

Aus der Klinik für Kieferorthopädie
Klinische Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Professor Dr. Jörg Lisson

**Halswirbelkörperreifestadien in Korrelation zum Kieferwachstum
bei männlichen und weiblichen Heranwachsenden
mit einer Angle Klasse III**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2016

vorgelegt von: Marie Donner
geb. am: 24.08.1985 in Oranienburg

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	1
1.1	Summary.....	2
2	Einleitung.....	3
2.1	Entwicklung und Wachstum der Kiefer.....	3
2.1.1	Oberkiefer.....	3
2.1.2	Unterkiefer.....	4
2.2	Angle Klasse III.....	6
2.3	Bildgebende Diagnostik in der Kieferorthopädie.....	7
2.3.1	Das Fernröntgenseitenbild.....	7
2.3.2	Die Handröntgenaufnahme.....	8
2.4	Die Beurteilung der skelettalen Reife anhand der Halswirbelkörper.....	10
2.4.1	Anatomie der Halswirbel.....	10
2.4.2	Halswirbelkörperreifestadien.....	11
2.5	Zielstellungen.....	15
3	Material und Methode.....	16
3.1	Material.....	16
3.2	Methode.....	17
3.3	Kephalometrische Analyse.....	19
3.3.1	Kephalometrische Referenzpunkte und -linien.....	19
3.3.2	Kephalometrische Strecken- und Winkelmessungen.....	19
3.4	Statistische Analyse.....	20
3.5	Methodenfehler.....	21
4	Ergebnisse.....	22
4.1	Kephalometrische Auswertung.....	22
4.1.1	Patientenalter.....	22
4.1.2	Basal sagittale und basal vertikale Parameter.....	23

4.2	Statistische Auswertung.....	25
4.2.1	Prüfung auf Häufigkeitsverteilung der Wachstumsmaxima	25
4.2.2	Prüfung auf Wachstumsunterschiede zwischen den Geschlechtergruppen	25
4.3	Methodenfehler	32
4.4	Zusammenfassung der Resultate.....	33
5	Diskussion.....	34
5.1	Material	34
5.2	Methode	35
5.3	Ergebnisse.....	36
5.3.1	Chronologisches Alter	36
5.3.2	Basal sagittale und basal vertikale Parameter	37
5.3.3	Anteriore Schädelbasis.....	38
5.3.4	Oberkieferwachstum	39
5.3.5	Unterkieferwachstum	40
5.3.6	Anteriore und posteriore Gesichtshöhe.....	42
5.3.7	Halswirbelkörper.....	42
5.4	Methodenfehler	43
5.5	Schlussfolgerungen.....	45
6	Literaturverzeichnis	46
7	Danksagung.....	51
8	Anhang.....	52
8.1	Patientenalter.....	52
8.2	Sagittale und vertikale Messungen	52
8.3	Interrater- und Intraraterreliabilität.....	69
8.3.1	Interraterreliabilität	69
8.3.2	Intraraterreliabilität	71

1 Zusammenfassung

Die vorliegende retrospektive, kephalometrische Studie untersuchte das Kieferwachstum von männlichen und weiblichen Probanden mit einer Angle Klasse III, im Alter von 8,0 bis 25,5 Jahren und erforschte den Zusammenhang zwischen der maximalen Größenzunahme der Messungen und dem skelettalem Entwicklungsstand der Halswirbelkörper. Des Weiteren wurde geprüft, ob und in welchem Ausmaß geschlechterspezifische Unterschiede bestanden.

Das Untersuchungsgut bestand aus 232 Fernröntgenseitenbildern (FRS) von 68 Heranwachsenden zu mindestens drei verschiedenen Zeitpunkten (T1 = Beginn der Behandlung, T2 = im Verlauf, T3 = gegen Ende der Therapie). Jeder Patient wies eine skelettale Klasse III auf, die zuvor über den ANB – bzw. Wits – Wert ermittelt wurde. Es folgte eine geschlechterspezifische Gruppeneinteilung nach dem chronologischen Alter. Jede Altersgruppe war mit 9 (\pm 5) Röntgenaufnahmen gleich stark besetzt. Im Rahmen der FRS – Analyse wurde jedem Kephalogramm nach der Methode von Baccetti *et al.*, (2005) ein Reifestadium (CVMS) zugeteilt. Aus den gewonnenen Daten erfolgte nach der Überprüfung der maximalen Größenzunahmen, eine Kategorisierung der Reifeintervalle. Mit Hilfe des Chi²-Tests nach Pearson wurden die Reifeintervalle mit den größten Wachstumszunahmen statistisch untersucht und auf geschlechterspezifische Unterschiede im Wachstumsverlauf überprüft. Weiterhin wurden Unterschiede der einzelnen Variablen zwischen den Geschlechtergruppen mit dem Mann – Whitney – U – Test ermittelt. Maximale Größenzunahmen konnten mehrheitlich zwischen den CVMS_{2/3} beobachtet werden. Bei einem Vergleich der Reifeintervalle, in denen das größte Wachstum stattfand, trat kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtergruppen auf. Diese zeigten aber Unterschiede bei der Analyse der einzelnen Variablen im Verlauf der Entwicklung. Gleiches galt für die Verteilung der Reifestadien innerhalb der Altersgruppen. So erreichten die weiblichen Probanden mehrheitlich früher ein höheres Reifestadium. Signifikante Unterschiede zwischen den Probanden ergab das Längenwachstum des Unterkiefers (Cond – Gn), höchstsignifikante Unterschiede das Längenwachstum des Oberkiefers (Spa – Spp). Bezogen auf die durchgeführten linearen Messungen konnten generell höhere Werte in den männlichen Gruppen ermittelt werden. Die korrespondierenden Messungen in den weiblichen Gruppen waren stets kleiner. Keine signifikanten Unterschiede ergaben Messungen des Winkels SNA und des unteren anterioren Gesichtsdrittels.

1.1 Summary

Skeletal vertebral maturation of adolescents with Class III malocclusion as related to maxillary and mandibular growth

The present retrospective, cephalometric study was undertaken to examine the growth of the jaws in growing male and female subjects with Class III malocclusion, aged from 8,0 to 25,5 years and to research a correlation between the maximum increase in size, while measuring sagittal and vertical variables, and skeletal vertebral maturation. Moreover, if exist, the extent of sexual dimorphism was tested.

232 cephalometric records of 68 adolescents were analysed. Each subject had to have at least three cephalometric films, taken at different points in time (T1 = beginning, T2 = during, T3 = towards the end of therapy). The Class III sample was evaluated according to the ANB angle and Wits appraisal. Afterwards, patients were divided into gender – specific groups according to their chronological age. Every age group had to have nearly the same amount of cephalometric films $9 (\pm 5)$. During analysis the CVM – stages (CVMS) were determined by using the six stage method described by Baccetti *et al.*, in 2005. The data gathered by analysis was checked for measured angles and length with the biggest increase in size and classified into maturation intervals. These intervals, showing the biggest increments of growth, were statistically evaluated by using Pearson`s chi – squared test to identify gender – specific differences in growth. Moreover, every variable was statistically proved by Mann – Whitney – U – Test for sexual dimorphism. Most of the biggest growth increments were assigned to the second maturation interval, between CVMS_{2/3}. There was no statistically significant difference between males and females in regard to maturation intervals in which biggest growth had passed. However gender differences could be observed by analyzing the single variables during maturation and by determination of the CVM – stages within the same age group. Predominantly, females had reached a later maturation stage earlier. Significant and highly significant gender differences were recognized between total mandibular length growth (Cond – Gn) and total maxillary length growth (Spa – Spp). The male linear measurements were generally greater than those of females. There were no statistically significant differences between the sexes while measuring the angle SNA and the lower anterior facial height.

2 Einleitung

2.1 Entwicklung und Wachstum der Kiefer

2.1.1 Oberkiefer

Am Ende der 4. Woche werden im Embryo die Gesichtswülste sichtbar. Sie bestehen primär aus Neuralleistenmesenchym oder stammen vom ersten Schlundbogen ab. Seitlich des Stomatodeums liegen die Oberkieferwülste, sie sind paarig angelegt und gehen aus dem Material des ersten Schlundbogens hervor. Die Wülste vergrößern sich, wachsen nach medial und drücken die medialen Nasenwülste aus dem Stirnfortsatz zusammen. Aus den verschmolzenen medialen Nasenwülsten entsteht dann das Zwischenkiefersegment (Prämaxilla). Zwei Fortsätze an den Oberkieferwülsten sind in der 6. Schwangerschaftswoche sichtbar, sie sind schräg nach kaudal gerichtet und werden Gaumenplatten genannt. Der Hauptteil des definitiven knöchernen Gaumens entwickelt sich aus diesen Platten. In der 7. Woche verlagert sich die Zunge nach kaudal, die Gaumenplatten richten sich auf und verschmelzen miteinander in der Sagittalebene von anterior nach posterior. Anterior verschmelzen die Gaumenplatten mit dem primären Gaumen aus dem Zwischenkiefersegment, während das Nasenseptum nach kaudal wächst und sich von kranial mit dem entstehenden sekundären Gaumen verbindet. Aus dem Mesenchym der Oberkieferwülste entwickeln sich durch desmale Ossifikation neben dem Oberkiefer (Maxilla), das Jochbein und ein Abschnitt des Schläfenbeins [1][2].

Postnatal laufen Wachstumsvorgänge am orbitonasomaxillären Komplex (Oberkiefer) vor allem in sagittaler und vertikaler Richtung ab. Die transversale Ausdehnung wird im Wesentlichen bereits zum Zeitpunkt der Geburt durch die Schädelbasis vorgegeben. So wurde die Schädelbasis durch Enlow (1989) auch als „Entwicklungsschablone“ beschrieben [3]. Knochenwachstum im kranialen und fazialen Bereich findet einerseits über abgestimmte Appositions – und Resorptionsvorgänge, andererseits über Knochenverlagerung statt. Hierbei sind die Wachstumsprozesse immer nach dorsal und kranial gerichtet, imponieren aber nach ventral und kaudal. Knochenappositionen am Processus alveolaris maxillae erfolgen in kaudaler bzw. zentrifugaler Richtung, sie werden durch den Zahndurchbruch induziert [3][4]. Da der Knochenzuwachs am Alveolarfortsatz stärker ist als am Gaumendach, kommt es zu

einer Ausprägung des Gaumengewölbes [3][4]. Die Knochenapposition am Gaumendach bewirkt eine Verlagerung des Oberkiefers nach kaudal um 0,3 mm pro Jahr [5]. Die Tubera maxillae bilden, durch appositionelles Wachstum und Verlängerung nach posterior, ab dem 4. Lebensjahr die Molarenfelder aus und schaffen die Voraussetzung für den Durchbruch der Sechsjahr – und Zwölfjahrmolaren. Resorptionsvorgänge an den Tuberinnenflächen führen zur Vergrößerung der Kieferhöhlen. Weitere Resorptionsvorgänge finden sich im Nasenbodenbereich und in der Nasenhaupthöhle [3][5]. Der Oberkiefer wächst in vertikaler Dimension durch die Absenkung des Nasenbodens, dem Zahndurchbruch und die Knochenapposition am Processus alveolaris maxillae. Bis zum 7. Lebensjahr erfolgt durch Ausdehnung der anterioren Schädelgrube, ein zusätzliches Ventralwachstum (sekundäres Displacement) [3]. Außerdem trägt Knochenapposition an den Suturen zum Oberkieferwachstum bei. Über die Sutura palatina mediana wächst die Maxilla transversal. In den ersten zwölf Lebensmonaten ist diesbezüglich eine Breitenzunahme von 3 – 4 mm zu erwarten [4]. Knochenapposition an der Sutura palatina transversa führt zur Verlängerung des harten Gaumens und damit zum sagittalen Wachstum der Maxilla. Knochenanlagerung an der Sutura inzisiva canina bewirkt eine Ausdehnung des Frontzahnbereiches, die Knochennaht verknöchert allerdings früh, zwischen dem ersten und zweiten Lebensjahr. Alles im allen, bleibt der knöcherne Schluss der Suturen funktionsabhängig [5] und das Wachstum des Oberkieferkomplexes in jungen Jahren durch orthopädische Kräfte beeinflussbar [6].

2.1.2 Unterkiefer

Wie der Oberkieferwulst entwickelt sich auch der paarig angelegte Unterkieferwulst aus dem Material des ersten Schlundbogens. Die dem ersten Schlundbogen zugehörige Knorpelspange heißt Meckel – Knorpel. Er ist der Vorläufer des Unterkiefers (Mandibula), deshalb wird der erste Schlundbogen auch Mandibularbogen genannt. Der Meckel – Knorpel bildet sich bis auf zwei kleine dorsal gelegene Segmente und einen Rest, dem Ligamentum sphenomandibulare, vollständig zurück. Der definitive Unterkiefer entsteht durch desmale Ossifikation. Lediglich ein kleiner Bereich in der Verschmelzungszone an der Kinnspitze verknöchert enchondral. Aus den dorsal gelegenen Strukturen entwickeln sich die Gehörknöchelchen Malleus und Incus. Diese bilden zusammen mit der Mandibula das primäre Kiefergelenk [1][2]. Das sekundäre Kiefergelenk (Temporomandibulargelenk) entwickelt sich nach Einlagerung des Schläfenbeins und setzt sich aus Anteilen des Schläfenbeins (Fossa mandibularis und

Tuberculum articulare), dem Unterkiefer (Kondylus), dem Discus articularis, einer Gelenkkapsel und Bändern zusammen [7].

Wie das Oberkieferwachstum verläuft auch das Wachstum des Unterkiefers in dorsokranieler Richtung. Knochenappositionen finden sich hauptsächlich distal am Kieferwinkel, am Kondylus, am Processus Coronoideus und am Alveolarfortsatz. Der aufsteigende Unterkieferast wird am Hinterrand überwiegend durch Apposition und am Vorderrand überwiegend durch Resorption geformt, das schafft Raum für die Ausbildung der Molarenfelder [3][4]. Dass diese Resorptions- und Appositionsvorgänge individuellen Gegebenheiten unterlegen sind, wird durch die Publikation von Hans *et al.*, 1995 verdeutlicht [8]. Die Autoren beschrieben anhand von histologisch aufbereiteten Präparaten, drei verschiedene Resorptionsmuster am Ramus und leiteten daraus drei verschiedene mögliche Wachstumsrichtungen der Mandibula ab. Allgemein verlaufen Appositions – und Resorptionsprozesse nach dem V – Prinzip, d.h. Knochenanbau an den Innenflächen, Knochenabbau an den Außenflächen. So wird der Unterkiefer im Wachstumsverlauf breiter und länger. Maximale Größenzunahmen in transversaler Dimension sind vor allem bis zur knöchernen Umwandlung der Symphyse an der Kinnspitze, im Intervall zwischen dem 1. und 2. Lebensjahr, zu erwarten. Es folgt ein Plateau der Wachstumskurve bis zum 6. Lebensjahr. Mit dem Durchbruch der seitlichen Inzisiven verbreitert sich die transversale intercanine Distanz erneut, danach sind nur noch modellierende Wachstumsprozesse anzunehmen [3]. Eine Größenzunahme der transversalen intermolaren Distanz bleibt allerdings bis zum 14. Lebensjahr zu erwarten. Grund dafür ist ein Wachstumseffekt der Sutura palatina mediana. Der Durchbruch der Sechsjahr – und Zwölfjahrmolaren und die dafür notwendige Ausbildung der Molarenfelder führen zum sagittalen Wachstum der Mandibula bis zum 17. Lebensjahr [3]. Der Unterkieferkörper verändert sich dabei nach posterior im gleichen Ausmaß wie der Oberkieferbasalbogen [5]. Modellierende Resorptionsprozesse im bukkalen Bereich verursachen eine Abnahme der transversalen und sagittalen Distanzen im frontalen Segment zwischen dem 16. und 20. Lebensjahr [3]. Das vertikale Wachstum des Unterkieferkörpers ist im Vergleich zur Maxilla geringer ausgeprägt [4] und wird durch Knochenapposition am Processus alveolaris mandibulae und dem Zahndurchbruch ausgelöst. Hierbei verschiebt sich die Lingula in den aufsteigenden Ast. Mit der ersten bis dritten „physiologischen Bisshebung“ distanzieren sich zusätzlich die Alveolarfortsätze des Ober – und Unterkiefers und die vertikale Kieferrelation nimmt zu [3]. Die Höhenzunahme der aufsteigenden Äste wird durch kondyläres Wachstum nach dorsokraniel bestimmt [4], dadurch verlagert sich der Unterkiefer

nach kaudoventral. Dieser Effekt wird zusätzlich durch die Ausdehnung der mittleren Schädelgrube verstärkt [5]. Des Weiteren zeigt sich eine kontinuierliche Anteinklination der Mandibula, durch eine abnehmende Neigung zur Schädelbasis und dem Verringern des Kieferwinkels im Wachstumsverlauf [9].

2.2 Angle Klasse III

Die durch Angle publizierten Okklusionsanomalien bezogen sich ursprünglich auf Abweichungen der Okklusion oder Zahnstellungsanomalien. Gegenwärtig werden die Angle – Klassifikationen erweitert betrachtet und beziehen sich auch auf skelettale Befunde. Eine Angle – Klasse III beschreibt eine Mesialokklusion und / oder mandibuläre Prognathie bzw. Makrognathie und / oder eine maxilläre Retrognathie bzw. Mikrognathie [10]. Diese Form der Dysgnathie ist meist bereits in jungen Jahren etabliert und korrigiert sich nicht von selbst [11]. Jacobson *et al.*, demonstrierten 1972 in ihren Studienergebnissen normale Dimensionen von Ober – und Unterkiefer bei der Mehrheit der Kinder mit einer mandibulären Prognathie, wogegen die Mehrheit der erwachsenen Klasse – III – Probanden einen prognathen Unterkiefer außerhalb der Norm aufwies [12]. Nach Empfehlung der deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO), sind Anomalien der Klasse III so früh wie möglich zu therapieren, um ungünstige Wachstumseinflüsse zu verhindern, die zu einer Verstärkung der Anomalie und zu einer Verschlechterung der Prognose beitragen [13]. Die Behandlungsmöglichkeiten liegen einerseits im Fördern des Oberkieferlängenwachstums, andererseits im Hemmen des Unterkieferlängenwachstums. Guyer *et al.*, berichteten 1986, dass bei einem Viertel ihrer Klasse – III – Stichprobe eine reine maxilläre Retrognathie vorlag [14]. Konservative wachstumsbeeinflussende Maßnahmen am Oberkiefer sind nur in jungen Jahren effektiv, wenn die zirkummaxillären Suturen noch nicht verknöchert vorliegen. Nach deren fingerförmiger Verschmelzung ist eine Dislokation ohne Fraktur nicht mehr durchführbar [6]. Cozza *et al.*, schilderten 2004 günstige wachstumsbeeinflussende Effekte auf den orbitonasomaxillären Komplex nach Therapie mit einer Delaire – Maske für 7 – 10 Monate und anschließender Retention mit einem Bionator Typ III für 12 Monate. Die Stichprobe umfasste 30 Probanden, männlich und weiblich, im Alter von 4,1 bis 9,0 Jahren. Alle Patienten wiesen eine rein maxilläre Retrognathie auf [15]. Nienkemper *et al.*, berichteten 2015 signifikante Veränderungen der sagittalen maxillomandibulären Relation nach einer kombinierten Hybrid – Hyrax – Facemask Therapie im Alter von $9,5 \pm 1,6$ Jahren. Die aktive Behandlungsdauer betrug $0,9 \pm 0,4$ Jahre. Alle Probanden, einschließlich der

Kontrollgruppe wiesen eine dentoskelettale Klasse III auf. Die behandelten Patienten zeigten gegenüber ihrer Kontrollgruppe eine Längenzunahme des Oberkiefers, bei gleichzeitiger Hemmung des Unterkieferlängenwachstums [16]. Ähnliche Resultate wurden bei einer kombinierten Anwendung mit einem Gerät zur maxillären Protraktion und einer Kopf – Kinn – Kappe publiziert [17]. Franchi *et al.*, publizierten in 2004 eine Studie, bei der Klasse – III – Patienten mit einem maxillären Expander und einer Gesichtsmaske ab dem späten Wechselgebiss therapiert wurden. Die Resultate zeigten einen wachstumshemmenden Effekt ausschließlich am Unterkiefer [18].

2.3 Bildgebende Diagnostik in der Kieferorthopädie

Die allgemeine Diagnostik in der Kieferorthopädie umfasst Anamnese, extra – und intraoraler Befund, Funktionsbefund, Modellanalyse und das bildgebende Verfahren. Die zwei Standardaufnahmen bilden hierbei die Panoramaschichtaufnahme (PSA, OPTG) und das Fernröntgenseitenbild (FRS). Zur Klärung des skelettalen Alters eines Patienten, wird meistgebräuchlich eine Röntgenaufnahme der Hand angefertigt [19].

2.3.1 Das Fernröntgenseitenbild

Das Fernröntgenseitenbild ist eine kephalometrische Röntgenaufnahme. Der Zentralstrahl verläuft laterolateral durch den Porus acusticus externus und trifft die Schädelmedian – sowie Filmebene in einem rechten Winkel. Das restliche Primärstrahlenbündel trifft divergent die Filmebene, das führt zu einer vergrößerten Abbildung des Kopfes und zu einer verzerrten Darstellung von Strukturen, welche nicht unmittelbar in der Nähe des Zentralstrahls liegen (Projektionsfehler) [20]. Ziel ist es deshalb, die Strahlendivergenz möglichst gering zu halten, das wird durch einen möglichst großen Fokus – Objekt – Abstand und einen kleinen Objekt – Film – Abstand realisiert. Bei einer Zusatzeinrichtung zum Panoramagerät beträgt der Fokus – Objekt – Abstand 1,5 m [21], mit einem Objekt – Film – Abstand von ca. 12,0 cm. Der Vergrößerungsfaktor lässt sich für jede Aufnahme individuell durch das abgebildete Kephalo-stat berechnen [22]. Durch Filter und Blende am Gerät wird weiche Strahlung absorbiert und das Strahlenbündel auf das Filmformat eingeeengt, das steigert den Kontrast zwischen den verschiedenen Geweben [20]. Die Einstellung des Kopfes erfolgt nach der Frankfurter Horizontalen, bei paralleler Ausrichtung der Mediansagittalebene zur Filmebene. Projektionsbedingte und positionsbedingte Fehler führen zu Doppelkonturen, zu einer

vergrößerten Darstellung des Objekts und zu einer reduzierten Bildschärfe [22]. Fernröntgenseitenbilder werden zur Beurteilung von dysgnathiebedingten Abweichungen in sagittaler und vertikaler Ebene, zur Identifizierung skelettaler oder dentoalveolärer Anomalien und zur Vorhersage von Wachstumsmuster und therapiebedingten Veränderungen herangezogen.

2.3.2 Die Handröntgenaufnahme

Die Röntgenaufnahme der Hand ist noch immer der Goldstandard bei der Beurteilung der skelettalen Reife eines Heranwachsenden. Das belegt eine jüngst veröffentlichte Stellungnahme der DGKFO [23]. Diverse Analysemethoden sind beschrieben worden [19][24][25][26]. Fishman publizierte 1982 eine Vorgehensweise, indem er an sechs unterschiedlichen Lokalisationspunkten des Handskeletts elf Reifestadien (SMIs) definierte (Abbildung 1). Jede Reifephase wurde durch die Anwesenheit eines Reifeindicators am jeweiligen Lokalisationspunkt bestimmt (Abbildung 2).

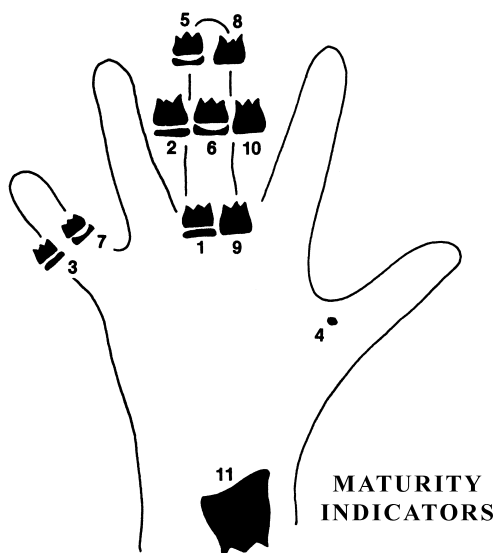


Abb. 1: Die elf Reifestadien (SMIs) in Abhängigkeit verschiedener Reifeprozesse an der mittleren Phalanx des fünften Fingers, an der distalen, mittleren und proximalen Phalanx des dritten Fingers, am ulnaren Sesambein des Daumens und am distalen Ende des Radius.

(Fishman 1982, aus The Angle Orthodontist)

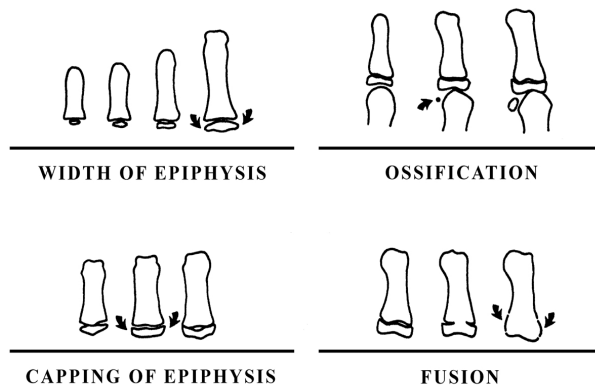


Abb. 2: Röntgenographische Identifikation der Reifeindikatoren:

- A) Epiphyse und Diaphyse sind gleich breit
- B) Ossifikation des ulnaren Sesambeins
- C) „Capping“ der Epiphyse
- D) Fusion von Epi – und Diaphyse

(Fishman 1982, aus The Angle Orthodontist)

Nach den unter Abbildung 2 dargestellten Indikatoren wurden die SMIs kategorisch geordnet.

Kategorie A: SMI 1: Dritter Finger – proximale Phalanx
 SMI 2: Dritter Finger – mittlere Phalanx
 SMI 3: Fünfter Finger – mittlere Phalanx

Kategorie B: SMI 4: Ossifikation des ulnaren Sesambeins am Daumen

Kategorie C: SMI 5: Dritter Finger – distale Phalanx
 SMI 6: Dritter Finger – mittlere Phalanx
 SMI 7: Fünfter Finger – mittlere Phalanx

Kategorie D: SMI 8: Dritter Finger – distale Phalanx
 SMI 9: Dritter Finger – proximale Phalanx
 SMI 10: Dritter Finger – mittlere Phalanx
 SMI 11: Radius

Für eine schnelle Durchführung der SMI – Evaluation im klinischen Alltag, beurteilte Fishman am Handskelett zunächst die Kategorie B, so konnte unmittelbar ein fortgeschrittenes Reifelevel identifiziert werden. Anhand eines Flussdiagramms wurde anschließend das tatsächliche Reifestadium eruiert [27].

Zusammengefasst betrachtet stellen diverse Analysen der Handknochen und des Handgelenk nach adäquater Patientenpositionierung [28], eine präzise und reproduzierbare Methode dar, um die individuelle skelettale Reife zuverlässig zu bestimmen [19]. Dessen ungeachtet sollte die zusätzliche Strahlenexposition für jeden Patienten kritisch abgewägt werden [29].

2.4 Die Beurteilung der skelettalen Reife anhand der Halswirbelkörper

Die Bestimmung der Knochenreife einer heranwachsenden Person mit skelettalen Missverhältnissen stellt ein bedeutendes Kriterium für das Gelingen einer funktionskieferorthopädischen Behandlung dar. Die Erkenntnis darüber nimmt Einfluss in die Behandlungsplanung mit dem Ziel, den Behandlungsbeginn so zu wählen, dass eine kurze Behandlungszeit mit hoher Wirksamkeit erreicht wird. In der Literatur werden oftmals die Halswirbelkörper als Kriterium herangezogen [30][31][32][33][34], da sie im Rahmen der allgemeinen Diagnostik auf dem FRS mit abgebildet werden. Eine zusätzliche Strahlenbelastung für den Patienten, beispielsweise durch Anfertigung einer Handröntgenaufnahme, wird vermieden.

2.4.1 Anatomie der Halswirbel

Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Wirbeln (C_1 bis C_7), die miteinander artikulieren. Die Wirbel C_1 , C_2 und C_7 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Merkmale. Der Wirbel C_1 (Atlas) ist wie ein Ring geformt und besitzt weder Wirbelkörper noch Dornfortsatz. C_1 artikuliert oberhalb mit den occipitalen Kondylen und unterhalb mit C_2 , via dem oberen Kopfgelenkt (Art. atlantooccipitalis) und dem unteren Kopfgelenkt (Art. atlantoaxiales) [35]. Der Wirbel C_2 (Axis) besitzt als typisches Merkmal den Dens axis. Dessen Facies articularis anterior bildet zusammen mit der Gelenkfläche der Fovea dentis atlantis das unpaare, mediane Articulatio atlantoaxialis. Zusammen ermöglichen Atlas und Axis über ihre gelenkigen Verbindungen und dem Bandapparat die Ventralflexion, Dorsalextension, Lateralflexion und Rotation des Kopfes. Der Wirbel C_7 wird auch als Vertebra prominens bezeichnet, da dieser einen langen Dornfortsatz besitzt, der unter der Haut zu ertasten ist. Bei C_3 bis C_6 ist der ähnliche, typische Aufbau erkennbar (Abbildung 3):

- 1) Wirbelkörper (Corpus vertebrae)
- 2) Wirbelbogen (Arcus vertebrae)
- 3) gegabelter Dornfortsatz (Processus spinosus)
- 4) Querfortsätze mit Knochenöffnungen (Processus transversi mit Foramina transversaria)
- 5) Gelenkfortsätze (Processus articulares)

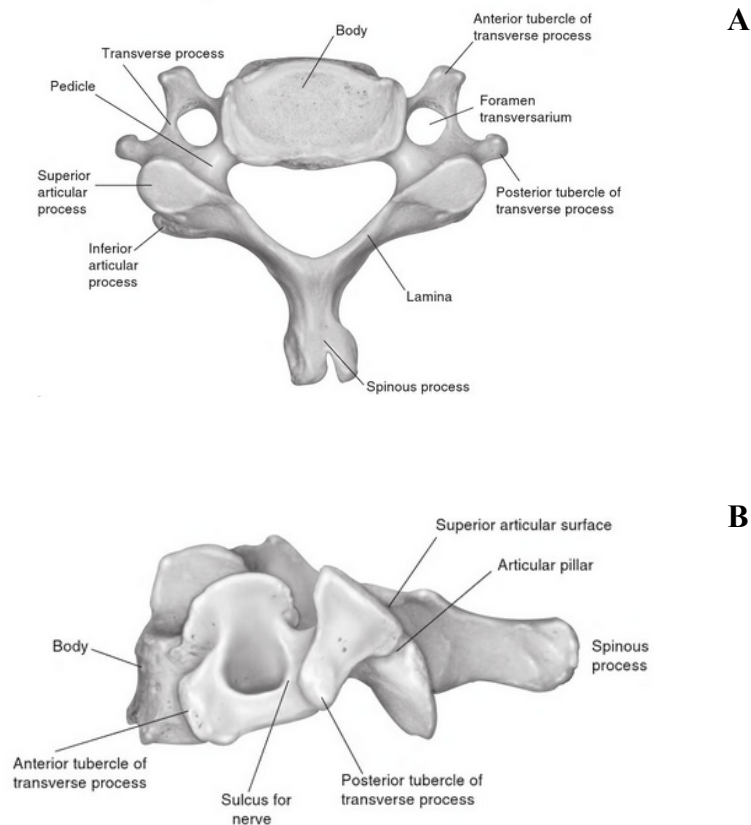


Abb. 3: typischer Aufbau eines Halswirbelkörpers
A: Ansicht von oben **B:** Ansicht von der linken Seite

(Edward C. Benzel aus *The Cervical Spine*)

Die Foramina transversaria bilden von C_6 bis C_1 den Querfortsatzkanal, der beidseits von der Arteria und Vena vertebralis passiert wird. Als weitere Besonderheit gelten die Unkovertebralgelenke von C_3 bis C_7 . Sie treten ab dem 10. Lebensjahr als halbmondförmige Strukturen mit den jeweils oben angrenzenden Wirbelkörpern in Kontakt [36]. Der Wirbelkörper besteht überwiegend aus Substantia spongiosa, umgeben von einer dünnen Schicht dicht gepackter Knochenlamellen (Substantia compacta). Obere und untere Kompaktaschicht wird auch als Deck – bzw. Grundplatte bezeichnet. Zahlreiche Öffnungen in den Wänden der Wirbelkörper dienen den ein – und austretenden Venae basivertebrales [37].

2.4.2 Halswirbelkörperreifstadien

Halswirbelkörper unterliegen morphologischen Veränderungen während der Pubertät [11][38][39][40]. Diese Differenzierungen nutzten verschiedene Autoren, um Halswirbelkörperreifstadien abzuleiten [11][39][40]. Hierbei wurden zwei Merkmale für die

Erkennung einer Phase herangezogen: die beginnende und sich entwickelnde Konkavität an der unteren Begrenzung der Wirbelkörper und die in vertikaler Dimension größer werdende Form der Wirbelkörper.

Basierend auf den Forschungsergebnissen von Lamparski 1976 entwickelten Hassel und Farman 1995 eine Methode, bei der sie das zu erwartende Wachstum, durch Auswertung der Wirbelkörper C₂ bis C₄, einschätzten. Da die Wirbelkörper trotz Tragen einer Röntgenschürze visuell beurteilbar blieben, konnte die Strahlenbelastung der Patienten verringert werden. Das Studienkollektiv bestand aus 11 Gruppen mit jeweils 10 männlichen und 10 weiblichen Patienten. Diese 220 Probanden kaukasischer Abstammung waren zwischen 8 und 18 Jahre alt. Von jedem Probanden wurden zwei Röntgenaufnahmen angefertigt, ein FRS und eine Aufnahme des linken Handgelenkes. Die kephalometrische Aufnahme eines Probanden wurde mit der zugehörigen Handröntgenaufnahme unter Verwendung der Methode nach Fishman in eine SMI-Kategorie eingeteilt. Veränderungen in Form und Dimension der Wirbelkörper zwischen den 11 SMI-Gruppen wurden untersucht. Hierbei beobachteten die Untersucher eine An – bzw. Abwesenheit der Krümmung am Unterrand der Wirbelkörper C₂₋₄, die Form der Wirbelkörper C₃₋₄ und den intervertebralen Raum. Angelehnt an den Ergebnissen wurde eine Nomenklatur (CVMI: „cervical vertebrae maturation indices“) zur Bestimmung der skelettalen Halswirbelkörperreife festgelegt. Hierbei definierten die Autoren 6 Reifestadien (CVMS) mit Einschätzung des noch zu erwartenden prozentualen Wachstums [39].

Baccetti, Franchi und McNamara publizierten im Jahre 2005 eine modifizierte Version der Cervical – Vertebral – Maturation (CVM) – Methode. Die Auswertung erfolgte an den Wirbelkörpern C₂₋₄. Sechs Reifestadien wurden festgelegt, in denen sich die morphologischen Merkmale der Halswirbelkörper einordnen ließen. Darüber hinaus wurden die Halswirbelkörperreifestadien (CVMS₁₋₆) in Beziehung zum Unterkieferwachstum gesetzt und das Reifeintervall mit dem mandibulären Wachstumsspeak ermittelt. Ziel war es, einen idealen Behandlungszeitraum für kieferorthopädische Behandlungen abzuleiten. Das Untersuchungsgut bestand aus 18 männlichen und 12 weiblichen Probanden. Jeder Proband verfügte über mindestens sechs aufeinanderfolgende FRS, die jährlich angefertigt wurden. Auf jedem FRS, innerhalb der FRS – Sequenz eines Probanden, wurde die totale Unterkieferlänge zwischen den Referenzpunkten Condylion – Gnathion (Co – Gn) gemessen und die Morphologie der Wirbelkörper C₂₋₄ analysiert. Die Analyse bestand einerseits aus einer visuellen Betrachtung, andererseits aus Messungen auf dem FRS. Die Autoren beurteilten die An – bzw. Abwesenheit einer Krümmung am Unterrand der Wirbelkörper C₂₋₄,

sowie die Form der Wirbelkörper C_{3-4} (Abbildung 4 – 9, Baccetti *et al.*, 2005 aus Seminars in Orthodontics) [11].



Abb. 4: **CVMS₁**:

Die untere Begrenzung aller Wirbelkörper ist mehrheitlich flach. Die Wirbelkörper C_3 , C_4 präsentieren sich trapezförmig.

Der Wachstumsgipfel des Unterkiefers wird etwa 2 Jahre nach diesem Stadium eintreten.



Abb. 5: **CVMS₂**:

80% der Probanden weisen eine Krümmung am Unterrand des Wirbelkörpers C_2 auf. Die untere Begrenzung der Wirbel C_3 , C_4 ist mehrheitlich flach. Die Form der Wirbelkörper C_3 , C_4 ist überwiegend trapezförmig.

Der Wachstumsgipfel des Unterkiefers wird etwa 1 Jahr nach diesem Stadium ablaufen.



Abb. 6: **CVMS₃**:

100% der Probanden weisen eine Krümmung am Unterrand des Wirbelkörpers C_2 auf, 93% am Unterrand des Wirbels C_3 . Mehrheitlich ist die untere Begrenzung von C_4 flach. Die Wirbelkörper C_3 , C_4 präsentieren sich entweder trapezförmig oder rechteckig.

Der mandibuläre Wachstumspike wird im Verlauf des Jahres nach Erkennung dieser CVM – Phase stattfinden.



Abb. 7: **CVMS₄**:

Die untere Begrenzung aller Wirbelkörper ist überwiegend konkav. 100% der Probanden weisen eine horizontal rechteckige Form der Wirbelkörper C₃, C₄ auf.

Der Wachstumspunkt des Unterkiefers fand 1 bis 2 Jahre vor diesem Stadium statt.



Abb. 8: **CVMS₅**:

Die untere Begrenzung aller Wirbelkörper ist konkav. Der Wirbelkörper C₃ präsentiert sich zu 40% rechteckig, zu 60% quadratisch. Die Form des Wirbelkörpers C₄ ist zu 47% rechteckig, zu 53% quadratisch.

Der Höhepunkt des Unterkieferwachstums endete mindestens 1 Jahr vor diesem Stadium.



Abb. 9: **CVMS₆**:

Die untere Begrenzung aller Wirbelkörper ist konkav. Der Wirbelkörper C₃ präsentiert sich zu 50% quadratisch und zu 50% vertikal rechteckig. Die Form des Wirbelkörpers C₄ ist zu 53% quadratisch und zu 47% vertikal rechteckig.

Der Höhepunkt des Unterkieferwachstums endete mindestens 2 Jahre vor diesem Stadium.

2.5 Zielstellungen

Die Analyse der morphologischen Veränderungen der Halswirbel im Verlauf der puberalen Wachstumskurve ist eine bekannte Methode zur Beurteilung der skelettalen Reife. Der Vorteil liegt in der Vermeidung einer zusätzlichen Handröntgenaufnahme. In der Fachliteratur fanden sich widersprüchliche Aussagen zur Validität und Reproduzierbarkeit der CVM – Methode [41][42][43][44]. Bei Durchsicht der Studien fiel weiterhin auf, dass Probanden mehrfach nicht geschlechterspezifisch untersucht wurden [25][39][42][45]. Eine Selektion der Probanden nach Geschlecht und Dysgnathie im Rahmen der zervikalen Maturation wurde selten beschrieben. Diese Arbeiten beziehen sich ferner auf das Unterkieferwachstum, wobei eine genaue Betrachtung beider Kiefer im Wachstumsverlauf fehlt [46][47].

Ziel dieser Studie war es, das Ober – und Unterkieferwachstum bei männlichen und weiblichen Probanden mit einer mesiobasalen Kieferrelation im Verlauf der sechs Reifestadien, wie sie durch die CVM – Methode nach Baccetti *et al.*, 2005 definiert wurden, zu untersuchen. Es galt zu überprüfen, ob für alle untersuchten Parameter ein gemeinsames Reifeintervall vorliegt, in der das Wachstum maximal abläuft und ob, bzw. in welchem Ausmaß, geschlechterspezifische Abweichungen bestehen. Darüber hinaus wurden Korrelationen zwischen Halswirbelkörperreifestadien und dem chronologischem Alter herausgearbeitet.

3 Material und Methode

3.1 Material

Die retrospektive Studie umfasste zunächst ein Patientenkollektiv mit 381 lateralen Fernröntgenaufnahmen von männlichen und weiblichen Heranwachsenden mit einer skelettal bedingten Angle Klasse III. Alle Röntgenbilder stammen aus dem Patientengut der Klinik für Kieferorthopädie am Universitätsklinikum des Saarlandes in Deutschland und wurden zwischen April 2001 und April 2015 angefertigt. Jeder Patient wurde seinem Krankheitsbild entsprechend therapiert. Ungeachtet der Ethnie mussten die Probanden dieser Studie folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Abwesenheit von angeborenen Syndromen und Entwicklungsstörungen, welche eine physiologische Gebissentwicklung beeinflussen können (z.B. Lippen-Kiefer-Gaumenspalte, Dysostosis cleidocranialis, Oligodontie etc.)
- Diagnose der Angle Klasse III
- Vollständige diagnostische Unterlagen mit Kephalogrammen zu mindestens drei verschiedenen Zeitpunkten (T1 Behandlungsbeginn; T2 im Behandlungsverlauf; T3 gegen Behandlungsende)
- Alter zwischen 8,0 und 30,0 Jahren
- Patienten mit einer kombiniert kieferorthopädisch – kieferchirurgischen Therapie, mussten mindestens drei Kephalogramme vor der kieferchirurgischen Therapie aufweisen. Fernröntgenseitenbilder nach kieferchirurgischem Eingriff, wurden nicht in die Auswertung einbezogen.
- Auf allen Kephalogrammen mussten die Halswirbelkörper C₂ bis C₄ abgebildet sein

Nach Prüfung der Einschlusskriterien umfasste die endgültige Stichprobe 232 laterale Fernröntgenaufnahmen (116 männlich, 116 weiblich) von 68 Probanden (33 männlich, 35 weiblich) im Alter von 8,0 bis 25,5 Jahren. Die Altersspanne der männlichen Probanden reichte von 8 Jahren 5 Monaten bis 23 Jahren 4 Monaten, die der weiblichen von 8 Jahren bis 25 Jahren 5 Monaten. Die Probanden wurden geschlechterspezifisch, nach ihrem chronologischen Alter in folgende Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1 $m/w = 8,0 - 9,0$ Jahre
- Gruppe 2 $m/w = 9,1 - 10,0$ Jahre
- Gruppe 3 $m/w = 10,1 - 11,0$ Jahre
- Gruppe 4 $m/w = 11,1 - 12,0$ Jahre
- Gruppe 5 $m/w = 12,1 - 13,0$ Jahre
- Gruppe 6 $m/w = 13,1 - 14,0$ Jahre
- Gruppe 7 $m/w = 14,1 - 15,0$ Jahre
- Gruppe 8 $m/w = 15,1 - 16,0$ Jahre
- Gruppe 9 $m/w = 16,1 - 17,0$ Jahre
- Gruppe 10 $m/w = 17,1 - 18,0$ Jahre
- Gruppe 11 $m/w = 18,1 - 19,0$ Jahre
- Gruppe 12 $m/w = 19,1 - 20,0$ Jahre
- Gruppe 13 $m/w = 20,1 - 25,5$ Jahre

Alle 13 Gruppen waren mit circa 9 (± 5) Kephalogrammen gleich stark besetzt. Die Altersspanne von 20 Jahren 1 Monat bis 25 Jahren 5 Monaten wurde aus Mangel an geeigneten Röntgenbildern zu einer Gruppe zusammengefasst. Es wurden keine zusätzlichen Fernröntgenseitenbilder für diese Studie angefertigt. Die Auswertung erfolgte anonymisiert. Jedes einzelne Röntgenbild wurde in einer zufälligen Reihenfolge fortlaufend in einem gesondert angelegten Ordner im Auswertungsprogramm Onyx Ceph® 3TM (Image Instruments® GmbH, Chemnitz, Deutschland) eingelesen. Vorhandene Angaben zur Person auf den FRS selbst (Name, Geburtsdatum) wurden unkenntlich gemacht. Alle Röntgenaufnahmen sind durch Buchstaben und Ziffern chiffriert worden, um eine Zuordnung nach der Auswertung zu ermöglichen.

3.2 Methode

Von jedem Patienten lagen mindestens drei Kephalogramme vor, T1 = Beginn der Behandlung, T2 = im Verlauf, T3 = gegen Ende der Therapie. Für die Anfertigung der Röntgenaufnahmen wurde ein digitales Röntgengerät der Firma Sirona (Orthopos XG plus / Ceph®, Sirona Dental GmbH, Salzburg, Österreich) und eine Röntgensoftware (Sidexis XG, Sirona dental GmbH, Salzburg, Österreich) verwendet. Der Fokus – Film – Abstand betrug 1,5m. Die Einstellung einer stabilen und reproduzierbaren Kopfpositionierung der Patienten wurde über Lichtvisiere, Ohroliven und eine Nasenstützeinrichtung gewährleistet. Die

Lichtvisiere ermöglichten lateral eine waagerechte Einstellung der Frankfurter Horizontalen und frontal eine Kontrolle der Mediansagittalebene. Zudem wurde darauf geachtet, dass der Patient habituell okkludiert. Stromstärke und Spannung sind abhängig von Körpergröße und Volumen und variieren in aufsteigender Reihenfolge zwischen 15 mA bei 69 kV, 15 mA bei 73 kV, 14 mA bei 77 kV und 13 mA bei 84 kV, bei einer Belichtungszeit von 9,4 s. Analoge, vom Patienten mitgebrachte Röntgenaufnahmen zu Behandlungsbeginn wurden mit einem Flachbettscanner der Firma Epson® (Expression 1680, Epson Deutschland GmbH, Meerbusch, Deutschland) eingescannt und mit Hilfe der dazugehörigen Software SilverFast® (LaserSoft Imaging AG., Kiel, Deutschland) in Sidexis übertragen. Alle in dieser Studie verwendeten Kephalogramme wurden in das Auswertungsprogramm Onyx Ceph® 3TM importiert und ausgewertet. Hierbei kamen die Analyseverfahren „Homburg – HWS“ [48] und „Homburg '02“ zur Anwendung. Die für die Auswertung erforderlichen kephalometrischen Referenzpunkte wurden am Personalcomputer mit dem Betriebssystem Microsoft® Windows 7 bestimmt. Röntgentechnisch bedingte Doppelkonturen wurden gemittelt. Strecken- und Winkelmessungen wurden durch das Auswertungsprogramm Onyx Ceph® 3TM berechnet. Der Vergrößerungsfaktor wurde automatisch errechnet und kompensiert, hierfür musste ein definierter Abstand auf einer Millimeterskalierung am Kephalostat markiert werden.

Die Form der Halswirbelkörper C₂ bis C₄, visuell beurteilt, ermöglichte eine schnelle Zuordnung aller Kephalogramme in ein bestimmtes CVM – Stadium. Die rein qualitativen (visuellen) Messungen sind schnell durchführbar und im Praxisalltag praktikabler. Quantitative (kephalometrische) Messungen der Halswirbelkörper wurden dennoch zusätzlich durchgeführt, um anhand der festgelegten Bezugspunkte die visuelle Analyse vereinfachend zu unterstützen. Die Bestimmung der skelettale Reife erfolgte unter der Verwendung der Methode nach Baccetti *et al.*, (2005) [11]. Für jedes Geschlecht wurden 6 Reifestadien (CVMS₁ – CVMS₆) definiert. Die statistischen Analysen bezogen sich ausschließlich auf diese Reifegruppen. Die Studie wurde der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes vorgelegt (Kenn-Nr. 28/16). Ein Votum war nicht erforderlich, da ausschließlich retrospektive Röntgenbilder ohne Verwendung personenbezogener Daten ausgewertet wurden.

3.3 Kephalemtrische Analyse

Die vorliegende Analyse basiert auf den Analyseverfahren „Homburg-HWS“, entwickelt durch Thieme (2014) und „Homburg `02“.

3.3.1 Kephalemtrische Referenzpunkte und -linien

Um die lateralen Fernröntgenaufnahmen auszuwerten, mussten Messpunkte festgelegt werden (Abbildung 10). Ausgehend von diesen Messpunkten wurden Referenzlinien konstruiert, die u.a. die Neigung und Position der Schädelbasis, der Kiefer und der Halswirbelkörper (HWK) C₂ bis C₄ darstellen. Die im Folgenden verwendeten kephalemtrischen Referenzpunkte und –linien wurden in der Publikation Thieme [48] definiert. Der zusätzlich verwendete Wits – Wert wurde durch Jacobson (2003) beschrieben [49].

3.3.2 Kephalemtrische Strecken- und Winkelmessungen

Die vorgenommenen und in Tabelle 1 aufgeführten Strecken- und Winkelmessungen dienen der Beurteilung der sagittalen und vertikalen Entwicklung des Gesichtsschädels und der Halswirbelkörper.

Basal sagittal	Basal vertikal	HWK sagittal	HWK verikal
Cond – Gn [mm]	Cond – Go [mm]	C ₂₋₄ conc [mm]	C ₂₋₄ ah [mm]
Go – Gn [mm]	N – Me [mm]	C ₂₋₄ l [mm]	C ₂₋₄ ph [mm]
S – Gn [mm]	Spa – Me [mm]		
Spa – Spp [mm]	S – Go [mm]		
NSBa [°]	ArGoMe [°]		
ANB [°]			
Wits-Wert [mm]			
SNB [°]			
SNA [°]			

Tab. 1: Übersicht der vorgenommenen Strecken – und Winkelmessungen

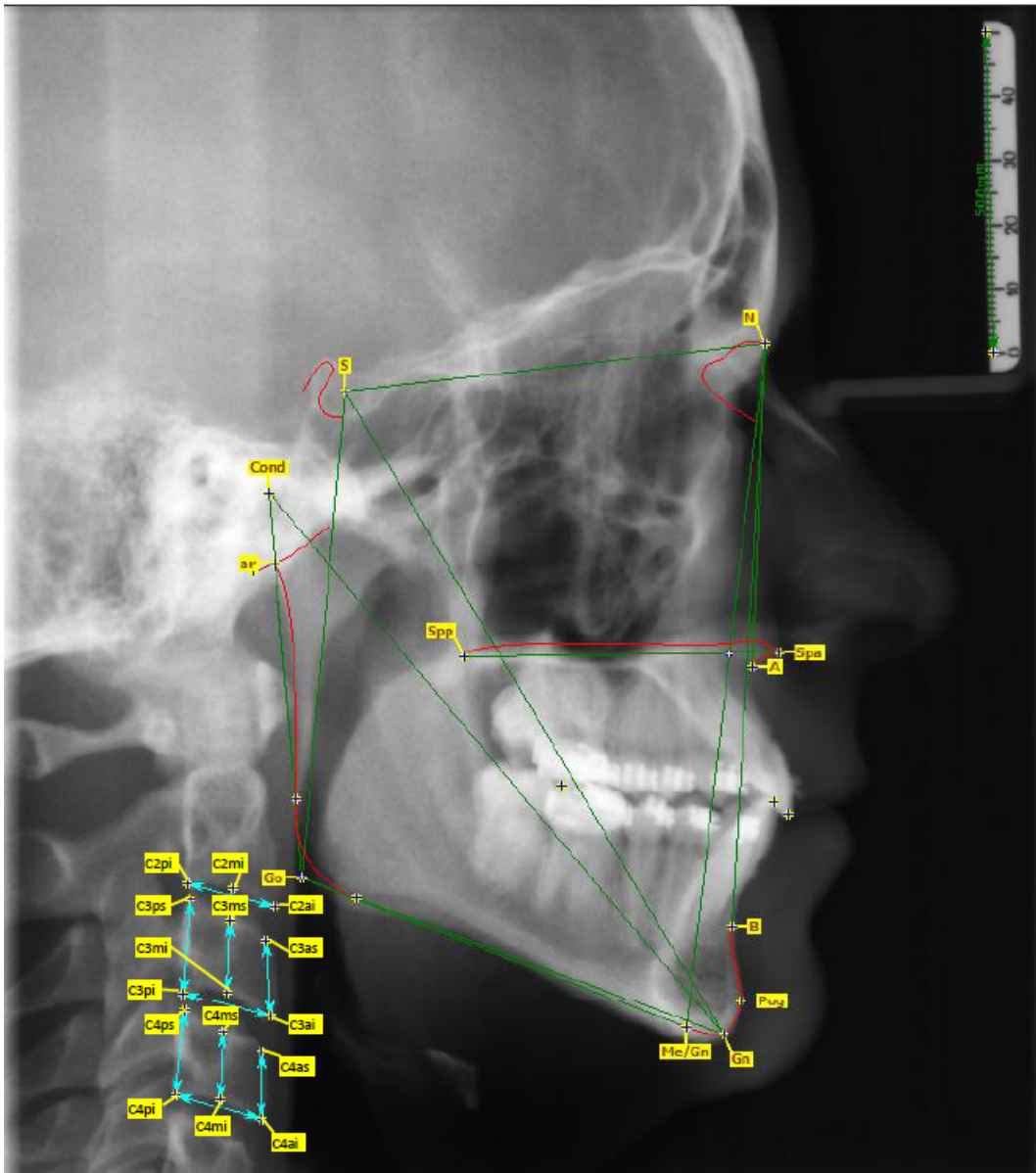


Abb. 10: Darstellung einer lateralen Fernröntgenaufnahme mit Abbildung der Referenzpunkte und –linien

3.4 Statistische Analyse

Die Messwerte aller festgelegten Variablen wurden mit Microsoft® Office Excel 2007 erfasst. Anschließend wurden die Datensätze in das Programm SPSS Statistics für Windows (Version 23.0, SPSS Inc., Chicago, USA) importiert und ausgewertet. Die hierbei angewandten explorativen Datenanalysen beziehen sich auf die zuvor definierten Reifegruppen CVMS₁₋₆. Für alle Strecken und Winkel innerhalb eines Reifestadiums wurden ein Mittelwert, ein Median-, ein Minimal- und ein Maximalwert ermittelt. Die Ergebnisse über Boxplots dargestellt, sind miteinander verglichen worden. Hierbei wurden die Wachstumsmuster geschlechtergetrennt im Verlauf der sechs Reifephasen untersucht. Die

Intervalle zwischen den Phasen, in denen der mediane Zuwachs am größten war, wurden kategorisiert und für beiden Geschlechtsgruppen mit dem Chi – Quadrat – Test nach Pearson verglichen. Des Weiteren wurden Wachstumsunterschiede zwischen den männlichen und weiblichen Probanden mit dem Mann – Whitney – U –Test analysiert und auf Signifikanz überprüft. Die Irrtumswahrscheinlichkeit für den Fehler 1. Art wurde auf den Niveaus von 0,05; 0,01 und 0,001 (2-seitig) festgelegt. Um weiterhin die unterschiedliche Verteilung des Alters pro Reifestadium aufzuzeigen, sind für jede CVM – Phase ein Median-, ein Minimal-, und ein Maximalwert des Alters bestimmt worden.

3.5 Methodenfehler

Die Zuverlässigkeit der vorliegenden Untersuchungsmethode wurde zum einen durch die Anzahl kongruenter Messungen von zwei Untersuchern (Interrater-Reliabilität, Interbeobachtervarianz) und zum anderen durch die Übereinstimmung wiederholter Messungen eines Untersuchers (Intrarater-Reliabilität, Intrabeobachtervarianz) geprüft. Zur Erhebung der Interrater-Reliabilität wurden 34% der gesamten lateralen Fernröntgenseitaufnahmen durch einen zweiten Untersucher mit kieferorthopädischer Weiterbildung ausgewertet. Die Intrarater-Reliabilität wurde bestimmt, indem derselbe Untersucher nach einem erinnerungsfreien Zeitraum von mindestens 4 Wochen 40% der weiblichen und 40% der männlichen Röntgenaufnahmen erneut durchzeichnete. Die betreffenden Röntgenbilder wurden nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Die Stärke der linearen Zusammenhänge wurde mit Hilfe des pearsonschen Maßkorrelationskoeffizienten bestimmt und über Punktwolken in Streudiagrammen graphisch dargestellt. Der Korrelationskoeffizient ist dimensionslos und kann Werte zwischen +1 (positive Kovarianz) und -1 (negative Kovarianz) annehmen, bei einer Kovarianz nahe 0 besteht kein Zusammenhang [50][51].

$$\text{Korrelationskoeffizient} = r = \frac{s_{xy}}{s_x \times s_y}$$

s_{xy} = Kovarianz

s_x / s_y = Standardabweichungen

4 Ergebnisse

4.1 Kephalometrische Auswertung

4.1.1 Patientenalter

Die Altersspanne der untersuchten Probanden lag zwischen 8,0 und 25,5 Jahren. Insgesamt wurden 116 männliche und 116 weibliche laterale Fernröntgenaufnahmen ausgewertet. Nach Bestimmung der skelettalen Reife und Bildung der Reifegruppen zeichnete sich eine geschlechterspezifische Verteilung der Röntgenbilder ab. Die stärkste Häufung mit 69 FRS wurde bei den männlichen Gruppen in den ersten 4 Entwicklungsphasen festgestellt. Die stärkste Akkumulation bei den weiblichen Gruppen mit 62 FRS konnte in den letzten beiden Entwicklungsphasen beobachtet werden. Beim Vergleich zwischen chronologischem Alter und skelettaler Reife, zeigte sich eine Zunahme des chronologischen Alters im Fortschreiten der Entwicklungsphasen (Tabelle 2, 3). Die weiblichen Probanden erreichten die Reifestadien 1 – 5 im Mittel 3 Monate bis 1,8 Jahre früher als die männlichen Probanden. Dagegen erlangten die männlichen Probanden durchschnittlich 1,5 Jahre vor den weiblichen Probanden das sechste Reifestadium. Das chronologische Alter in den einzelnen Reifegruppen war breit gestreut (Abbildung 11, 12), mit der größten Varianz im letzten CVM – Stadium. Zwischen Minimal – und Maximalwert ergab sich hier eine Altersspanne von 10,0 Jahren für die männliche und 10,8 Jahren für die weibliche Gruppe. Ausreißer wurden als Kreise gekennzeichnet. Eine prozentuale Verteilung der Altersgruppen in Abhängigkeit der Reifestadien wurde dem Anhang beigelegt (Abbildung 13).

Alter [Jahre]	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert	Anzahl FRS
CVMS ₁	9,2	8,4	11,4	13
CVMS ₂	10,6	8,7	13,1	23
CVMS ₃	13,0	10,2	17,6	16
CVMS ₄	14,5	10,3	17,0	17
CVMS ₅	16,2	11,5	19,3	21
CVMS ₆	17,9	13,3	23,3	26

Tab. 2: Medianwerte, Minima und Maxima des chronologischen Alters zum Zeitpunkt der Entwicklungsphasen CVMS₁₋₆, männliche Probanden

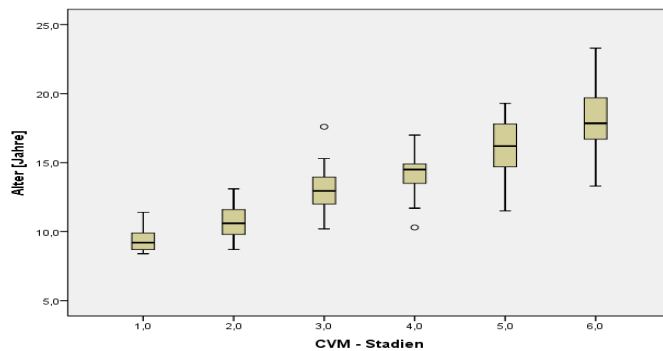


Abb. 11: Verteilung des chronologischen Alters in Abhängigkeit der skelettalen Reife, männliche Probanden

Alter [Jahre]	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert	Anzahl FRS
CVMS ₁	8,9	8,0	11,4	5
CVMS ₂	10,3	8,5	13,0	21
CVMS ₃	11,2	8,9	13,1	17
CVMS ₄	13,2	11,5	14,6	11
CVMS ₅	15,7	10,8	19,9	24
CVMS ₆	19,4	14,6	25,4	38

Tab. 3: Medianwerte, Minima und Maxima des chronologischen Alters zum Zeitpunkt der Entwicklungsphasen CVMS₁₋₆, weibliche Probanden

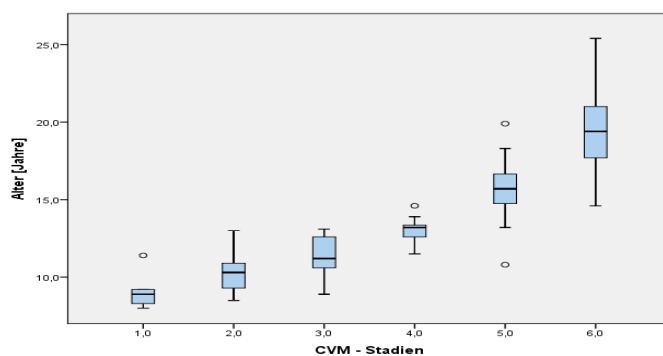


Abb. 12: Verteilung des chronologischen Alters in Abhängigkeit der skelettalen Reife, weibliche Probanden

4.1.2 Basal sagittale und basal vertikale Parameter

Die ermittelten Medianwerte der Streckenmessungen ergaben ein Wachstum im Fortschreiten der Reifephasen. In Boxplots (Abbildung 14 – 43) dargestellt, sind sie dem Anhang zu entnehmen. Ausreißer wurden als Kreise und Extremwerte als Sterne markiert. Median – und Mittelwerte vergleichend gegenübergestellt, zeigten im Rahmen des größten

Wachstumsschubes Abweichungen in 7 von 156 Messungen. Die Diskrepanzen hierbei lagen nicht weiter als 2 CVM – Stadien auseinander. Zusammen mit den Minimal – und Maximalwerten sind sie tabellarisch (Tabelle 4 – 21) im Anhang aufgeführt.

Eine Untersuchung der Strecken und Winkel auf Reifephasen – Intervalle mit der größten Wachstumszunahme ergab für die Streckenvariablen der männlichen Gruppen eine deutliche Häufung im 2. Reifeintervall (Tabelle 22). Die Wachstumsmaxima der weiblichen Gruppen zeigten eine Häufung im 2. und 3. Reifeintervall (Tabelle 23). Maximale Größenveränderungen der untersuchten Winkel waren sowohl bei den männlichen, als auch bei den weiblichen Probanden ab dem dritten Reifeintervall zu konstatieren. Der Winkel Nasion – Sella – Basion (NSBa) und der Wits – Wert wurden nicht auf maximale Größenzunahmen untersucht.

CVMS – Intervall	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Strecken [mm]	0	7	2	1	0
Winkel [°]	0	0	2	1	1

Tab. 22: Häufigkeitsverteilung der Wachstumsmaxima, männliche Probanden

CVMS – Intervall	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	5 – 6
Strecken [mm]	1	4	3	2	0
Winkel [°]	0	0	1	1	2

Tab. 23 : Häufigkeitsverteilung der Wachstumsmaxima, weibliche Probanden

Bei der vertikalen Entwicklung des unteren Gesichtsdrittels (Spa – Me) wurden in der männlichen Kohorte Wachstumsmaxima zwischen den Entwicklungsphasen $2/3$ und $4/5$ festgestellt (Tabelle 24). Generell zeigten sich im ersten und letzten Reifeintervall keine Wachstumsmaxima. In der weiblichen Kohorte wuchs die Strecke Gonion - Gnathion (Go – Gn) maximal zwischen den Entwicklungsphasen $1/2$ und $2/3$. Im letzten Reifeintervall wurde kein maximales Längenwachstum beobachtet.

männlich			weiblich		
Strecke / Winkel	Wachstums - zunahme	Reife - intervall	Strecke / Winkel	Wachstums - zunahme	Reife - intervall
Cond - Gn	7,0 mm	CVMS _{2/3}	Cond - Gn	5,0 mm	CVMS _{4/5}
Go - Me	3,5 mm	CVMS _{2/3}	Go - Me	3,0 mm	CVMS _{2/3}
Go - Gn	4,3 mm	CVMS _{2/3}	Go - Gn	2,9 mm	CVMS _{1/2} CVMS _{2/3}
S - Gn	5,7 mm	CVMS _{2/3}	S - Gn	6,3 mm	CVMS _{3/4}
Cond - Go	5,3 mm	CVMS _{3/4}	Cond - Go	3,5 mm	CVMS _{4/5}
SNB	2,2 °	CVMS _{3/4}	SNB	2,7 °	CVMS _{4/5}
ArGoMe	3,7 °	CVMS _{5/6}	ArGoMe	5,3 °	CVMS _{5/6}
ANB	-1,2 °	CVMS _{4/5}	ANB	-0,7°	CVMS _{3/4}
N - Me	5,8 mm	CVMS _{2/3}	N - Me	5,6 mm	CVMS _{2/3}
Spa - Me	3,7 mm	CVMS _{2/3} CVMS _{4/5}	Spa - Me	5,3 mm	CVMS _{2/3}
S - Go	4,9 mm	CVMS _{3/4}	S - Go	4,7 mm	CVMS _{3/4}
Spa - Spp	2,0 mm	CVMS _{2/3}	Spa - Spp	2,5 mm	CVMS _{3/4}
SNA	3,0 °	CVMS _{3/4}	SNA	1,7 °	CVMS _{5/6}

Tab. 24: Maximale Größenzunahme der einzelnen Parameter im zugehörigen Reifeintervall

4.2 Statistische Auswertung

4.2.1 Prüfung auf Häufigkeitsverteilung der Wachstumsmaxima

Der Chi²-Test nach Pearson ergab beim Vergleich aller Reifeintervalle keine signifikanten Unterschiede im Wachstumsverlauf zwischen den männlichen und weiblichen Probanden. Die Nullhypothese wurde nicht abgelehnt, $p = 0,70$. Nach Dichotomisierung der gesamten Reifeintervalle in ein frühes und ein spätes Reifestadium wurden die Geschlechtergruppen erneut auf Ungleichheiten im Wachstumsverlauf untersucht. Auch hier konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ($p = 0,68$).

4.2.2 Prüfung auf Wachstumsunterschiede zwischen den Geschlechtergruppen

Die Resultate der statistischen Untersuchung sind in den Tabellen 25 – 29 aufgeführt.

Die Nullhypothese wird abgelehnt, wenn die Prüfgröße gleich oder kleiner dem kritischen Wert ist. (zweiseitiger Test)

NS: nicht signifikant; * $p < 0,05$: signifikant; ** $p < 0,01$: hochsignifikant; *** $p < 0,001$: höchstsignifikant

4.2.2.1 Anteriore Schädelbasis

Bezogen auf den Schädelbasiswinkel Nasion – Sella – Basion (NSBa) konnten zwischen den männlichen und weiblichen Probanden höchstsignifikante Unterschiede konstatiert werden (Tabelle 25). Die Werte der weiblichen Gruppen waren hierbei deutlich kleiner.

Anteriore Schädelbasis	NSBa [°]
p - Wert	< 0,001
U – Test von Mann und Whitney	***

Tab. 25: P – Werte und Signifikanzniveaus für das Unterkieferwachstum im Vergleich

4.2.2.2 Unterkieferwachstum

Das Unterkieferwachstum zwischen den Geschlechtergruppen unterschied sich signifikant bis höchstsignifikant (Tabelle 26). Alle linearen Messungen der männlichen Probanden waren hierbei größer als die korrespondierenden Messungen der weiblichen Probanden. Abbildung 44 veranschaulicht die Befunde am Beispiel der Strecke Cond – Gn. Die Winkeländerungen zwischen den Gruppen waren hochsignifikant unterschiedlich. Der Winkel Artikulare – Gonion – Menton (ArGoMe) fiel flacher aus bei den weiblichen Probanden.

Unterkieferwachstum	Cond – Gn [mm]	Go – Me [mm]	Go – Gn [mm]	S – Gn [mm]	Cond – Go [mm]	SNB [°]	ArGoMe [°]
p – Wert	0,026	0,001	< 0,001	0,006	0,006	0,003	0,010
U – Test von Mann und Whitney	*	***	***	**	**	**	**

Tab. 26: P – Werte und Signifikanzniveaus für das Unterkieferwachstum im Vergleich

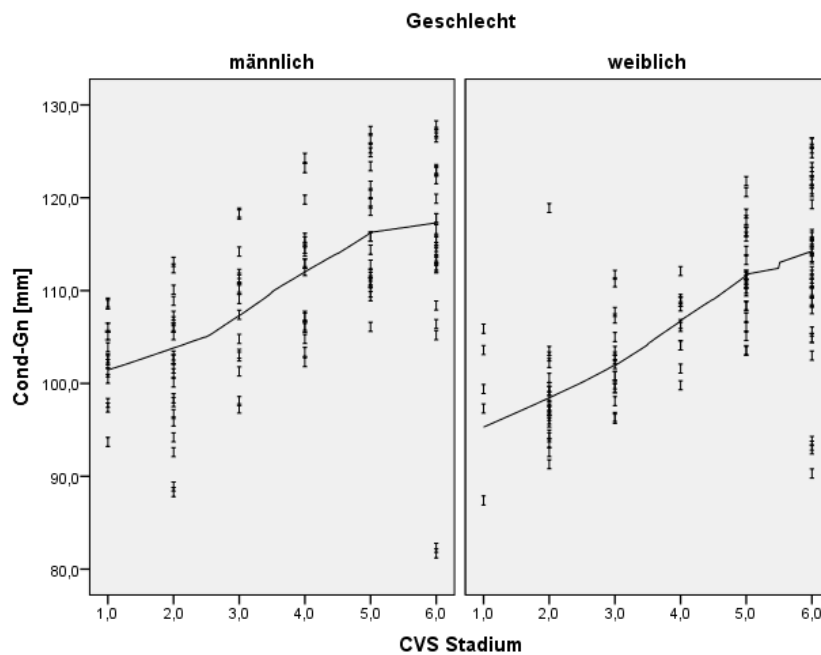


Abb. 44: Streckenlänge Condylion – Gnathion, männliche und weibliche Probanden

4.2.2.3 Oberkieferwachstum

Höchstsignifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ergab die Strecke zur Beurteilung des Längenwachstums der Maxilla (Tabelle 27). Die ermittelten Werte der Streckenlänge waren größer bei den männlichen Probanden (Abbildung 45). Die Unterschiede bezüglich des Winkels Sella – Nasion – A-Punkt (SNA) waren nicht signifikant.

Oberkieferwachstum	Spa – Spp [mm]	SNA [°]
p - Wert	< 0,001	0,364
U – Test von Mann und Whitney	***	NS

Tab. 27: P – Werte und Signifikanzniveaus für das Oberkieferwachstum im Vergleich

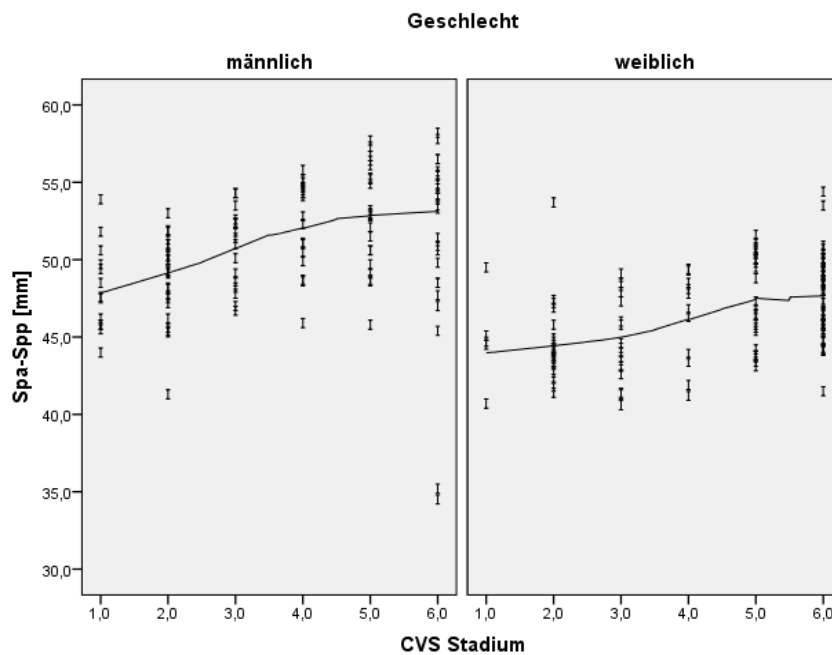


Abb. 45: Streckenlänge Spina nasalis anterior – Spina nasalis posterior, männliche und weibliche Probanden

4.2.2.4 Gesichtshöhe

Die Vertikalentwicklung der gesamten vorderen Gesichtshöhe (N – Me) ergab hochsignifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtergruppen, wobei die größeren Distanzen bei den männlichen Probanden gemessen wurden (Tabelle 28). Das untere Gesichtsdrittel (Spa – Me) unterschied sich nicht signifikant zwischen den Kohorten. Die gesamte hintere Gesichtshöhe (S – Go) ergab höchstsignifikante, die Entwicklung des Ramus mandibulae (Cond – Go) hochsignifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtergruppen. Die Streckenmessungen bei den männlichen Probanden waren größer als bei den weiblichen Probanden.

Anteriore Gesichtshöhe	N – Me [mm]	Spa – Me [mm]	Posteriore Gesichtshöhe	S – Go [mm]	Cond – Go [mm]
p - Wert	0,005	0,457	p - Wert	< 0,001	0,006
U – Test von Mann und Whitney	**	NS	U – Test von Mann und Whitney	***	**

Tab. 28: P – Werte und Signifikanzniveaus für die Veränderung der anterioren und posterioren Gesichtshöhe im Vergleich

4.2.2.5 Halswirbelkörper

Die sagittalen und vertikalen Messungen der Halswirbelkörper unterschieden sich nicht signifikant zwischen den männlichen und weiblichen Probanden (Tabelle 29), mit Ausnahme der Strecke C₂₋₄ l (Abbildung 46 – 48). Die sagittale Strecke zur Beurteilung der Länge der Wirbelkörper ergab durchgehend höchstsignifikante Unterschiede.

Halswirbelkörper	p – Wert	U – Test von Mann und Whitney
C ₂ conc [mm]	0,630	NS
C ₂ l [mm]	< 0,001	***
C ₃ conc [mm]	0,673	NS
C ₃ ah [mm]	0,771	NS
C ₃ ph [mm]	0,844	NS
C ₃ mh [mm]	0,870	NS
C ₃ l [mm]	< 0,001	***
C ₄ conc [mm]	0,103	NS
C ₄ ah [mm]	0,252	NS
C ₄ ph [mm]	0,644	NS
C ₄ mh [mm]	0,937	NS
C ₄ l [mm]	< 0,001	***

Tab. 29: P – Werte und Signifikanzniveaus der Halskörperentwicklung im Vergleich

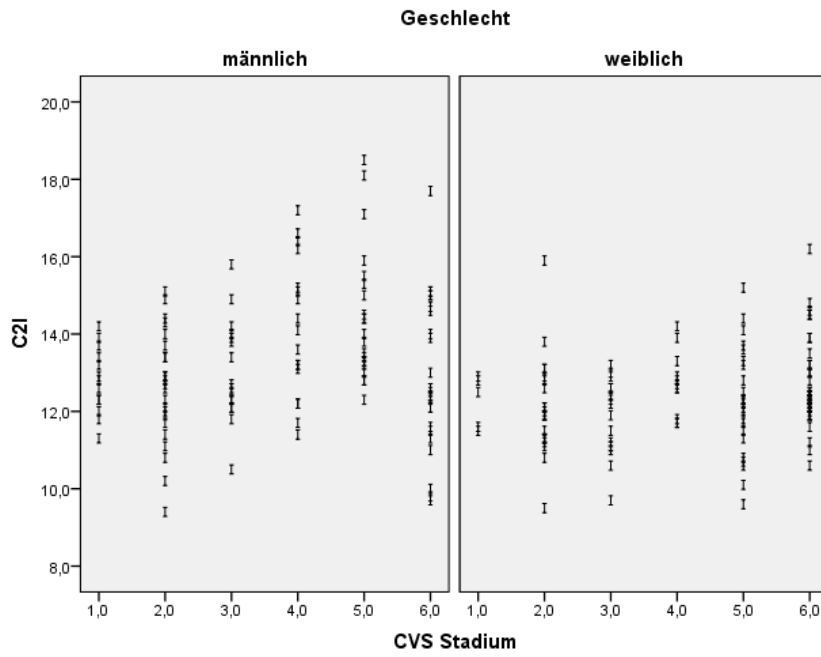


Abb. 46: Länge des Wirbelkörpers C₂ bei männlichen und weiblichen Probanden

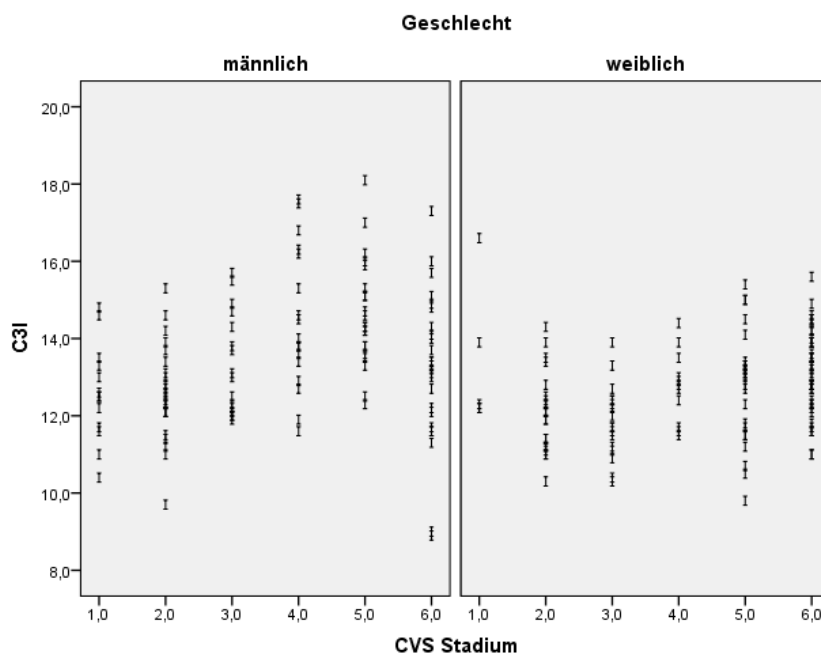


Abb. 47: Länge des Wirbelkörpers C₃ bei männlichen und weiblichen Probanden

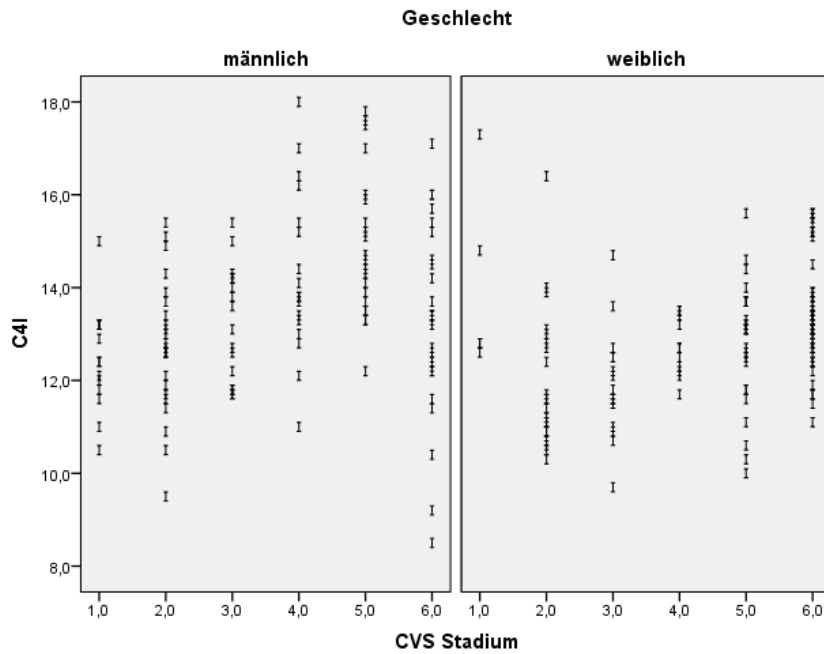


Abb. 48: Länge des Wirbelkörpers C₄ bei männlichen und weiblichen Probanden

4.2.2.6 Reifephasen

Ein Vergleich der ermittelten CVM – Stadien zwischen den Geschlechtergruppen ergab einen signifikanten Unterschied ($p = 0,035$), wonach der weiblichen Gruppe mehrheitlich ein höheres Reifestadium zugeteilt wurde (Abbildung 49). Im vergleichbaren chronologischen Alter befanden sich 75 % der weiblichen Probanden in den Entwicklungsstadien 3 bis 6, 50% der männlichen Probanden in den Reifestadien 2 bis 5.

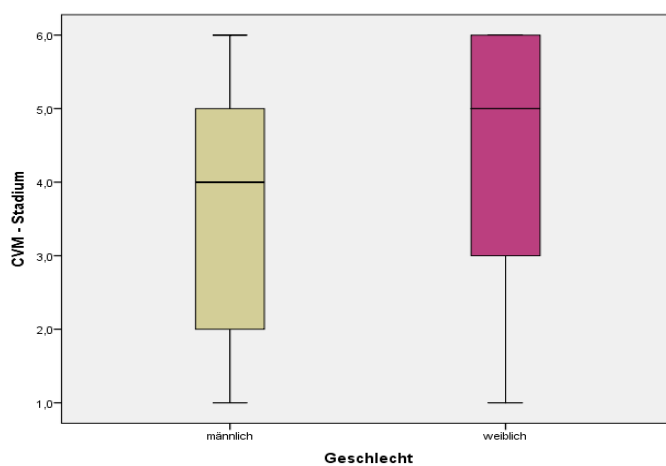


Abb. 49: Verteilung der CVMS in Abhängigkeit vom Geschlecht

4.3 Methodenfehler

Die in Tabelle 30 aufgeführten Ergebnisse, sind graphisch über Punktwolken in Streudiagrammen dargestellt worden (Anhang; 9.3). Die Intrarater- wie gegenüber der Interraterreliabilität einen stärkeren Zusammenhang auf. Wobei die Intra-beobachtervarianz für die Strecke C₄ conc insgesamt die geringste Korrelation darstellte.

Parameter	Intra-beobachtervarianz	Interbeobachtervarianz
	T1 zu T2	U1 zu U2
Cond - Gn [mm]	0,98	0,92
Go - Gn [mm]	0,94	0,93
S - Gn [mm]	0,99	0,97
N - Me [mm]	0,98	0,94
Spa - Me [mm]	0,99	0,97
S - Go [mm]	0,98	0,98
Cond - Go [mm]	0,93	0,90
Go - Me [mm]	0,90	0,90
Spa - Spp [mm]	0,92	0,75
ANB [°]	0,91	0,72
SNB [°]	0,97	0,87
SNA [°]	0,95	0,81
ArGoMe [°]	0,93	0,90
C ₂ conc [mm]	0,84	0,83
C ₂ l [mm]	0,93	0,91
C ₃ conc [mm]	0,88	0,89
C ₃ ah [mm]	0,96	0,95
C ₃ ph [mm]	0,93	0,92
C ₃ mh [mm]	0,92	0,92
C ₃ l [mm]	0,92	0,87
C ₄ conc [mm]	0,64	0,81
C ₄ ah [mm]	0,96	0,93
C ₄ ph [mm]	0,92	0,89
C ₄ mh [mm]	0,90	0,89
C ₄ l [mm]	0,90	0,84
CVM - Stadium	0,94	0,84

Tab. 30: Korrelationskoeffizienten von Interrater- und Intraraterreliabilität bezüglich der festgelegten Messstrecken und –winkel. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

4.4 Zusammenfassung der Resultate

Die weiblichen Probanden erlangten die CVMS_{1,5} früher als die männlichen. Die größten Differenzen lagen hierbei im 3. Reifestadium mit durchschnittlich 1,8 Jahren. Das 6. CVM – Stadium wurde von den männlichen Probanden durchschnittlich 1,5 Jahre vor den weiblichen Probanden erreicht. Obwohl die Geschlechtergruppen in Bezug auf das chronologische Alter gleich besetzt waren, unterschieden sie sich signifikant in ihrer Knochenreife. Auch die Wachstumsmaxima der gemessenen sagittalen und vertikalen Parameter unterlagen geschlechterspezifischen Unterschieden. In der männlichen Gruppe konnte maximales Wachstum in 7 von 9 linearen Messungen zwischen dem CVMS_{2/3} ermittelt werden. Ausnahmen fanden sich bezüglich der Strecken Sella – Gonion, Condylion – Gonion und Spina nasalis anterior – Menton. In der weiblichen Gruppe zeigte sich maximales Längenwachstum bei 7 von 9 Messungen zwischen den CVMS_{2/3} und den CVMS_{3/4}. Abweichungen fanden sich bezüglich der Strecken Condylion – Gnathion, Condylion – Gonion und Gonion – Gnathion. Doppelte Wachstumsmaxima wurden berücksichtigt. Ein gemeinsames Reifeintervall, in der sich die Winkelwerte maximal veränderten, konnte nicht abgeleitet werden. Eine zusätzliche Prüfung auf Ungleichheiten der Wachstumsmaxima im Wachstumsverlauf der Geschlechtergruppen ergab keine signifikanten Unterschiede. Dagegen erbrachte die Auswertung der einzelnen Strecken – und Winkelvariablen geschlechterspezifische Differenzen, die im Diskussionsabschnitt näher betrachtet werden.

5 Diskussion

5.1 Material

Die Probanden der vorliegenden Untersuchung wurden aus dem Patientenpool der Klinik für Kieferorthopädie am Universitätsklinikum des Saarlandes ausgewählt. Alle Patienten wurden ihrer Indikation entsprechend behandelt. Wachstumsprozesse sind dementsprechend beeinflusst worden. Bei der Vorauswahl wurden nur Patienten gewählt, die über eine FRS – Sequenz von mindestens drei lateralen Fernröntgenseitaufnahmen zu drei verschiedenen Zeitpunkten verfügten und in ihrer Abfolge über ANB –, oder Wits – Wert eine mesiobasale Kieferrelation aufwiesen [10][49]. Ein Ausschluss der Patienten mit einem ANB – bzw. Wits – Wert kleiner oder gleich zwei Standardabweichungen, wie in Studien nach Mitani 1981 [52] und Mitani *et al.*, 1993 [53] zu finden, wäre wünschenswert, würde aber zu kleinen Patientenzahlen führen und den Aussagewert der Stichprobe verringern. Als Richtwerte dienten die im Rahmen des kieferorthopädischen Behandlungskursus I und II der Universität des Saarlandes unterrichteten Größen [54]. Analog den Einschlusskriterien wurde die Stichprobe weiter selektiert. Es folgte eine Aufteilung aller FRS in Altersgruppen. Hierbei wurde zwischen männlichen und weiblichen Probanden unterschieden. Es wurde weiterhin darauf geachtet, dass jede Gruppe mit 9 ± 5 Kephhalogrammen gleich stark besetzt war. Das schuf auf der einen Seite Homogenität der Gruppen, verstärkte jedoch auf der anderen den Charakter einer Querschnittsstudie, indem Kephhalogrammserien von Klasse III Patienten zugunsten gleich starker Gruppengrößen nicht vollständig übernommen wurden. Komplette Wachstumskurven von jedem Probanden in dem hier untersuchten Zeitraum wären erstrebenswert, um ausführlicher und genauer die individuellen Entwicklungen beurteilen zu können [27]. Hierfür wären jährlich angefertigte Röntgenaufnahmen vom 8. bis zum 26. Lebensjahr notwendig. Allerdings dürfen Röntgenaufnahmen nur bei entsprechender Indikation angefertigt werden, da sie für jeden Patienten ein unkalkulierbares Risiko bergen. Baccetti *et al.*, resümierten in ihrer Studie von 2007, dass das Unterkieferwachstum bei allen Patienten mit einer skelettal bedingten Angle Klasse III bis ins junge Erwachsenenalter anhält [47]. Basierend auf diesen Erkenntnissen, wurden die Altersgruppen von 8,0 bis 25,5 Jahren untersucht. Somit unterscheiden sich die vorliegenden Altersgruppen von denjenigen, die in anderen Publikationen [24][32][38][52][53] beschrieben sind. Ziel war es, das Wachstumspotential über das 18. Lebensjahr hinaus zu erforschen. Der Abstand der Gruppen 1 bis 12 (8,0 bis 20,0 Jahre) betrug ein Jahr, um festzustellen, ob ein Muster zwischen

Altersgruppe und CVM – Stadium abgeleitet werden kann. Die letzte Altersgruppe (20,1 bis 25,5 Jahre) musste dagegen aus Mangel an geeigneten Kephhalogrammen gepoolt werden. Die Probanden dieser Studie wurden ungeachtet ihrer Ethnie nach den geforderten Einschlusskriterien selektiert. Die Mehrheit der Probanden sind kaukasischer, einige asiatischer Abstammung. Dass die ethnische Herkunft Einfluss auf die Knochenreife und Entwicklung nehmen kann, wird in der Literatur verdeutlicht [31][55][56]. Allerdings lässt die Durchmischung der verschiedenen Rassen in der heutigen multikulturellen Gesellschaft die Frage nach der ethnischen Herkunft zunehmend verblassen.

5.2 Methode

Die durchgeführten Fernröntgenanalysen basierten auf einer computergestützten Methode, bei der die Referenzpunkte manuell am PC festgelegt wurden. Strecken – und Winkelberechnungen erfolgten softwaregesteuert über Onyx Ceph® 3TM. Mittels einer Millimeterskalierung auf dem Kephhalostat wurden unterschiedliche Vergrößerungsfaktoren angepasst. Die Auswertungen der Röntgenbilder wurden durch einen Untersucher vorgenommen, so konnten interindividuelle Fehler ausgeschlossen werden. Die in dieser Studie verwendeten Referenzpunkte, -linien und –winkel wurden bereits in anderen Publikationen definiert [11][12][48][57], wodurch die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der eigenen Methode gewährleistet ist. Eine Gegenüberstellung von konventionellen und digitalisierten Fernröntgenanalysen erbrachten Akharea *et al.*, 2016 [58], bei der eine vergleichbare Zuverlässigkeit bei der Lokalisierung von Bezugspunkten zwischen beiden Vermessungsmethoden beschrieben wird. Im Rahmen dieser Studie wurden 19 Bezugspunkte bestimmt, darunter Nasion, Sella, Artikulare mit Lokalisierungsunterschieden unter 1,0 mm und Menton, Spina nasalis anterior, Spina nasalis posterior mit Lokalisierungsunterschieden über 1,0 mm. Der in der Literatur oft kontrovers diskutierte und in dieser Studie verwendete Referenzpunkt Condylion wurde von Akharea *et al.*, nicht untersucht. Condylion bezeichnet den kranialsten Punkt des Kondylus artikulare [48]. Auf einem FRS ist er häufig schwer zu lokalisieren, da er von der kranialen Basis überlagert wird. Auch Aufnahmen in offener Mundposition und verlagerten Kondylus zeigen keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich der Lokalisierung des Condylions [59]. Eine Alternative zur Beurteilung der totalen Unterkieferlänge bildet der Punkt Artikulare [31][57]. Für die Messung der Ramuslänge ist Artikulare allerdings ungeeignet [57].

Das Analyseverfahren „Homburg – HWS“ wurde entwickelt, um Reifestadien der Halswirbelkörper in Korrelation zum Kieferwachstum bei männlichen und weiblichen Heranwachsenden zu beurteilen [48]. Die Studie untersuchte Probanden unabhängig ihrer kieferorthopädischen Indikation. Im Gegensatz dazu, analysiert die vorliegende Untersuchung heranwachsende Probanden mit einer Angle Klasse III. Zusätzliche Informationen über den Schädelbasiswinkel und Wits – Wert waren demnach interessant und wurden mit dem Analyseverfahren „Homburg '02“ eruiert.

Die Cervical – Vertebral – Maturation – Methode wird von vielen Autoren als reproduzierbar und valide eingestuft [24][33][39][60]. Sie scheint ebenso zuverlässig wie die Auswertung der Handknochen oder des Handgelenks [25][40][41][42][61]. Andere Autoren betrachten eine Beurteilung der skelettalen Reife durch die Auswertung der Halswirbelkörper kritisch [31][43][62][63], da sie keinen Vorteil gegenüber dem chronologischen Alter bietet [62] und eine Vorhersage des puberalen Wachstumsschubs nur im Zusammenhang mit anderen Reifeindikatoren möglich ist [31][64]. Eine Alternative bietet die Formel nach Mito *et al.*, 2002 [33]. Die Autoren nutzten im Rahmen einer multivariablen linearen Regressionsanalyse das Verhältnis aus der anterioren, mittleren und posterioren Wirbelkörperhöhe, der Wirbelkörperlänge und dem chronologischen Alter, um objektiv das zervikale Knochenalter zu bestimmen. Intra – und Interrater – Variabilität bleiben bei der Anwendung dieser Formel unbeeinflusst.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Chronologisches Alter

Ein bestimmtes CVM – Stadium für eine bestimmte Altersgruppe ließ sich nicht ableiten, da das chronologische Alter pro Reifephase breit gestreut vorlag. Die Wachstumsmaxima der untersuchten Parameter dieser Stichprobe traten gehäuft zwischen den Entwicklungsphasen $2/3$ und $3/4$ auf. Die Verteilung des chronologischen Alters dieser Stadien ist folglich besonders interessant. Im CVMS₂, reichte das individuelle chronologische Alter von 8,7 bis 13,1 Jahren bei der männlichen und von 8,5 bis 13,0 Jahren bei der weiblichen Gruppe. Im CVMS₃, erstreckte sich die Altersspanne der männlichen Probanden von 10,2 bis 17,6 Jahren und die der weiblichen Probanden von 8,9 bis 13,1 Jahren. Im CVMS₄, reichte die Altersspanne der männlichen Probanden von 10,3 bis 17,0 Jahren und die der weiblichen Probanden von 11,5

bis 14,6 Jahren. Diese Auswertungen zeigen sichtbar, dass das chronologische Alter als Indikator für die Beurteilung der individuellen skelettalen Reife ungenau ist, und dass ein optimaler Behandlungszeitpunkt mit diesem Parameter nicht definiert werden kann. Ähnliche Schlussfolgerungen sind in der Literatur beschrieben [26][48][65][66]. Das mediane chronologische Alter der CVMS₁₋₄ korrespondiert mit den Befunden von Thieme (2014) und Perinetti *et al.*, (2014). Ein Vergleich mit anderen Studien[55][67] zeigte, dass die Probanden der vorliegenden Untersuchung durchschnittlich ein Jahr früher die CVMS₂₋₄ erreichten oder das CVMS₃ ein bis zwei Jahre später [66]. Alle Studien untersuchten einen Zusammenhang zwischen Knochenalter und chronologischem Alter in Abhängigkeit vom Geschlecht, allerdings unabhängig einer kieferorthopädischen Indikation. Daraus lässt sich folgern, dass auch bei Klasse III Patienten keine Herleitung vom chronologischen Alter auf die skelettale Reife möglich ist. Ein Vergleich zwischen den Geschlechtergruppen bezüglich des chronologischen Alters bei Erreichen der CVMS₁₋₆ ergab signifikante Unterschiede. Die weiblichen Probanden erlangten die CVMS₁₋₅ vor den männlichen Probanden, wogegen die männlichen Probanden das CVMS₆ durchschnittlich 1,5 Jahre früher erreichten. Der zeitliche Verzug betraf die weiblichen Probanden immer im 5. Reifestadium. Die endgültige skelettale Reifung der Halswirbelkörper dauerte mit ca. 4 Jahren deutlich länger als bei Männern. Alle Probanden erreichten das 6. CVMS bis zum untersuchten Alter von 25,5 Jahren.

5.3.2 Basal sagittale und basal vertikale Parameter

Die in der Studie ermittelten Medianwerte der Streckenvariablen ergaben insgesamt eine kontinuierliche Größenzunahme im Fortschreiten der CVMS₁₋₆. Die Längenzunahme bestätigt das stattfindende Wachstum der Probanden im Verlauf der Entwicklungsphasen. Anders als bei den Streckenvariablen zeigten die Auswertungen der Winkelmessungen leichte Schwankungen. Der Schädelbasiswinkel NSBa blieb in den weiblichen Gruppen nahezu unveränderlich, bei den männlichen Gruppen wurde er tendenziell spitzer. Eine Größenzunahme des Winkels SNB um 5,5° konnte für die weibliche Kohorte im Fortschreiten der Entwicklungsphasen beobachtet werden. Ansonsten blieben die Winkel SNA und SNB mit einer Differenz um 3° weitestgehend konstant. Bei Betrachtung des Winkels ArGoMe wurden ebenfalls nahezu konstante Werte ermittelt. Ein Schließen des Kieferwinkels im Verlauf der Reifestadien konnte nicht beobachtet werden. Ungleichheiten innerhalb der Strecken-, und Winkelmessungen lassen sich vor allem in der Heterogenität der Gruppen erklären. Trotz gleicher Dysgnathie, gibt es viele Variationen der facialen Physiognomie

[12][14]. Des Weiteren wächst jedes Individuum individuell, Winkelgrößen können durch unterschiedlich schnelles Wachstum und unterschiedlicher Neigung von Knochenstrukturen variieren [10][49]. Bezogen auf die linearen Messungen konnten bei allen männlichen Probanden durchgehend größere Werte ermittelt werden. Das entspricht den Befunden aus anderen Publikationen [9][12][53][68][69].

In der vorliegenden Studie wurden die Medianwerte sämtlicher Variablen analysiert und miteinander verglichen. Der Vorteil des Medianwertes im Gegensatz zum Mittelwert liegt darin, dass er gegenüber Ausreißern und Extremwerten robust ist. Im Anhang wurden zu jeder Messung Median – und Mittelwerte vergleichend gegenübergestellt. Ausreißer und Extremwerte verursachen ein Abweichen des Mittelwerts vom Median. Die Verteilung ist dann schief. Bei Übereinstimmung von Mittelwert und Median, ist die Verteilung symmetrisch [51]. Ein Vergleich beider Werte im Rahmen der größten Wachstumszunahmen, zeigte nur geringe Abweichungen, die Form der zugrunde liegenden Verteilung war demnach symmetrisch.

5.3.3 Anteriore Schädelbasis

Der Schädelbasiswinkel (NSBa) gibt die Neigung der Clivuslinie zur Sella – Nasion – Linie an. Die anatomisch enge Lagebeziehung zwischen Clivus und Fossa articularis liefert wiederum einen Zusammenhang zwischen Winkelgröße und sagittaler Position des Unterkiefers [10]. Battagel erforschte in einer Querschnittsstudie 1993 diesen Winkel an 285 Fernröntgenseitaufnahmen von Kindern mit einer mesiobasalen Kieferrelation und verglich diese Werte mit den Werten der Schädelbasiswinkel unbehandelter Kinder, die als Kontrollgruppe fungierten. Sie fand heraus, dass mehrheitlich ein reduzierter NSBa – Winkel in der Stichprobe der Probanden mit mesiobasaler Kieferrelation vorlag und der Punkt Artikulare sich entsprechend weiter anterior befand. Es resultierte eine Prognathie des Unterkiefers. Dieser eher zugespitzte NSBa – Winkel konnte in beiden Geschlechtern und für jede Altersgruppe beobachtet werden [68]. Ähnliche Erkenntnisse ergab ein Vergleich zwischen der kraniale Flexur von Klasse III Probanden aus anderen Publikationen [47][69] und den Schädelbasiswinkeln von Klasse I Probanden aus der Studie von De Castrillon *et al.*, [9]. Diese Resultate bestätigen auch die Befunde der vorliegenden Untersuchung. Verglichen mit den Werten von De Castrillon *et al.*, wurde bei männlichen Probanden ein leicht reduzierter Schädelbasiswinkel und bei weiblichen Probanden ein deutlich reduzierter NSBa –

Winkel im Verlauf der sechs Reifestadien nachgewiesen. Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern waren höchstsignifikant. Es lässt sich schlussfolgern, dass die sagittale Position des Unterkiefers bei den weiblichen Probanden dieser Stichprobe, in jedem Entwicklungsstadium weiter anterior lag. Eine Betrachtung der Werte für den Winkel ANB und für den Wits – Wert stützen diese Aussage.

5.3.4 Oberkieferwachstum

Eine sagittale und transversale Unterentwicklung des Oberkiefers und / oder eine Oberkieferrücklage bei normal ausgeprägtem Unterkiefer sind Erscheinungsformen des progenen Formenkreises [3]. Eine weitere Variation besteht in der maxillären Mikro- und / oder Retrognathie kombiniert mit einer mandibulären Prognathie [12]. In der vorliegenden Studie wurde das sagittale Oberkieferwachstum durch Messungen der Strecke Spa – Spp und die sagittale Lage der Maxilla durch Messungen des Winkels SNA während der Entwicklungsphasen untersucht. In der männlichen Stichprobe vergrößerte sich die Streckenlänge Spa – Spp im Fortschreiten der Entwicklungsphasen. Ein deutlicher Wachstumsschub wurde nicht festgestellt. Insgesamt betrachtet, wuchs der Oberkiefer in sagittaler Dimension 6,2 mm, mit einem verstärkten Wachstum während der ersten drei Reifestadien. Der Winkel SNA schwankte zwischen 78,2° und 81,4°. Die ermittelten Winkelgrößen waren tendenziell etwas kleiner als bei den Probanden mit neutraler Kieferposition aus der Studie nach De Castrillon *et al.*, [9]. In der weiblichen Kohorte veränderte sich die Strecke Spa – Spp während der erste drei Reifestadien nicht. Anschließend zeigte sich geringes, kontinuierliches Wachstum von insgesamt 3,8 mm, mit der größten Längenzunahme von 2,5 mm zwischen den CVMS_{3/4}. Das sagittale Oberkieferwachstum unterschied sich zu den männlichen Probanden statistisch höchstsignifikant. Die größeren Streckenparameter fanden sich hierbei in der männlichen Kohorte. Ein Vergleich der vorliegenden Messwerte mit den Daten von Thieme [48] zeigte ebenfalls eine reduzierte Strecke Spa – Spp. Der Winkel SNA schwankte, ähnlich wie in der männlichen Kohorte, zwischen 78,3° und 81,4°. Signifikante Unterschiede bestanden nicht. Die Winkelgrößen glichen den Werten für weibliche Probanden nach De Castrillon *et al.*, mit einer Divergenz von maximal 2°.

5.3.5 Unterkieferwachstum

Bei Patienten mit skelettalen Missverhältnissen steht neben dem Oberkieferwachstum vor allem das Unterkieferwachstum im Fokus. O'Reilly und Yanniello identifizierten 1988 eine signifikante mandibuläre Längenzunahme zwischen den CVMS_{1/2, 2/3} und _{3/4} [45]. Franchi *et al.*, beschrieben ein starkes mandibuläres Wachstum im dritten Reifeintervall [66]. Bezogen auf Patienten mit einer mesiobasalen Kieferrelation beobachteten Mitani 1981 [52] und Mitani *et al.*, 1993 [53], dass die Wachstumsrate eines prognathen Unterkiefers, der eines nicht prognathen Unterkiefers ähnlich ist. Jacobson kam 1974 zu dem Schluss, dass weniger die Größe, sondern vielmehr die 'straight-line' Morphologie und die sagittale Position der Mandibula eine Klasse III ausmachen [12]. Ähnliche Erkenntnisse zeigte die Studie von Battagel 1993 [68]. Auch sie betonte, dass eher die Lage als die Länge für eine mandibuläre Prognathie verantwortlich sei. Trotzdem ist auch die Unterkieferlänge entscheidend. Guyer *et al.*, demonstrierten 1986 in einem Vergleich, dass die totale Unterkieferlänge (Cond – Gn) der Klasse III Stichprobe durchschnittlich 3,0 bis 6,0 mm länger war als die der Klasse I Kontrollgruppe [14]. Baccetti *et al.*, bemerkten, dass das mandibuläre Wachstum der Klasse III Probanden bis ins junge Erwachsenenalter anhält und besonders in den späten Reifestadien (CVMS₄₋₆) verstärkt abläuft. Den puberalen Wachstumsschub beobachteten sie zwischen den CVMS_{3/4}. Die mandibuläre Längenzunahme betrug in dieser Phase 8,0 mm bzw. 5,5 mm bei den männlichen und weiblichen Probanden [47]. Die durch Baccetti *et al.*, beschriebenen Erkenntnisse konnten in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. In der männlichen Stichprobe zeigte sich eine effektive Längenzunahme der Strecke Condylion – Gnathion mit 7,0 mm zwischen den CVMS_{2/3}. Das mandibuläre Wachstum zwischen den Entwicklungsphasen _{3/4} und _{4/5} war mit 3,3 mm und 2,9 mm deutlich weniger ausgeprägt. Insgesamt wuchs der Unterkiefer (Cond – Gn) im Verlauf der Reifestadien 12,9 mm. Der Unterkieferkörper, gemessen an den Strecken Gonion – Menton und Gonion – Gnathion, hatte seinen maximalen Wachstumsschub ebenfalls im zweiten Reifeintervall. Bei einem Vergleich der Streckenwerte mit den Probanden aus der Studie nach De Castrillon [9], zeigte sich ein vergrößerter Unterkieferkörper in den ersten drei Reifestadien, danach glichen sich die Werte an. Die Messwerte für den Ramus mandibulae waren deutlich kleiner und ergaben ein gesamtes Längenwachstum von 7,8 mm, statt 15,1 mm. Dieser Unterschied lässt die Frage zu, inwieweit eingeleitete Therapiemaßnahmen das Wachstum der aufsteigenden Äste beeinflussen können. Der Unterkieferwinkel (ArGoMe) war mit Werten zwischen 122, 4° und 127, 9° tendenziell kleiner. Eine mandibuläre 'straight-line' Morphologie konnte nicht

nachgewiesen werden [12][14]. Der Winkel SNB glich den Werten der Klasse I Probanden aus der Studie nach De Castrillon *et al.*, ab dem dritten Reifestadium und blieb innerhalb der Gruppe nahezu konstant. In der weiblichen Stichprobe zeigte sich im Verlauf der Entwicklungsphasen ein Wachstum der Strecke Cond – Gn von ca. 14,1 mm. Der Unterschied zu den männlichen Probanden war signifikant. Ähnlich wie in der Publikation von Gray *et al.*, [63] berichtet, fand sich auch in der vorliegenden Untersuchung kein Wachstumsmaximum für weibliche Probanden bezogen auf die Strecke zur Bemessung der totalen Unterkieferlänge. Größenzunahmen von 5,0 mm zwischen den CVMS_{4/5}, von 4,8 mm zwischen den CVMS_{2/3} und von 4,3 mm zwischen den CVMS_{3/4} wurden ermittelt. Die Länge des Unterkieferkörpers nahm vor allem in den ersten beiden Entwicklungsintervallen verstärkt zu. Im Vergleich zur Studie nach De Castrillon *et al.*, war das gesamte Längenwachstum für die Strecke Gonion – Menton mit 8,9 mm allerdings durchschnittlich. Zwischen den männlichen und weiblichen Probanden unterschied sich das Wachstum höchstsignifikant. Alle linearen, mandibulären Messungen, mit Ausnahme der Strecke Sella – Gnathion, zeigten hierbei größere Wachstumszunahmen im weiblichen Geschlecht, während im männlichen Geschlecht größere Streckenlängen verzeichnet wurden. Die Höhe des aufsteigenden Unterkieferastes war, wie auch in den männlichen Gruppen beobachtet, deutlich kleiner, verglichen mit Probanden mit neutrobasaler Kieferrelation aus der Studie De Castrillon *et al.*, mit einer gesamten Höhenzunahme von ungefähr 8,6 mm, statt 12,0 mm im Wachstumsverlauf. Ein Wachstumsmaximum wurde zwischen den CVMS_{4/5} mit 3,5 mm beobachtet. Der Längenunterschied zu den männlichen Probanden war hochsignifikant. Die Winkelwerte ArGoMe befanden sich zwischen 124, 1° und 131, 8°. Wobei letzterer Wert im ersten CVMS gemessen wurde. Im weiteren Wachstumsverlauf blieben die Werte innerhalb der Gruppen relativ konstant und unauffällig. Jacobson *et al.*, beschrieben 1972 zwei Wachstumstypen innerhalb der Klasse III, den divergenten und den konvergenten Typ [12]. Das Wachstumsmuster der vorliegenden Probanden konnte keinem benannten Muster eindeutig zugeordnet werden. Eine Tendenz bestand zum hypodivergenten Wachstumstypen. Der Grund liegt möglicherweise in der Heterogenität der einzelnen Probanden innerhalb eines CVMS, dies wird durch die breite Verteilung zwischen Minimal – und Maximalwert von ca. 20° verdeutlicht. Der Winkel SNB stellte sich vergrößert dar und nahm im Verlauf der Reifestadien um 5,5° zu. Die größte Veränderung zeigte sich im vierten Reifeintervall.

5.3.6 Anteriore und posteriore Gesichtshöhe

Die Messungen zur Beurteilung der anterioren und posterioren Gesichtshöhe zeigten hoch – bis höchstsignifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtergruppen. Lediglich für die Vertikalentwicklung des unteren anterioren Gesichtsdrittels konnten keine signifikanten Differenzen festgestellt werden. Die Streckenlängen der männlichen Probanden waren durchgehend größer, die Wachstumszunahmen stärker. Die anteriore Gesichtshöhe wuchs 15,5 mm bzw. 11,1 mm bei den männlichen und weiblichen Probanden. In beiden Geschlechtergruppen wurde das Intervall zwischen den CVMS_{2/3} als Phase des größten Wachstumsschubes definiert. Hierbei zeigte das untere anteriore Gesichtsdrittel in der männlichen Gruppe zusätzlich ein maximales Wachstum im dritten Reifeintervall. Bei der Untersuchung der posterioren Gesichtshöhe konnte ein maximales Längenwachstum von 13,3 mm und 7,3 mm für die männlichen und weiblichen Probanden bestimmt werden. Das Intervall zwischen den CVMS_{3/4} wurde als Phase des maximalen Wachstums der posterioren Gesichtshöhe identifiziert. Ausgenommen sei hierbei die Längenzunahme des aufsteigenden Astes in der weiblichen Stichprobe, mit dem größten Wachstum zwischen den CVMS_{4/5}. Eine Prüfung des Gesichtshöhenverhältnisses nach Jarabak ergab ein vorherrschendes hypodivergentes Wachstumsmuster in beiden Geschlechtergruppen. Die Gesichtshöhenverhältnisse entsprachen den Befunden für Probanden mit einer mesiobasalen Kieferrelation aus der Studie von Siriwat und Jarabak 1985 [70]. Die Autoren erklärten das tendenziell horizontale Wachstumsmuster, welches zu 50 % in ihrer Stichprobe vorlag, u.a. durch eine große Ramushöhe, einen langen Unterkieferkörper, einen flachen SNB – Winkel und einen verkleinerten Unterkieferwinkel. Diese Erkenntnisse konnten nur teilweise auf die vorliegende Untersuchung übertragen werden. Die Tatsache, dass alle in dieser Studie untersuchten Probanden ihrer Indikation entsprechend therapiert wurden, erschwert einen direkten Vergleich.

5.3.7 Halswirbelkörper

Bei der Untersuchung der Halswirbelkörper C₂₋₄ konnten höchstsignifikante Längenunterschiede zwischen der männlichen und weiblichen Kohorte festgestellt werden. Es zeigte sich eine sukzessive Größenzunahme vor allem bei den männlichen Probanden. In der weiblichen Kohorte war das Längenwachstum geringer, wobei C₂ im Mittel keine Veränderung aufzeigte. Die Messwerte der männlichen Probanden waren insgesamt größer.

Maximales horizontales Wachstum konnte mehrheitlich zwischen den CVMS_{3/4} beobachtet werden. Das vertikale Wachstum der Wirbelkörper C₃₋₄ war wesentlich stärker als das horizontale Wachstum. Ähnliche Befunde sind in anderen Publikationen beschrieben [38][67]. Sowohl bei den weiblichen, als auch bei den männlichen Probanden nahmen die Strecken C₃₋₄ ah und C₃₋₄ ph kontinuierlich zu. Maximales vertikales Wachstum wurde zwischen den CVMS_{4/5} festgestellt. Das lässt sich vor allem durch die morphologischen Veränderungen der Wirbelkörper während der Entwicklung erklären. Zum Zeitpunkt T4 liegen die Wirbelkörper C₃₋₄ rechteckig vor. Zum Zeitpunkt T5 hat mindestens ein Wirbelkörper die Form eines Quadrats, der andere präsentiert sich entweder rechteckig oder ebenfalls quadratisch [11]. Die Wirbelkörperhöhe war tendenziell größer in der männlichen Stichprobe, wobei die Differenz nicht signifikant war. Hellsing erkannte 1991 [38] ebenfalls geschlechterspezifische Divergenzen im Wachstumsmuster der Halswirbelkörper C₂₋₆, wobei sie größere vertikale Dimensionen in der weiblichen Stichprobe feststellte. Ihre Resultate basierten auf der Grundlage des chronologischen Alters, wonach sie geschlechterspezifische Altersgruppen von 8 -, 11- und 15 Jahren mit adulten Probanden verglich. Eine Beurteilung basierend auf der Grundlage des skelettalen Alters, zum Beispiel anhand der Entwicklung der Halswirbelkörper wie in der vorliegenden Untersuchung, scheint besser geeignet, da sich nachweisen ließ, dass Mädchen mit 15 Jahren im Mittel ein CVMS weiter in der Entwicklung waren als Jungs.

5.4 Methodenfehler

Die kephalometrische Aufnahme wird im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung angefertigt. Die Ausrichtung des Kopfes erfolgt dabei nach der Frankfurter Horizontalen [20]. Wie wichtig eine regelrechte Positionierung des Schädels im Kephalostat ist wird in der Studie von Torres *et al.*, [71] verdeutlicht, in der eine im Vergleich zur idealen Ausrichtung inklinierte oder reklinierte Kopfposition tendenziell zu einer weiter fortgeschrittenen zervikalen Reife führt und dadurch das zu erwartende Wachstumspotential unterschätzt wird. Auch in der vorliegenden Studie konnten abweichende Kopfeinstellungen beobachtet werden, wodurch möglicherweise spätere Wachstumsphasen suggeriert worden sind. Die Interraterreliabilität zur Beurteilung der Halswirbelkörper und Zuordnung der Reifephase ergab in dieser Untersuchung Korrelationswerte $\geq 0,83$. Beim Vergleich der fazialen Parameter zwischen den Untersuchern zeigten die Winkelmessungen ANB, SNA, und SNB, sowie die Streckenmessung Spa – Spp die größten Abweichungen mit Werten zwischen 0,72

und 0,87. Für alle anderen fazialen Variablen lag der Interklassen – Korrelationskoeffizient $\geq 0,90$ (starke Korrelation). Die Intraraterreliabilität der Halswirbelparameter und Zuordnung des Reifestadiums war mit Werten $\geq 0,84$ ähnlich den Resultaten des Interklassen – Korrelationskoeffizienten, mit Ausnahme der Distanz C₄ conc. Die Streckenmessung stellte mit 0,64 den geringsten Korrelationswert dieser Studie dar. Mögliche Fehlerquellen sind neben einer geneigten Kopfhaltung, Bewegungen des Kopfes während der Strahlenexposition und die Reduzierung einer dreidimensionalen Struktur auf ein zweidimensionales Röntgenbild. Es resultieren Verformungen, Doppelkonturen und Überlagerungen [20], die ein präzises Festlegen der Messpunkte erschweren. Für die fazialen Parameter lag der Intraklassen – Korrelationskoeffizient $\geq 0,90$. Die Korrelationswerte der Intraobservervarianz, bezogen auf die CVM – Methode, unterlagen den Studienergebnissen nach San Román *et al.*, 2002 [40] und Altan *et al.*, 2012 [67]. Beide Untersuchungen ergaben pearsonsche Maßkorrelationskoeffizienten $\geq 0,95$. In einer klinische Studie nach Predko – Engel *et al.*, 2015, in der zehn erfahrene Kieferorthopäden 50 FRS nach der CVM – Methode auswerteten, zeigte sich eine Intraobservervarianz nach dem spearmannschen Korrelationskoeffizienten von 0,70 [44]. Bei weiterer Durchsicht der Literatur fiel auf, dass Methodenfehler durch unterschiedliche statistische Analysen geprüft wurden, wie beispielsweise mit Hilfe des Methodenfehlers nach Dahlberg [38][48][66], dem κ – Koeffizient nach Cohen [24][43][60][61][71] oder dem Kendalls Konkordanzkoeffizienten [43][60], das erschwerte einen Vergleich der Studienergebnisse untereinander. Insgesamt lagen die Werte der Intraraterreliabilität höher als die der Interraterreliabilität. Das entspricht den Angaben anderer Autoren [24][66]. Ursächlich ist vor allem die individuell konstante Vorstellung der anatomischen Strukturen. Das Setzen von Messpunkten durch verschiedene Untersucher ergibt geringfügig verschiedene Auswertungen. Ein weiterer Grund für die Differenz lässt sich in der Anwendung unterschiedlicher Auswertungsmethoden erklären. Der Untersucher dieser Studie beurteilte die Halswirbelkörper visuell, wogegen der zweite Untersucher die CVM – Stadien allein durch kephalometrische Messungen bestimmte. Um zukünftig die Intra – und Interrater – Variabilität zu eliminieren sollten digitale Auswertungsmethoden erforscht werden. Einen Ausblick auf kommende Entwicklungen lieferte Thodberg in einem klinischen Review 2009 [72]. Vielversprechend schien die vollständig automatisierte BoneXpert – Methode einer tübinger Studie [73], in der 99 % der insgesamt 1097 Handröntgenaufnahmen fehlerfrei analysiert wurden.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass Ungleichheiten zwischen den Messungen auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sind. Das unterschiedliche Setzen von Messpunkten ist

neben der Erfahrung des Untersuchers relevant, vor allem ist aber die Qualität der Röntgenaufnahme entscheidend. In der vorliegenden Studie wurden alle FRS, welche die Einschlusskriterien erfüllten, mit einbezogen. Ziel war es, die Anzahl der Probanden und damit die Aussagekraft nicht unnötig zu reduzieren. Dokumentationsfehler, auch nach mehrmaliger Prüfung der Variablen lassen sich Fehler bei der Übertragung der Daten nicht gänzlich ausschließen.

5.5 Schlussfolgerungen

Die Beurteilung der skelettalen Reife durch die Anwendung der CVM – Methode, liefert eine Einschätzung über den Entwicklungsstand eines Heranwachsenden. Die Zuverlässigkeit der Methode fällt aufgrund der vorliegenden Intra – und Interrater – Variabilität moderat aus. Dieses Ergebnis stützt die Aussagen anderer Publikationen [44][64]. Ein gemeinsames Reifeintervall in der ein maximales Wachstum aller Strecken und Winkel stattfand, konnte weder für die männliche noch für die weibliche Kohorte ermittelt werden. Für die Identifikation des Wachstumspicks müssen deshalb weitere biologische Indikatoren genutzt werden. Dysgnathie bedingte Abweichungen des Kieferwachstums in Korrelation zu den Halswirbelkörperreifestadien sind zu bedenken. Betrachtet man das maximale Längenwachstum in den männlichen Gruppen, so finden sich lediglich die Strecken zur Beurteilung der posterioren Gesichtshöhe im Intervall des puberalen Wachstumsspurtes nach Baccetti *et al.*, [11]. Alle anderen Streckenparameter zeigten ein maximales Längenwachstum früher, zwischen den CVMS_{2/3}. In den weiblichen Gruppen zeigte sich die Verteilung der Wachstumsmaxima innerhalb der Reifeintervalle breiter gestreut. Die Differenzen ergaben allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern.

Resümierend bleibt zu sagen, dass das analysierte Kieferwachstum aus vielen individuellen Wachstumsabschnitten von Probanden mit einer mesiobasalen Kieferrelation abgeleitet wurde. Weitere Untersuchungen sind notwendig, die neben der Aufteilung des Geschlechts auch eine Selektion nach Dysgnathie vornehmen, um Korrelationen zwischen Halswirbelkörperreife und Kieferwachstum noch besser zu erforschen. Ferner wäre eine vergleichende Studie zwischen visueller und kephalometrischer Auswertung von klinischem Interesse, um die Austauschbarkeit beider Methoden zu untersuchen.

6 Literaturverzeichnis

1. Sadler TW (2008) Medizinische Embryologie. 11. Auflage. Georg Thieme, Stuttgart
2. Ulfig N (2009) Kurzlehrbuch Embryologie. 2. Auflage. Georg Thieme, Stuttgart
3. Harzer W (2011) Kieferorthopädie. Georg Thieme, Stuttgart
4. Van Waes H, Stöckli P (eds) (2001) Kinderzahnmedizin. Georg Thieme, Stuttgart
5. Kahl-Nieke B (2009) Einführung in die Kieferorthopädie - Diagnostik, Behandlungsplanung, Therapie. 3. Auflage. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln
6. Melsen B, Melsen F (1982) The postnatal development of the palatomaxillary region studied on human autopsy material. *Am J Orthod* 82:42-329
7. Strub, JR, Kern M, Türp JC, Witkowski S, Heydecke G, Wolfart S (eds) (2011) Curriculum Prothetik. 4. Auflage. Quintessenz, Berlin
8. Hans MG, Enlow DH, Noachtar R (1995) Age-related differences in mandibular ramus growth: a histologic study. *Angle Orthod* 65:40-335
9. De Castrillon FS, Baccetti T, Franchi L, Grabowski R, Klink-Heckmann U, McNamara JA (2013) Laterale kephalometrische Referenzwerte von Deutschen mit regelrechter Okklusion im Alter von 6 bis 17 Jahren. *J Orofac Orthop* 74:56-236
10. Lisson JA, Bastian B, Al-Assad S (2010) Leitfaden zur Auswertung von diagnostischen Unterlagen im Rahmen des kieferorthopädischen Behandlungskurses I / II. pp 1–99
11. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA (2005) The Cervical Vertebral Maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod* 11:29-119
12. Jacobson A (1974) Mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 66:71–140
13. Kahl-Nieke B (2010) Optimaler Zeitpunkt für die Durchführung kieferorthopädischer Maßnahmen (unter besonderer Berücksichtigung der kieferorthopädischen Frühbehandlung). In: *Stellungnahmen*. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V., pp 1–5
14. Guyer EC, Ellis EE, McNamara JA, Behrents RG (1986) Components of class III malocclusion in juveniles and adolescents. *Angle Orthod* 56:7–30.
15. Cozza P, Marino A, Mucedero M (2004) An orthopaedic approach to the treatment of Class III malocclusions in the early mixed dentition. *Eur J Orthod* 26:9–191

16. Nienkemper M, Wilmes B, Franchi L, Drescher D (2015) Effectiveness of maxillary protraction using a hybrid hyrax-facemask combination: A controlled clinical study. *Angle Orthod* 85:70-764
17. Yoshida I, Ishii H, Yamaguchi N, Mizoguchi I (1999) Maxillary protraction and chin cap appliance treatment effects and long-term changes in skeletal class III patients. *Angle Orthod* 69:52–543
18. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA (2004) Postpubertal assessment of treatment timing for maxillary expansion and protraction therapy followed by fixed appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 126:68–555
19. Manzoor Mughal A, Hassan N, Ahmed A (2014) Bone age assessment methods: a critical review. *Pakistan J Med Sci* 30:5–211
20. Pasler FA (2008) *Zahnärztliche Radiologie*. 5. Auflage. Georg Thieme, Stuttgart
21. Prof. Dr. med. habil. Uwe Rothe (2007) Arbeitsanweisung gemäß § 18 (2) RöV für Fernröntgenaufnahmen. In: *BuS-HANDBUCH ZÄK*
22. Nötzel, F, Schultz, C, Hartung M (eds) (2007) *Fernröntgeseitenbild - Analyse*. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln
23. Proff P, Kirschneck C (2016) Indikation von Handskelettaufnahmen im Rahmen der kieferorthopädischen Behandlung. In: *Stellungnahmen*. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie e.V., pp 1–5
24. Pasciuti E, Franchi L, Baccetti T, Milani S, Farronato G (2013) Comparison of three methods to assess individual skeletal maturity. *J Orofac Orthop* 74:397–408
25. Gandini P, Mancini M, Andreani F (2006) A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation. *Angle Orthod* 76:9–984
26. Björk A, Helm S (1967) Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. *Angle Orthod* 37:43–134
27. Fishman LS (1982) Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films. *Angle Orthod* 52:88–112
28. Bhat AK, Kumar B, Acharya A (2011) Radiographic imaging of the wrist. *Indian J Plast Surg* 44:96-186
29. Smith RJ (1980) Misuse of hand-wrist. *Am J Orthod* 77:8–75
30. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA (2002) An Improved Version of the Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Mandibular Growth. *Angle Orthod* 72:23–316

31. Ball G, Woodside D, Tompson B, Hunter WS, Posluns J (2011) Relationship between cervical vertebral maturation and mandibular growth. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 139:61–455
32. Caldas M de P, Ambosano GMB, Haiter-Neto F (2007) Use of Cervical Vertebral Dimensions for assessment of children growth. *J Appl Oral Sci* 15:9–11
33. Mito T, Sato K, Mitani H (2002) Cervical vertebral bone age in girls. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 122:5–380
34. Mito T, Sato K, Mitani H (2003) Predicting mandibular growth potential with cervical vertebral bone age. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 124:7–173
35. Benzel EC (2012) *The Cervical Spine*. 5. Auflage. Lippincott, Philadelphia
36. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker KH (eds) (2009) *Prometheus-Lernatlas der Anatomie: Kopf, Hals und Neuroanatomie*. 2. Auflage. Georg Thieme, Stuttgart
37. Schiebler TH, Schmidt W (eds) (1987) *Anatomie*. 4. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg
38. Hellsing E (1991) Cervical vertebral dimensions in 8-, 11-, and 15-year-old children. *Acta Odontol Scand* 49:13–207
39. Hassel B, Farman AG (1995) Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107:58–66
40. San Román P, Palma JC, Oteo MD, Nevado E (2002) Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *Eur J Orthod* 24:11–303
41. Pancherz H, Szyska M (2000) Analyse der Halswirbelkörper statt der Handknochen zur Bestimmung der skelettalen und somatischen Reife. Eine Reliabilitäts- und Validitätsuntersuchung. *Inf Orthod Kieferorthop* 32:151–161
42. Durka-Zajac M, Marcinkowska A, Mituś-Kenig M (2013) Bone age assessment using cephalometric photographs. *Polish J Radiol* 78:19–25
43. Nestman TS, Marshall SD, Qian F, Holton N, Franciscus RG, Southard TE (2011) Cervical vertebrae maturation method morphologic criteria: Poor reproducibility. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 140:8–182
44. Predko-Engel A, Kaminek M, Langova K, Kowalski P, Fudalej P (2015) Reliability of the cervical vertebrae maturation (CVM) method. *Bratisl Lek Listy* 116:6–222
45. O'Reilly MT, Yanniello GJ (1988) Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae--a longitudinal cephalometric study. *Angle Orthod* 58:84–179

46. Generoso R, Sadoco EC, Armond MC, Gameiro GH (2010) Evaluation of mandibular length in subjects with Class I and Class II skeletal patterns using the cervical vertebrae maturation. *Braz Oral Res* 24:46–51
47. Baccetti T, Reyes BC, McNamara JA (2007) Craniofacial changes in Class III malocclusion as related to skeletal and dental maturation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 132:8-171
48. Thieme F (2014) Reifestadien der Halswirbelkörper in Korrelation zum Kieferwachstum bei männlichen und weiblichen Heranwachsenden. Dissertation, Universität des Saarlandes, pp 1-73
49. Jacobson A (2003) The “Wits” appraisal of jaw disharmony. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 124:9–470
50. Köhler W, Schachtel G, Voleske P (eds) (2012) *Biostatistik-Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler*. 5. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg
51. Weiß C (2013) *Basiswissen Medizinische Statistik*. 6. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg
52. Mitani H (1981) Prepubertal growth of mandibular prognathism. *Am J Orthod* 80:53-546
53. Mitani H, Sato K, Sugawara J (1993) Growth of mandibular prognathism after pubertal growth peak. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 104:6–330
54. Lisson JA (2015) Kieferorthopädischer Befundbogen im Rahmen des kieferorthopädischen Behandlungskurses I / II. pp 1–4
55. Cossellu G, Biagi R, Pisani L, Barbieri V, Farronato G (2014) Relationship between mandibular second molar calcification stages and cervical vertebrae maturity in Italian children and young adults. *Eur J Paediatr Dent* 15:9–355
56. Shapland F, Lewis ME (2014) Brief communication: A proposed method for the assessment of pubertal stage in human skeletal remains using cervical vertebrae maturation. *Am J Phys Anthropol* 153:53–144
57. Haas DW, Martinez F, Eckert GJ, Diers NR (2001) Measurements of Mandibular Length: A Comparison of Articulare vs Condylion. *Angle Orthod* 71:5–210
58. Akharea PJ, Dagabb AM, Allec RS, Shenoyd U, Garlae V (2016) Vergleich zwischen konventionellen und digitalisierten Fernröntgenseitenbildern – Lokalisierung von Bezugspunkten und Vermessung von Strecken und Winkeln. *Quintessenz* 30:193–201
59. Moore RN, DuBois LM, Boice PA, Igel KA (1989) The accuracy of measuring condylion location. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 95:7–344

60. Perinetti G, Caprioglio A, Contardo L (2014) Visual assessment of the cervical vertebral maturation stages a study of diagnostic accuracy and repeatability. *Angle Orthod* 84:6–951
61. Perinetti G, Perillo L, Franchi L, Di Lenarda R, Contardo L (2014) Maturation of the middle phalanx of the third finger and cervical vertebrae: A comparative and diagnostic agreement study. *Orthod Craniofac Res* 17:9–270
62. Beit P, Peltomäki T, Schätzle M, Signorelli L, Patcas R (2013) Evaluating the agreement of skeletal age assessment based on hand-wrist and cervical vertebrae radiography. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 144:47–838
63. Gray S, Bennani H, Kieser JA, Farella M (2016) Morphometric analysis of cervical vertebrae in relation to mandibular growth. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 149:8–92
64. Shah AM, Hassan FU, Hussain U, Zahra FT (2016) Inter-observers level of agreement in cervical vertebral maturation staging. *36:245-248*
65. Fishman LS (1979) Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth. *Angle Orthod* 49:9–181
66. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA (2000) Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 118:40–335
67. Altan M, Nebioğlu Dalc Ö, Işeri H (2012) Growth of the cervical vertebrae in girls from 8 to 17 years. A longitudinal study. *Eur J Orthod* 34:34–327
68. Battagel JM (1993) The aetiological factors in Class III malocclusion. *Eur J Orthod* 15:70–347
69. Baccetti T, Reyes BC, McNamara JA (2005) Gender differences in Class III malocclusion. *Angle Orthod* 75:20–510
70. Siriwat P, Jarabak J (1985) Malocclusion and facial morphology is there a Relationship? An epidemiologic study. *Angle Orthod* 55:38-127
71. Torres FC, Yamazaki MS, Jóias RP, Paranhos LR, Rode Sde M, Siqueira DF, Fuziy A (2013) Evaluation of the cervical vertebrae maturation index in lateral cephalograms taken in different head positions. *Braz Dent J* 24:6–462
72. Thodberg HH (2009) Clinical review: An automated method for determination of bone age. *J Clin Endocrinol Metab* 94:44–2239
73. Martin D, Deusch D, Schweizer R, Binder G, Thodberg H, Ranke M (2009) Clinical application of automated Greulich-Pyle bone age determination in children with short stature. *Pediatr Radiol* 39:598-607

7 Danksagung

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Jörg Lisson für die Überlassung des interessanten Themas, den Denkanstößen, der Motivation das Beste aus mir herauszuholen, seine freundliche Betreuung und der stets zeitnahen Unterstützung. Auch für das kenntnisreiche Lektorat möchte ich mich herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt auch Frau Dr. Franziska Georg für die Idee einer Weiterführung ihrer Dissertationsschrift, der fachlichen Betreuung bei der Ausarbeitung der Methode und der wertvollen Zusendung einiger Publikationen.

Professor Dr. Stefan Wagenpfeil danke ich für das gemeinsame Ausarbeiten der statistischen Methoden und der geduldigen Hilfestellung bei allen auftretenden Fragen.

Danken möchte ich meinen Eltern und meiner Familie, die mich moralisch und finanziell unterstützt haben und mir das Studium ermöglichten. Ganz besonders danke ich meiner Tante Dagmar Höft, die immer ein offenes Ohr für mich hatte und mich stets zielgerichtet unterstützte.

Jean Simon danke ich für die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens und seine liebevolle Unterstützung.

8 Anhang

8.1 Patientenalter

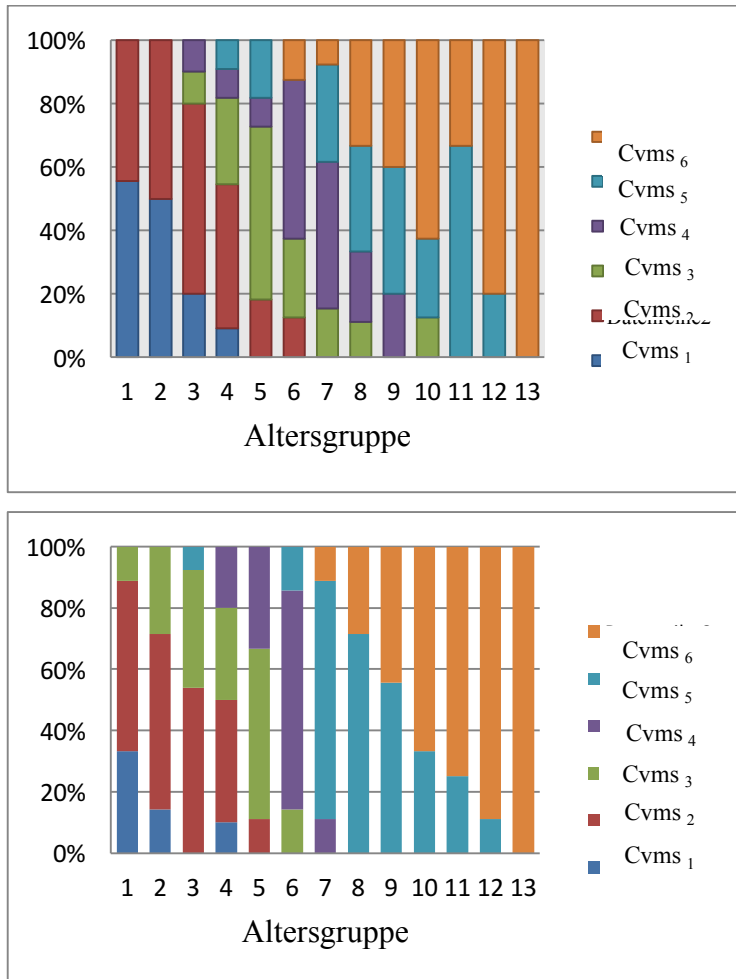


Abb. 13: Überblick über die prozentuale Verteilung der Altersgruppen innerhalb der 6 Reifestadien, männliche Probanden (oben), weibliche Probanden (unten)

8.2 Sagittale und vertikale Messungen

Die im Folgenden dargestellten Boxplots (Abb. 14 – 43) und Tabellen (Tab. 4 – 21) spiegeln die errechneten Medianwerte der Strecken- und Winkelmessungen im Verlauf der 6 Reifestadien wider. Bei der Auswertung wurde zwischen männlichen und weiblichen Probanden unterschieden.

NSBa [°]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	129,6	131,3	122,2	135,6
	CVMS ₂	128,6	130,4	117,5	136,5
	CVMS ₃	129,0	129,4	122,5	135,5
	CVMS ₄	127,1	128,2	118,0	135,0
	CVMS ₅	126,5	126,2	118,2	133,1
	CVMS ₆	127,4	127,1	118,7	133,9
weiblich	CVMS ₁	123,6	124,8	118,3	130,0
	CVMS ₂	125,9	126,4	116,9	131,9
	CVMS ₃	124,3	124,5	115,7	132,9
	CVMS ₄	123,2	124,2	111,8	129,6
	CVMS ₅	123,5	123,8	111,9	129,0
	CVMS ₆	125,3	124,5	113,2	140,2

Tab. 4: Messung des Winkels Nasion - Sella - Basion (NSBa) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

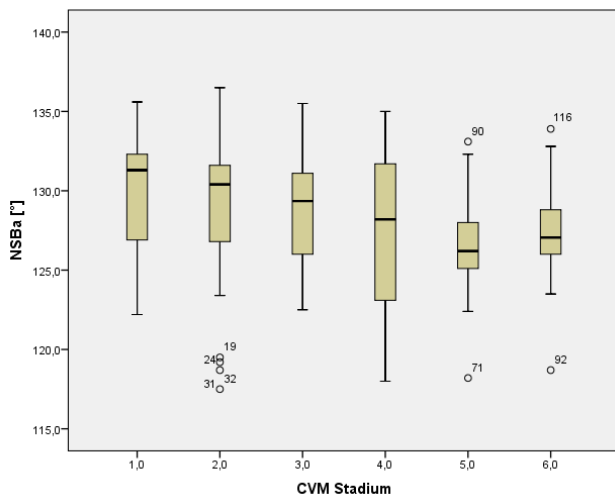


Abb. 14: Veränderung des Winkels Nasion – Sella – Basion (NSBa) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

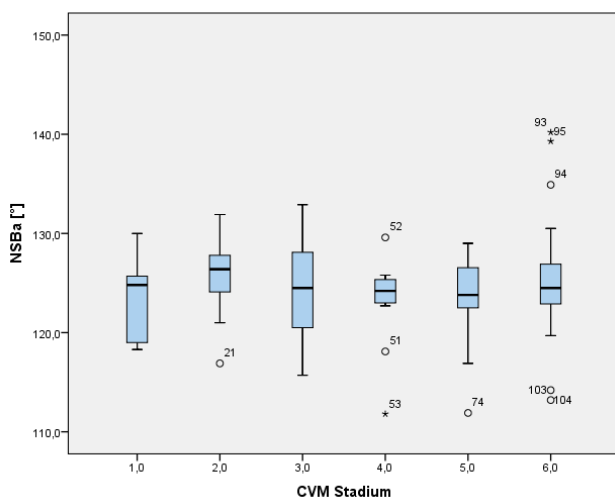


Abb. 15: Veränderung des Winkels Nasion – Sella – Basion (NSBa) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

Cond - Gn [mm]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	102,3	102,5	93,7	108,7
	CVMS ₂	101,7	102,6	88,3	113,1
	CVMS ₃	108,1	109,6	97,3	118,4
	CVMS ₄	111,9	112,9	102,3	124,3
	CVMS ₅	116,5	115,8	106,1	127,2
	CVMS ₆	114,6	115,4	81,7	127,8
weiblich	CVMS ₁	98,7	99,4	87,4	105,9
	CVMS ₂	98,5	97,3	91,3	118,9
	CVMS ₃	102,6	102,1	96,2	111,7
	CVMS ₄	106,3	106,4	99,8	112,1
	CVMS ₅	111,8	111,4	103,5	121,8
	CVMS ₆	112,7	113,5	90,3	126,0

Tab. 5: Längenmessung der Strecke Conylion - Gnathion (Cond - Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

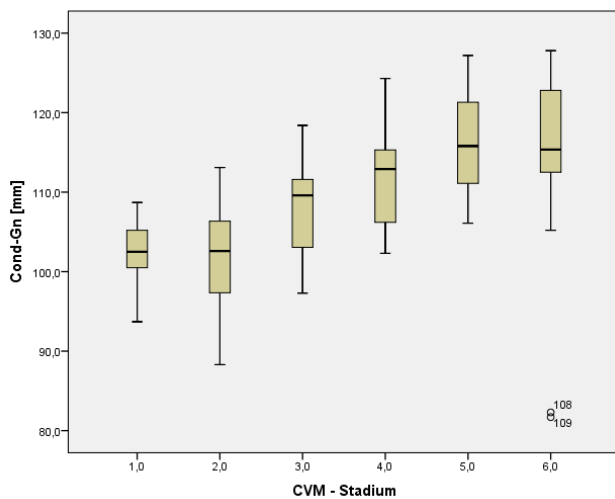


Abb. 16: Wachstum der Strecke Condylion – Gnathion (Cond – Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

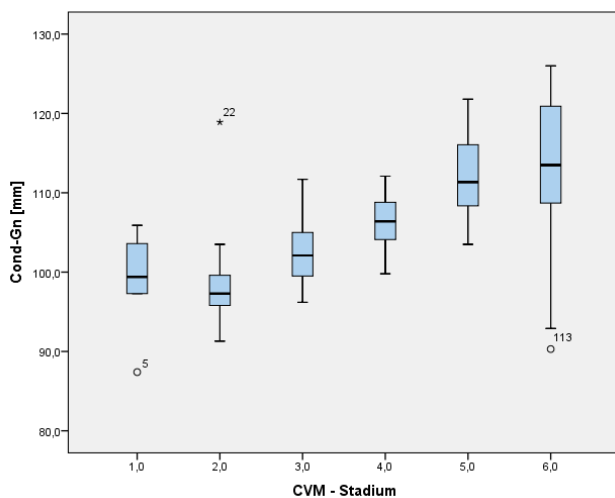


Abb. 17: Wachstum der Strecke Condylion – Gnathion (Cond – Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

Go - Gn [mm]	Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert	
männlich	CVMS ₁	69,0	69,8	60,4	75,4
	CVMS ₂	69,9	69,7	57,5	77,9
	CVMS ₃	73,7	74,0	67,2	78,8
	CVMS ₄	75,0	75,3	67,4	82,8
	CVMS ₅	77,3	76,5	69,0	85,8
	CVMS ₆	75,5	76,5	54,3	89,0
weiblich	CVMS ₁	65,0	63,5	60,7	74,4
	CVMS ₂	66,4	66,4	57,8	78,8
	CVMS ₃	68,3	69,3	61,8	74,2
	CVMS ₄	71,3	71,5	63,2	76,7
	CVMS ₅	75,1	74,3	67,6	85,5
	CVMS ₆	72,7	73,4	55,7	85,6

Tab. 6: Längenmessung der Strecke Gonion - Gnathion (Go - Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

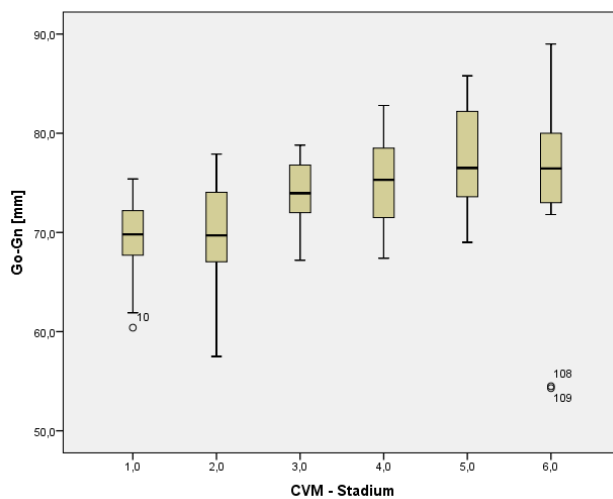


Abb. 18: Wachstum der Strecke Gonion – Gnathion (Go – Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

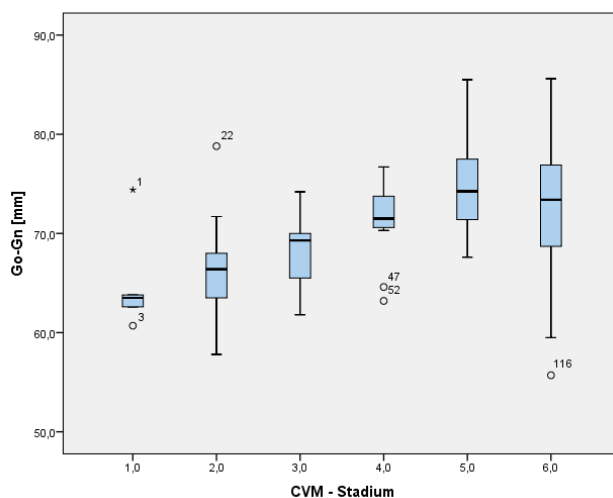


Abb. 19: Wachstum der Strecke Gonion – Gnathion (Go – Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

	Go - Me [mm]	Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	63,6	64,3	55,3	70,4
	CVMS ₂	64,8	64,4	53,0	74,1
	CVMS ₃	67,9	67,9	59,6	75,5
	CVMS ₄	69,7	70,2	62,8	77,4
	CVMS ₅	72,3	71,5	61,0	81,3
	CVMS ₆	70,6	71,6	51,0	83,3
weiblich	CVMS ₁	60,4	58,7	57,7	67,8
	CVMS ₂	61,7	61,6	54,6	71,7
	CVMS ₃	63,6	64,6	56,0	70,6
	CVMS ₄	65,8	65,9	56,7	71,2
	CVMS ₅	69,9	68,5	63,2	78,3
	CVMS ₆	68,1	67,6	52,2	81,0

Tab. 7: Längenmessung der Strecke Gonion - Menton (Go - Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

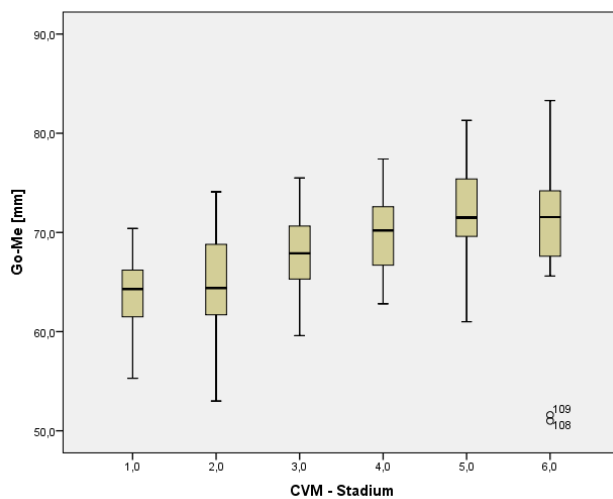


Abb.20: Wachstum der Strecke Gonion – Menton (Go – Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

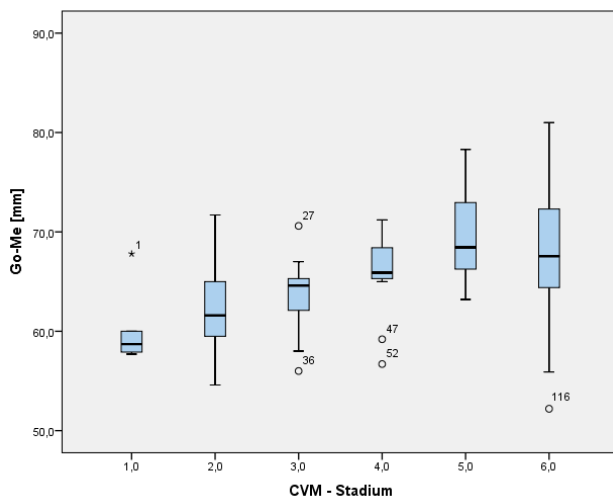


Abb. 21: Wachstum der Strecke Gonion – Menton (Go – Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

S - Gn [mm]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	110,6	111,0	110,5	117,1
	CVMS ₂	111,5	112,3	96,3	123,3
	CVMS ₃	118,2	118,0	104,1	130,8
	CVMS ₄	121,7	121,3	112,4	136,3
	CVMS ₅	126,0	123,3	115,8	138,9
	CVMS ₆	125,2	127,4	90,8	141,2
weiblich	CVMS ₁	107,9	106,9	99,9	114,9
	CVMS ₂	106,9	105,0	99,8	133,1
	CVMS ₃	111,1	110,9	104,1	121,4
	CVMS ₄	116,5	117,2	110,1	122,3
	CVMS ₅	120,5	120,7	111,7	130,7
	CVMS ₆	121,8	121,1	103,0	137,0

Tab. 8: Längenmessung der Strecke Sella - Gnathion (S - Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

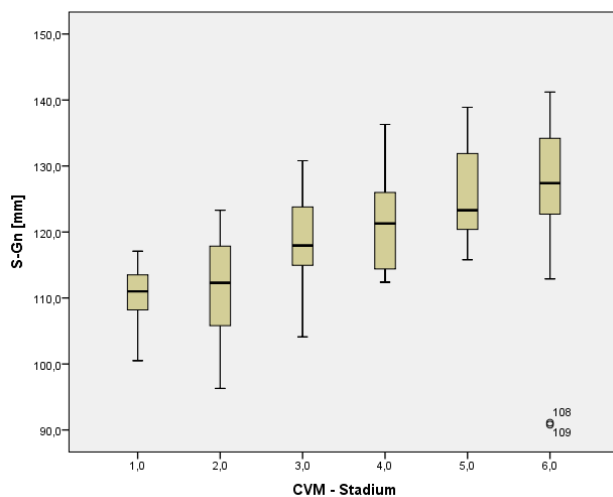


Abb. 22: Wachstum der Strecke Sella – Gnathion (S – Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

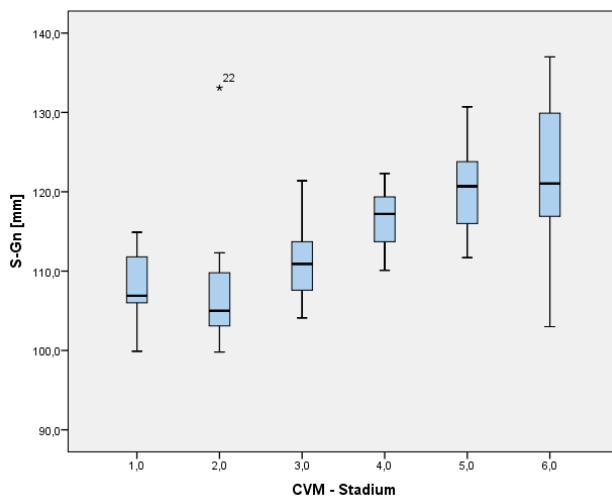


Abb. 23: Wachstum der Strecke Sella – Gnathion (S – Gn) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

Cond - Go [mm]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
Männlich	CVMS ₁	48,4	49,3	41,4	52,8
	CVMS ₂	48,2	48,5	41,5	56,8
	CVMS ₃	51,0	50,1	42,9	61,8
	CVMS ₄	54,5	55,4	44,7	63,6
	CVMS ₅	57,0	56,2	48,4	65,8
	CVMS ₆	55,6	57,1	34,4	64,0
weiblich	CVMS ₁	46,7	48,6	37,9	50,8
	CVMS ₂	45,6	45,5	38,3	53,9
	CVMS ₃	47,3	46,8	41,4	53,1
	CVMS ₄	49,1	49,3	43,1	55,2
	CVMS ₅	53,4	52,8	42,4	62,5
	CVMS ₆	54,2	54,1	40,8	64,6

Tab. 9: Längenmessung der Strecke Condylion - Gonion (Cond - Go) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

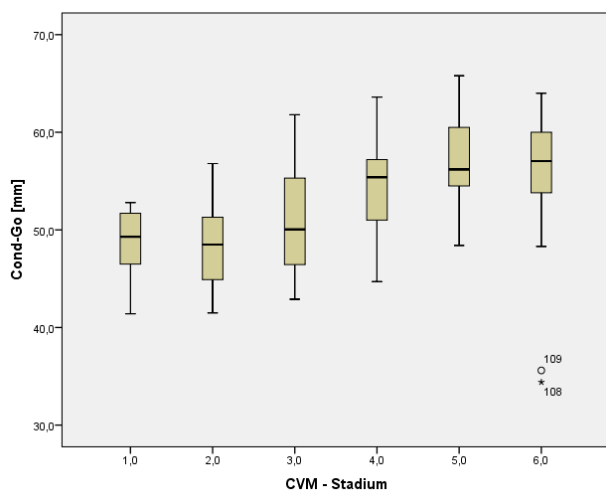


Abb. 24: Wachstum der Strecke Condylion – Gonion (Cond – Go) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

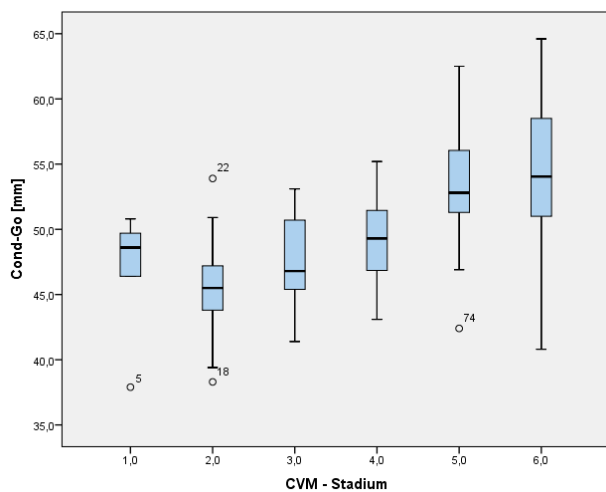


Abb. 25: Wachstum der Strecke Condylion – Gonion (Cond – Go) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

	SNB [°]	Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	78,9	79,5	74,2	89,9
	CVMS ₂	79,7	78,9	70,2	91,0
	CVMS ₃	77,8	78,0	72,6	81,0
	CVMS ₄	80,0	80,2	73,9	86,3
	CVMS ₅	81,2	80,3	75,2	88,0
	CVMS ₆	80,2	79,8	75,9	86,9
weiblich	CVMS ₁	80,3	78,2	75,8	88,2
	CVMS ₂	79,5	79,7	74,5	84,8
	CVMS ₃	79,4	79,9	70,4	89,1
	CVMS ₄	80,2	79,8	75,7	86,5
	CVMS ₅	82,4	82,5	76,1	88,4
	CVMS ₆	82,6	83,7	70,0	93,5

Tab. 10: Messung des Winkels Sella - Nasion - B-Punkt (SNB) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

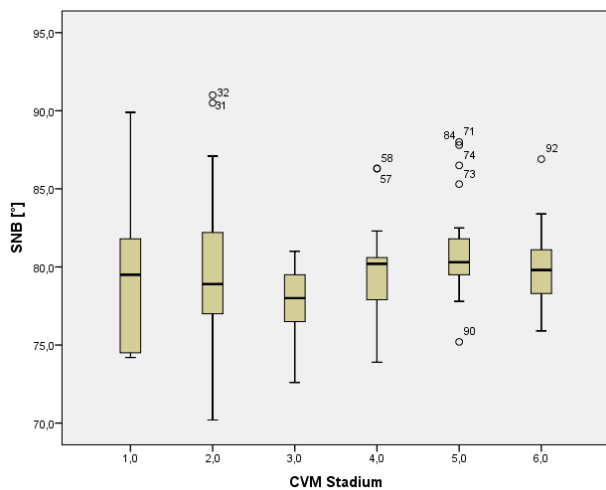


Abb. 26: Veränderung des Winkels Sella – Nasion – B-Punkt (SNB) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

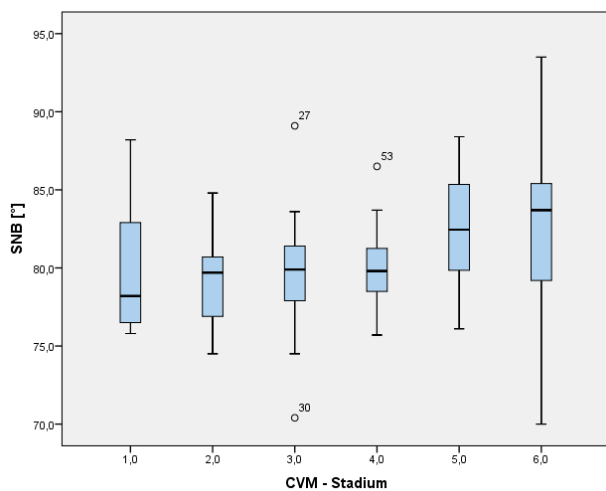


Abb. 27: Veränderung des Winkels Sella – Nasion – B-Punkt (SNB) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

ArGoMe [°]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	126,0	122,4	117,5	138,5
	CVMS ₂	124,2	125,2	114,2	136,5
	CVMS ₃	124,8	124,6	114,5	136,9
	CVMS ₄	124,2	123,2	117,2	133,3
	CVMS ₅	124,8	124,2	114,4	138,4
	CVMS ₆	127,6	127,9	117,2	139,0
weiblich	CVMS ₁	129,2	131,8	119,9	136,1
	CVMS ₂	127,1	125,2	120,3	143,1
	CVMS ₃	128,7	127,8	120,5	142,6
	CVMS ₄	127,8	125,9	120,0	146,9
	CVMS ₅	124,8	124,1	115,6	137,2
	CVMS ₆	129,2	129,4	116,3	142,4

Tab. 11: Messung des Winkels Artikulare - Gonion - Menton (ArGoMe) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

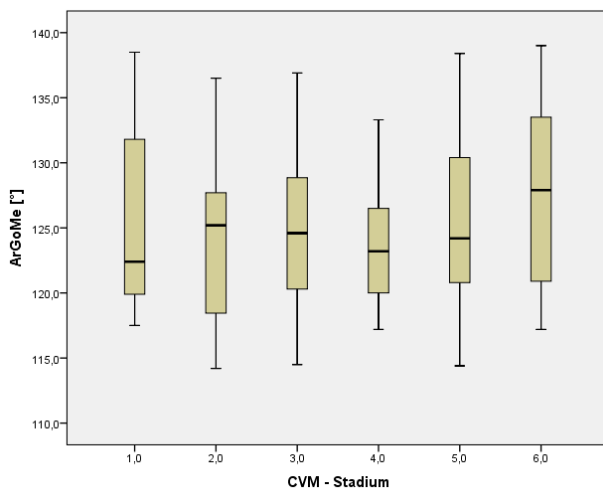


Abb. 28: Veränderung des Winkels Artikulare – Gonion – Menton (ArGoMe) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

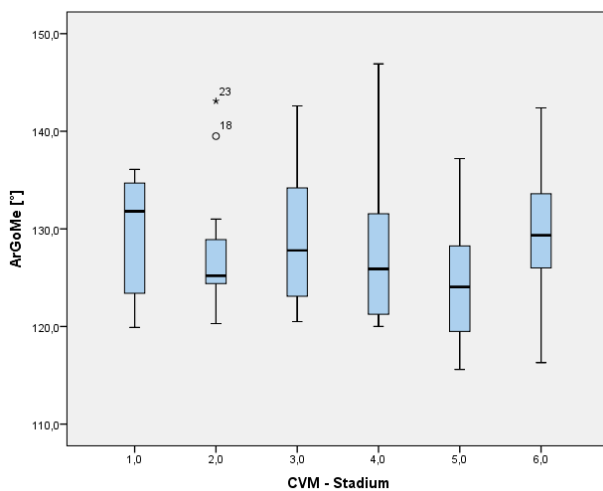


Abb. 29: Veränderung des Winkels Artikulare – Gonion – Menton (ArGoMe) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

Spa – Spp [mm]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	48,2	47,6	44,0	53,9
	CVMS ₂	48,7	49,2	41,3	53,0
	CVMS ₃	50,7	51,2	46,7	54,3
	CVMS ₄	52,3	52,8	45,9	55,8
	CVMS ₅	52,8	52,9	45,8	57,7
	CVMS ₆	51,5	53,8	34,5	58,2
weiblich	CVMS ₁	44,9	44,7	40,7	49,5
	CVMS ₂	44,6	44,1	41,4	53,7
	CVMS ₃	44,8	44,3	40,6	49,1
	CVMS ₄	46,1	46,8	41,2	49,4
	CVMS ₅	47,5	47,1	43,1	51,6
	CVMS ₆	47,7	48,1	41,5	54,4

Tab. 12: Längenmessung der Strecke Spina nasalis anterior - Spina nasalis posterior (Spa - Spp) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

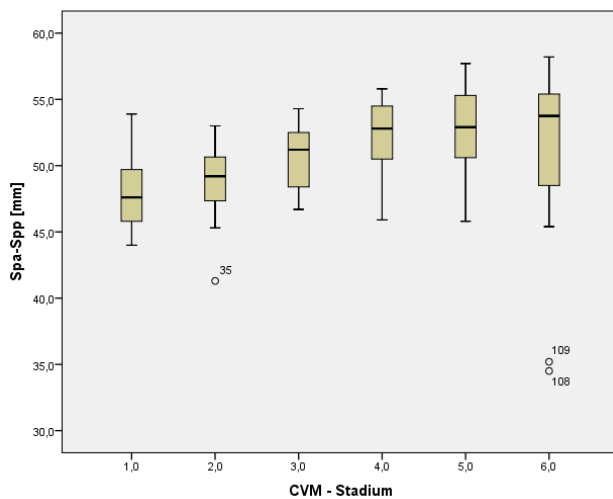


Abb. 30: Wachstum der Strecke Spina nasalis anterior – Spina nasalis posterior (Spa - Spp), männliche Kohorte

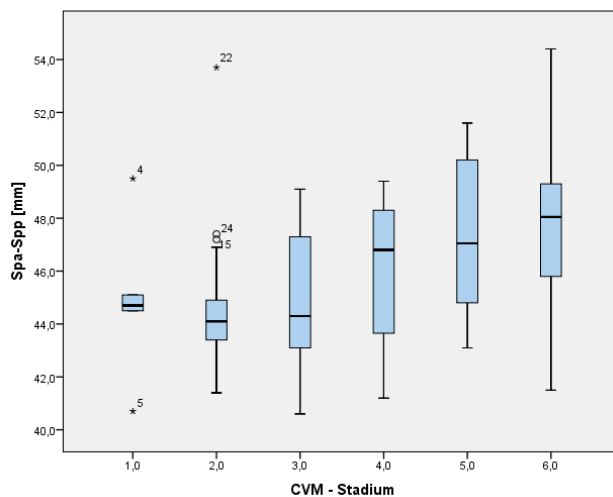


Abb. 31: Wachstum der Strecke Spina nasalis anterior – Spina nasalis posterior (Spa - Spp), weibliche Kohorte

SNA [°]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	80,5	78,3	76,3	91,1
	CVMS ₂	81,1	79,9	71,2	91,8
	CVMS ₃	78,2	78,2	70,9	83,4
	CVMS ₄	81,1	81,2	74,6	87,9
	CVMS ₅	81,3	81,4	70,9	88,5
	CVMS ₆	81,1	80,5	75,8	88,2
weiblich	CVMS ₁	81,4	78,4	74,8	92,1
	CVMS ₂	79,3	80,0	72,9	86,9
	CVMS ₃	79,5	79,9	71,2	94,4
	CVMS ₄	79,1	78,3	74,6	85,8
	CVMS ₅	80,4	79,7	74,8	86,4
	CVMS ₆	81,3	81,4	72,2	91,2

Tab. 13: Messung des Winkels Sella - Nasion - A-Punkt (SNA) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

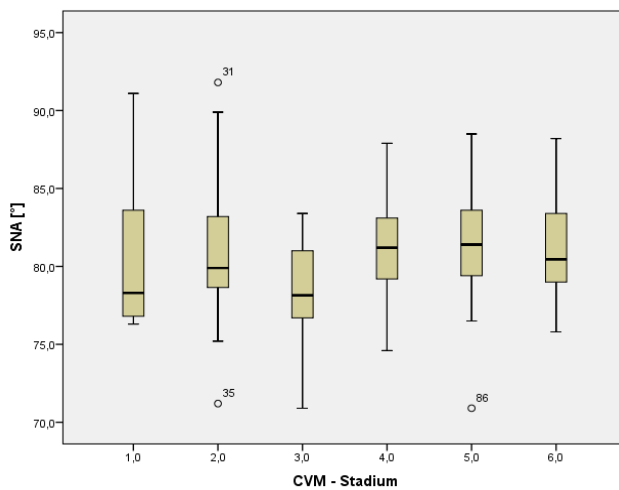


Abb. 32: Veränderung des Winkels Sella – Nasion – A-Punkt (SNA) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

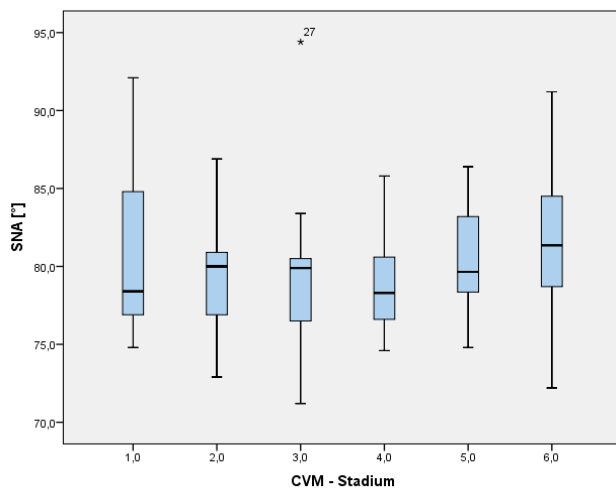


Abb. 33: Veränderung des Winkels Sella – Nasion - A-Punkt (SNA) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

	ANB [°]	Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	1,6	2,1	-3,1	3,8
	CVMS ₂	1,4	1,4	-0,6	4,5
	CVMS ₃	0,3	1,3	-7,4	4,6
	CVMS ₄	1,1	1,6	-4,0	5,6
	CVMS ₅	0,1	0,4	-7,3	3,4
	CVMS ₆	0,9	0,9	-2,8	4,3
weiblich	CVMS ₁	1,0	1,1	-1,8	3,8
	CVMS ₂	-0,3	-0,3	-3,6	4,4
	CVMS ₃	0,1	0,4	-5,8	5,3
	CVMS ₄	-1,0	-1,1	-4,1	2,0
	CVMS ₅	-2,0	-1,6	-6,4	2,0
	CVMS ₆	-1,3	-0,5	-6,2	3,0

Tab. 14: Messung des Winkels A-Punkt - Nasion - B-Punkt (ANB) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

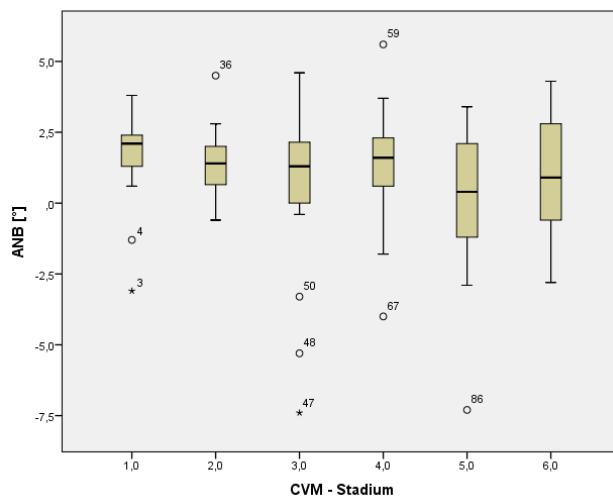


Abb. 34: Veränderung des Winkels A-Punkt – Nasion – B-Punkt (ANB) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

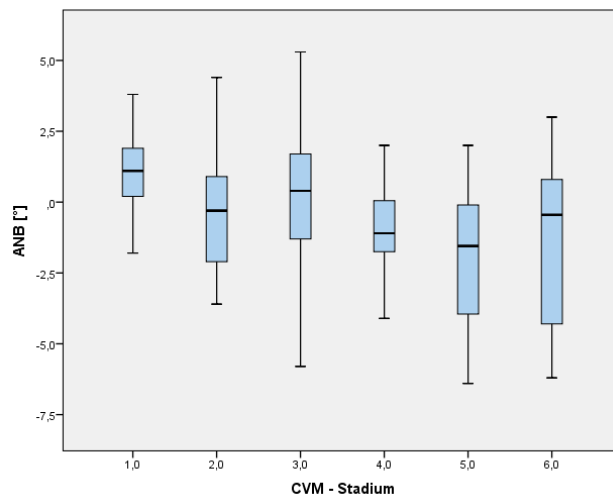


Abb. 35: Veränderung des Winkels A-Punkt – Nasion – B-Punkt (ANB) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

	Wits-Wert [mm]	Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	-3,9	-3,4	-7,8	-0,8
	CVMS ₂	-3,0	-2,4	-9,5	1,2
	CVMS ₃	-2,9	-1,7	-12,4	2,4
	CVMS ₄	-1,8	-2,0	-7,3	2,8
	CVMS ₅	-1,8	-1,5	-7,2	1,7
	CVMS ₆	-2,7	-2,2	-12,6	2,4
weiblich	CVMS ₁	-2,8	-3,3	-4,7	-1,0
	CVMS ₂	-4,3	-4,3	-8,2	-0,6
	CVMS ₃	-4,5	-4,2	-11,0	-0,8
	CVMS ₄	-4,9	-5,4	-7,3	-0,8
	CVMS ₅	-5,3	-4,5	-12,8	0,3
	CVMS ₆	-7,0	-5,0	-18,5	2,0

Tab. 15: Messung des Wits - Wertes im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

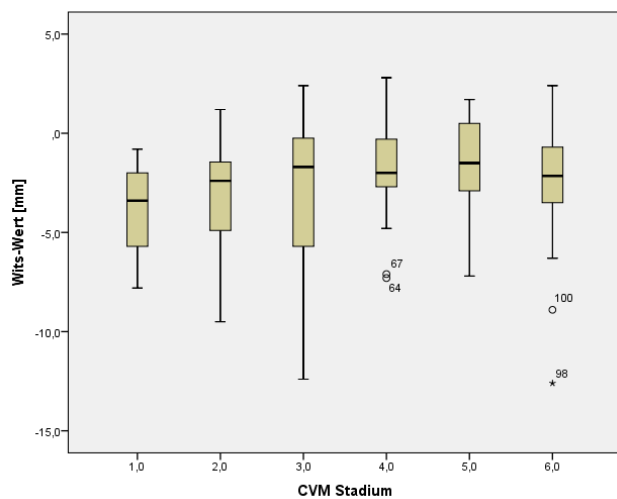


Abb. 36: Veränderung des Wits - Wertes im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

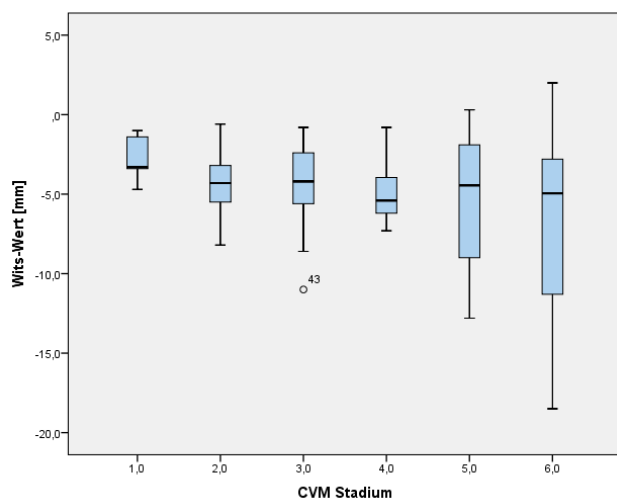


Abb. 37: Veränderung des Wits - Wertes im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

N - Me [mm]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	104,3	104,6	96,8	111,6
	CVMS ₂	104,3	105,3	92,2	119,7
	CVMS ₃	111,9	111,1	99,0	121,6
	CVMS ₄	113,2	110,8	102,7	130,3
	CVMS ₅	115,8	115,1	103,7	131,4
	CVMS ₆	117,1	120,1	90,9	140,4
weiblich	CVMS ₁	100,5	100,5	95,4	104,8
	CVMS ₂	100,5	99,0	91,9	124,4
	CVMS ₃	105,2	104,6	96,8	118,1
	CVMS ₄	109,3	109,5	104,3	116,4
	CVMS ₅	110,0	110,3	97,1	117,7
	CVMS ₆	112,0	111,6	98,2	125,7

Tab. 16: Längenmessung der Strecke Nasion - Menton (N - Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

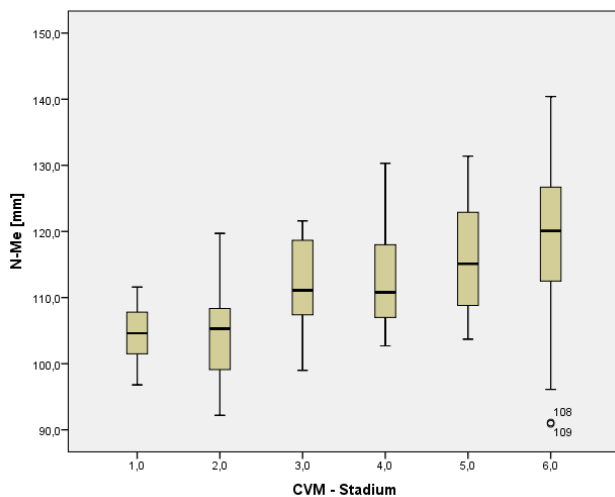


Abb. 38: Wachstum der Strecke Nasion – Menton (N – Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

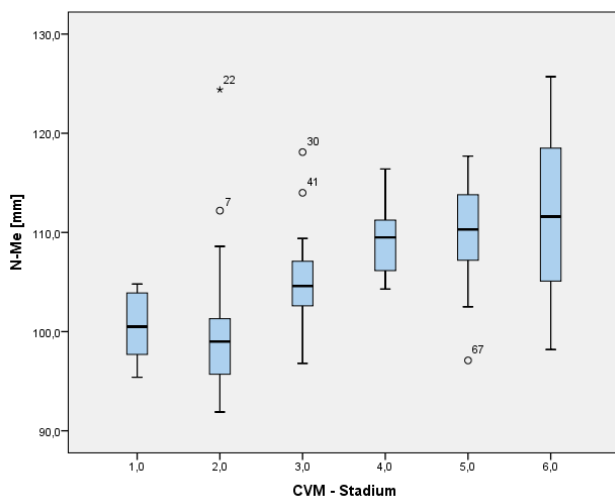


Abb. 39: Wachstum der Strecke Nasion – Menton (N – Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

Spa - Me [mm]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	59,0	59,9	55,5	64,0
	CVMS ₂	58,5	59,3	49,1	65,6
	CVMS ₃	62,6	63,0	54,6	69,5
	CVMS ₄	62,4	62,8	55,6	72,4
	CVMS ₅	64,6	66,5	52,3	72,3
	CVMS ₆	66,8	69,9	49,4	83,8
weiblich	CVMS ₁	57,7	58,8	49,9	61,3
	CVMS ₂	57,3	56,0	50,1	74,9
	CVMS ₃	60,6	61,3	51,6	68,7
	CVMS ₄	63,5	64,4	56,4	69,7
	CVMS ₅	62,6	63,8	53,4	69,2
	CVMS ₆	64,2	65,0	53,4	76,2

Tab. 17: Längenmessung der Strecke Spina nasalis anterior - Menton (Spa - Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

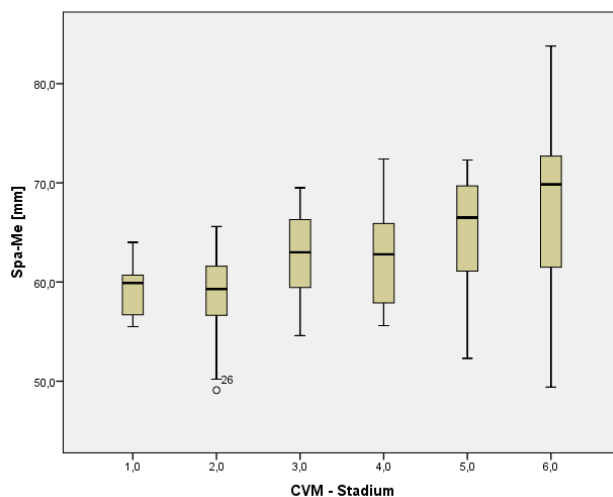


Abb. 40: Wachstum der Strecke Spina nasalis anterior – Menton (Spa – Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

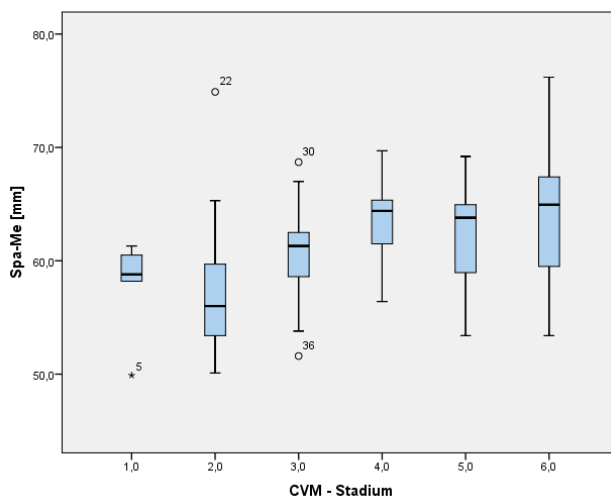


Abb. 41: Wachstum der Strecke Spina nasalis anterior – Menton (Spa – Me) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

S - Go [mm]		Mittelwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert
männlich	CVMS ₁	65,9	65,8	58,1	72,6
	CVMS ₂	68,2	67,6	59,2	81,9
	CVMS ₃	72,8	71,3	62,4	87,0
	CVMS ₄	75,3	76,2	61,4	89,0
	CVMS ₅	77,5	78,9	62,7	86,7
	CVMS ₆	77,3	79,1	49,1	87,1
weiblich	CVMS ₁	64,0	65,0	57,0	67,6
	CVMS ₂	62,9	61,7	57,2	75,7
	CVMS ₃	64,9	64,9	57,0	70,9
	CVMS ₄	68,8	69,6	61,8	74,3
	CVMS ₅	72,4	73,5	60,2	83,6
	CVMS ₆	72,7	72,3	60,6	84,6

Tab. 18: Längenmessung der Strecke Sella - Gonion (S - Go) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

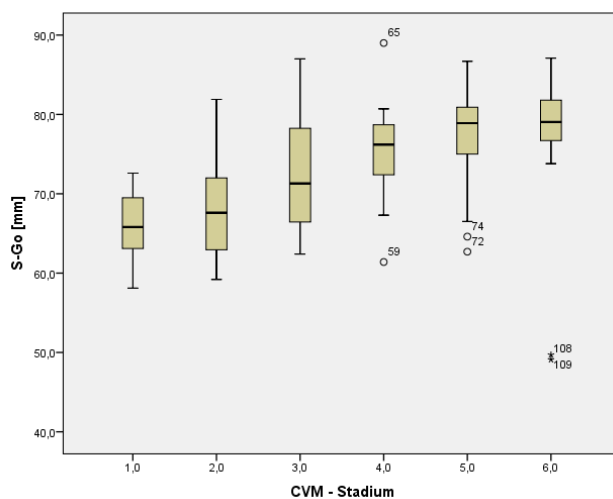


Abb. 42: Wachstum der Strecke Sella – Gonion (S – Go) im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche Kohorte

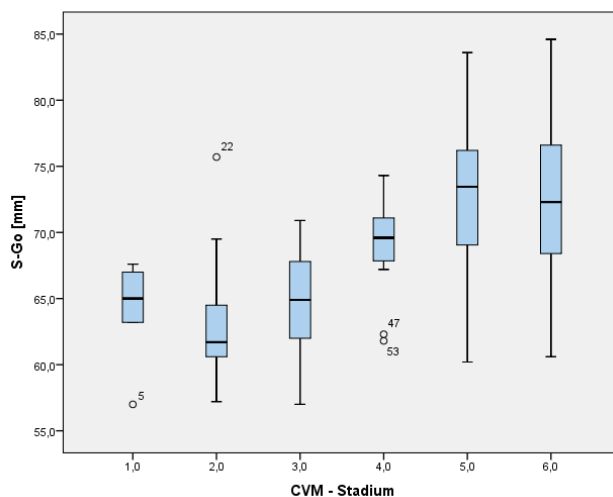


Abb. 43: Wachstum der Strecke Sella – Gonion (S – Go) im Verlauf der 6 Reifestadien, weibliche Kohorte

C₂		Länge (l)
männlich	Cvms ₁	12,8
	Cvms ₂	12,7
	Cvms ₃	12,7
	Cvms ₄	14,1
	Cvms ₅	14,0
	Cvms ₆	12,5
weiblich	Cvms ₁	12,5
	Cvms ₂	11,9
	Cvms ₃	12,2
	Cvms ₄	12,7
	Cvms ₅	12,3
	Cvms ₆	12,4

Tab. 19: Medianwerte der Wirbelkörperlänge C₂ in sagittaler Richtung im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

C₃		anteriore Höhe (ah)	posteriore Höhe (ph)	Länge (l)
männlich	Cvms ₁	6,2	8,8	12,4
	Cvms ₂	6,1	9,0	12,7
	Cvms ₃	8,0	10,2	13,4
	Cvms ₄	9,3	11,6	13,8
	Cvms ₅	12,1	12,8	14,6
	Cvms ₆	13,9	14,6	13,4
weiblich	Cvms ₁	6,9	10,0	12,8
	Cvms ₂	6,7	9,1	11,6
	Cvms ₃	7,6	9,9	11,6
	Cvms ₄	8,9	11,0	12,7
	Cvms ₅	11,3	12,6	13,1
	Cvms ₆	12,2	13,2	13,2

Tab. 20: Medianwerte der Wirbelkörperlänge C₃ in sagittaler Richtung und vordere / hintere Wirbelkörperhöhe im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

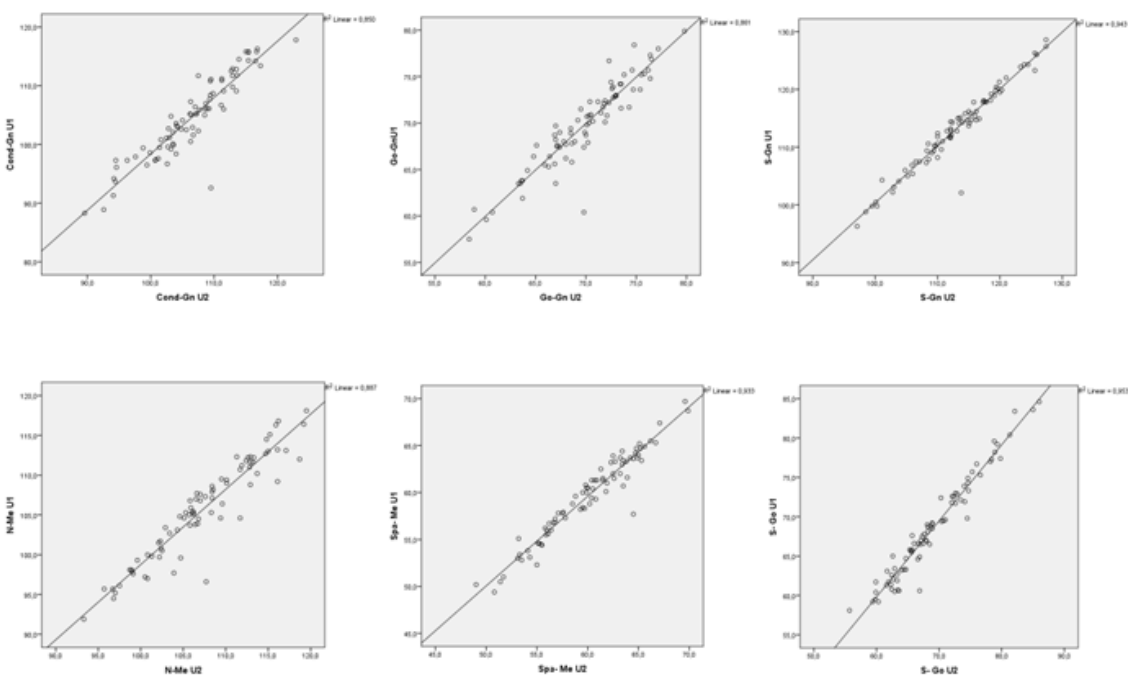
C ₄		anteriore Höhe (ah)	posteriore Höhe (ph)	Länge (l)
männlich	Cvms ₁	6,2	9,0	12,4
	Cvms ₂	6,5	9,2	12,7
	Cvms ₃	7,6	10,4	13,4
	Cvms ₄	9,0	11,2	13,8
	Cvms ₅	11,2	13,2	14,6
	Cvms ₆	12,9	14,2	13,4
weiblich	Cvms ₁	7,6	9,2	12,8
	Cvms ₂	6,7	9,3	11,6
	Cvms ₃	8,0	10,3	11,6
	Cvms ₄	8,8	10,9	12,7
	Cvms ₅	11,1	12,1	13,1
	Cvms ₆	11,7	13,2	13,2

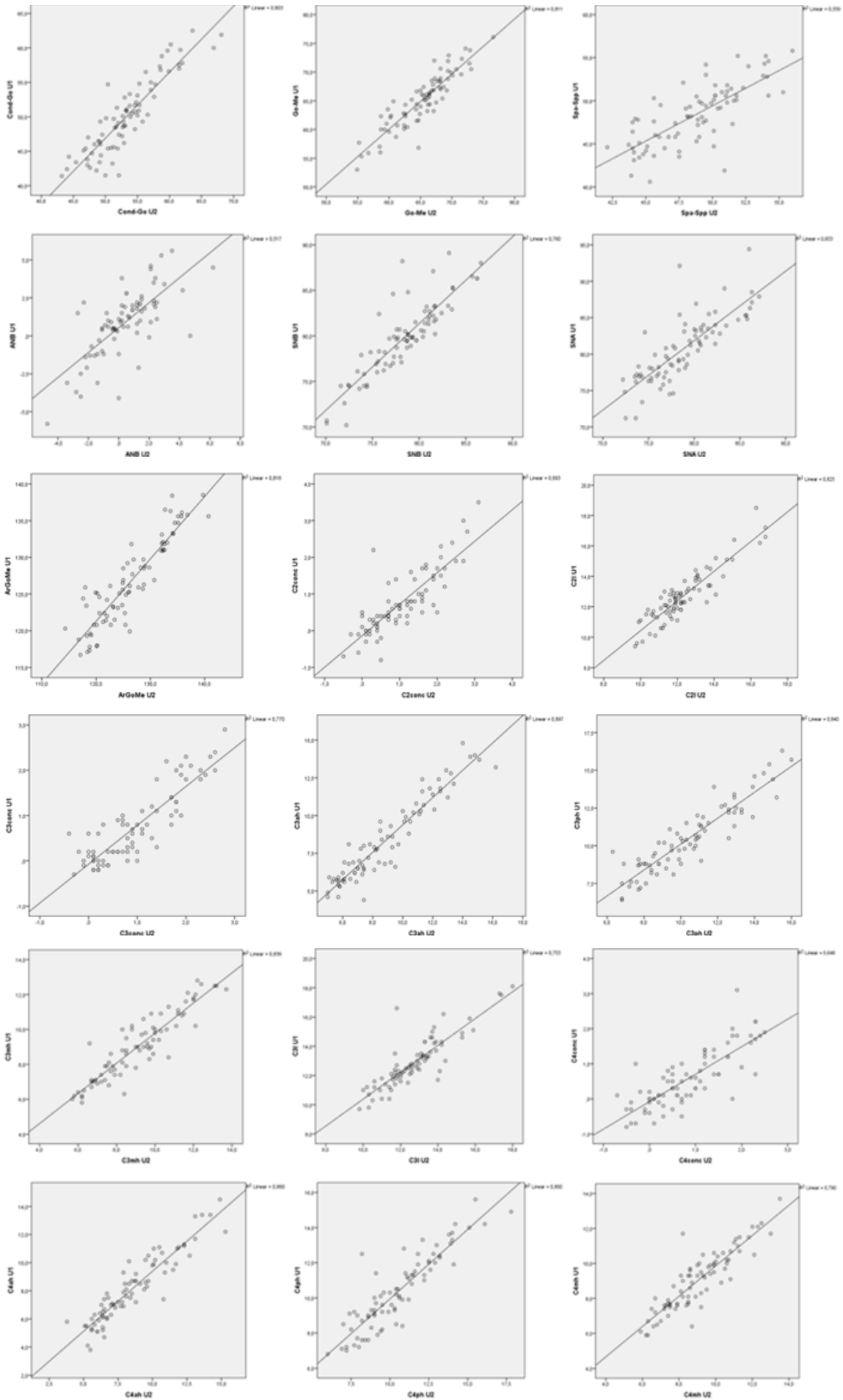
Tab. 21: Medianwerte der Wirbelkörperlänge C₄ in sagittaler Richtung und vordere / hintere Wirbelkörperhöhe im Verlauf der 6 Reifestadien, männliche & weibliche Probanden

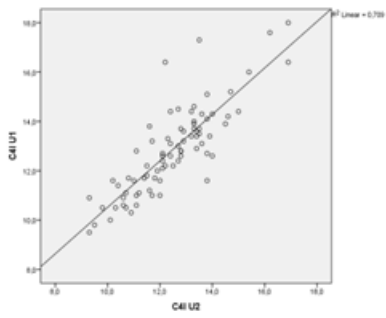
8.3 Interrater- und Intraraterreliabilität

Die unter 9.3 aufgeführten Streudiagramme stellen die linearen Zusammenhänge der untersuchten Parameter in beschriebener Reihenfolge graphisch dar. Hierbei gilt, je dichter die Punkte beieinander liegen, desto stärker ist der Zusammenhang [51].

8.3.1 Interraterreliabilität







8.3.2 Intraraterreliabilität

