individuelle Varia-

tionen der Zahnbogenbreite, die sich vor allem zu Beginn des Zahnwechsels abspielten. Ein individuales Wachstumspotenzial kann daher schwer bestimmt werden.

1.1.2.5 Einflussfaktoren auf das Wachstum

Das Wachstum kraniofazialer und dentaler Strukturen unterliegt genetischen Faktoren und wird zusätzlich durch äußere Bedingungen beeinflusst.[21-23] Während die maxillofazialen Strukturen vorwiegend genetisch determiniert sind, werden die dentoalveolären Parameter vermehrt durch äußere Einflüsse kontrolliert.[23,24] Weiterhin spielen die genetischen Faktoren bei den vertikalen Dimensionen eine größere Rolle als bei den sagittalen.[26-28]

Auch im Bereich der Zahnbögen konnte der Einfluss genetischer Faktoren und äußerer Einflüsse beobachtet werden. Eguchi et al.[28] weisen darauf hin, dass vor allem die Ausprägung der Oberkieferbreite von genetischen Faktoren bestimmt wird. Überdies wird das Wachstum des knöchernen Gewebes durch eine Antwortreaktion auf Druck- und Zugwirkungen des umliegenden Weichgewebes, einschließlich der Muskulatur beeinflusst.[29] Die Biomechanik der Kaumuskulatur prägt das kraniofaziale System sowie die Form der Zahnbögen.[30]

1.1.3 Sexualdimorphismus des Gesichtsschädels

Trotz vielfältiger Variationen der humanen Gesichtsmorphologie kann eine bemerkenswerte geschlechterbezogene Übereinstimmung von Merkmalen festgestellt werden.[31] Dieser Sexualdimorphismus spielt bereits seit der Evolution und auch noch heute eine wichtige Rolle bei der Auswahl der Geschlechtspartner. Weiterhin gehen Theorien, die sich mit der Attraktivität von Männern und Frauen befassen, auf diese geschlechtsspezifischen Merkmale zurück.[32]

Laut einer Studie von Glowacki und Christoph[31] sind die Stirn, die Wangen, die Nase und das Kinn bei Frauen schmaler ausgeprägt als bei Männern. Der Torus supraorbitalis ist im femininen Gesicht höher angelegt (siehe Abbildung 3). Die Untersuchungen wurden an einer Reihe von Zahnmedizinstudenten durchgeführt.

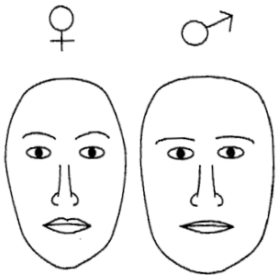


Abbildung 3 Sexualdimorphismus des Gesichtes [31]

Etliche Studien haben sich bereits mit der Untersuchung der unterschiedlichen skelettalen gesichtsmorphologischen Dimensionen von Männern und Frauen auseinandergesetzt und diese bestätigt.[34-37] Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Ausprägung der Zahnbögen des Ober- und Unterkiefers wurden belegt.[37,38] Für gewöhnlich sind die Zahnbögen der Mandibula und Maxilla bei Männern breiter als bei Frauen.[20,40-42]

Moyers et al.[37] ermittelten die durchschnittliche Änderung der Zahnbogenbreite bei Mädchen und Jungen während des Heranwachsens. Das Breitenwachstum war bei den Jungen durchweg stärker ausgeprägt als bei den Mädchen. Der Hauptwachstumsschub fand allgemein im Alter zwischen dem 7. und 12. Lebensjahr statt. Der Oberkiefer expandierte durchschnittlich um 3 mm und der Unterkiefer um 2 mm bei beiden Geschlechtern. Ab dem 12. Lebensjahr konnte eine weitere Zunahme der Zahnbogenbreite nur noch bei den männlichen Probanden beobachtet werden.

1.1.4 Gesichtsmorphologie, Zahnbogen- und Kieferdimensionen

Viele Untersucher beschäftigten sich bereits mit der Klärung der Frage nach einem Zusammenhang zwischen den Zahnbogen- und Kieferdimensionen und der Morphologie des Gesichtes. Besonderes Augenmerk wurde bisher auf den intermolaren Abstand, die Gesichtsbreite (Zy-Zy) und die maximale kraniale Breite (Eu-Eu) gelegt (siehe 3.3.3 Distanzen auf den Ganzkörper-MRT-Aufnahmen). Dabei kam es allerdings zu unterschiedlichen, teils sogar widersprüchlichen Ergebnissen.

Todd[42] beschrieb, dass das maximale Breitenwachstum des Kiefers mit dem 10. Lebensjahr erreicht wird, während die Gesichtsbreite (Zy-Zy) weiter zunimmt. Er konnte demzufolge keinen engen Zusammenhang zwischen dem Wachstum der Kieferbreite und der Gesichtsbreite feststellen.

Demgegenüber stehen die Ergebnisse einer Studie Izards[43]. Hier wurde ein Index (maximale Oberkieferbreitex100/Gesichtsbreite) in verschiedenen Altersklassen verglichen. In den Ergebnissen schwankte der Index stets um den Wert 50. Da der Quotient immer etwa gleich blieb, ging Izard von einem engen Zusammenhang zwischen dem Kiefer- und Gesichtswachstum aus.

Auch Berger et al.[44] bestätigten mit ihren Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen der Kieferausdehnung und der Gesichtsmorphologie. Sie gingen in ihrer Studie der Frage nach, ob und wie sich eine Änderung der transversalen Kieferbreite auf die Gesichtsmorphologie auswirkt und führten bei 44 Probanden eine einjährige kieferorthopädische oder kieferchirurgische transversale Erweiterung des Oberkiefers durch. Die Auswertung zeigte eine signifikante Zunahme der Nasenbreite und der Gesichtsbreite (Zy-Zy) auf skelettaler Ebene.

1.2 Magnetresonanztomografie

Aus dem Alltag eines jeden Mediziners und Zahnmediziners sind röntgenstrahlenbasierte diagnostische Methoden nicht mehr wegzudenken. Zu den meistverwendeten Untersuchungsmethoden in der Zahnmedizin zählen der Zahnfilm und die Panoramaschichtaufnahme. Röntgenstrahlung ist eine Form der ionisierenden Strahlungen und kann bei zu hoch dosierter oder zu häufiger Anwendung mit dem erhöhten Risiko einer malignen Entartung einhergehen. Mithilfe spezifischer Untersuchungsprogramme (Computertomografie, digitale Volumentomografie) kann die Strahlendosis allerdings reduziert und somit die Strahlenbelastung gesenkt werden. Die Veröffentlichung der Theorie der Magnetresonanztomografie (MRT) als bildgebende Methode von Prof. Dr. Paul C. Lauterbur mit Beiträgen von Prof. Dr. Sir P. Mansfield im Jahr 1973 brachte ein neues Verfahren hervor, welches die Darstellung von nicht knöchernen Gewebestrukturen gewebespezifisch und ortsbezogen ohne den Einsatz ionisierender Strahlung erlaubt.[45] Auch in der Zahnmedizin gewinnt die MRT immer mehr an Bedeutung. Zu ihren Einsatzbereichen zählen vor allem die diagnostische und therapeutische Beurteilung der Kiefergelenke, Untersuchungen des orofazialen Weichgewebes sowie die Analyse der kraniofazialen Strukturen.[48-54]

Die MRT ermöglicht die Anfertigung von Schnittbildern in allen drei Raumebenen. Das Grundprinzip beruht dabei auf den Einsatz eines starken Magnetfeldes und das zusätzliche Einschalten von Hochfrequenzimpulsen (Radiowellen). Für die Messungen werden

die in den menschlichen Geweben vorhandenen Wasserstoffprotonen genutzt. Diese Protonen besitzen einen Eigendrehimpuls, den Kern-Spin, welcher sie um ihre eigene Achse bewegen lässt. Diese Eigenrotation der Protonen verursacht ein magnetisches Moment. Im Normalzustand liegen diese Wasserstoffprotonen ungerichtet in unserem Gewebe vor. Durch den Einsatz eines externen Magnetfeldes reagieren die Wasserstoffprotonen in unserem Körper und richten sich entlang der Feldlinie des Magnetfeldes parallel (energiearm) oder antiparallel (energiereich) aus, wobei die Anzahl der parallel ausgerichteten Wasserstoffprotonen aufgrund der energetisch günstigeren Situation überwiegt. Die Protonen besitzen weiterhin ihren Kern-Spin, bewegen sich nun aber zusätzlich mit einer bestimmten Frequenz (Larmorfrequenz) um die Achse des Hauptmagnetfeldes (Präzessionsbewegung). Somit baut sich eine Längsmagnetisierung auf. Nun wird zusätzlich ein Hochfrequenzimpuls, dessen Frequenz der Larmorfrequenz entspricht, senkrecht zum Hauptmagnetfeld eingestrahlt. Dadurch kippt das magnetische Moment der Wasserstoffprotonen, sodass diese ihre Ausrichtung ändern und in einen angeregten/ energiereicheren und somit antiparallelen Zustand übergehen. Nun baut sich eine Quermagnetisierung auf. Nach Abschalten des Hochfrequenzimpulses kippt das magnetische Moment der Protonen wieder in den parallelen Grundzustand zurück. Dieses Kippen des magnetischen Moments erzeugt eine Magnetfeldänderung und induziert somit eine Spannung, welche vom MRT-Gerät gemessen werden kann. Die Zeit, die das Wasserstoffproton benötigt, um von seinem angeregten Zustand in den Grundzustand zu fallen, wird als Relaxationszeit bezeichnet. Es werden die T1-Relaxation (Zunahme der Längsmagnetisierung nach Abschalten des Hochfrequenzimpulses) und die T2-Relaxation (Abbau der Quermagnetisierung nach Abschalten des Hochfrequenzimpulses) voneinander unterschieden.[53,54]

Alle Gewebearten in unserem Körper enthalten unterschiedliche Mengen von Wasserstoffprotonen. Unterschiedliche Relaxationszeiten ermöglichen uns eine genaue Differenzierung der einzelnen Gewebearten. Wir unterscheiden die anatomische Darstellung der Aufnahmen in einer Wichtung nach T1 oder T2. So werden in T1-gewichteten Bildern Gewebe mit einer kurzen T1-Relaxationszeit (zum Beispiel Fett) hell und im Gegensatz dazu Gewebe mit einer langen T1-Relaxationszeit (zum Beispiel Wasser) dunkel dargestellt. Dahingegen werden in T2-gewichteten Bildern Gewebe mit einer langen T2-Relaxationszeit (zum Beispiel Wasser) hell dargestellt.[53]

2 Zielstellung und Hypothesen

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage nach einem möglichen Zusammenhang zwischen der Ausdehnung der Ober- und Unterkieferzahnbögen in transversaler und longitudinaler Dimension und der fazialen Gesichtsmorphologie. Weiterhin setzt sie sich mit geschlechterspezifischen Unterschieden der Kiefer- und Schädelmorphologie auseinander. Folgende Hypothesen werden untersucht:

Hypothese 1

Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Zahnbogenbreite im Oberkiefer (B1-B6) und der Jochbogenbreite (Zy-Zy) sowie der kranialen Breite (Eu-Eu).

Hypothese 2

Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Zahnbogenbreite im Unterkiefer (B1-B5) und dem Interkondylarabstand (Cd-Cd).

Hypothese 3

Die Größe des Overjets wird durch die Zunahme der Zahnbogenbreite im Oberkiefer und/ oder eine Abnahme der Zahnbogenbreite im Unterkiefer beeinflusst.

Hypothese 4

Die Ausprägung der Gesichtshöhe steht in einer positiven Relation zum Overbite.

Hypothese 5

Bei Männern sind die Dimensionen der fazialen Morphologie sowie der Ausdehnung der Zahnbögen stärker ausgeprägt als bei Frauen.

3 Material und Methoden

3.1 Probandengut

3.1.1 Study of Health in Pomerania (SHIP)

Die Study of Health in Pomerania (SHIP) ist eine regionale populationsbasierte Kohortenstudie, die sich mit dem Gesundheitszustand der Bevölkerung in der Region Vorpommern - der nordöstlichsten Region Deutschlands, südlich der Ostsee und westlich der polnischen Grenze - auseinandersetzt (siehe Abbildung 4). Ziel dieser Longitudinalstudie ist es, die Prävalenz und Inzidenz von verschiedenen Erkrankungen und Risikofaktoren zu ermitteln und deren Zusammenhänge zu erkennen.[55,56]

Die Basisstudie (SHIP-0) erstreckte sich im Zeitraum zwischen 1997 und 2001. Eine Auswahl der Probanden erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurden Männer und Frauen im Alter von 20 bis 79 Jahren aus den Städten Greifswald, Anklam, Stralsund und aus 29 weiteren Gemeinden der umliegenden Region ausgewählt. Im zweiten Schritt erfolgte die weitere Selektierung anhand von Einwohnermeldedaten. Die Probanden wurden nach Alter und Geschlecht und proportional zur Größe und Zusammensetzung der jeweiligen Population randomisiert bestimmt. Von den 7006 geladenen Personen der Region Vorpommern nahmen schließlich 4308 Probanden an der Studie teil. [55,57]

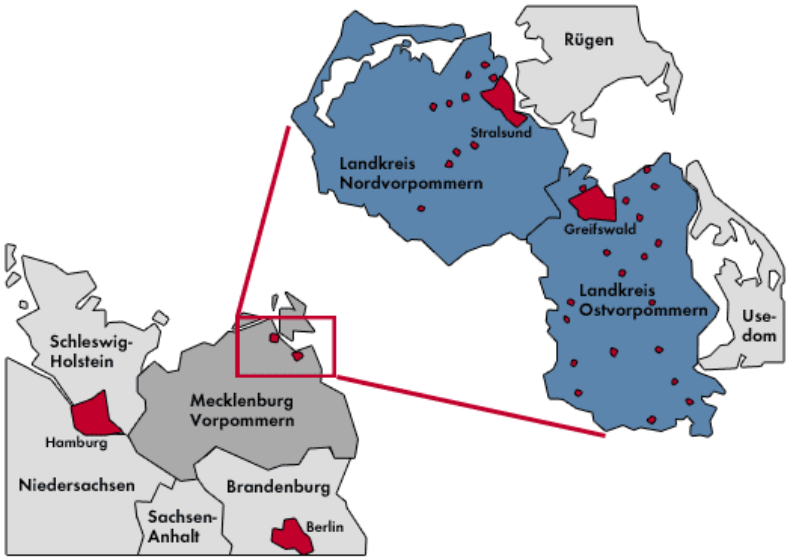


Abbildung 4 Region Vorpommern[58]

Die Datenerfassung der 4308 Teilnehmer im Rahmen der Basisuntersuchung SHIP-0 erfolgte anhand einer Reihe medizinischer und zahnmedizinischer Untersuchungen,

einem gesundheitsbezogenen Interview und Fragebögen. Im zahnmedizinischen Teil wurden ausführliche zahnärztliche Befunde zum konservierenden und prothetischen Status, zum Parodontium, zur Mundschleimhaut sowie zu den kraniomandibulären Dysfunktionen der Patienten klinisch erhoben und dokumentiert. Trainierte und kalibrierte Zahnärzte führten diese Untersuchungen durch. Die Parameter zur Ermittlung der oralen Mundgesundheit sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1 Parameter zur Ermittlung der oralen Mundgesundheit in SHIP [57]

Parameter zur Messung der oralen Gesundheit	***Indizes***
Karies	
– Kronenkaries	DMFT: Decayed, Missed, Filled Teeth (dt. kariöse, fehlende, gefüllte Zähne)
	DMFS: Decayed, Missed, Filled Surfaces (dt. kariöse, fehlende, gefüllte Flächen)
– Wurzelkaries	RCI: Root Caries Index (dt. Wurzelkariesindex)
Parodontium	PI: Plaque Index; PBI: Papillenblutungsindex, Sulcusblutungsindex; Taschentiefe; Attachmentverlust; Gingivarezession; Furkationsbeteiligung; CPI: Communitiy Periodontal Index
Orale Mukosa	Kontrolle auf pathologische Mundschleimhautveränderungen
Funktion des kraniomandibulären Systems	Tooth Wear Index; Kontrolle der dynamischen Okklusion; Parameter der Craniomandibulären Dysfunktion
Kieferorthopädie	Anhand individueller Symptome aufgenommen
Zahnersatz	Fester und herausnehmbarer Zahnersatz, Gestaltung und Material

Im Zeitraum von 2002 bis 2006 fand die erste Nachuntersuchung, das 5-Jahres-Follow-Up (SHIP-1), statt. Alle 4308 Probanden wurden erneut geladen. Davon nahmen letztendlich 3300 Probanden teil. Die Untersuchungen aus SHIP-0 wurden wiederholt und durch weitere Verfahren (Tele-EKG, Körperplethysmographie, Spiroergometrie, Messungen endothelialer Dysfunktionen und dermatologische Untersuchungen) ergänzt.[59]

Von 2008 bis 2012 erfolgte die Datenerhebung für das 11-Jahres-Follow-Up (SHIP-2). Es wurden dazu wieder alle Probanden aus SHIP-0 eingeladen, von denen 2333 teil-

nahmen. Ergänzend zu den bisherigen Untersuchungen kamen Ganzkörpermagnetresonanztomografieaufnahmen hinzu.

3.1.2 Assoziiertes zahnmedizinisches Projekt (ASSPro)

Im Zeitraum von 1999-2001 erfolgte die Durchführung mehrerer assoziierter Projekte im medizinischen und zahnmedizinischen Bereich. Ausgewählte Probanden der Basisstudie SHIP-0 wurden unter konkreten Fragestellungen weiter untersucht. Hierfür wurden insgesamt 1525 Personen geladen. Davon nahmen schließlich 666 an dem assoziierten zahnmedizinischen Projekt teil. Das Projekt gliederte sich in vier Teilprojekte.

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

Das Ziel aller Teilprojekte bestand in der Erforschung kausystembezogener morphologischer, funktioneller und iatrogen entstandener Risikofaktoren und deren Auswirkungen auf den Gesundheits- und Funktionszustand des orofazialen Systems einschließlich des Parodontiums.

Im Rahmen dieser ASSPro wurden Dentalmodelle aus Superhartgips hergestellt und archiviert. Die Bissregistrate ermöglichten eine Zuordnung der Ober- und Unterkiefermodelle zueinander.[60]

Tabelle 2 Anzahl der geladenen und teilnehmenden Personen an ASSPro

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

3.1.3 Probandengut der vorliegenden Dissertation

Das Probandengut bestand aus Teilnehmern von SHIP-0 und SHIP-2. Von den ursprünglichen 4308 Teilnehmern erklärten sich insgesamt 666 für die Durchführung des assoziierten zahnmedizinischen Projektes bereit. Von den Dentalmodellen sollten sich noch 608 Dentalmodelle im Archiv vorfinden lassen. Zwölf Modellpaare gingen bereits über den Zeitraum verloren und konnten nicht vermessen werden, sodass sich der Bestand der archivierten Modellpaare auf 596 reduzierte. Im Rahmen von SHIP-2 wurden 1115 MRT-Aufnahmen des Körpers angefertigt. Artefakte oder undeutliche Aufnahmen der für diese Studie interessanten Areale reduzierten den Bestand letztendlich auf 719 Aufnahmen. Nun erfolgte die Überprüfung auf das Vorhandensein eines Modellpaares und einer Ganzkörper-MRT-Aufnahme für jede Probandennummer. Infolgedessen reduzierte sich das Probandengut auf insgesamt 161 Teilnehmer. Die Ethikkommission der Universität Greifswald stimmte dem Studienprotokoll, welches die MRT-Untersuchungen und die zahnärztlichen Untersuchungen enthielt, zu. Von allen Teilnehmern liegt zudem eine schriftliche Einverständniserklärung vor.

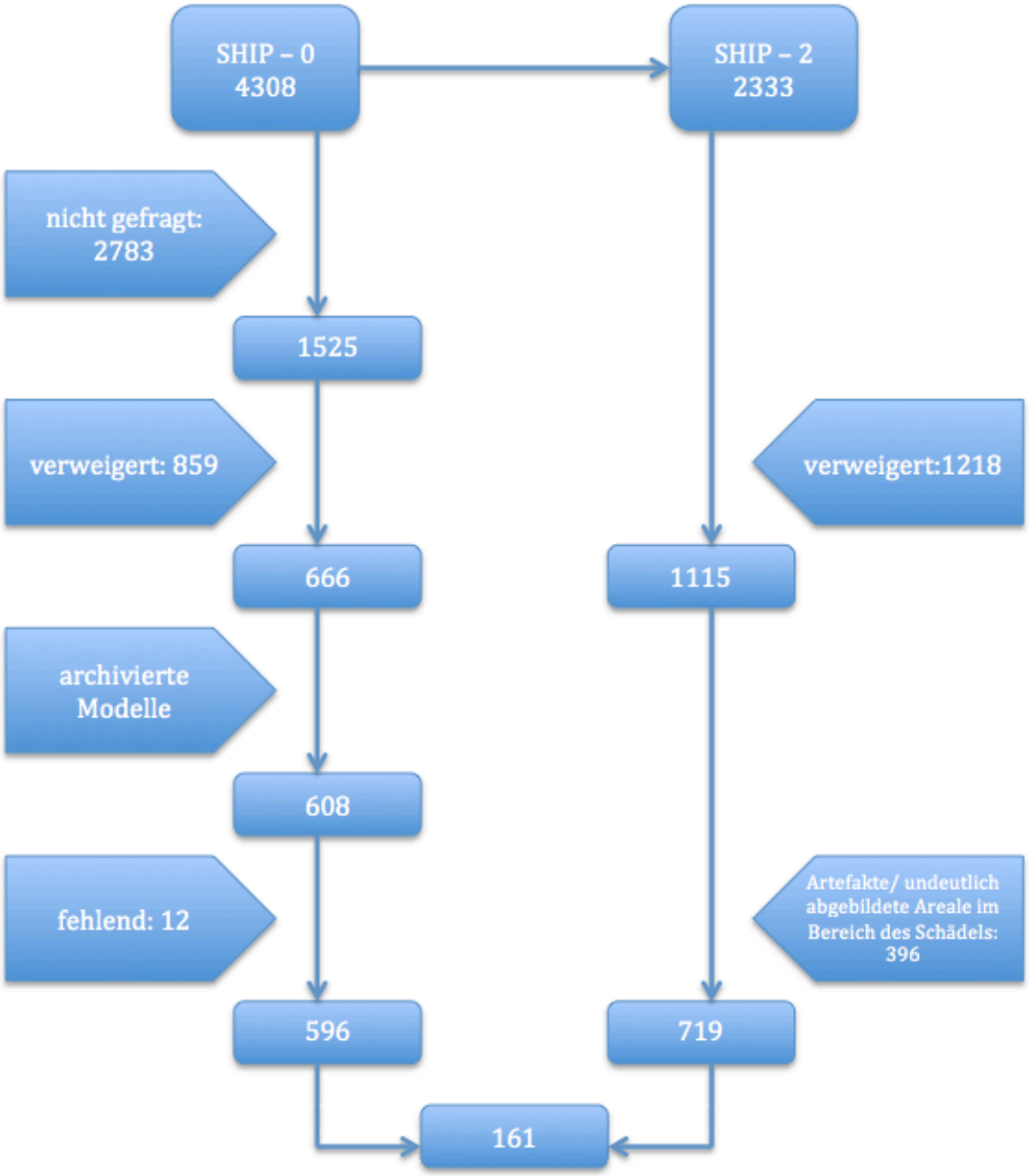


Abbildung 5 Darstellung des Probandenauswahlprozesses

3.2 Untersuchungen an den Modellen

3.2.1 ASSPro-Dentalmodelle

Im ersten Schritt wurden direkte manuelle Messungen an den ASSPro-Dentalmodellen durchgeführt. Diese erfolgten mit einer elektronischen Messschieblehre der Firma Mitutoyo (0,01 mm Graduierung) laut der im Untersuchungshandbuch festgelegten Definitionen. Es konnte der maxilloalveoläre Abstand ermittelt werden (siehe 3.2.4 Modellvermessung).

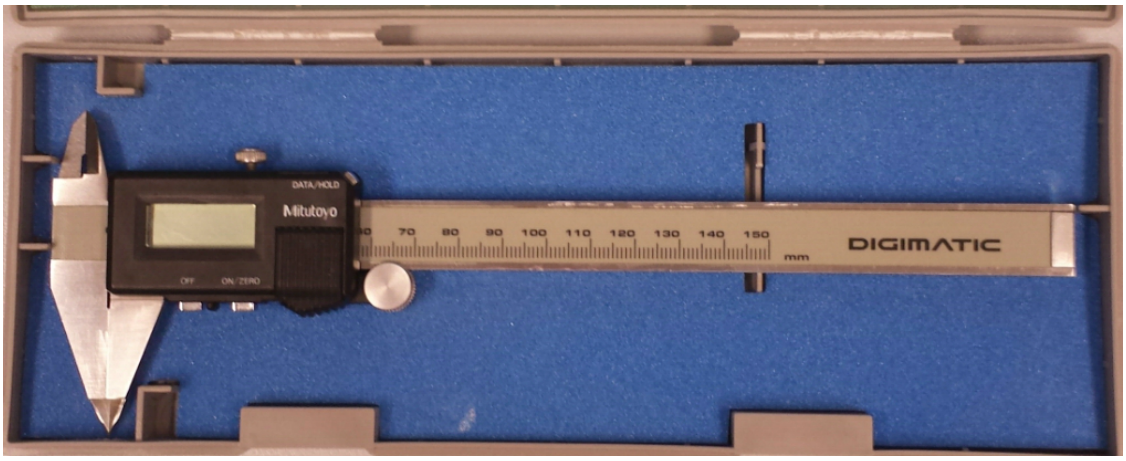


Abbildung 6 Messschieblehre der Firma Mitutoyo

Anschließend wurden alle 161 Modellpaare fotografiert und weitere Parameter für die Ermittlung der Kieferbreite und Kieferlänge von Ober- und Unterkiefer unter Verwendung des Bildbearbeitungsprogrammes ImageJ bestimmt.

3.2.2 Modelldigitalisierung

Ziel war eine standardisierte Ausrichtung der ASSPro-Dentalmodelle. Hierfür wurden alle Modelle nacheinander auf einer beweglichen Platte befestigt. Diese Platte erlaubte Kippbewegungen seitwärts nach rechts und links, des Weiteren Kippbewegungen vorwärts und rückwärts. Sie ließ jedoch keine Höhenveränderungen zu.

Nun wurde eine Schablone genutzt, welche aus zwei kreuzartig zueinander stehenden Wasserwaagen bestand. Ein Wasserwaagenarm diente der longitudinalen, der andere der transversalen Ausrichtung der Modelle. Unter Verwendung dieser Schablone konnten alle Modelle, von okklusaler Betrachtung, standardisiert ausgerichtet werden. Die Arme des Wasserwaagenkreuzes wurden auf allen Modellen gleich positioniert. Der nach longitudinal ausgerichtete Arm wurde auf der Inzisalkante platziert. Die nach transversal ausgerichteten Arme des Wasserwaagenkreuzes befanden sich auf den palatinalen Höckern der 2. Molaren im Oberkiefer bzw. auf den vestibulären Höckern der 2. Molaren im Unterkiefer. Dadurch konnte eine Ebene geschaffen werden, welche sich aus dem Inzisalpunkt und den palatinalen Höckern der 2. Molaren im Oberkiefer bzw. den vestibulären Höckern der 2. Molaren im Unterkiefer zusammensetzte und sich parallel zur Tischebene erstreckte.

Im Anschluss an die Ausrichtung folgte die Digitalisierung der Modelle mit einer Canon EOS 350D mit Ringblitz mit einem 60 mm-Makro-Objektiv. Das Stativ war justierbar, blieb aber während der Aufnahmen konstant.

Nun konnten die ASSPro-Dentalmodellpaare nacheinander parallel zur Tischebene ausgerichtet werden. Neben den einzelnen Modellen wurde Millimeterpapier fixiert und fotografiert. Dieses fungierte in den nachfolgenden Schritten als Kalibrierleiste.

3.2.3 ImageJ

Die Messungen erfolgten mittels des in Java geschriebenen Bildbearbeitungs- und Bildverarbeitungsprogrammes ImageJ (National Institutes of Health, Wayne Rasband, public domain), einer kostenlosen Software, welche vielfach für medizinische und wissenschaftliche Bildanalysen genutzt wird. Für diese Studie wurde die Freeware Version 1.48i 2 December 2013 verwendet. Die Kalibrierung erfolgte anhand des Millimeterpapiers mit einer 1,0 mm Graduierung. Messungen der longitudinalen und transversalen Zahnbogenausdehnung von Ober- und Unterkiefer konnten hiermit durchgeführt werden.

3.2.4 Modellvermessung

3.2.4.1 Breitenbestimmung

Für die Vermessung der transversalen Ausdehnung der Zahnbögen dienten sechs Strecken (B1-B6). Zur Veranschaulichung der Strecken B1-B5 dienen die Abbildungen 7 und 8.

Zu Beginn wurde der Abstand zwischen den Kontaktpunkten der Canini und der ersten Prämolaren zur Gegenseite (B1), der Abstand zwischen den Kontaktpunkten der 1. und 2. Prämolaren (B3) sowie der Abstand zwischen den Kontaktpunkten der 1. Molaren und der 2. Molaren (B4) zur Gegenseite vermessen.

Im zweiten Schritt erfolgte die Vermessung des Abstandes zwischen den Mittelpunkten der 1. Prämolaren zur Gegenseite und der 2. Molaren zur Gegenseite. Die Ermittlung der Mittelpunkte an den Prämolarenkronen war für Oberkiefer und Unterkiefer identisch. Mithilfe des ImageJ-Programmes konnten zwei sich kreuzende Strecken auf der Okklusionsfläche der Prämolaren erzeugt werden. Die erste Strecke verlief vom vestibulärsten zum palatinalsten bzw. lingualsten Punkt des Zahnes, die zweite wurde aus den mesialsten und distalsten Punkten auf der Randleiste gebildet.[61] Durch die Verbin-

dung der sich gegenüberliegenden Mittelpunkte konnte der Abstand der 1. Prämolaren im Oberkiefer und Unterkiefer ermittelt werden (B2).

Für die Ermittlung der Mittelpunkte an den zweiten Molaren wurden im Oberkiefer und im Unterkiefer unterschiedliche Referenzpunkte genutzt (B5). Im Oberkiefer verlief eine Strecke vom am weitesten palatinal liegenden Punkt zu der vestibulären Höckerfissur. Diese Strecke kreuzte sich mit einer zweiten Stecke, welche von mesial nach distal verlief. Als Referenzpunkte im Unterkiefer galten der vestibulärste Punkt des 2. Molaren und die zwischen den lingualen Höckern verlaufende Fissur sowie die größte mesial-distale Ausdehnung des Zahnes. All diese Strecken wurden anhand der Fotoaufnahmen vermessen.

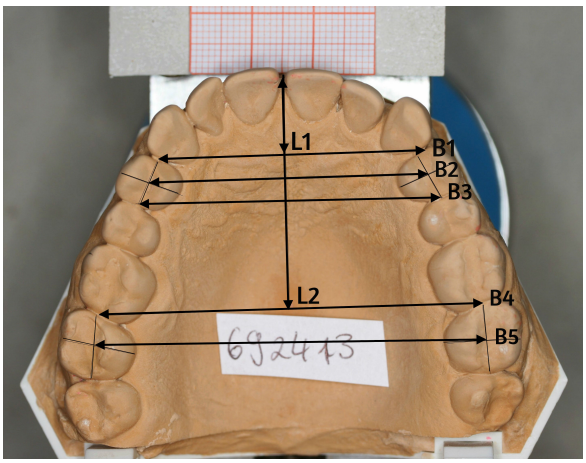


Abbildung 7 Breitenmessung (B1-B5) und Längenmessung (L1-L2) am Oberkiefer

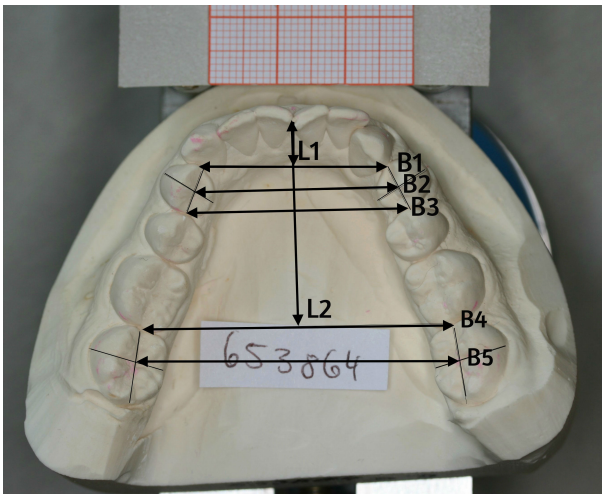


Abbildung 8 Breitenmessung (B1-B5) und Längenmessung (L1-L2) am Unterkiefer

Die maxilloalveoläre Breite (B6) stellte eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Zahnbogenbreite im Oberkiefer dar. Sie beschreibt den größten Abstand zwischen zwei kontralateral gelegenen Punkten (Ecm-ECTOMOLARE), welche im Oberkiefer die vestibulärste Ausdehnung der Zahnkrone an den 2. Molaren bilden.[62] Diese Messungen erfolgten mithilfe der Messschieblehre direkt an den ASSPro-Dentalmodellen (nicht in den Abbildungen 7 und 8 eingezeichnet).

3.2.4.2 Längenbestimmung

Pro Kiefer gab es zwei Strecken für die Auskunft über die longitudinale Ausdehnung der Zahnbögen. Es werden der vordere Abstand (L1) und der hintere Abstand (L2) voneinander unterschieden (siehe Abbildungen 7 und 8).

Für die Längenbestimmung wurde eine Strecke gewählt, welche vom Inzisalpunkt senkrecht zu B1 (zur Ermittlung von L1) bzw. zu B4 (zur Ermittlung von L2) verläuft (siehe Abbildungen 7 und 8)[60].

3.2.4.3 Overjet und Overbite

Die Messung des sagittalen (Overjet) und vertikalen (Overbite) Abstandes der Ober- und Unterkieferfrontzähne zueinander erfolgte direkt an den Dentalmodellen. Zuvor wurden die Ober- und Unterkiefermodelle mithilfe der Bissregistrate in eine habituelle Schlussbissposition zugeordnet. Als Referenzpunkte für die Ermittlung des Overjets dienten jeweils die Labialfläche des am weitesten vestibulär stehenden mittleren Frontzahns im Oberkiefer und die Labialfläche des antagonistischen Unterkieferfrontzahns. Die vertikale Beziehung der Schneidekanten von Ober- und Unterkieferfrontzahn beschreibt den Overbite. In die Messung ging jeweils der mittlere Frontzahn mit dem größten vertikalen Abstand zum Antagonisten, also der mit dem tiefsten Biss, ein. Zur Veranschaulichung dient die Abbildung 9.

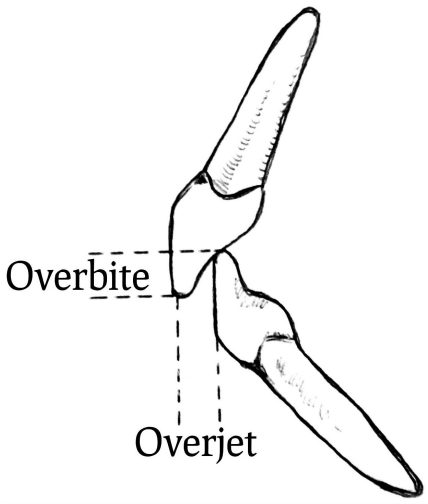


Abbildung 9 Darstellung von Overbite und Overjet (eigene Illustration)

3.2.5 Ausschlusskriterien

3.2.5.1 Ausschlusskriterium A:

Bei Vorhandensein eines herausnehmbaren Zahnersatzes wurde das entsprechende Modell vollständig von der Untersuchung ausgeschlossen. Ober- und Unterkiefermodelle wurden stets separat betrachtet.

3.2.5.2 Ausschlusskriterium B:

Die Auswahl der Modelle wurde noch stärker eingegrenzt. Ergänzend zum Ausschlusskriterium A wurden nun auch alle Distanzen ausgeschlossen, deren Referenzzähne durch Kronen, Teilkronen, Brücken oder Implantate versorgt waren. Das Fehlen des Referenzzahnes galt als weiteres Ausschlusskriterium.

Traf eines der Kriterien auf einen Referenzzahn zu, wurde nur die entsprechende Distanz ausgeschlossen, nicht aber das gesamte Modell. Tabelle 3 gibt die auszuschließende Distanz an abhängig vom Befund der Referenzzähne.

Tabelle 3 Ausgeschlossene Distanzen abhängig vom Befund der Referenzzähne

Referenzzahn je OK/ UK, auf den eines der Ausschlusskriterien zutrifft	*Ausgeschlossene Distanz je OK/ UK*
Eckzahn	B1, L1
erster Prämolar	B1, B2, B3, L1
zweiter Prämolar	B3
erster Molar	B4, L2
zweiter Molar	B4, B5, B6, L2,
mittlerer Frontzahn, seitlicher Frontzahn (mindestens zwei Zähne sind betroffen)	Overbite, Overjet

3.3 Röntgenologische Untersuchung

3.3.1 MRT-Aufnahmen

Für diese Studie wurden Daten der Ganzkörper-MRT-Aufnahmen aus dem Datenbestand von SHIP-2 genutzt. Für die Untersuchungen stand ein 1.5T-MRT Aufnahmegerät (Magnetom Avanto; Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) in dem Universitätsklinikum Greifswald zur Verfügung. Der Ablauf der Aufnahme war für jeden Probanden identisch. Die Probanden befanden sich während der Aufnahme in Rückenlage. Zum Empfangen des MR-Signals wurden 5 Phased-Array Oberflächenspulen (Matrixspulen) auf Kopf, Hals, Abdomen und auf den unteren Extremitäten positioniert. Alle Aufnahmen erfolgten auf standardisierte Weise von zwei trainierten Untersuchern. Es galten folgende Parameter für die Aufnahmen des Schädels: T1-Wichtung; ultra-fast Gradientenechosequenz (1.9/3.4 [Repititionszeit ms/Echozeit ms]; Auslenkwinkel 15; Gesichtsfeld/Bildausschnitt 256 mm, Voxelgröße 1.0x1.0x1.0 mm; Akquisitionsmatrix 176x256x176). Artefakte auf den MRT-Aufnahmen wurden in das Protokoll mit aufgenommen.

3.3.2 Referenzpunkte auf den Ganzkörper-MRT-Aufnahmen

Die Aufnahmen der MRT erfolgten im Uniklinikum Greifswald. Drei verschiedene Untersucher markierten auf den Schädelaufnahmen die zuvor festgelegten 7 Referenzpunkte.

Die Referenzpunkte sollten

- leicht zu identifizieren sein
- reproduzierbar sein
- Informationen über Längen- und Breitenausdehnung der fazialen Gesichtsmorphologie geben.

Nasion (N): Als Nasion wird der Punkt bezeichnet, in dem sich der am weitesten anterior gelegene Punkt der Sutura nasofrontalis und die Medianebene des Schädels schneiden.[63]

Glabella (G): Die Glabella ist der am weitesten anterior gelegene Punkt des Os frontale in der Midsagittalebene und für gewöhnlich über der Sutura nasofrontalis.

Spina nasalis anterior (Ans): Die Spina nasalis anterior ist der Punkt an der Spitze der knöchernen Spina nasalis anterior.[63]

Zygion (Zy): Der am weitesten lateral gelegene Punkt des Processus zygomaticus beschreibt das Zygion.[64]

Eurion (Eu): Das Eurion ist der knöcherne Punkt, der sich an der am weitesten lateral gelegenen Wölbung auf beiden Schädelseiten befindet und die größte Schädelbreite bestimmt.[62]

Condylion (Cd): Das Condylion ist der mittlere, obere knöcherne Punkt des Caput mandibulae.

Menton (Me): Der am weitesten kaudal gelegene knöcherne Punkt der Unterkiefersymphyse wird als Menton definiert.[63]

3.3.3 Distanzen auf den Ganzkörper-MRT-Aufnahmen

Anhand der oben genannten Referenzpunkte konnten verschiedene Distanzen ermittelt werden, aus denen sich Aussagen zur Schädelbreite und Schädellänge treffen lassen.[62]
Die grünen Linien der folgenden Abbildungen 10-16 wurden zur beispielhaften Darstellung eingezeichnet und geben die Lage der Referenzpunkte nicht genau an.

1. obere Gesichtshöhe/ Obergesicht (G-Ans) (siehe Abbildung 10)
2. Nasenhöhe (N-Ans) (siehe Abbildung 11)
3. untere Gesichtshöhe/ Untergesicht (Ans-Me) (siehe Abbildung 12)
4. totale Gesichtshöhe (G-Me) (siehe Abbildung 13)
5. Jochbogenbreite/ Gesichtsbreite (Zy-Zy) (siehe Abbildung 14)
6. Interkondylarabstand (Cd-Cd) (siehe Abbildung 15)
7. Kraniale Breite (Eu-Eu) (siehe Abbildung 16)

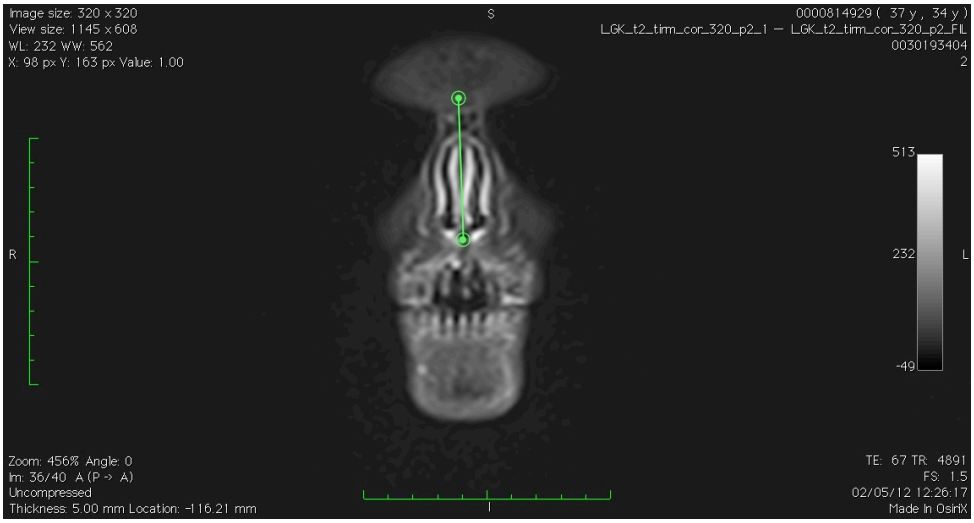


Abbildung 10 obere Gesichtshöhe (G-Ans)

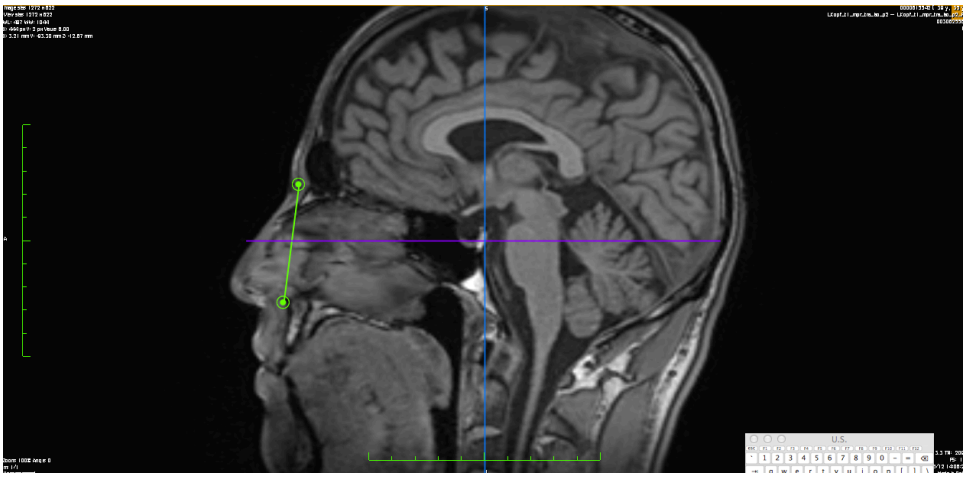


Abbildung 11 Nasenhöhe (N-Ans)

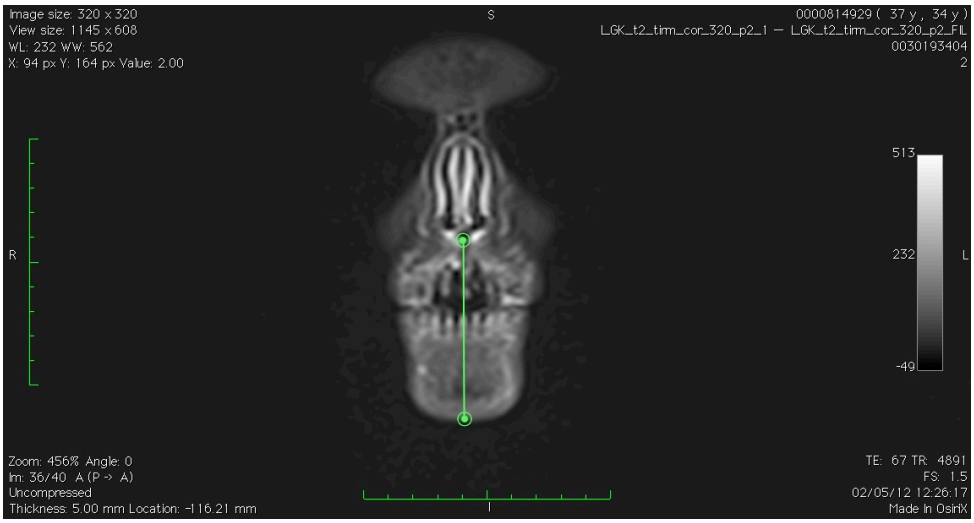


Abbildung 12 untere Gesichtshöhe (Ans-Me)

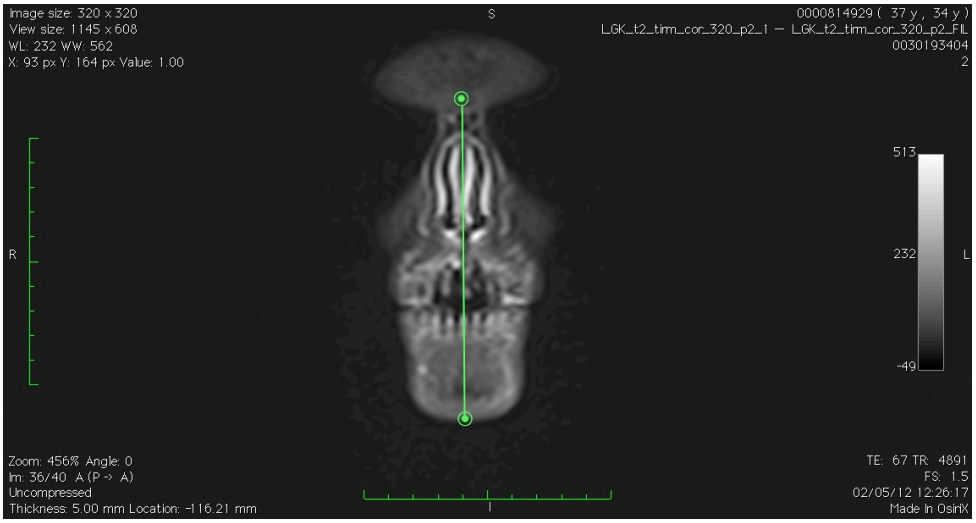


Abbildung 13 totale Gesichtshöhe (G-Me)

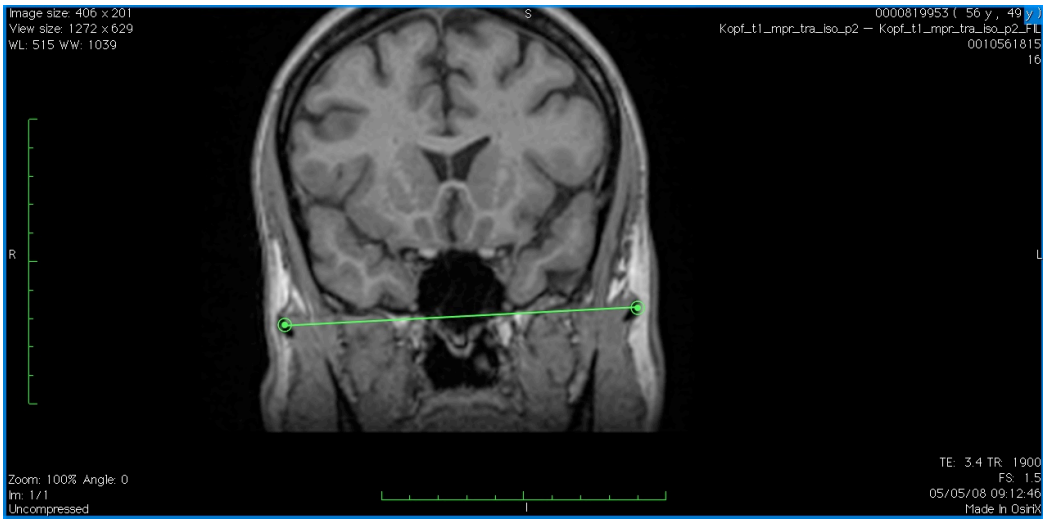


Abbildung 14 Jochbogenbreite/ Gesichtsbreite (Zy-Zy)

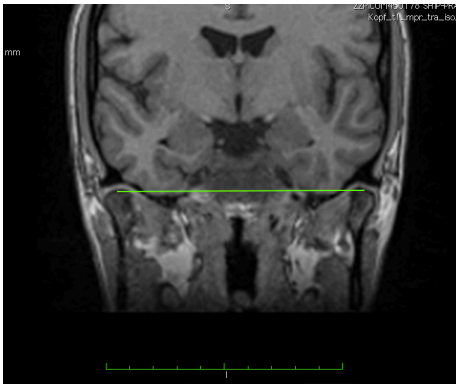


Abbildung 15 Interkondylarabstand (Cd-Cd)

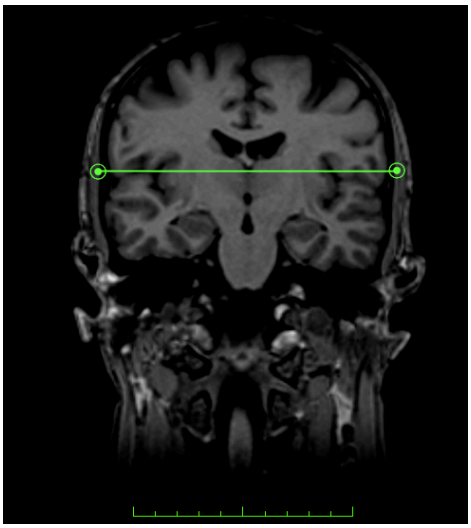


Abbildung 16 kraniale Breite (Eu-Eu)

3.3.4 Software OsiriX

In der bildgebenden Diagnostik werden klassische analoge Verfahren verstärkt durch digitale Verfahren ersetzt, sodass Computer einen wichtigen Platz in der medizinischen Bildverarbeitung übernommen haben. DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine; deutsch: Digitale Bildverarbeitung und -kommunikation in der Medizin) ist ein Standard zur Speicherung, Übertragung und Verarbeitung digitaler medizinischer Dateien. In dieser Studie wurde für die Datenanalyse der MRT-Aufnahmen der quelltextoffene DICOM-Viewer OsiriX v3.8.1 (Pixmeo SARL, Genf, Schweiz) verwendet. Die Untersuchungen fanden an zwei Stationen mit 27 inch Monitoren (iMac Quad core i7; Apple Corp. Cuptertino, CA, USA) statt. Alle MRT-Aufnahmen zeigen eine räumliche, dreidimensionale Darstellung der zu betrachtenden Objekte. Jeder einzelne Punkt im Raum wird durch die Koordinaten x, y und z beschrieben. Eine genaue Definition der Koordinaten erfolgt anhand des DICOM-Headers und gilt für alle Aufnahmen, die mit demselben MRT-Scanner angefertigt und mit derselben Software (OsiriX v3.8.1) analysiert wurden. Osirix v3.8.1 determiniert die Koordinaten x, y und z für jeden Voxel und konvertiert die aktuell kalkulierte Größe der Voxels in Millimeter.

Die Distanzen zwischen den Referenzpunkten werden später mit einer zuvor bestimmten Formel berechnet. Das bedeutet, dass die Distanzen nicht direkt auf den MRT-Aufnahmen gemessen werden, vielmehr werden die Koordinaten x, y und z für jeden Punkt exportiert und die Distanz (d) in [mm] zwischen diesen Punkten anhand folgender Formel berechnet.

P1 (x1, y1, z1)

P2 (x2, y2, z2)

$$d = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2 + (z2 - z1)^2}$$

Für die MRT-Aufnahmen dieser Studie werden die Achsen folgendermaßen definiert:

x-Achse – Richtung nach rechts und links

y-Achse – Richtung nach posterior und anterior

z-Achse – Richtung nach superior und inferior

Abbildung 17 Darstellung des Schädels mit der Software OsiriX v3.8.1.: Feld rechts: Frontalansicht rechts-links Ausrichtung; Feld links oben: Sagittalansicht posterior-anterior Ausrichtung; Feld links unten: axiale Ansicht superior-inferior Ausrichtung

3.4 Statistische Methoden

Für die Untersuchung der ersten vier Hypothesen wurde mit multivariaten linearen Regressionsmodellen gearbeitet, die für Alter und Geschlecht adjustiert wurden. Anhand dieses Analyseverfahrens konnte ein möglicher linearer Zusammenhang zwischen einer oder mehreren unabhängigen Variablen (Einflussfaktor) mit einer metrischen abhängigen Variablen (Outcome) untersucht werden.

Die abhängigen und unabhängigen Variablen unterscheiden sich entsprechend der verschiedenen Hypothesen (siehe Tabelle 4). Für die ersten zwei Hypothesen galt die Überprüfung, ob sich die Ausprägung der Gesichtsmorphologie auf die Formgestaltung und Größe des Zahnbogens auswirkt. Zu den unabhängigen Variablen zählen daher die fazialen Dimensionen, zu den abhängigen Variablen die Zahnbogenbreiten der Ober- und Unterkiefer. Die dritte und vierte Hypothese beschäftigen sich mit der Fragestellung, ob die Zahnbogenbreite von Ober- und Unterkiefer oder verschiedene faziale Dimensionen Einfluss auf die Frontzahnstellung ausüben. Hier zählen die Zahnbogendimensionen für Hypothese 3 und die fazialen Dimensionen für Hypothese 4 zu den unabhängigen Variablen. Die abhängige Variable wird durch die Frontzahnstellung in Form des Overjets oder Overbites beschrieben.

Zur besseren Interpretation und Auswertung dieser vier Hypothesen wurden jeweils die Regressionskoeffizienten gemeinsam mit ihren 95%-Konfidenzintervallen sowie den

entsprechenden p-Werten ermittelt und grafisch dargestellt. Der Regressionskoeffizient für eine metrische unabhängige Variable gibt an, um welchen Betrag sich die abhängige Variable bei einem Anstieg ebendieser unabhängigen Variablen um eine Einheit verändert. Je höher der Wert des Regressionskoeffizienten, desto mehr scheint die abhängige Variable von der unabhängigen beeinflusst zu werden.

Die Hypothese 5 beschäftigte sich mit den geschlechterspezifischen Unterschieden der Gesichtsmorphologie und den Zahnbogenausdehnungen. Das Geschlecht ist somit die unabhängige und die Ausdehnung des Zahnbogens die abhängige Variable. Für die Analyse wurden die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen berechnet und anschließend Zweistichproben-t-Tests für jede betrachtete Variable durchgeführt.

Tabelle 4 Unabhängige und abhängige Variablen der Hypothesen 1-5

Hypothese	*Abhängige Variable (Outcome)*	*Unabbhängige Variable (Einflussfaktor)*
1	Zahnbogenbreite im Oberkiefer: B1-B6	Faziale Dimensionen: Jochbogenbreite (Zy-Zy); kraniale Weite (Eu-Eu)
2	Zahnbogenbreite im Unterkiefer: B1-B5	Faziale Dimensionen: Interkondylarabstand (Cd-Cd)
3	Overjet	Zahnbogenbreite im Oberkiefer: B1-B6; Zahnbogenbreite im Unterkiefer: B1-B5
4	Overbite	Faziale Dimensionen: obere Gesichtshöhe (G-Ans); untere Gesichtshöhe (Ans-Me); totale Gesichtshöhe (Me-G); Nasenhöhe (N-Ans)
5	Zahnbogenbreite und -länge im Oberkiefer (B1-B6; L1-L2) und Unterkiefer (B1-B5; L1-L2); Faziale Dimensionen	Geschlecht

3.5 Qualitätskontrolle der Untersucher

3.5.1 Messungen auf den ASSPro-Dentalmodellen

Vor Start der Datenanalyse wurde die Intrarater-Reliabilität des Hauptuntersuchers mit Hilfe des Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) ermittelt. Nach Vollendung der Messung einer Modellreihe (U1), welche aus 10 Modellen bestand, wurde das erste Modell dieser Reihe erneut vermessen und das Ergebnis notiert (U2). Die Auflistung des ICC erfolgt in den Tabellen 5 und 6. Der ICC befindet sich für jeden Parameter der

Modellvermessung zwischen 0,95 und 0,99, sodass die Intrarater-Reliabilität der Messungen auf den Dentalmodellen als sehr gut beurteilt werden kann.

Tabelle 5 ICC für die Intrarater-Reliabilität des Hauptuntersuchers (Overbite, Overjet)

Overbite	*Overjet*
0,98 (0,96-0,99)	0,98 (0,96-0,99)

Tabelle 6 ICC für die Intrarater-Reliabilität des Hauptuntersuchers (Breiten- und Längenmessung am Ober- und Unterkiefer)

	Oberkiefer	*Unterkiefer*
B1	0,95 (0,90-0,98)	0,98 (0,96-0,99)
B2	0,96 (0,92-0,98)	0,98 (0,95-0,99)
B3	0,96 (0,91-0,98)	0,96 (0,90-0,98)
B4	0,97 (0,93-0,99)	0,96 (0,91-0,99)
B5	0,97 (0,92-0,99)	0,97 (0,90-0,99)
B6	0,97 (0,93-0,99)	0,96 (0,91-0,99)
L1	0,94 (0,87-0,97)	0,99 (0,97-0,99)
L2	0,98 (0,95-0,99)	0,97 (0,93-0,99)

Die Anfertigung von Bland-Altman Plots (95% KI) diente einer zusätzlichen Beurteilung der Messgüte (siehe Abbildungen 18 und 19). Dazu wurden die Differenzen der beiden Messungen (U1-U2) gegen den Mittelwert dieser beiden Messungen aufgetragen.

Die Anfertigung der Analysen und Plots erfolgte mit der Statistik-Software STATA 13.

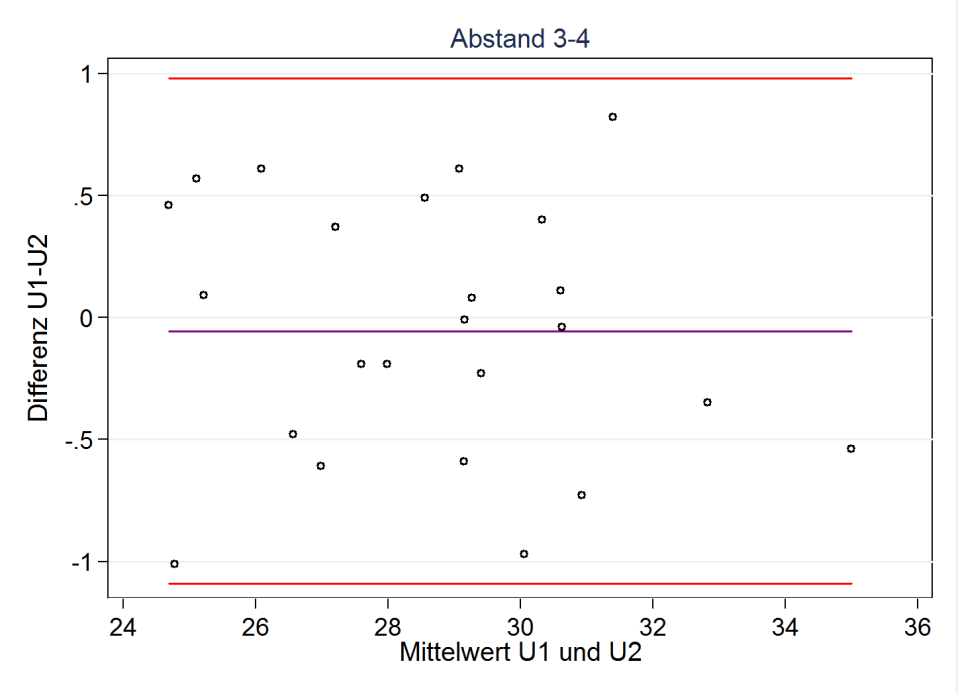


Abbildung 18 Bland-Altman-Plot für Distanz B1 im Unterkiefer

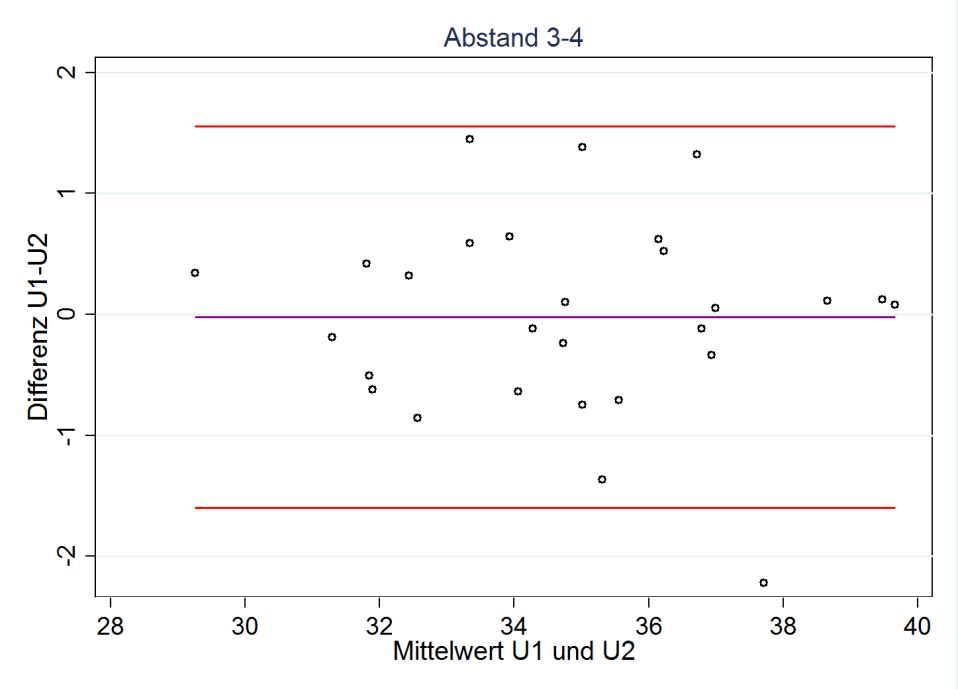


Abbildung 19 Bland-Altman-Plot für Distanz B1 im Oberkiefer

3.5.2 Messungen auf den MRT-Aufnahmen

Für die Datenermittlung an den MRT-Aufnahmen standen drei Untersucher zur Verfügung. Jeder Einzelne bekam eine Einweisung in das Programm OsiriX v3.8.1 und in die korrekte Bestimmung der kraniofazialen Referenzpunkte. Die Untersucher führten Messungen auf allen 161 MRT-Aufnahmen durch und ermittelten für jeden Referenzpunkt die Koordinaten x, y und z. Alle Messungen erfolgten unter denselben Rahmenbedingungen. Um die Anonymität der Probanden zu wahren, wurden die MRT-Aufnahmen mit Identifikationsnummern beschriftet und in einer zufälligen Reihenfolge aufgelistet. Der ICC befindet sich zwischen 0,94 und 0,99. Die Interrater-Reliabilität der Messungen auf den MRT-Aufnahmen kann somit als sehr gut beurteilt werden.

Tabelle 7 ICC für die Interrater-Reliabilität (3 Koordinaten pro Referenzpunkt)

MRT Referenzpunkt	*X-Koordinate*	*Y-Koordinate*	*Z-Koordinate*
G	0,96 (0,90-0,98)	0,99 (0,99-0,99)	0,99 (0,98-0,99)
N	0,95 (0,90-0,98)	0,96 (0,77-0,99)	0,97 (0,86-0,99)
Ans	0,99 (0,98-0,99)	0,94 (0,88-0,97)	0,96 (0,71-0,98)
Eu rechts	0,94 (0,86-0,97)	0,95 (0,83-0,98)	0,97 (0,85-0,99)
Eu links	0,97 (0,94-0,98)	0,96 (0,81-0,99)	0,97 (0,86-0,99)
Cd rechts	0,96 (0,92-0,98)	0,99 (0,98-0,99)	0,99 (0,99-0,99)
Cd links	0,95 (0,91-0,98)	0,98 (0,97-0,99)	0,99 (0,99-0,99)
Zy rechts	0,98 (0,91-0,99)	0,98 (0,96-0,99)	0,99 (0,99-0,99)
Zy links	0,98 (0,93-0,99)	0,99 (0,98-0,99)	0,99 (0,99-0,99)
Me	0,99 (0,97-0,99)	0,99 (0,96-0,99)	0,98 (0,93-0,99)

4 Ergebnisse

4.1 Probandencharakteristika

Zunächst sollen hier die Merkmale der 161 Probanden vorgestellt werden. Dazu zählen das Alter zum Zeitpunkt der Studie SHIP-0 Untersuchung (errechnet anhand des Untersuchungsdatums sowie des Geburtstages) und ob in der Vergangenheit eine kieferorthopädische Behandlung durchgeführt wurde. Weiterhin werden die Dauer der Schulbildung, die Körpergröße, die Anzahl der Zähne und der Bodymaßindex (BMI) aufgeführt. Der BMI berechnet sich als Quotient des Körpergewichts und des Quadrats der Körpergröße. Es wird das gesamte Probandengut betrachtet und zusätzlich zwischen Frauen und Männern differenziert. Die Angabe der Daten erfolgt mithilfe des Mittelwerts und der Standardabweichung. In Klammern ist der prozentuale Anteil vom jeweiligen Probandengut dargestellt. Zusätzlich kann der letzten Spalte der p-Wert entnommen werden. Dieser resultierte für metrische Variablen aus t-Tests und für kategoriale Variablen aus Chi-Quadrat-Tests.

Tabelle 8 Baseline-Tabelle der Probandencharakteristika

	Gesamt	***Männer***	***Frauen***	***p-Wert***
Probandenanzahl	161	70	91	
Alter (in Jahren)	37,4 ± 8,3	37,5 ± 8,0	37,4 ± 8,6	0,922
Dauer der Schulbildung				0,111
<10 Jahre	6 (3,7%)	5 (7,1%)	1 (1,1%)	
10 Jahre	109 (67,7%)	44 (62,9%)	65 (71,4%)	
>10 Jahre	46 (28,6%)	21 (30,0%)	25 (27,5%)	
Körpergröße in cm	171 ± 9,2	178,7 ± 6,3	165,6 ± 6,6	< 0,001
BMI in kg/m^2	25,4 ± 4,4	25,6 ± 2,5	25,2 ± 4,4	0,473
Anzahl der Zähne	25,2 ± 2,6	25,2 ± 2,6	25,1 ± 2,6	0,945
KFO Behandlung	44 (27,3%)	15 (21,4%)	29 (31,9%)	0,141

Innerhalb des assoziierten zahnmedizinischen Projektes wurde die Frage nach einer bereits durchgeführten kieferorthopädischen Behandlung gestellt und von 44 Probanden

bejaht. Jedoch wurden weder die Art der kieferorthopädischen Behandlung noch die Zeitdauer dabei erfasst. Um einen möglichen Einfluss einer kieferorthopädischen Behandlung auf die Ausprägung und Form der Zahnbögen, des Gesichtes und der Frontzahnstellung auszuschließen, wurden stratifizierte Analysen bezüglich kieferorthopädischen Behandlungen durchgeführt. Diese Analysen der Hypothesen 1 bis 5 wurden somit jeweils für die KFO-therapierten Patienten und die NONKFO-therapierten Patienten durchgeführt. Es konnten dabei allerdings keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Überdies wurde auch keine signifikante Interaktion zwischen der kieferorthopädischen Behandlung und den verschiedenen unabhängigen Variablen im Hinblick auf die jeweilige abhängige Variable ersichtlich ($p > 0,1$). Folglich wird in dieser Studie nicht weiter zwischen den KFO-und NONKFO-therapierten Patienten unterschieden.

4.2 Ergebnisse hinsichtlich der Hypothesen

Eine Übersicht der Ergebnisse bieten die Tabellen 9-14. In diesen befinden sich jeweils in der ersten Spalte die abhängige Variable (Outcome) und in der zweiten Spalte die unabhängige Variable (Einflussfaktor). Es folgt die Anzahl der untersuchten Probanden (N), der Wert des Beta-Regressionskoeffizienten (B) mit 95% Konfidenzintervall (95% KI) und mit dem entsprechenden p-Wert. P-Werte < 0,05 werden im Folgenden als signifikant angesehen. Zur besseren Kennzeichnung sind die entsprechenden Felder grau unterlegt.

4.2.1 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 1

Hypothese 1: *Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Zahnbogenbreite im Oberkiefer (B1-B6) und der Jochbogenbreite (Zy-Zy) sowie der kranialen Breite (Eu-Eu).*

Tabelle 9 zeigt eine signifikante positive Assoziation zwischen der Jochbogenbreite (Zy-Zy) sowie der kranialen Breite (Eu-Eu) und den gemessenen Distanzen der Zahnbogenbreite im Oberkiefer (B1-B6). Mit zunehmender Ausprägung der fazialen Strukturen konnte auch eine größere Distanz zur Beschreibung der Oberkieferzahnbogenbreite ermittelt werden. Dieses Ergebnis gilt für die Ausschlusskriterien A und B. Der Trend zeigt jedoch eine stärkere Abhängigkeit der Zahnbogendistanzen von der Jochbogenbreite und kranialen Breite unter Verwendung des Ausschlusskriteriums B. Beispielsweise vergrößert sich die Zahnbogenbreite B1 in Abhängigkeit von einer Zunahme der

Jochbogenbreite um 1 mm bei Verwendung des Ausschlusskriteriums A um 0,148 mm. Im Gegensatz dazu wird bei der Wahl des Ausschlusskriteriums B eine Vergrößerung derselben Distanz um 0,155 mm beobachtet.

Tabelle 9 Ergebnisse zur Assoziation der Zahnbogenbreite im Oberkiefer (B1-B6) und dem Jochbogenabstand (Zy-Zy) sowie der kranialen Breite (Eu-Eu)

		Ausschlusskriterium A			*Ausschlusskriterium B*		
Distanz ZB/ Outcome	***Distanz MRT/ Einflussfaktor***	***N***	***B (95% KI)***	***p-Wert***	***N***	***B (95% KI)***	***p-Wert***
B1	Zy-Zy	151	0,148 (0,068; 0,227)	< 0,001	94	0,155 (0,053; 0,257)	0,003
B2	Zy-Zy	151	0,160 (0,076; 0,244)	< 0,001	94	0,99 (0,088; 0,310)	0,001
B3	Zy-Zy	129	0,180 (0,068; 0,292)	0,002	73	0,288 (0,142; 0,434)	< 0,001
B4	Zy-Zy	115	0,241 (0,099; 0,382)	0,001	62	0,353 (0,209; 0,497)	< 0,001
B5	Zy-Zy	130	0,264 (0,124; 0,404)	< 0,001	98	0,295 (0,159; 0,432)	< 0,001
B6	Zy-Zy	126	0,267 (0,126; 0,408)	< 0,001	95	0,298 (0,167; 0,428)	< 0,001
B1	Eu-Eu	151	0,072 (0,015; 0,130)	0,014	94	0,108 (0,045; 0,170)	0,001
B2	Eu-Eu	151	0,083 (0,026; 0,140)	0,004	94	0,097 (0,024; 0,171)	0,010
B3	Eu-Eu	129	0,084 (0,011; 0,156)	0,025	73	0,099 (0,00001; 0,199)	0,049
B4	Eu-Eu	115	0,091 (0,005; 0,177)	0,039	62	0,128 (0,021; 0,235)	0,020
B5	Eu-Eu	130	0,121 (0,039; 0,203)	0,004	98	0,097 (0,003; 0,191)	0,044
B6	Eu-Eu	126	0,157 (0,080; 0,234)	< 0,001	95	0,119 (0,031; 0,207)	0,009

Wie in Tabelle 9 abzulesen, weisen die erhaltenen Regressionskoeffizienten in Abhängigkeit von der betrachteten Zahnbogendistanz einen Trend auf. Je weiter posterior die betrachtete Distanz liegt, desto mehr scheint sie von der Jochbogenbreite und der kranialen Breite beeinflusst zu werden. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 20 für das Ausschlusskriterium A grafisch dargestellt. Dort sind jeweils paarweise die erhaltenen Regressionskoeffizienten (inkl. 95% KI) für den Einfluss von Jochbogenbreite (blau) und kranialer Breite (grün) auf die verschiedenen Zahnbogendistanzen aufgetragen. Wie zu erkennen ist, steigt die geschätzte Vergrößerung der Zahnbogenbreite in Abhän-

gigkeit von einer Zunahme der Jochbogenbreite um 1 mm von 0,148 mm für B1 auf 0,267 mm für B6 an. Bezüglich der kranialen Breite steigen die assoziierten Änderungen des Zahnbogens analog von 0,072 mm für B1 auf 0,157 mm für B6 an.

Unter Verwendung des Ausschlusskriteriums B wird dieser Trend allerdings nicht ersichtlich. Dieser kann nur für die Zahnbogendistanzen B1 bis B4 beobachtet werden. Die Zahnbogenbreite B4 im Oberkiefer scheint am stärksten von der Jochbogenbreite und der kranialen Weite beeinflusst zu werden.

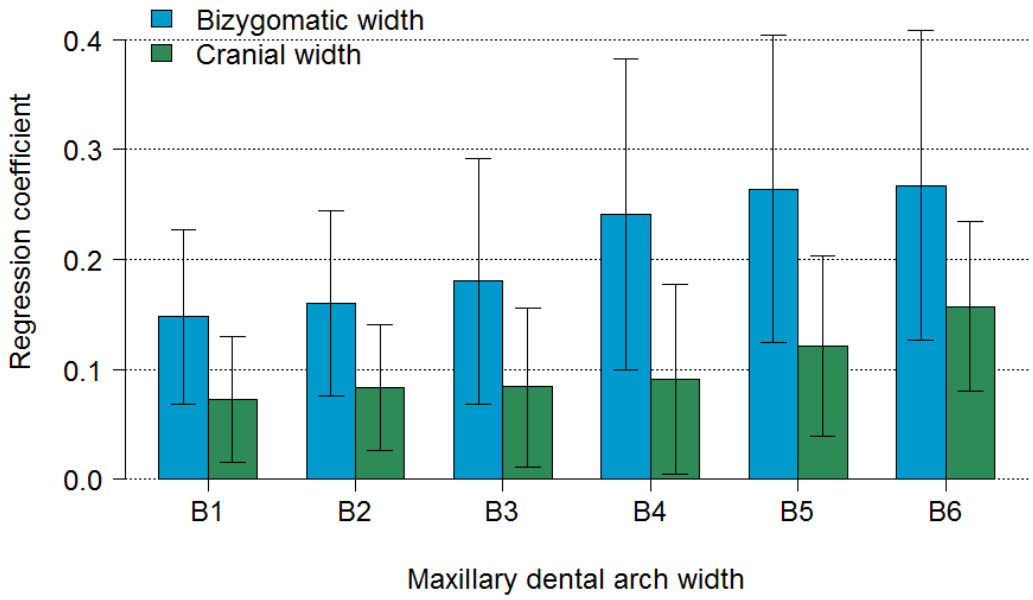


Abbildung 20 Grafische Darstellung der Ergebnisse von Hypothese 1 bei Verwendung des Ausschlusskriteriums A

Weiterhin kann eine Untersuchung hinsichtlich des Index nach Izard durchgeführt werden. Laut Definition wird für dessen Berechnung die Jochbogenbreite mit der größten Zahnbogenbreite (Bukkalflächen der 1. Oder 2. Molaren, je nach Dentitionsstand) ins Verhältnis gesetzt. Aufgrund der Weichteilbedeckung werden von der Jochbogenbreite 10 mm abgezogen. Nun sollte das Verhätlnis zwischen Jochbogenbreite und Zahnbogenbreite 2 : 1 betragen.

$$Izard - Index = \frac{Jochbogenbreite - 10\,mm}{Zahnbogenbreite}$$

Das Ergebnis des Izard-Index spielt eine Rolle zur Entscheidungsfindung bei kieferorthopädischen Therapien. Ein Index von > 2 spricht für eine Dehnungstherapie, wohingegen ein Index < 2 auf platzschaffende Maßnahmen durch Extraktion hindeudet.

In dieser Studie wurden die Messungen anhand knöcherner Referenzpunkte ermittelt, sodass die 10 mm nicht abgezogen werden mussten. Die größte Zahnbogenbreite entsprach der Distanz B6 im Oberkiefer (Ecm-Ecm). Der Izard-Index wurde für alle 161 Probanden ermittelt und in der Abbildung 21 mittels Säulendiagramm dargestellt. Die x-Achse beschreibt den Wert des Index, die y-Achse gibt, an wie häufig die verschiedenen Indexgrößen ermittelt wurden. Im Durchschnitt lag ein Verhältnis zwischen der Jochbogenbreite und der Zahnbogenbreite von 2,09 : 1 vor, was nur gering von den Ergebnissen Izards abweicht.

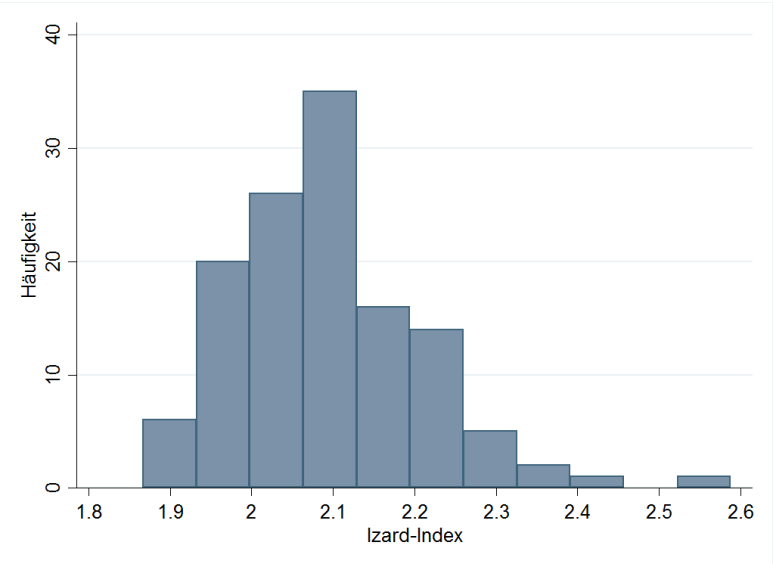


Abbildung 21 Säulendiagramm zum Izard Index.
x-Achse: Izard-Index
y-Achse: Anzahl der Probanden

4.2.2 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 2

Hypothese 2: *Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Zahnbogenbreite im Unterkiefer (B1-B5) und dem Interkondylarabstand (Cd-Cd).*

Zwischen dem Interkondylarabstand und der Unterkieferbreite wurde keine signifikante Assoziation deutlich. Ausnahmen bilden die erhaltenen Regressionskoeffizienten für die Zahnbogendistanzen B1, B3 und B5, wenn einzig der herausnehmbare Zahnersatz als Ausschlusskriterium gilt. In Abhängigkeit von einer Zunahme der Jochbogenbreite um 1 mm steigen die Zahnbogendistanzen B1 um 0,072 mm, B3 um 0,108 mm und B5 um

0,118 mm an. Die ermittelten p-Werte lassen auf eine geringere Aussagekraft des Ergebnisses für diese Distanzen schließen (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10 Ergebnisse zur Assoziation der Zahnbogenbreite im Unterkiefer (B1-B5) und dem Interkondylarabstand (Cd-Cd)

		Ausschlusskriterium A			*Ausschlusskriterium B*		
Distanz ZB/ Outcome	***Distanz MRT/ Einflussfaktor***	***N***	***B (95% KI)***	***P-Wert***	***N***	***B (95% KI)***	***P-Wert***
B1	Cd-Cd	154	0,072 (0,009; 0,136)	0,025	125	0,058 (-0,014; 0,129)	0,112
B2	Cd-Cd	155	0,054 (-0,049; 0,157)	0,301	125	0,032 (-0,087; 0,150)	0,598
B3	Cd-Cd	136	0,108 (0,008; 0,207)	0,035	93	0,066 (-0,038; 0,171)	0,209
B4	Cd-Cd	100	0,127(-0,005; 0,259)	0,060	58	0,137 (-0,006; 0,280)	0,060
B5	Cd-Cd	119	0,118 (0,007; 0,229)	0,037	91	0,110(-0,002; 0,223)	0,055

4.2.3 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 3

Hypothese 3: *Die Größe des Overjets wird durch die Zunahme der Zahnbogenbreite im Oberkiefer und/ oder eine Abnahme der Zahnbogenbreite im Unterkiefer beeinflusst.*

In der Tabelle 11 sind die Daten zur Auswertung der dritten Hypothese dargestellt. Dort wird erneut zwischen den Ergebnissen unter Verwendung der Ausschlusskriterien A und B, welche sich hier auf die Frontzähne 12-22 und 32-42 bezogen, unterschieden. Die Ergebnisse zeigen eine Verringerung der sagittalen Frontzahnstufe in Abhängigkeit von einer Zunahme der Zahnbogenbreiten B1 bis B3 unter Verwendung des Ausschlusskriteriums B. Dieser negative Zusammenhang konnte nur für die vorderen Oberkieferzahnbogenbreiten festgestellt werden. Für die hinteren Distanzen des Oberkieferzahnbogens sowie für die Unterkieferdistanzen wurden keine signifikanten Regressionskoeffizienten ermittelt.

Tabelle 11 Ergebnisse zur Assoziation des Overjets und der Zahnbogenbreite im Ober- und Unterkiefer

		Ausschlusskriterium A			***Ausschlusskriterium B***		
Overjet/ Outcome	***Zahnbogen/ Einflussfaktor***	***N***	***B (95% KI)***	***p-Wert***	***N***	***B (95% KI)***	***p-Wert***
Overjet	B1 (OK)	143	-0,082 (-0,196; 0,033)	0,160	82	-0,185 (-0,359; -0,012)	0,036
Overjet	B2 (OK)	142	-0,148 (-0,257; -0,039)	0,008	80	-0,201 (-0,353; -0,049)	0,010
Overjet	B3 (OK)	123	-0,085 (-0,205; 0,035)	0,162	64	-0,175 (-0,332; -0,018)	0,030
Overjet	B4 (OK)	109	-0,041 (-0,165; 0,082)	0,506	52	-0,139 (-0,298; 0,019)	0,084
Overjet	B5 (OK)	122	-0,009 (-0,096; 0,079)	0,847	76	-0,063 (-0,190; 0,063)	0,322
Overjet	B6 (OK)	119	0,002 (-0,084; 0,088)	0,965	76	-0,052 (-0,169; 0,065)	0,377
Overjet	B1 (UK)	144	-0,142 (-0,293; 0,010)	0,066	100	-0,153 (-0,338; 0,032)	0,105
Overjet	B2 (UK)	145	-0,031 (-0,124; 0,061)	0,505	101	-0,047 (-0,163; 0,069)	0,422
Overjet	B3 (UK)	126	-0,073 (-0,194; 0,048)	0,235	78	-0,115 (-0,269; 0,039)	0,141
Overjet	B4 (UK)	94	-0,013 (-0,151; 0,125)	0,854	47	-0,028 (-0,243; 0,188)	0,797
Overjet	B5 (UK)	111	0,040 (-0,089; 0,169)	0,538	74	0,017 (-0,129; 0,164)	0,815

4.2.4 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 4

Hypothese 4: *Die Ausprägung der Gesichtshöhe steht in einer positiven Relation zum Overbite.*

Die untere und totale Gesichtshöhe zeigen eine signifikant negative Assoziation mit der Ausprägung der vertikalen Frontzahnstufe. Dieses Ergebnis kann anhand der Tabelle 12 nachvollzogen werden. Abhängig von der Zunahme der unteren Gesichtshöhe oder der totalen Gesichtshöhe um 1 mm, wird der geschätzte Wert des Overbites bei der Wahl des Ausschlusskriteriums A um 0,051 mm kleiner. Die Ergebnisse unter Verwendung des Ausschlusskriteriums B sind beinahe identisch. Ähnliche Zusammenhänge zur oberen Gesichtshöhe sowie zur Nasenhöhe wurden in den Analysen nicht gefunden.

Tabelle 12 Ergebnisse zur Assoziation zwischen dem Overbite und verschiedenen Distanzen der Gesichtslänge

		Ausschlusskriterium A			***Ausschlusskriterium B***		
Overbite/ Outcome	***Distanz MRT/ Einflussfaktor***	***N***	***B (95% KI)***	***p-Wert***	***N***	***B (95% KI)***	***p-Wert***
Overbite	Obere Gesichtshöhe	154	-0,036 (-0,090; 0,017)	0,183	119	-0,008 (-0,066; 0,049)	0,770
Overbite	Untere Gesichtshöhe	154	-0,051 (-0,095; -0,007)	0,024	119	-0,058 (-0,104; -0,013)	0,012
Overbite	Totale Gesichtshöhe	154	-0,051 (-0,088; -0,013)	0,008	119	-0,051 (-0,094; -0,008)	0,021
Overbite	Nasenhöhe	154	-0,045 (-0,106; 0,017)	0,152	119	-0,029 (-0,095; 0,036)	0,377

4.2.5 Ergebnisse hinsichtlich Hypothese 5

Hypothese 5: *Bei Männern sind die Dimensionen der fazialen Morphologie sowie der Ausdehnung der Zahnbögen stärker ausgeprägt als bei Frauen.*

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede in den Zahnbogendimensionen von Ober- und Unterkiefer werden in der Tabelle 13 dargestellt. Erneut wurden die Analysen unter Verwendung der Ausschlusskriterien A und B durchgeführt. Trotz der geringeren Probandenanzahl bei der Wahl des Ausschlusskriteriums B unterscheiden sich die Ergebnisse im Allgemeinen nicht. Die Tabelle 13 beschreibt daher nur die Werte unter Verwendung des Ausschlusskriteriums A. Angegeben werden die Mittelwerte ± Standardabweichungen und die entsprechenden p-Werte für die Gruppenvergleiche.

In beiden Kiefern werden für alle Distanzen zur Beschreibung der Zahnbogenbreite bei den Männern signifikant höhere Werte beobachtet. Der Zahnbogen ist bei den männlichen Probanden im Ober- sowie im Unterkiefer breiter als bei den Frauen. Bei Betrachtung der Zahnbogenlänge ist dieser Trend aber nur im Oberkiefer ersichtlich. Dort ist der Zahnbogen im vorderen (L1) sowie im hinteren Bereich (L2) bei Männern länger als bei den Frauen. Die Untersuchungen von Overbite und Overjet ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern.

Tabelle 13 Distanzen der ASSPro-Dentalmodelle für das Ausschlusskriterium A im Vergleich zwischen Männern und Frauen

Distanz	N	Gesamt (M ± SD) in mm	N	Männer (M ± SD) in mm	N	Frauen (M ± SD) in mm	p-Wert
B1 (Oberkiefer)	151	35,8 ± 2,6	65	36,8 ± 2,7	86	35,0 ± 2,2	< 0,001
B2 (Oberkiefer)	151	37,3 ± 2,8	64	38,5 ± 2,8	87	36,4 ± 2,4	< 0,001
B3 (Oberkiefer)	129	40,9 ± 3,0	59	42,2 ± 2,9	70	39,7 ± 2,6	< 0,001
B4 (Oberkeiefer)	115	51,3 ± 3,9	51	53,1 ± 3,6	64	49,8 ± 2,6	< 0,001
B5 (Oberkiefer)	130	52,9 ± 3,5	56	54,4 ± 4,1	74	51,8 ± 3,0	< 0,001
B6 (Oberkiefer)	126	60,8 ± 3,5	56	62,3 ± 4,0	70	59,7 ± 2,6	< 0,001
L1 (Oberkiefer)	149	13,3 ± 1,9	65	13,8 ± 1,8	84	12,8 ± 1,9	0,001
L2 (Oberkiefer)	114	36,4 ± 3,0	52	37,7 ± 2,7	62	35,3 ± 2,8	< 0,001
B1 (Unterkiefer)	154	29,3 ± 1,9	67	30,0 ± 1,9	87	28,8 ± 1,7	< 0,001
B2 (Unterkiefer)	155	32,7 ± 2,8	68	33,7 ± 3,2	87	32,0 ± 2,0	< 0,001
B3 (Unterkiefer)	136	36,0 ± 2,8	60	36,7 ± 2,7	76	35,5 ± 2,8	0,016
B4 (Unterkiefer)	100	47,7 ± 3,1	42	48,8 ± 2,9	58	46,9 ± 2,9	0,002
B5 (Unterkiefer)	119	49,9 ± 3,1	50	51,1 ± 2,7	69	49,0 ± 3,0	< 0,001
L1 (Unterkiefer)	153	8,9 ± 1,7	66	9,6 ± 1,5	87	8,8 ± 1,8	0,663
L2 (Unterkiefer)	101	32,4 ± 2,7	42	32,8 ± 2,7	59	32,2 ± 2,7	0,262
Overbite	154	2,9 ± 1,6	66	3,0 ± 1,8	88	2,8 ± 1,6	0,510
Overjet	151	2,9 ± 1,6	67	2,7 ± 1,6	84	3,0 ± 1,6	0,157

Geschlechtsbezogene Auffälligkeiten lassen sich nicht nur anhand der Zahnbogendimensionen verdeutlichen, sondern auch für alle Distanzen auf den Ganzkörper-MRT-Aufnahmen (siehe Tabelle 14). Jede Distanz (Jochbogenbreite, kraniale Breite, Interkondylarabstand, obere Gesichtshöhe, untere Gesichtshöhe, totale Gesichtshöhe, nasale Höhe) fällt bei Männern signifikant größer aus als bei Frauen.

Tabelle 14 Maße der MRT-Distanzen im Vergleich zwischen Männern und Frauen

MRT-Distanz	**Gesamt (M ± SD)**	**Männer (M ± SD) in mm**	**Frauen (M ± SD) in mm**	***p-Wert***
N	161	70	91	
Jochbogenbreite	127,0 ± 6,2	131,9 ± 4,9	123,3 ± 4,3	< 0,001
Kraniale Breite	153,2 ± 8,2	158,8 ± 6,6	148,8 ± 6,6	< 0,001
Interkondylarabstand	100,1 ± 6,1	103,3 ± 5,8	97,6 ± 5,0	< 0,001
Obere Gesichtshöhe	63,5 ± 4,0	64,3 ± 3,0	62,9 ± 4,6	< 0,001
Untere Gesichtshöhe	64,9 ± 6,7	67,5 ± 6,9	62,9 ± 6,1	< 0,001
Totale Gesichtshöhe	128,0 ± 7,7	131,5 ± 7,5	125,3 ± 6,7	< 0,001
Nasenhöhe	46,8 ± 3,8	48,4 ± 3,3	45,5 ± 3,7	< 0,001

Zum Abschluss wurde auch eine mögliche Interaktion zwischen dem Geschlecht und den verschiedenen unabhängigen Variablen im Hinblick auf die jeweilige abhängige Variable für die Hypothesen 1-4 überprüft. Hier zeigten sich jedoch keine signifikanten Ergebnisse.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methodik

In der Literatur wurden Messungen an Fernröntgenseitaufnahmen, DVT oder CT-Aufnahmen sowie an Modellen oder direkt an Schädeln durchgeführt. Dahingegen dienten Magnetresonanzaufnahmen des Schädels der Datenermittlung für die vorliegende Arbeit, wodurch völlig auf Röntgenstrahlung verzichtet werden konnte. Zudem konnten diese Daten mit Distanzen in Relation gesetzt werden, welche durch Vermessungen an Dentalmodellen ermittelt wurden. Zu diesen Parametern zählten die Kieferbreite (B1-B5/ B6), die Kieferlänge (L1-L2), der Overbite und der Overjet.

Zwischen der Modellherstellung (im Rahmen von SHIP-0; 1997-2001) und der Anfertigung der MRT-Aufnahmen (im Rahmen von SHIP-2; 2008-2012) lag ein Zeitfenster von mindestens elf Jahren. Da deren Messwerte in Beziehung gesetzt wurden, muss kritisch hinterfragt werden, ob nach der Modellherstellung eine weiter fortschreitende Zunahme der Kieferdimensionen erwartet werden konnte. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, findet das Breitenwachstum des Zahnbogens hauptsächlich zwischen dem 7. und 12. Lebensjahr statt[37]. Ab dem 12. Lebensjahr unterscheidet sich das Wachstumsverhalten zwischen Männern und Frauen. Ab diesem Zeitpunkt werden in der Literatur unterschiedliche Ergebnisse beschrieben.

Dekock[65] und Knott[19] beobachteten nur noch bei den männlichen Probanden ein signifikant fortschreitendes Breitenwachstum des Zahnbogens in beiden Kiefern bis zum 18. Lebensjahr. Die Zahnbogenlänge blieb bei den männlichen und weiblichen Probanden konstant.

Sinclair und Little[66] ermittelten einen zunehmenden Abstand der Kieferbreite nur zwischen den Molaren, die Zahnbogenlänge blieb in ihren Untersuchungen unverändert.

Auch Lee[67] ging von einer konstant bleibenden, tendenziell ab dem 30. Lebensjahr abnehmenden Zahnbogenlänge aus. Weiterhin konzentrierte er sich auf die vorderen Abschnitte des Zahnbogens. Er stellte fest, dass die intercanine Breite während des Zahnwechsels signifikant zunimmt, danach aber konstant bleibt.

Sillman[68] untersuchte das Wachstumsverhalten der Zahnbögen an 65 Probanden von deren Geburt bis zum 25. Lebensjahr und bestätigte mit einer Longitudinalstudie, dass

die intercanine Breite im Oberkiefer ab dem 13. Lebensjahr und im Unterkiefer ab dem 12. Lebensjahr konstant bleibt.

In der Studie von Bishara et al.[40] wurde die intercanine Zahnbogenbreite in beiden Kiefern über einen Zeitraum von 45 Jahren vermessen. Ab dem 13. Lebensjahr fand auch hier keine weitere Zunahme mehr statt. Es konnte hingegen ein signifikanter Rückgang der intercaninen Breite festgestellt werden. Der maximale Rückgang wurde bei den weiblichen Probanden im Unterkiefer gemessen. Dort nahm der intercanine Abstand vom 13. bis zum 45. Lebensjahr um 1,6 mm ab. Klinisch erscheint der vordere Zahnbogen konstant.

Das Probandenalter von SHIP erstreckte sich vom 20. bis zum 79. Lebensjahr. Probanden der vorliegenden Studie beschreiben eine kleine Gruppe aus der großen Kohortenstudie, dementsprechend haben auch hier alle Probanden mindestens das 20. Lebensjahr erreicht. Das maximale Wachstum wurde damit bereits abgeschlossen. Eine Änderung der anterioren Zahnbogenbreite (B1-B3) und der zwischen der Herstellung der Modelle und der Anfertigung der MRT-Aufnahmen kann daher ausgeschlossen werden. Die Studienlage zu den Änderungen des posterioren Zahnbogens (B4-B6) und der Zahnbogenlänge (L1; L2) ist nicht eindeutig.

5.1.1 Qualität der Modellvermessung

Die Literatur bestätigt, dass bereits zuvor oft auf Dentalmodelle zurückgegriffen wurde, um unterschiedliche Parameter der Kiefer oder der Zahnbögen zu ermitteln. Dentalmodelle stellen eine Art der Momentaufnahme der Kieferdimensionen dar und führen mehrere Vorteile mit sich. Für die Herstellung der Modelle muss der Patient nur einmal eibestellt werden. Nachträglich können die Messungen auch in Abwesenheit des Patienten zu jeder Zeit und so oft wie nötig durchgeführt werden. Die genaue Herstellung eines Bissregistrates dient der Wiedergabe einer patientennahen Lagebeziehung von Oberkiefer und Unterkiefer, sodass auch Overbite und Overjet ermittelt werden können.

Um eine gute Reproduzierbarkeit für diese Messmethode zu erhalten, wurden eindeutig reproduzierbare Referenzpunkte gewählt. Unter anderem zählen dazu Fissuren, maximale Ausdehnungen der Zahnkrone nach palatinal/ lingual/ vestibulär oder Kontaktpunkte. Die Ermittlung des Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) für die Intrarater-Reliabilität bestätigt eine sehr gute Reproduzierbarkeit für diese Messmethode (siehe 3.5.1 Messungen auf den ASSPro-Dentalmodellen).

5.1.2 Qualität der digitalen Aufnahmen

Die Untersuchungen früherer Studien wurden mittels Fernröntgenseitaufnahmen, Computertomografie oder digitaler Volumentomografie durchgeführt. In dieser Studie wurden allerdings alle Messungen ausschließlich auf Magnetresonanztomografieaufnahmen aus SHIP-2 durchgeführt. Daher soll nun auf die Vor- und Nachteile dieses Diagnostikverfahrens eingegangen werden.

Den größten und überzeugendsten Vorteil bietet die MRT als eine sichere Untersuchungsmethode, welche keiner ionisierenden Strahlung bedarf. Die zusätzliche Strahlenbelastung des Patienten wird vermieden. Besonders im Rahmen einer Bevölkerungsstudie wirkt sich diese röntgenstrahlenfreie Untersuchungsmethode günstig aus. Aber auch bei der Diagnostik von Kindern oder bereits oft geröntgten beziehungsweise strahlenbelasteten Personen ist die MRT ein gern gesehenes Hilfsmittel.

Nachteilig hingegen ist der absolute Ausschluss von Patienten mit Herzschrittmachern, implantierte Defibrillatoren, Cochleaimplantaten oder Schmerz- und Insulinpumpen. Die MRT funktioniert unter Einsatz eines starken Magnetfeldes und macht eine Untersuchung der entsprechenden Patienten daher unmöglich. Zusätzlich geht mit der MRT ein erhöhter Kosten- und Zeitfaktor (circa 20-30 Minuten) einher. Der Aufnahmevorgang kann laut und einengend auf den Patienten wirken, eine Klaustrophobie sollte daher anamnestisch ausgeschlossen werden. Diese Faktoren können die Anzahl der Probanden einer Bevölkerungsstudie einengen und die Untersuchung erschweren. Zudem können durch Bewegungen des Probanden (Schlucken, Atembewegungen) während der langen Aufnahmezeit Artefakte entstehen.[53] Aufnahmen mit undeutlich abgebildeten Arealen im Bereich des Schädels wurden in dieser Studie ausgeschlossen.

Als Vorteil der MRT kann des Weiteren die Abbildung von Weichteilstrukturen (Muskulatur, Bänder, Sehnen, Kapseln, Gelenkschleimhaut) in hochauflösender Qualität genannt werden. Die Darstellung von Weichgewebe durch MRT ist der CT und DVT weit voraus. Darüber hinaus ermöglicht der scharfe Kontrast an der Grenze vom Knochen zum umliegenden Weichgewebe die exakte und reproduzierbare dreidimensionale Messung des knöchernen kraniofazialen Skelettes[69].

Die MRT zählt zu den digitalen Untersuchungsverfahren, sodass die Aufnahmen direkt auf einen Bildschirm übertragen werden und sofort einer Analyse zugänglich sind. Alle Messungen sind somit auf den Aufnahmen beliebig oft wiederholbar. Dadurch wird die

Ermittlung der Reliabilität, das Hinzukommen neuer Untersucher oder die Ergänzung weiterer Parameter ermöglicht, ohne dass eine erneute Untersuchung des Patienten durchgeführt werden muss.[70] Es gibt bisher keine Software, welche die Referenzpunkte automatisch bestimmt. Sie müssen daher mit großer Sorgfalt und zeitlichem Aufwand manuell eingetragen werden.

Schließlich bietet das Schnittbildverfahren der MRT einen weiteren großen Vorteil. Anhand einer einzelnen Aufnahme erlaubt sie so eine gleichzeitige dreidimensionale Analyse interner und externer Strukturen, sowie verschiedener Strukturen des Hart- und Weichgewebes.

5.1.3 Qualität der statistischen Verfahren

Für die Untersuchung der Hypothesen eins bis vier wurden lineare Regressionsmodelle verwendet. Um die Anwendbarkeit dieser Modelle für die vorliegenden Daten sicherzustellen, wurde vor Beginn der Berechnungen eine Überprüfung des linearen Zusammenhangs zwischen allen betreffenden abhängigen und unabhängigen Variablen vorgenommen. Lineare Regressionsmodelle stellen eine gängige Methode zur Erfassung linearer Assoziationen dar, bieten aber im Gegensatz zu linearen Korrelationskoeffizienten die Möglichkeit einer detaillierteren Darstellung des betrachteten Zusammenhangs. Eine Adjustierung der Regressionsmodelle erfolgte so beispielsweise nach dem Alter und dem Geschlecht der Probanden, um eine mögliche Verzerrung der Effekte (Confounding) durch diese Einflussfaktoren (Confounder) zu verhindern. Laut Definition liegt ein Confounder vor, wenn der besagte Faktor auf kausaler Ebene sowohl mit der abhängigen als auch mit der unabhängigen Variable der geplanten Analyse assoziiert ist, selbst aber weder direkte noch indirekte Folge der unabhängigen Variable ist. In Anlehnung an die Fachliteratur treffen diese Bedingungen lediglich auf die Faktoren Alter und Geschlecht zu, da nur diese sowohl das Wachstum des Gesichtsschädels als auch jenes der beiden Kiefer relevant beeinflussen. Die Möglichkeit von Rest-Confounding aufgrund eines bisher noch gänzlich unbekannten Einflussfaktors kann jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden.

Mögliche Erweiterungen des einfachen linearen Modells, wie etwa die Aufnahme von Interaktionstermen, wurden getestet, waren aber in Anbetracht der Datenstruktur nicht notwendig.

Für die Untersuchung der Hypothese 5 wurden Zweistichproben-t-Tests durchgeführt, welche die gängige Vorgehensweise für den Vergleich der Mittelwerte einer annähernd normalverteilten metrischen Variable in zwei unabhängigen Gruppen darstellen.

Der Stichprobenumfang der vorliegenden Studie betrug zwar insgesamt N = 161, allerdings schwankte die Anzahl der letztlich in die einzelnen Berechnungen aufgenommenen Probanden erheblich. Die Aussagekraft einzelner Analysen, bei denen viele Probanden ausgeschlossen werden mussten, ist daher durchaus limitiert.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Selektionsprozess des Probandenguts

Zwischen den Messungen von SHIP-0 und SHIP-2 erstrecke sich ein Zeitfenster von 11 bis zu 15 Jahren. Um einen Selektionsprozess des Probandenguts beurteilen zu können, wurden die drei Gesamtgruppen SHIP-0, SHIP-2 und das Probandengut der vorliegenden Studie zum gleichen Zeitpunkt verglichen. Die Daten entstammen daher dem Datensatz aus SHIP-0.

Alle Probanden sind Kaukasier und haben ihren Hauptwohnsitz in Vorpommern. Diese Studie bezieht sich dementsprechend auf die Gesichtsmorphologie und die Zahnbogendimensionen von Probanden kaukasischer Abstammung.

Der prozentuale Anteil von Männern und Frauen liegt in allen Gesamtgruppen nur gering verändert vor (SHIP-0 mit 49,1% Männern; aktuelles Probandengut mit 43,5% Männern zum Zeitpunkt von SHIP-0).

Das Durchschnittsalter der Probanden aus SHIP-0 liegt bei 49,8 Jahren bei einer Altersverteilung von 20-79 Jahren. Dagegen sind die Probanden, welche sich für SHIP-2 erneut vorstellten, zum Zeitpunkt von SHIP-0 durchschnittlich um 3,6 Jahre jünger als die Gesamtheit aller SHIP-0 Probanden. Das Durchschnittalter der vorliegenden Studienpopulation liegt zu diesem Zeitpunkt sogar bei 37,4 Jahren. Das maximale Alter beträgt hier nur noch 55 Jahre.

Während die durchschnittliche Anzahl der Zähne in SHIP-0 bei 17,9 liegt, haben die Probanden der aktuellen Studie zum Zeitpunkt von SHIP-0 im Durchschnitt 7 Zähne mehr. Als Ursache kann dafür das geringere Alter der Probanden genannt werden, welches zuvor beschrieben wurde. Des Weiteren setzen verschieden Distanzen und Referenzpunkte in dieser Studie das Vorhandensein der entsprechenden Referenzzähne voraus. Unbezahnte Patienten wurden gänzlich ausgeschlossen. Diese strengen Ausschlusskriterien führen zu einer Zunahme der Zahnanzahl im Selektionsprozess.

Der Anteil der Probanden mit einer geringen Schulbildung beträgt in der vorliegenden Studie 3,7% zum Zeitpunkt von SHIP-0 und ist im Gegensatz zu SHIP-0 mit 40,1% oder SHIP-2 mit 27,6% zum Zeitpunkt von SHIP-0 stark gesunken. Die höheren Bildungskategorien sind stärker vertreten (SHIP-0 mit 16,3%; SHIP-2 mit 20,1%; aktuelle Studienpopulation 28,6% zum Zeitpunkt von SHIP-0). Die Teilnahme an SHIP zeugt

von einem gewissen Interesse an einer gesundheitsbewussten Lebensweise der Probanden, welche auf eine bessere Schulbildung zurückgeführt werden kann.

Weiterhin hat sich der Anteil der KFO-Behandelten unter den Probanden durch die Selektion verdoppelt. (SHIP-0 mit 14,7%; aktuelle Studienpopulation mit 27,3% zum Zeitpunkt von SHIP-0). Dies könnte an dem geringen Durchschnittalter und dem vermehrten Interesse an Mundgesundheit liegen.

Die Auswahl der Probanden dieser Studie unterlag einer starken Selektion und ist daher nicht repräsentativ für SHIP-0.

5.2.2 Unterschiedliche Breite vom Ober- und Unterkiefer

Die Zahlen machen deutlich, dass die Mandibula im Allgemeinen schmaler geformt ist als der Oberkiefer. Lee[67] erklärt diesen Trend mit einem stärkeren Wachstumsverhalten des Oberkiefers im Vergleich zum Unterkiefer. Knott[71] führte eine Studie mit 22 Probanden und 15 Probandinnen im Alter von 5 bis 26 Jahren durch, in der ein unterschiedliches Wachstumsverhalten zwischen beiden Kiefern festgestellt wurde. Das Breitenwachstum des Oberkieferzahnbogens konnte in ihrer Studie bis zum vollständigen Durchbruch aller permanenten Zähne beobachtet werden. Besonders ausgeprägt zeigte sich das Breitenwachstum des Unterkieferzahnbogens mit dem Durchbruch der lateralen Inzisivi. Im Gegensatz zum Oberkiefer wurden nachfolgend nur noch geringe Veränderungen in der Unterkieferzahnbogenbreite beobachtet. Eine weitere Studie brachte intensive Wachstumsimpulse der Unterkieferzahnbogenbreite mit dem Durchbruch der lateralen Inzisivi in Verbindung. Wachstumsimpulse der Oberkieferzahnbogenbreite gingen mit dem Durchbruch der zentralen Inzisivi einher.[72]

5.2.3 Hypothese 1

Mit den Ergebnissen dieser Studie wird bestätigt, dass ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der kranialen Breite bzw. der Gesichtsbreite und der Zahnbogenbreite im Oberkiefer besteht. Je größer die Jochbogenbreite bzw. die kraniale Breite, desto stärker zeigte sich die Tendenz zu einer größeren Oberkieferzahnbogenbreite.

Mehrere Untersucher haben sich bereits der gleichen Fragestellung gewidmet und konnten dieses Ergebnis im Allgemeinen bestätigen. Einige nutzten den Pearson-Korrelationskoeffizienten (r), um einen möglichen Zusammenhang festzustellen. In deren Untersuchungen waren alle Probanden im Erwachsenenalter. Berger[73] bestätigte eine signifikante Korrelation (r = 0,88) zwischen der Gesichtsbreite und dem

Intermolarabstand der 1. Molaren. Etwas geringer prägte sich die Korrelation (r = 0,50) zu den 1. Prämolaren aus. Sullivan[74] untersuchte männliche Probanden unterschiedlicher Abstammungen und ermittelte auch dort stets positive, aber weniger stark ausgeprägte Korrelationen (Kaffir: r = 0,53; Eskimos: r = 0,40; Telengiten: r = 0,31) zwischen der Gesichtsbreite und der maximalen palatinalen Breite. Hinsichtlich eines Zusammenhanges zwischen der Kieferbreite und der kranialen Breite (Eu-Eu) wurden bislang nur sehr wenige Untersuchungen durchgeführt, welche entweder nur schwache Korrelationen[74] oder gar keine signifikanten Ergebnisse hervorbrachten.

Auch Warren[75] konnte eine signifikante positive Korrelation zwischen dentalen Parametern des Oberkiefers und skelettalen Strukturen der oberen Gesichtsbreite bestätigen.

Die Maxilla und die Lamina horizontalis des Os palatinum bilden die Grundlage des knöchernen Gaumens und spielen eine Schlüsselrolle bei dem Wachstum der Oberkieferzahnbogenbreite. Dessen Abhängigkeit von der Jochbogenbreite und kranialen Breite kann mit der anatomischen Nähe dieser Strukturen erklärt werden. Der Arcus zygomaticus setzt sich aus den Knochenfortsätzen des Os zygomaticum (Processus temporalis ossis zygomatici) und des Os temporalis (Processus zygomaticus ossis temporalis) zusammen, wobei das Os zygomaticum direkt an die Maxilla grenzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Wachstumsprozesse der Maxilla und des Os zygomaticum gegenseitig beeinflussen. Die lateralen Strukturen des Schädels zur Bestimmung der kranialen Breite werden geprägt durch das Os parietale und das Os temporale. Hierbei muss erneut auf die direkte Angrenzung des Os temporale mit der Pars squamosa an den Processus temporalis ossis zygomatici hingewiesen werden. Auch hier kann eine gegenseitige Beeinflussung der Wachstumsvorgänge beider Knochen vermutet werden. Damit steht auch die Maxilla in indirekter Verbindung zum Os temporale und anschließend zum Os parietale. Vor diesem Hintergrund erscheinen die Ergebnisse der Studie schlüssig.

5.2.4 Hypothese 2

Zwischen der Unterkieferzahnbogenbreite und dem Interkondylarabstand konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Allein zwischen dem Interkondylarabstand und den Distanzen B1, B3 und B5 wurde eine Assoziation ersichtlich, wenn einzig der herausnehmbare Zahnersatz als Ausschlusskriterium galt. Das Ausschlusskriterium A besagt, dass Messungen trotz prothetischer Versorgung der Referenzzähne durchgeführt wurden. Wenn ein Zahn zum Beispiel überkront oder ein verlo-

ren gegangener Zahn durch ein Brückenglied ersetzt wurde, wird die natürliche Ausprägung der Zahnkrone nach lateral nicht mehr gewährleistet. Weiterhin kann der Zahn bereits gewandert sein. Das Ergebnis des Ausschlusskriteriums A kann dadurch ungenauer sein als bei dem Ausschlusskriterium B. Jedoch ist beim Ausschlusskriterium B die Stichprobengröße geringer, was die statistische Aussagekraft verringert. Anhand der ermittelten p-Werte ist zu erkennen, dass für das Ausschlusskriterium B keine Aussage mehr bezüglich eines Zusammenhanges der Unterkieferzahnbogenbreite mit dem Interkondylarabstand getroffen werden kann.

Im Gegensatz zu dieser Studie konnten in der Literatur einige signifikante Zusammenhänge zwischen der Zahnbogenbreite der Mandibula und der Breite des Untergesichtes festgestellt werden. Jedoch diente zur Bestimmung des Untergesichtes vorwiegend der Abstand zwischen dem linken und rechten Gonion. Der Punkt Gonion wird definiert als Punkt an der maximalen Kurvatur des Unterkieferwinkels (siehe Abbildung 22).[76]

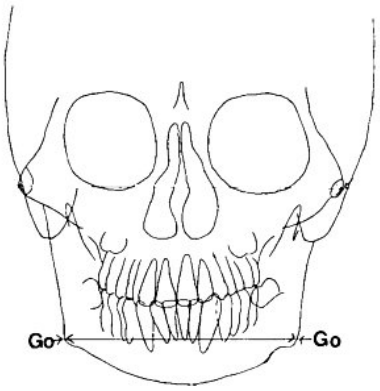


Abbildung 22 Bigoniale Breite (Go-Go)

Andria und Dias[76] deuteten auf eine Abhängigkeit zwischen der Unterkieferzahnbogenbreite und dem „skelettalen Gegenstück“ - der bigonialen Breite - hin. Es wird ausgesagt, dass eine schmale bigoniale Dimension von einer schmalen mandibulären Zahnbogenbreite begleitet wird. Das Durchschnittsalter ihrer Probanden betrug 16,4 Jahre. Wie zuvor erwähnt war der maximale Wachstumsschub für die Unterkieferzahnbogenbreite bereits abgeschlossen.

Meredith et al.[77] und Woods[78] führten Untersuchungen an 52 jüngeren Kindern (5 Jahre; Messungen an den zweiten Milchmolaren) und 28 älteren Kindern (9 Jahre; Messungen an den ersten permanenten Molaren) durch. Sie nutzten den Pearson-Korrelations-

koeffizienten, um einen möglichen Zusammenhang zwischen der Unterkieferzahnbogenbreite und dem bigonialen Abstand zu ermitteln. Es zeigte sich je eine positive Korrelation bei den Fünfjährigen (r = 0,49), als auch bei den Neunjährigen (r = 0,45).

Nun stellt sich die Frage, warum Zusammenhänge zwischen der Unterkieferzahnbogenbreite und dem bigonialen Abstand, nicht aber zum Interkondylarabstand festgestellt werden konnten. Eine mögliche Begründung lässt sich anatomisch herleiten. Das Caput mandibulae als Referenzstruktur der vorliegenden Studie ist die am weitesten superior gelegene Struktur der Mandibula und steht in Verbindung mit der Fossa mandibularis, einer fixen Struktur der Schädelbasis. Die Vermutung liegt nahe, dass die laterale Ausprägung des Caput mandibulae mehr durch den Gesichtsschädel beeinflusst wird als das Gonion, welches die untere, laterale Begrenzung des Unterkiefers bildet und in keiner direkten Verbindung zu einer fixen Struktur des Schädelbasis steht. Weiterhin wurden die Untersuchungen im Gegensatz zur vorliegenden Studie vorwiegend an Kindern durchgeführt. Das Wachstum war damit noch nicht abgeschlossen. Die Ergebnisse können daher nicht direkt miteinander verglichen werden.

5.2.5 Hypothese 3

Die Ergebnisse zeigen eine negative Abhängigkeit des Overjets von den vorderen Zahnbogenbreiten des Oberkiefers (B1-B3) unter Verwendung des Ausschlusskriteriums B. Je breiter der vordere Oberkieferzahnbogen, desto geringer prägte sich der Overjet aus. Die Analysen für die hinteren Zahnbogenbreiten des Oberkiefers (B4-B6) ergaben keine signifikanten Werte. Dies könnte durch die anatomische Nähe der Referenzzähne zu den vorderen Zahnbogendistanzen begründet sein.

Buschang, Stroud und Alexander[79] untersuchten bei kieferorthopädisch unbehandelten Probandinnen die Zahnbogenausdehnung kategorisiert nach der Angle Klassifikation I, II/1 und II/2. Die Angle Klasse II/1 zeichnet sich durch eine anteinklinierte Oberkieferfront aus, dies entspricht einem großen Overjet. Die retroinklinierte Oberkieferfront der Angle Klasse II/2 Patienten spricht für einen sehr kleinen Overjet. Bei den Probandinnen mit der Angle Klasse II/1 wurde gleichzeitig der längste und schmalste Zahnbogen, bei II/2 der kürzeste und breiteste Zahnbogen gemessen. Ein schmaler und langer Zahnbogen tendiert laut Buschang et al. zu einem vergrößerten Overjet.

Die Einteilung der Zahnbögen erfolgt in drei verschiedene Formen-quadratisch, ovoid und konisch.[80–82] Kim et al.[83] untersuchten den Overjet entsprechend der verschiedenen

Zahnbogenformen an koreanischen Probanden. Der quadratische Zahnbogen war in diesen Untersuchungen in beiden Kiefern anterior (intercanin) und posterior (intermolar) im Vergleich mit den anderen Zahnbogenformen signifikant am breitesten ausgeprägt. Die konische Gestaltung wurde bei Probanden mit schmalen Zahnbögen gemessen. Im Gegensatz zur vorliegenden Studie erfolgten die Messungen des Overjets nicht manuell an den mittleren Frontzähnen, sondern digital mit einer 3D-Software. Hierfür wurden alle Modelle zuerst eingescannt und schließlich an allen Zähnen jeweils die Abstände zwischen den vestibulären Flächen der antagonistischen Ober- und Unterkieferzähne bestimmt. Die vorliegende Studie beruht auf Daten der SHIP Untersuchungen und repräsentiert ein breites Bevölkerungsspektrum. Kim et al. nutzten dagegen ein ausgewähltes, der Norm entsprechendes Probandengut und hatten unter anderem folgende Kriterien: Angle Klasse I (Molaren- und Eckzahnregion), normaler Overbite (> 0mm) und Overjet (< 4mm), keine vorangegangene kieferorthopädische Behandlung, keine Mittellinienverschiebung, kein bukkaler Kreuzbiss, keine Restaurationen an Kontaktpunkten, Höckern, Inzisalkanten oder vestibulären Flächen. Die Ergebnisse der Studie von Kim et al. lassen dem konischen Zahnbogen den größten Overjet zuordnen, gefolgt vom ovoiden und quadratischen Zahnbogen, und sind trotz des unterschiedlichen Probandenguts mit den Ergebnissen aus Hypothese 3 im Einklang.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, erfolgt die Entwicklung des Ober- und Unterkiefers separat (siehe 1.1.2.2 Wachstum des Gaumens und 1.1.2.3 Wachstum des Unterkiefers). Bei der Betrachtung des postnatalen Wachstums betonten Andria und Dias[76] die Möglichkeit, dass die Maxilla mit ihren dentalen und skelettalen Strukturen großen Einfluss auf die Ausprägung der Unterkieferbreite ausübt. Auch Howes[84] kam zu den Entschluss, dass der Oberkieferzahnbogen den Unterkieferzahnbogen durch ihre gemeinsame Okklusion nach außen hin fixiert und somit das laterale Wachstum leitet. Diese Aussagen können einen Zusammenhang zwischen der Unterkieferzahnbogenbreite und der sagittalen Frontzahnstufe vermuten lassen, widersprechen jedoch den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Variationen der Ergebnisse werden vor allem durch die Nutzung unterschiedlicher Ausschlusskriterien hervorgerufen. Zum Beispiel untersuchten Andria und Dias ausschließlich Probanden und Probandinnen mit einer idealen Okklusion, einem maximalen Overbite von 3 mm und Overjet von 2 mm. Die Probanden der vorliegenden Studie entsprachen dagegen einer Bevölkerungsgruppe; die Größe des Overjets oder Malokklusionen galten nicht als Ausschlusskriterium.

5.2.6 Hypothese 4

Der Overbite beschreibt die vertikale Lagebeziehung der Inzisalkanten von Ober- und Unterkieferfrontzähnen zueinander und beträgt im eugnathen Gebiss 2-3 mm. Zwei Extreme werden differenziert:[85]

> **frontal offener Biss:** Die Frontzähne haben bei maximaler Interkuspidation der Seitenzähne keinen Kontakt, **der Overbite ist verkleinert**. Er kommt habituell, skelettal, rachitisch oder iatrogen bedingt zum Vorschein.
>
> **tiefer Biss:** Ein vergrößerter vertikaler Überbiss der oberen Frontzähne über die unteren mit oder ohne Gingivakontakt liegt vor, **der Overbite ist vergrößert** (> 3 mm). Zu den möglichen Ursachen eines tiefen Bisses zählen unter anderem die genetische Disposition, das Ausbleiben der physiologischen Bisshebung oder eine mangelnde Abstützung im Bereich der Seitenzähne, sodass der tiefe Biss durch eine Verlängerung der Inzisivi verstärkt wird.

Die totale Gesichtshöhe setzt sich aus der oberen und unteren Gesichtshöhe zusammen. Nanda[86] untersuchte an 16 Mädchen und 16 Jungen im Alter von 3-18 Jahren das differenzierte Wachstumsverhalten der oberen (N-Ans) und unteren (Ans-Me) Gesichtshöhe und gibt an, dass sich das Entwicklungsmuster für die vertikalen Gesichtsdimensionen bereits im frühen Alter, noch vor dem Durchbruch der ersten permanenten Molaren und lange vor dem pubertären Wachstumsschub, manifestiert. Es wurde ein unterschiedliches Entwicklungsmuster der vertikalen Gesichtsdimensionen zwischen Patienten mit einem offenen Biss (stärkeres Wachstum des Untergesichtes) und einem tiefen Biss (stärkeres Wachstum im Obergesichtes) beobachtet.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen nahe, dass die untere und totale Gesichtshöhe einen großen Einfluss auf den Overbite ausüben. Probanden mit einem offenem Biss und demzufolge einem verkleinerten oder negativen Overbite zeigten ein charakteristisch längeres Untergesicht als Probanden, bei denen der Overbite vergrößert war. In vorangegangenen Studien verglichen die Untersucher die Gesichtshöhe und den vertikalen Frontzahnüberbiss und bestätigten dieses Ergebnis.[87–95] Zudem wurde beobachtet, dass die totale Gesichtshöhe bei Patienten mit einem offenen Biss tendenziell länger ausgeprägt war als bei den Tiefbisspatienten.[92,93,96,97] Auch Nahoum[98] kam zu diesem

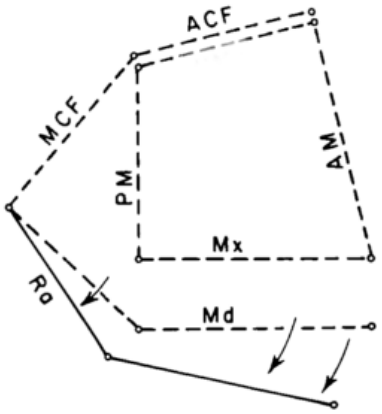
Ergebnis und beobachtete weiterhin ein größer ausgeprägtes Untergesicht in Relation zur oberen Gesichtshöhe bei seinen Probanden mit einem offenen Biss.

Die obere Gesichtshöhe erstreckt sich in der vorliegenden Studie ausgehend von der Glabella über das Os nasale und der Maxilla bis hin zur knöchernen Spina nasalis anterior. In den Analysen lässt sich keine signifikante Abhängigkeit des Overbits von dieser vertikalen Dimension feststellen. In vergleichbaren Untersuchungen wurde die obere Gesichtshöhe nur durch die vertikale Dimension der Maxilla beschrieben. Die Untersucher konnten sich bisher auf kein einheitliches Ergebnis einigen. Einige Studien stimmen mit ihren Ergebnissen denen der vorliegenden Arbeit überein und ermittelten keine Zusammenhänge zwischen der Maxillahöhe und dem Overbite[93,99], wohingegen andere eine vergrößerte[1,88] oder eine tendenziell verkleinerte[98,100,101] vertikale Maxilladimension bei Patienten mit einem offenem Biss, also einem verkleinerten oder negativen Overbite, beobachteten.

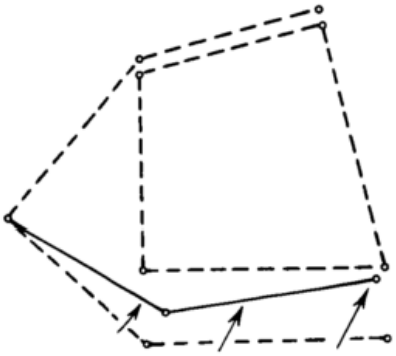
Auch hier kann die Varianz der Ergebnisse unter anderem auf unterschiedliche Ausschlusskriterien und Altersklassen zurückgeführt werden. Zum Beispiel wurden für die Studie von Nanda[86] Patienten im Alter von 3 bis 18 Jahren untersucht, die sich noch keiner kieferorthopädischen Behandlung unterzogen hatten. Demgegenüber galt eine vorangegangene kieferorthopädische Behandlung in der vorliegenden Arbeit nicht als Ausschlusskriterium. Die Probanden hatten außerdem bereits ein höheres Alter erreicht, sodass das maximale Wachstum bereits abgeschlossen war.

Trouten et al.[102] beschäftigen sich mit einem breiten Spektrum an skelettalen Parametern, die mit der Bildung eines tiefen und offenen Bisses in Verbindung gebracht werden. Dazu zählen unter anderem Parameter des Unterkiefers (Inklination der Mandibula, horizontale Länge des Ramus mandibulae, Gonionwinkel zwischen dem Corpus und Ramus der Mandibula, Mandibularebene), Parameter des Oberkiefers (horizontale Inklination der Maxilla), kraniale Parameter (Inklination der mittleren kranialen Fossa) sowie die Okklusionsebene und die Speekurve. Besonders die Größe des Gonionwinkels[1,2,91–93,98–102] sowie die Inklination der Mandibula haben eine entscheidende Rolle bei der Ausprägung der Größe des Overbites und der unteren Gesichtshöhe (siehe Abbildungen 23 A-D). Aus den Erkenntnissen von Trouten et al. kann geschlossen werden, dass sich, wenn der Gonionwinkel vergrößert und die Inklination der Mandibula nach posterioinferior geneigt ist, ein längeres Untergesicht und ein verkleinerter Overbite zeigen. Demzufolge sprechen ein kurzes Untergesicht und ein großer Overbite für einen

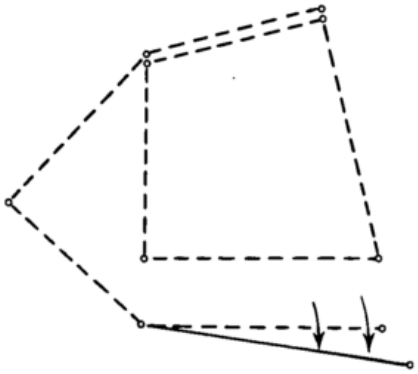
kleineren Gonionwinkel und eine anteriosuperiore Inklination der Mandibula. Björk[88] sieht dagegen den Gonionwinkel nicht als entscheidenden Parameter für die Morphologie des vertikalen Gesichtes an.



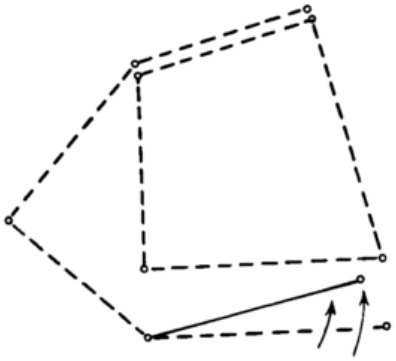
A Verkleinerter Overbite durch die posterioinferiore Inklination der Mandibula; verlängertes Untergesicht



B Vergrößerter Overbite durch die anteriosuperiore Inklination der Mandibula; kurzes Untergesicht



C Verkleinerter Overbite durch einen vergrößerten Gonionwinkel; verlängetes Untergesicht



D Vergrößerter Overbite durch einen kleineren Gonionwinkel; kurzes Untergesicht

Abbildung 23 A-D Schematische Übersicht zum Zusammenhang zwischen dem Overbite und der Länge des Untergesichtes. Abkürzungen: ACF: anteriore kraniale Fossa; MCF: mittlere kraniale Fossa; PM: posteriore Maxilla; Am: anteriore Maxilla; Ra: Ramus mandibulae; Md: Mandbibularbogen; Mx: Maxillarbogen[102]

5.2.7 Hypothese 5

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sagen aus, dass Männer im Allgemeinen ein längeres und breiteres Gesicht haben als Frauen. Diese größeren transversalen und vertikalen Ausdehnungen des Gesichtes beim männlichen Geschlecht lassen sich auf Differenzen in den fazialen Wachstumsprozessen von Männern und Frauen zurückführen. In den Studien von Snodell, Nanda und Currier[64] wurde das faziale Längen- und Breitenwachstum in verschiedenen Altersklassen (6.-18. Lebensjahr) anhand röntgenologischer Aufnahmen von posterior nach anterior analysiert. Diese Studie zeigte, dass bereits zum Zeitpunkt des 6. Lebensjahres geschlechtsspezifische Unterschiede in der kranialen Breite und der Jochbogenbreite vorzufinden sind. Ab dem 18. Lebensjahr konnten sogar in fast allen von Snodell, Nanda und Currier untersuchten Parametern signifikante Abweichungen festgestellt werden. Dazu zählten unter anderem die kraniale Breite, die Jochbogenbreite, der maxilläre und mandibuläre Intermolarenabstand der 1. Molaren sowie die totale, untere und obere Gesichtshöhe. Einzig die nasale Breite und der Intermolarenabstand der 2. Molaren des Unterkiefers unterschieden sich nicht signifikant. Auch Meredith[103] sowie Ricketts et al.[3] beschäftigten sich mit dem stärkeren Wachstumsverhalten bei den männlichen Probanden und bestätigten die Aussage einer größeren Jochbogenbreite. Ebenso wurde die größere vertikale Ausdehnung des männlichen Gesichtes durch Snodell, Nanda und Currier belegt. Sie zeigten mit ihren Untersuchungen bei den männlichen Probanden einen signifikant stärkeren Wachstumsschub vom 12.-18. Lebensjahr. Nanda[104] berichtete in einer weiteren Studie ebenfalls von ähnlichen Ergebnissen.

Bereits 1999 bekundeten Lee et. al[67] in ihrer Studie, dass die Zahnbogenbreiten zwischen Männern und Frauen variieren. Gleiches konnte auch in der vorliegenden Studie festgestellt werden. Hier zeigte sich, dass der Zahnbogen des Ober- und Unterkiefers bei Männern im Allgemeinen breiter ausgebildet ist als bei Frauen.

Frühere Untersuchungen fanden eine mögliche Ursache für diese geschlechtsbezogenen Differenzen in den unterschiedlichen Verschlusszeiten der mittleren Gaumennaht, der Sutura palatina mediana. Melsen[14] erkannte eine eher einsetzende Synostose der Sutura palatina mediana bei Frauen (mit dem 16. Lebensjahr) im Vergleich zu Männern (mit dem 18. Lebensjahr). Björk und Skieller[105] beschrieben eine vollständige Synostose bei der Mehrzahl der männlichen Probanden bereits mit dem 17. Lebensjahr. Auch Savara und Singh[106] ermittelten ähnliche Ergebnisse und bestätigten den zeitigeren Verschluss

der Sutura palatina mediana bei Frauen (15. Lebensjahr) im Vergleich zu Männern (17. Lebensjahr). Wie in der Einleitung beschrieben, zeigen sich ab dem 12. Lebensjahr zwischen männlichen und weiblichen Probanden unterschiedliche Wachstumsmuster. Die intermolare Breite bleibt bei Männern stabil oder nimmt bis zum 18. Lebensjahr gering zu, bei Frauen nimmt sie tendenziell ab.[40,107]

Laut der vorliegenden Ergebnisse ist auch der Unterkiefer bei Männern breiter ausgeprägt. In den meisten Studien konnte ebenfalls ein Zusammenhang zwischen verschiedenen Parametern der Zahnbogenbreite der Mandibula und dem Geschlecht festgestellt werden.[108] Eine Erklärung hierfür findet sich in der durchschnittlich geringeren Krafteinwirkung der Muskulatur auf den Unterkiefer und dem schmaler ausgeprägten Unterkieferalveolarkammknochen beim weiblichen Geschlecht.[108]

Die Ergebnisse der aktuellen Studie zeigten weiterhin signifikant größere Oberkieferlängen bei Männern. Demgegenüber konnten für die Längen im Unterkiefer keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Das gesamte Breiten- und Längenwachstum des Oberkiefers findet anterior des Foramen palatinum major statt. Das Oberkieferlängenwachstum prägt sich vor allem im Bereich zwischen der transversalen Gaumennaht, der Sutura palatina transversa und dem Foramen incisivum aus.[109] Die Sutura palatina transversa repräsentiert die knöcherne Begrenzung der Maxilla zum Os palatinum. Ihr suturales Wachstum bildet einen natürlichen Vorgang, der unter anderem die benötigten Platzverhältnisse für den Durchbruch der permanenten Molaren und Prämolaren während der Wechselgebissphase II liefert. Es liegt daher auch hier die Vermutung nahe, dass eine zeitlich versetzte Synostose dieser Suturen ursächlich für die beobachteten Unterschiede zwischen Männern und Frauen ist.

6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Zusammenhang zwischen der Ober- und Unterkieferzahnbogenausdehnung in transversaler und longitudinaler Dimension und der fazialen Gesichtsmorphologie untersucht. Die Grundlage der Auswertung bildeten die Modellbefunde von 70 Männern und 91 Frauen aus der ersten Kohorte der „Study of Health in Pomerania“ (SHIP-0) und der MRT Befunde des 11-Jahres-Follow-Ups (SHIP-2) derselben Probanden. Die verschiedenen Dimensionen des Zahnbogens und der Frontzahnstellung, ermittelt anhand von ASSPro-Dentalmodellen, wurden zu Distanzen in Beziehung gestellt, welche die Gesichtsmorphologie in ihrer Höhe, Breite und Tiefe beschreiben. Die differenzierte Merkmalsausprägung von Gesicht und Zahnbogen zwischen den männlichen und weiblichen Probanden fand ebenfalls Beachtung. Es galt diese Aspekte miteinander in Beziehung zu setzen und neue Erkenntnisse über deren Zusammenhänge zu gewinnen. Für die Untersuchungen wurden zwei Ausschlusskriterien formuliert; ausgeschlossen wurden A) Modelle bei Vorhandensein eines herausnehmbaren Zahnersatzes, wobei Ober- und Unterkiefermodelle stets separat betrachtet wurden und B) zusätzlich zum Ausschlusskriterium A alle Distanzen, deren Referenzzähne durch Kronen, Teilkronen, Brücken oder Implantate versorgt wurden. Das Fehlen des Referenzzahnes galt als weiteres Ausschlusskriterium.

Folgende Hypothesen wurden anhand dessen untersucht und teilweise bestätigt:

Hypothese 1: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Zahnbogenbreite im Oberkiefer (B1-B6) und der Jochbogenbreite (Zy-Zy) sowie der kranialen Breite (Eu-Eu). **Hypothese 2**: Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Zahnbogenbreite im Unterkiefer (B1-B5) und dem Interkondylarabstand (Cd-Cd). **Hypothese 3**: Die Größe des Overjets wird durch die Zunahme der Zahnbogenbreite im Oberkiefer und/ oder durch die Abnahme der Zahnbogenbreite im Unterkiefer beeinflusst. **Hypothese 4:** Die Ausprägung der Gesichtshöhe steht in einer positiven Relation zum Overbite. **Hypothese 5:** Bei Männern sind die Dimensionen in der fazialen Morphologie sowie in der Ausdehnung der Zahnbögen stärker ausgeprägt als bei Frauen.

Zur Untersuchung der Hypothesen 1 bis 4 wurden lineare Regressionsanalysen durchgeführt, die sowohl für das Alter als auch das Geschlecht der Probanden adjustiert waren. Die Hypothese 5 ließ sich mit der Berechnung der Mittelwerte und den zugehörigen

Standardabweichungen anhand von Zweistichproben-t-Tests untersuchen. Die Analysen brachten folgende Ergebnisse hervor:

Hypothese 1: Es wurde ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Jochbogenbreite sowie der kranialen Breite und den gemessenen Distanzen der Zahnbogenbreite im Oberkiefer ersichtlich. Mit zunehmender Ausprägung der fazialen Strukturen konnte eine größere Distanz der Oberkieferzahnbogenbreite ermittelt werden. Weiterhin wiesen die erhaltenen Regressionskoeffizienten in Abhängigkeit von der betrachteten Zahnbogendistanz einen Trend auf: Je weiter posterior die betrachtete Distanz liegt, desto mehr scheint sie von der Jochbogenbreite und der kranialen Weite beeinflusst zu werden. Dieser Trend wurde allerdings nur für das Ausschlusskriterium A ermittelt. **Hypothese 2:** Zwischen dem Interkondylarabstand und der Unterkieferzahnbogenbreite wurde mit wenigen Ausnahmen keine signifikante Relation deutlich. Demgegenüber stand die Aussage einiger anderer Studien. Diese konnten unter Verwendung eines anderen Einflussfaktors, nämlich des bigonialen Abstandes, statt des Interkondylarabstandes, einen signifikanten Einfluss auf die Unterkieferzahnbogenbreite zeigen. **Hypothese 3:** Ein weiteres Ergebnis zeigte eine Verringerung der sagittalen Frontzahnstufe in Abhängigkeit von einer Zunahme der vorderen Oberkieferzahnbogenbreiten unter Verwendung des Ausschlusskriteriums B. **Hypothese 4:** Die Ausprägung der vertikalen Frontzahnstufe wurde von der unteren und totalen Gesichtshöhe jeweils signifikant negativ beeinflusst. **Hypothese 5**: Der Zahnbogen war bei männlichen Probanden im Ober- sowie im Unterkiefer breiter als bei Frauen. Bei Betrachtung der Zahnbogenlänge war dieser Trend nur im Oberkiefer ersichtlich. Dort war der Zahnbogen im vorderen sowie im hinteren Bereich bei Männern stärker ausgeprägt als bei den Frauen. Geschlechterbezogene Auffälligkeiten ließen sich ebenfalls für alle Distanzen auf den Ganzkörper-MRT-Aufnahmen feststellen. Jede Distanz (Jochbogenbreite, kraniale Breite, Interkondylarabstand, obere Gesichtshöhe, untere Gesichtshöhe, totale Gesichtshöhe, nasale Höhe) prägte sich bei den Männern signifikant größer als bei den Frauen.

7 Literaturverzeichnis

1. Schendel SA, Eisenfeld J, Bell WH, Epker B. The long face syndrome: vertical maxillary excess. *Am J Orthod*. 1976;70(4):398–408.
2. Opdebeeck H, Bell WH. The short face syndrome. *Am J Orthod*. 1978;73(5):499–511.
3. Ricketts RM, Roth RH, Chaconas SJ, Schulhof RJ EG. Orthodontic diagnosis and planning: their roles in preventive and rehabilitative dentistry. *Rocky Mt Orthod*. 1982;1:107–125.
4. Tsunori M, Mashita M, Kasai K. Relationship between facial types and tooth and bone characteristics of the mandible obtained by CT scanning. *Angle Orthod*. 1998;68(6):557–562.
5. Enlow DH, Hans MG. Essentials of facial growth. *Ann Plast Surg*. 1996:221.
6. Wagner DC, Chung C-H. Transverse growth of the maxilla and mandible in untreated girls with low, average, and high MP-SN angles: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2005;128(6):716–723.
7. Delaire J. L'articulation fronto-maxillaire. Bases théoriques et principes généraux d'application des forces extra-orales postéro-antérieures sur masque orthopédique. *Rev Stomatol Chir Maxillofac*. 1976;77(7):921–930.
8. Liem T. Morphodynamik in der Osteopathie - Grundlagen und Anwendung am Beispiel der kranialen Sphäre. 2. Auflage. Haug Verlag;2013:349–370.
9. Liem T, Schleupen A, Altmeyer P, Zweedijk R. Osteopathische Behandlung von Kindern. 2. Auflage. Haug Verlag; 2012:42
10. Harzer W. Lehrbuch der Kieferorthopädie. 1. Auflage. Carl Hanser Verlag;1999:9–19.
11. Björk A. Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants. *Acta Odontol Scand*. 1955;13(1):9–34.
12. Björk A. Sutural growth of the upper face studied by the implant method. *Eur J Orthod*. 1964;29(1):i82–i88.
13. Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. *Am J Phys Anthropol*. 1968;29(2):243–254.
14. Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. A histological microradiographic study. *Am J Orthod*. 1975;68(1):42–54.
15. Bambha JK. Longitudinal cephalometric roentgenographic study of the face and

cranium in relation to body height. *J Am Dent Assoc*. 1961;63(6):776–799.

16. Melsen B. A radiographic craniometric study of dimensional changes in the nasal septum from infancy tu maturity. *Acta Odontol Scand*. 1967;25(5):541–561.
17. Sander FM, Schwenzer N, Ehrenfeld M. Kieferorthopädie; Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde. 2.Auflage. Thieme Verlag;2011:12–13.
18. Moorrees CF, Gron AM, Lebret LM, Yen PK, Frölich FJ. Growth studies of the dentition: a review. *Am J Orthod*. 1969;55(6):600–616.
19. Knott VB. Longitudinal Study of Dental Arch Widths At Four Stages of Dentition. *Anlge Orthod*. 1972;42(4):387–394.
20. Coleman SR, Grover R. The anatomy of the aging face: volume loss and changes in 3-dimensional topography. *Aesthet Surg J*. 2006;26(1S):4–9.
21. Rogol AD, Roemmich JN, Clark PA. Growth at puberty. *J Adolesc Heal*. 2002;31(6):192–200.
22. Townsend G, Hughes T, Luciano M, Bockmann M, Brook A. Genetic and environmental influences on human dental variation: a critical evaluation of studies involving twins. *Arch Oral Biol*. 2009;54(Suppl1):45–51.
23. Johannsdottir B, Thorarinsson F, Thordarson A, Magnusson TE. Heritability of craniofacial characteristics between parents and offspring estimated from lateral cephalogramms. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2005;127(2):200–207.
24. Nakasima A, Ichinose M, Nakata S, Takahama Y. Hereditary factors in the craniofacial morphology of Angle´s Class II and Class III malocclusions. *Am J Orthod*. 1982;82(2):150–156.
25. Manfredi C, Martina R, Grossi GB, Giuliani M. Heritability of 39 orthodontic cephalometric parameters on MZ, DZ twins and MN-paired singletons. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1997;111(1):44–51.
26. Baydas B, Erdem A, Yavuz I, Ceylan I. Heritability of facial proportions and soft-tissue profile characteristics in Turkish Anatolian siblings. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2007;131(4):504–509.
27. Carels C, Van Cauwenberghe N, Savoye I, u. a. A quantitative genetic study of cephalometric variables in twins. *Clin Orthod Res Orthod Res*. 2001;4(3):130–140.
28. Eguchi S, Townsend GC, Richards LC, Hughes T, Kasai K. Genetic contribution to dental arch size variation in Australian twins. *Arch Oral Biol*. 2004;49(12):1015–1024.

29. Moss ML. A theoretical analysis of the functional matrix. *Acta Biotheor*. 1968;18(1):195–202.
30. Proffit WR. Equilibrium theory revisited: factors influencing position of the teeth. *Angle Orthod*. 1978;48(3):175–186.
31. Glowacki J, Christoph K. Gender Differences in the Growing, Abnormal, and Aging Jaw. *Dent Clin North Am*. 2013;57(2):263–280.
32. Weston EM, Friday AE, LiÒ P. Biometric evidence that sexual selection has shaped the hominin face. *PLoS One*. 2007;2(8):710.
33. Wei S. Craniofacial width dimensions. *Angle Orthod*. 1970;40(2):141–147.
34. Ingerslev CH, Solow B. Sex differences in craniofacial morphology. *Acta Odontol Scand*. 1975;33(1968):85–94. doi:10.3109/00016357509026347.
35. Chung C-H, Wong WW. Craniofacial growth in untreated in Class II subjects: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2002;122(6):619–626.
36. Chung C-H, Mongiovi VD. Craniofacial growth in untreated skeletal Class I subjects with low, average, and high MP-SN angles: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2003;124(6):670–678.
37. Moyers RE, Van der Linden PGM, Riolo ML, McNamara JA. *Standards of human occlusal development.* Monograph. Universitäty of Michigang; 1976.
38. Christie TE. Cephalometric Patterns of Adults with Normal Occlusion. *Angle Orthod*. 1977;47(2):128–135.
39. Forster CM, Sunga E, Chung CH. Relationship between dental arch width and vertical facial morphology in untreated adults. *Eur J Orthod*. 2008;30(3):288–294. doi:10.1093/ejo/cjm113.
40. Bishara SE, Jakobsen JR, Treder J, Nowak A. Arch width changes from 6 weeks to 45 years of age. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1997;111(4):401–409. doi:10.1016/S0889-5406(97)80022-4.
41. Alvaran N, Roldan SI, Buschang PH. Maxillary and mandibular arch widths of Colombians. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2009;135(5):649–656. doi:10.1016/j.ajodo.2007.05.023.
42. Todd TW. Facial Growth and Mandibular Adjustment. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr*. 1930;16(12):1243–1272.
43. Izard G. New Method for the Determindation of the Normal Arch by the Function of the Face. *Int J Orthod*. 1930;13(7):582–595.
44. Berger JL, Pangrazio-Kulbersh V, Thomas BW, Kaczynski R. Photographic

analysis of facial changes associated with. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1999;116(5):563–571.

45. Lucas C, Kordaß B. Der heutige Stellenwert der MRT- Diagnostik in der Zahn- , Mund- und Kieferheilkunde. *Digital Dental News*. 2. Jahrgang;2008:32–37.
46. Guler N, Yatmaz P, Ataoglu H, Emlik D, Uckan S. Temporomandibular internal derangement: correlation of MRI findings with clinical symptoms of pain and joint sounds in patients with bruxing behaviour. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2003;32(5):304–310.
47. Sahni D, Sanjeev, Singh G, Jit I, Singh P. Facial soft tissue thickness in northwest Indian adults. *Forensic Sci Int*. 2008;176(2–3):137–146.
48. Gray C, Redpath TW, Smith FW. Magnetic resonance imaging: a useful tool for evaluation of bone prior to implant surgery. *Br Dent J*. 1988;184(12):603–607.
49. Farrugia ME, Bydder GM, Francis JM, Robson MD. Magnetic resonance imaging of facial muscles. *Clin Radiol*. 2007;62(11):1078–1086.
50. Goto TK, Yahagi M, Nakamura Y, Tokumori K, Langenbach GE, Yoshiura K. In vivo cross-sectional area of human jaw muscles varies with section location and jaw position. *J Dent Res*. 2005;84(6):570–575.
51. Cotton F, Rozzi FR, Vallee B, u. a. Cranial sutures and craniometric points detected on MRI. *Surg Radiol Anat*. 2005;27(1):64–70.
52. Hatipoglu HG, Ozcan HN, Hatipoglu US, Yuksel E. Age, sex and body mass index in relation to calvarial diploe thickness and craniometric data on MRI. *Forensic Sci Int*. 2008;182(December 2007):46–51. doi:10.1016/j.forsciint.2008.09.014.
53. Kruse Gujer A, Jacobson C, Grätz KW. Facharztwissen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Spinger Verlag Berlin Heidelberg;2013:17-19.
54. Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. Wie funktioniert MRI? Eine Einführung in Physik und Funktiosweise der Magnetresonanzbildgebung. 7. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg;2014:2–10.
55. John U, Greiner B, Hensel E, u. a. Study of Health in Pomerania(SHIP): a health examination survey in an east German region: Objektives and design. *Soz Praventivmed*. 2001;46(1):186–194.
56. Völzke H, Alte D, Schmidt CO, u. a. Cohort profile: The study of health in Pomerania. *Int J Epidemiol*. 2011;40(February 2010):294–307. doi:10.1093/ije/dyp394.

57. Hensel E, Gesch D, Biffar R, u. a. Study of Health in Pomerania (SHIP): A Health Survey in an East German Region – Objectives and Design of the Oral Health Section. *Quintessence Int*. 2003;34(5):370–378.
58. Ship Studienkarte. http://www2.medizin.uni-greifswald.de/cm/fv/ship/studienbeschreibung/.
59. Hegenscheid K, Kühn JP, Völzke H, Biffar R, Hosten N, Puls R. Whole-body magnetic resonance imaging of healthy volunteers: pilot study results from the population-based SHIP study. *Rofo*. 2009;181(8):748–759. doi:10.1055/s-0028-1109510.
60. Morel-Verdebout C, Botteron S, Kiliaridis S. Dentofacial characteristics of growing patients with Duchenne muscular dystrophy: A morphological study. *Eur J Orthod*. 2007;29(5):500–507. doi:10.1093/ejo/cjm045.
61. Christou P, Kiliaridis S. Three-dimensional changes in the position of unopposed molars in adults. *Eur J Orthod*. 2007;29(August):543–549. doi:10.1093/ejo/cjm036.
62. Buikstra, Ubelaker, Moore-Jansen. Measuring Adult Human Remains. *ANTH 6-Forensic Anthropol*. 1994: http://archive.redwoods.edu/instruct/agarwin/anth_6_measurements.htm.
63. Schopf P. Curriculum: Kieferorthopädie, Band I. 4. Auflage. Quintessenz Verlag;2008:236–239.
64. Snodell SF, Nanda RS, Currier GF. A longitudinal cephalometric study of transverse and vertical craniofacial growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1993;104(5):471–483. doi:10.1016/0889-5406(93)70073-W.
65. DeKock WH. Dental arch depth and width studied longitudinally from 12 years of age to adulthood. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1972;62(1):56–66.
66. Sinclair P, Little R. Maturation of untreated normal occlusions. *Am J Orthod*. 1983;82(2):114–123.
67. Lee RT. Arch width and form: A review. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1999;115(3):305–313.
68. Sillman JH. Dimensional changes of the dental arches: longitudinal study from birth to 25 years. *Am J Orthod*. 1964;50(11):824–842.
69. Goto TK, Nishida S, Nakamura Y, u. a. The accuracy of 3-dimensional magnetic resonance 3D vibe image and computed tomography. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2007;103(4):550–559.

70. Henriksson KM, Kelly BD, Lane A, Hult R, McNeil TF, Agartz I. A morphometric magnetic resonance method for measuring cranial, facial and brain characteristics for application to schizophrenia: Part 1. *Psychiatry Res - Neuroimaging*. 2006;147(2–3):173–186. doi:10.1016/j.pscychresns.2005.02.013.
71. Knott VB. Size and form of the dental arches in children with good occlusion studied longitudinally from 9 years to late adolescence. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1961;48(12):938–940.
72. Baume LJ. Physiological tooth migration and its significance for the development of occlusion. *J Dent Res*. 1950;29(2):123–132.
73. Berger H. Constitution, Heredity, and Orthodontia. *AM J Orthod oral Surg*. 1938;24(2):136–150.
74. Sullivan LR. The Bearing of Physical Anthropology on the Problems of Orthodontia. *Dent Cosms*. 1918;(60):305–313.
75. Warren EB. A study of the correlation of denture and skeletal widths. *Amercian J Orthod Dentofac Orthop*. 1960;46(10):789–790.
76. Andria LM, Dias JC. Relation of maxillary and mandibular intercuspid widths to bizygomatic and bigonial breadths. *1978*. 1978;48(2):154–162.
77. Meredith H V., D. P, Eugene, Ore., Higley LB. Relationships between dental arch widths and widths of the face and head. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1951;37(3):193–204.
78. Woods GA. Changes in width dimensions between certain teeth and facial point during human growth. *AM J Orthod*. 1950;36(9):676–700.
79. Buschang PH, Stroud J, Alexander RG. Differences in dental arch morphology among females with untreated classI and class II malocclusion. *Eur J Orthod*. 1994;16(1):47–52.
80. Kook YA, Nojima K, Moon HB, McLaughlin RP, Sinclair PM. Comparison of arch forms between Korean and North American white populations. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2004;126(6):680–686.
81. Nojima K, Mc Laughlin RP, Isshiki Y, Sinclair PM. A comparative study of Caucasian and Japanese mandibular clinical arch forms. *Angle Orthod*. 2001;71(3):195–200.
82. Yun YK, Kook YA, Kim SH, Mo SS, Cha KS, Kim JG. Mandibular clinical arch forms in Koreans with normal occlusions. *Korean J Orthod*. 2004;34(6):481–487.

83. Kim B, Bayome M, Kim Y, u. a. Comparison of overjet among 3 arch types in normal occlusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2011;139(3):e253–e260. doi:10.1016/j.ajodo.2010.11.004.
84. Howes AE. Case analysis and treatment planning based upon the relationship of tooth material to its supporting bone. *Am J Orthod Oral Surg*. 1957;33(8):499–533.
85. Schopf P. Curriculum: Kieferorthopädie, Band II. 4. Auflage. Quintessenz Verlag;2008:608–632.
86. Nanda K. Patterns of vertical growth in the face. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1988;93(2):103–116. doi:10.1016/0889-5406(88)90287-9.
87. Schudy FF. Vertical growth versus anterioposterior growth as related to function and treatment. *Angle Orthod*. 1964;34(2):75–93.
88. Björk A. The face in profile: an anthropological x-ray investigation on Swedish children and conscripts. *Am J Phys Anthropol*. 1948;6(1):121–125.
89. Prakash P, Margolis H. Dento-craniofacial relations in varying degrees of overbite. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1952;38(9):657–673.
90. Sassouni V. Diagnosis and treatment planning via roentgenographic cephalometry. *Am J Orthod*. 1958;44(6):433–463.
91. Subtelny JD, Sakuda M. Open-bite: Diagnosis and treatment. *AM J Orthod*. 1964;50(5):337–358.
92. Sassouni V, Nanda S. Analysis of dentofacial vertical proportions. *Am J Orthod*. 1964;50(11):801–823.
93. Hapak FM. Cephalometric appraisal of the open-bite case. *Angle Orthod*. 1964;34(1):65–72.
94. Johnson E. The Frankfort-mandibular plane angle and the facial pattern. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1950;36(7):516–533.
95. Richardson A. A cephalometric investigation of skeletal factors in anterior open bite and deep overbite. *Tr Eur Orthod Soc*. 1967;(43):159–171.
96. Wylie WL. The relationsship between ramus height, dental/height, and overbite. *Am J Orthod Oral Surg*. 1946;32(2):57–67.
97. Loufty MS. Cephalometric evaluation of deep overbite and anterior open bite in Kuwait school children. *Trans Eur Orthod Soc*. 1973:281–285.
98. Nahoum HI. Anterior open-bite: A cephalometric analysis and suggested treatment procedures. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1975;67(5):513–521.

99. Fields HW, Proffit HW, Nixton WL, Phillips E, Stanek E. Facial pattern differences in long-faced children and adults. *Am J Orthod*. 1984;85(3):217–223.
100. Siriwat PP, Jarabak JR. Malocclusion and facial morphology: is there a relationsship? An epidemiologic study. *Jarabak JR*. 1985;55(2):127–138.
101. Swinehart EW. A clinical study of open-bite. *Am J Orthod Oral Surg*. 1942;28(1):18–34.
102. Trouten JC, Enlow DH, Rabine M, Phelps AE, Swedlon D. Morphologic Factors in Open Bite and Deep Bite. *Angle Orthod*. 1983;53(3):192–211.
103. Meredith H V. Growth in bizygomatic face breadth during childhood. *Phys Anthropol*. 1954;18(2):111–134.
104. Nanda RS. The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenogram. *Am J Orthod*. 1955;41(9):658–673.
105. Björk A, Skieller V. Growth in width of the maxilla studied by the implant method. *Scan J Plast Reconstr Surg*. 1974;8(1–2):26–33.
106. Savara BS, Singh IJ. Norms of size and annual increments of seven anatomical measures of maxilla in boys from 3 to 16 years of age. *Angle Orthod*. 1968;38(2):104–120.
107. Kiliaridis S, Georgiakaki I, Katsaros C. Masseter muscle thickness and maxillary dental arch width. *Eur J Orthod*. 2003;25(3):259–263. doi:10.1093/ejo/25.3.259.
108. Al-zubair NM. The relationship between mandibular arch length and widths in a sample of Yemeni subjects with normal dento- Skeletal relationship. *J Orthod Sci*. 2013;2(4):120–123. doi:10.4103/2278-0203.123198.
109. Sejrsen B, Kjær I, Jakobsen J. Human palatal growth evaluated on medieval crania using nerve canal openings as references. *Am J Phys Anthropol*. 1996;99(4):603–611.

Danksagung

Ich danke Herrn Professor Dr. med. dent. Thomas Kocher, Leiter der Abteilung für Parodontologie in der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parododontologie und Endodontolgie, Präventive Zahnheilkunde und Kinderzahnmedizin des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität für die freundliche Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die wertvollen Hinweise.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Amro Daboul, der mir während der gesamten Zeit höchst engagiert mit Rat und Tat zur Seite stand. Einen genauso großen Dank möchte ich Frau Christiane Pink aussprechen. Sie setzte sich mit jeder meiner Fragen intensiv und ausführlich auseinander und stand mir besonders in der Endphase stets zur Seite. Vielen lieben Dank an euch beide für eure Hilfe.

Ich danke allen, die mich bei der Realisierung dieser Arbeit unterstützt haben. Insbesondere danke ich den Mitwirkenden der Study of Health in Pomerania für die umfangreichen Untersuchungen an den Probanden, welche meine Arbeit erst ermöglicht haben. Ich danke Frau Dr. Birte Holtfreter für die sorgfältige statistische Unterstützung während der Anfangsphase meiner Arbeit. Ebenso danke ich Frau Kerstin Scholz für ihre zuverlässige Hilfe in allen Modellarchivfragen. Ich danke meiner Freundin Nele für das Korrekturlesen und ihre kritischen Kommentare, die mich immer wieder zum Schmunzeln brachten und mir zeigten, dass selbst die gefühlt hundertste Korrektur nicht langweilig sein muss.

Während der gesamten Schaffenszeit meiner Doktorarbeit konnte ich auf den Zuspruch meiner Freunde zählen. Besonders mein Freund Marcus hat es immer wieder geschafft mich zu motivieren die Arbeit voran zu treiben. Vielen Dank für die unendliche Geduld und den Rückhalt, den du mir gegeben hast.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, insbesondere möchte ich meiner Mutti und meinem Stiefpapa danken. Sie standen während des gesamten Studiums an meiner Seite und waren auch in schweren Zeiten immer für mich da. Durch meine Mutti wurde mir das Studium überhaupt erst ermöglicht und somit der Grundstein für das Schreiben dieser Arbeit gelegt.