Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum
Gießen – Marburg GmbH, Standort Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Dr. Andreas Neff

Abteilung für Kieferorthopädie
Leiterin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner

Vertikale Lage der Mandibula zu den Halswirbeln

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Rebecca Geuecke
aus Olpe

Marburg an der Lahn 2010

Angenommen vom Fachbereich Medizin der
Philipps - Universität Marburg am: 22.04.2010

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Professor Dr. M. Rothmund
Referent: Professor Dr. J. M. H. Dibbets
Korreferent: Professor Dr. S. Fuchs-Winkelmann

gewidmet meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung....1
1.1 Wachstum der Mandibula....1
1.2 Topografische Beziehungen 4
1.3 Wachstumsprozesse....6
1.3.1 Knochenwachstum....6
1.3.2 Entwicklung der Mandibula....6
1.3.3 Vertikales Wachstum der Maxilla....7
1.4 Das Counterpart-Prinzip....9
1.5 Fernröntgenseitenbild (FRS)....10
1.6 Studienziele....12
2. Material und Methode....13
2.1 Material....13
2.1.1 Groninger Grundschuluntersuchung....13
2.1.2 Groninger Reihe Klasse-I-Fälle....14
2.1.3 Darstellung der Altersverteilung....15
2.1.4 Durchzeichnung und Digitalisierung des Datenmaterials....16
2.1.5 Übernahme des Datenmaterials....16
2.2 Beschreibung der erhaltenen Daten....17
2.3 Beschreibung der berechneten Strecken und Winkel....19
2.4 Datenaufbereitung....21
2.4.1 Winkel zwischen Halswirbelsäule und Frankfurter Horizontalen....21
2.4.1.1 Festlegen der Referenzlinien:....21
2.4.1.2 Standardisierung der Halswirbelsäulenlage:....22
2.4.1.3 Berechnung der neuen Punkt-Koordinaten und Rotation:....23
2.4.2 Streckenberechnung....24
2.4.3 Praktische Vorgehensweise....25
2.5 Statistische Methoden....26
2.5.1 Streudiagramme....26
2.5.2 Signifikanzniveau....26
2.5.3 Einteilung in Altersklassen....27
2.5.4 Mittelwert und Standardabweichung....28
2.5.5 Korrelationsberechnungen....28
2.5.6 Grafische Darstellung der berechneten Werte....29
2.5.7 Fehlerbestimmung....29
3. Ergebnisse....31
3.1 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Halswirbel....31
3.1.1 Gesamtlänge von Dens Axis (LFP 33 - LFP34)....31
3.1.2 Strecke Basion – Dens axis superior (LFP 27 – LFP 33)....33
3.1.3 Strecke Basion – CIII anterior (LFP 27 – LFP 34)....34
3.2 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Gonion-Intersection....35
3.2.1 Strecke Basion - Gonion-Intersection (LFP 27 – LFP 24)....35
3.2.2 Projektion von Gonion-Intersection auf Dens axis:....37
3.2.3 Vertikaler Abstand zwischen Dens axis anterior (LFP 34) und Gonion-Intersection (LFP 24)....38
3.2.4 Zuwachs der Strecken Basion-Dens axis anterior (LFP 27- LFP 34) und Basion- Gonion- Intersection (LFP 27- LFP 24)....39
3.3 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Menton....41
3.3.1 Strecke Basion-Menton (LFP 27 – LFP 20)....41
3.3.2 Vertikaler Abstand zwischen Menton (LFP 20) und CIII anterior (LFP 35)....43
3.3.3 Zuwachs der Strecken Basion-CIII anterior (LFP 27- LFP 35) und Basion-Menton (LFP 27 – LFP 20)....44
3.4 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Spina nasalis anterior....46

3.4.1 Strecke Basion- Spina nasalis posterior (LFP 27 – LFP 30).....46
3.5 Ergebnisse der Korrelationsanalyse nach Pearson.....47
4. Diskussion.....51
4.1 Fehlerbestimmung.....51
4.2 Das Wachstum der Halswirbelsäule.....52
4.3 Die vertikale Lage der Mandibula in Relation zur Halswirbelsäule.....55
4.4 Die vertikale Lage des harten Gaumens in Relation zur Halswirbelsäule 60
4.5 Korrelationen.....62
5. Zusammenfassung.....64
6. Summary.....66
7. Literaturverzeichnis.....68
8. Anhang.....74

1. Einführung

1.1 Wachstum der Mandibula

Der Mandibula kommt als autonomer, muskulär aufgehängter Bestandteil des Schädels eine besondere Bedeutung zu. Sie ist durch keine knöcherne Verbindung starr am Schädel fixiert. Deshalb ist das Wachstum und die topografische Entwicklung des Unterkieferknochens nicht nur von der Verbindung zum Schädel, sondern auch wesentlich von funktionellen Einflüssen der Wirbelsäule abhängig.
Eine optimale Lagebeziehung zwischen Mandibula und Wirbelsäule bzw. eine funktionsfähige Variation ist Voraussetzung für intakte Vitalfunktionen wie Atmen oder Schlucken. Diese Funktionen werden wie auch Kopfhaltung und Körperstatik durch die Muskulatur, die sich im Raum zwischen Schädel, Mandibula, Hyoid, Halswirbelsäule und Clavicula befindet, gewährleistet.

Zur Steuerung des Mandibula-Wachstums sind unterschiedliche Theorien publiziert worden:

Die Einflüsse der Funktion auf Veränderungen der Mandibula beschreibt Symons (1951) in seiner Studie „The variations in the form of the mandible“. Er benennt Muskelansätze und Dentition als wichtige Faktoren, die das Wachstum des Unterkiefers steuern.
Moss (1960) beschäftigte sich mit der funktionellen Analyse des mandibulären Wachstums. Er beschreibt das Wachstum als Resultat aus der mandibulären Bewegung, wobei die Formgebung durch die Funktion bestimmt wird.
Moss teilt in seiner „Functional Matrix Hypothesis“ den Gesichtsschädel in funktionelle Einheiten ein, die wiederum aus der „funktionellen Matrix“ und der „skelettalen Einheit“ bestehen. Die funktionelle Matrix wird hierbei durch Weichgewebe und Hohlräume gebildet, die skelettale Einheit besteht aus einem oder mehreren Knochen, der eine bestimmte Funktion erfüllt bzw. die

zusammen eine bestimmte Funktion erfüllen.

Nach der von Petrovic entwickelten Servosystem-Theorie erfolgt das Unterkieferwachstum als Reaktion auf maxilläre Bewegungen nach anterior und kaudal (Carlson 1998).

Die Relocation des Oberkiefer-Zahnbogens nach ventral würde zu einer Diskrepanz in der Okklusionsbeziehung führen. Der Unterkiefer versucht dies zunächst durch eine muskulär gesteuerte Lageänderung nach mesial zu kompensieren. Die gesteigerte Muskelaktivität löst anschließend Knochenwachstum im posterioren Ramusbereich und der dorsalen Kiefergelenksregion aus. Die Diskrepanz in der Okklusion ist somit wieder beseitigt, bis eine weitere Veränderung der Maxilla den beschriebenen Prozess von Neuem beginnen lässt.

Über das Wachstum des Unterkiefers ist bekannt, dass das Kinn, betrachtet von der Sella-Nasion-Ebene, nach anterior und kaudal wandert (s. Abb. 1), während die Bewegung des Kieferwinkels im wesentlichen aus der kaudalen Komponente besteht (Enlow, 1975).

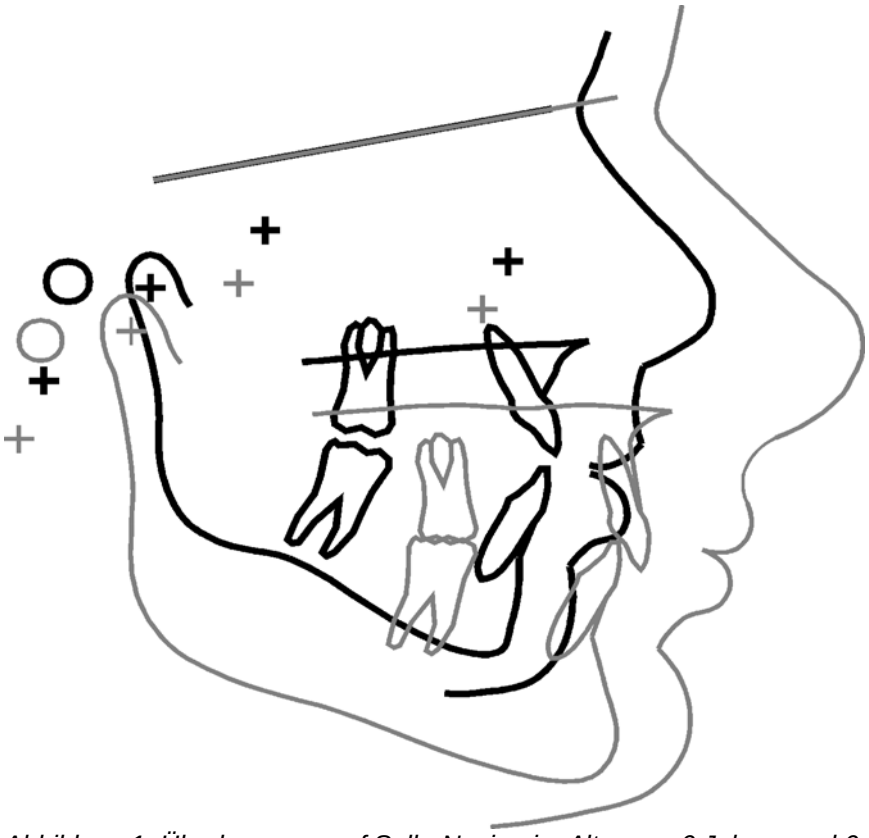

Abbildung 1: Überlagerung auf Sella-Nasion im Alter von 6 Jahren und 6 Monaten bzw. 17 Jahren und 6 Monaten (© Dibbets, Müller)

1.2 Topografische Beziehungen

Die topografischen Beziehungen zwischen Unterkiefer und den ihn umgebenden anatomischen Strukturen im Wachstum wurden mit Ausnahme der Relation zum Schädel bislang wenig untersucht.
Die Mandibula stützt sich am hinteren Teil der Schädelbasis, der Pars squamosa des Os temporale, ab und wird in ihrer Entwicklung durch die spheno-occipitale Synchondrosis von der an der vorderen Schädelbasis aufgehängten Maxilla getrennt.

Broadbent (1931, 1937) untersuchte das topografische sagittale und transversale Verhältnis zwischen Mandibula und zygomaticotemporaler, pterygomaxillärer wie auch koronaler Sutur des menschlichen Schädels. Die Relationen bleiben ihm zufolge zwischen dem Alter von einem Jahr und der Lebensmitte konstant.

King (1952) beschäftigte sich im Rahmen seiner Studien über das pharyngeale Wachstum mit der Lage des Hyoids in Bezug zur Halswirbelsäule (HWS). Er beschreibt die Raphe pterygomandibularis wie auch die HWS als Verbindungselemente zwischen Pharynx und Skelett, was eine funktionelle Beziehung zwischen Mandibula und Halswirbeln verdeutlicht.
Zudem benennt King die sagittale Ausdehnung des nasopharyngealen Raums nach dem siebten Lebensjahr als Resultat einer Verlängerung der Schädelbasis. Diese resultiert ihm nach wiederum aus der Vorverlagerung des Gesichts und /oder der Rückverlagerung des Os occipitale ausgehend von der Schädelbasis.

Enlow und Hunter (1968) beschreiben das vertikale Wachstumsverhalten von der Nasomaxilla als äquivalent zu dem von Ramus mandibulae und Clivus.
Es bleibt aber die Frage offen, wie sich dieses Verhältnis zwischen Unterkiefer und Halswirbeln darstellt.

Einen Zusammenhang zwischen der vertikalen Lage des Kinns und der Halswirbelsäule wiesen Feder (1995) und Alp (1997) in ihren Studien über den Einbau des Unterkiefers zur Halswirbelsäule bei offenen und tiefen Bissen nach. Sie ermittelten bei tiefen und offenen Bissen im Vergleich zwischen den zwei unterschiedlichen Projektionen Mentons auf die HWS eine vertikale Differenz von 6 mm.

Über anatomische und physiologische Zusammenhänge von Halswirbelsäule, Mandibula und höheren Gesichtsbereichen berichtet Salagnac (1999). Er beschreibt Parallelen zwischen dem Rhythmus der vertikalen Mandibula-Entwicklung und dem der Maxilla in Bezug zum Schädel und erkannte Korrelationen zwischen dem vertikalen Wachstum von Mandibula, Maxilla und oberer Halswirbelsäule.

O'Reilly und Yanniello (1988) erforschten einen Zusammenhang zwischen mandibulären Wachtumsveränderungen und der Entwicklung der Halswirbelsäule. Sie erkannten die Bedeutung von Reifungsstadien der Halswirbelsäule als Mittel zur Einschätzung des mandibulären Wachstums während der Pubertät. Dieser Zeitraum gibt wichtige Aufschlüsse über Wachstumsprozesse während der konventionellen kieferorthopädischen Behandlungsphase und ist somit von bedeutendem klinischen Nutzen.

1.3 Wachstumsprozesse

1.3.1 Knochenwachstum

Die grundliegenden Vorgänge des allgemeinen Knochenwachstums spielen eine Schlüsselrolle für die Entwicklung des Unterkiefers und stellen sich wie folgt dar:

Das Wechselspiel von Knochenresorption und -deposition an freien Knochenoberflächen, das zeitgleich geschieht, wird nach Enlow (1975) als **Remodeling** bezeichnet. Dieser Mechanismus ermöglicht dem Knochen in seiner Gesamtstruktur neben der Größenzunahme selbst, sich während des Wachstums den funktionellen Belastungen anzupassen. Dies geschieht durch die optimale strukturelle Anordnung von Trabekelsystem und Spongiosa zu den auf den Knochen einwirkenden Krafttrajektoren (Pauwels, 1959).

Das Remodeling hat zur Folge, dass sich verschiedene Bereiche des Knochens zunehmend voneinander distanzieren und sich dabei fortlaufend neu positionieren. Dieses Vorgehen nennt Enlow (1975) **Relocation**.

Das Entfernen *unterschiedlicher* Strukturen voneinander während des Wachstums wird als **Displacement** bezeichnet und findet beispielsweise zwischen Maxilla und Mandibula statt.

Wesentlich für die Position des Unterkiefers ist ferner das suturale Wachstum der Maxilla in Form von **desmaler Ossifikation**.

Zudem induziert die Drift der Zähne das vertikale Knochenwachstum im Bereich des Desmodonts, wobei gleichzeitig eine vertikale Lageveränderung der Mandibula auftritt.

1.3.2 Entwicklung der Mandibula

Welche Faktoren beeinflussen die topografischen Beziehungen zwischen Mandibula und Halswirbelsäule?

Entscheidend ist zum einen das vertikale Wachstum der Mandibula per se. Es setzt sich im wesentlichen aus dem appositionellen Wachstum an den Kondylen und dem Processus coronoideus (Nanda, 1978) sowie aus dem Wachstum des

Unterkiefer-Alveolarkammes durch die Drift der Zähne zusammen.
Daneben spielen das vertikale Wachstum wie auch das Displacement und die Relocation der Maxilla während des Wachstums eine entscheidende Rolle für die vertikale Lage des Unterkiefers.

Beim Knorpel des Kiefergelenks handelt es sich um sekundären Knorpel, der durch die Umwandlung mesenchymaler Zellen entsteht. Durch enchondrale Ossifikation kommt es zur knöchernen Umwandlung und somit zum Knochenwachstum in diesem Bereich. Hierdurch wird die Verbindung zum kraniofazialen Komplex trotz des Mandibula-Displacements (nach kaudal und anterior, s.o.) aufrecht erhalten.
Somit sind die Kondylen als typische „growth-sites“ zu benennen, d.h. als knöcherne Regionen, in denen durch die Einflüsse der umgebenen Strukturen Wachstum erfolgt, ohne dass Gewebe trennende Kräfte auftreten (Baume 1961).

1.3.3 Vertikales Wachstum der Maxilla

Das vertikale Wachstum der Maxilla, die an der vorderen Schädelbasis aufgehängt ist, erfolgt parallel zum vertikalen Wachstum des Clivus und besteht aus folgenden Hauptkomponenten:
Den größten Teil bildet das suturale Wachstum der kranialen Maxillabegrenzungen (frontomaxilläre Sutur).
Da der Nasenboden als kaudale Begrenzung des Oberkiefers konstante vertikale Lageverhältnisse zu Basion aufweist (hier stattfindendes Remodeling wirkt sich nicht auf die Vergrößerung der Maxilla aus), findet das zum Clivus analoge Wachstum hauptsächlich an der kranialen Maxillabegrenzung statt, d.h. im Bereich der maxillären Aufhängung an der Schädelbasis (Buchwald 2008). Das Wachstum findet in Form von Displacement statt und ist entlang des kranialen Maxillarandes so gleichmäßig, dass die Strecke Sella-Nasion unterdessen ausgehend vom Unterrand der Maxilla parallel nach kranial verschoben wird (Broseghini 2004).

Zusätzlich spielt die vertikale Drift der Zähne, die Remodeling-Prozesse des Alveolarfortsatzes induziert, eine entscheidende Rolle für das vertikale Wachstum der Maxilla.
Es erfolgt zudem eine Verlagerung des Oberkiefers nach kaudal und eine Ausdehnung nach posterior (Enlow & Hunter, 1968).

1.4 Das Counterpart-Prinzip

Enlow (1975) beschreibt im Rahmen des Schädelwachstums das Counterpart-Prinzip, nach dem - grundlegend für die funktionelle Schädelkonstruktion - gewisse Strukturen gemeinsam wachsen. Counterparts sind hierbei die Gegenstücke, die voneinander lageabhängig sind und sich deswegen synchron bzw. äquivalent entwickeln.

So besteht eine Wachstumsbalance zwischen Mandibula, Obergesicht und Schädelbasis, die durch beständige gegenseitige Adaption der einzelnen Schädelareale gewährleistet ist.

Als horizontale Counterparts führt Enlow die mittlere Schädelgrube mit Pharynx und Ramus, wie auch den Corpus mandibulae mit der Maxilla auf. Vertikal benennt Enlow die Schädelbasis-Ramus-Vertikale mit der vorderen und hinteren Nasomaxilla. Ein senkrecht zur Okklusionsebene ausgerichtetes Wachstumsgleichgewicht zwischen diesen vertikalen Counterparts ist Voraussetzung für eine funktionell optimale Okklusionsebene. Ist dies nicht gegeben, zeigt sich ein Abfallen bzw. Anheben der Okklusionsebene oder ein offener Biss.

1.5 Fernröntgenseitenbild (FRS)

Grundlage der vorliegenden Studie ist das Fernröntgenseitenbild.
Die Analyse und Vermessung knöcherner Schädelstrukturen an lebenden Menschen wurde durch die Standardisierung des Fernröntgenseitenbildes (FRS) möglich. Sie wurde 1931 durch Hofrath (Düsseldorf) und Broadbent (Cleveland) unabhängig voneinander eingeführt und ist seither ein unverzichtbares Verfahren der kieferorthopädischen Diagnostik.

Abbildung 2: Das FRS ermöglicht die Analyse und Vermessung knöcherner Schädelstrukturen wie auch Lagebeziehungen zur Halswirbelsäule

Neben der Abbildung des Schädels sind auf dem FRS auch Strukturen wie Hyoid und Halswirbelsäule dargestellt (Abb.2). Dennoch sind bislang kaum mögliche räumliche Lagebeziehungen zwischen der Mandibula und

Halswirbelsäule noch mögliche Gesetzmäßigkeiten ausführlich untersucht worden.

Deshalb sollen in dieser Studie mögliche Abhängigkeiten der vermuteten vertikalen Lagebeziehungen zwischen der Mandibula und den Halswirbeln vom Lebensalter untersucht werden. Dies soll unter Berücksichtigung geschlechtsspezifischer Unterschiede während der Wachstumsphase erfolgen.

1.6 Studienziele

Es ergeben sich folgende Fragen, deren Beantwortung – soweit möglich - erfolgen soll:

1. Gibt es wesentliche Unterschiede zwischen der vertikalen Entwicklung des Kieferwinkels (Bezugspunkt Gonion-Intersection) und der des Kinns (Bezugspunkt Menton)?

2. Ist die vertikale Lage der Mandibula zu den Halswirbeln während des Wachstums konstant oder ist eine Veränderung der Lagebeziehungen erkennbar?

3. Wie verhält sich die vertikale Entwicklung der Mandibula im Vergleich zu der des Os palatinum (Bezugspunkt Spina nasalis posterior) als Teil der Maxilla?

4. Sind Counterpart-Beziehungen bzw. stabile vertikale Verhältnisse zwischen Halswirbelsäule und Mandibula erkennbar?

5. Sind geschlechtsspezifische Parallelen im Wachstum von Halswirbeln und Mandibula gegeben?

2. Material und Methode

2.1 Material

Die vorliegende Untersuchung wurde anhand von Fernröntgenseitenbildern aus der Universität Groningen (Niederlande) durchgeführt.

Die Aufnahmen umfassen faziale, zervikale und kraniale Bereiche der Probanden und stammen aus zwei unterschiedlichen longitudinalen Studien:

1. Groninger Grundschuluntersuchung
2. Groninger Reihe „Klasse-I-Fälle“

Im Verlauf beider Projekte wurde angestrebt, jährlich im gleichen Monat ein FRS des Probanden anzufertigen.

Tabelle 1: Anzahl von Probanden und FRS der beiden Projekte

Projekt	Probanden	♀	♂	FRS
1	167	77	90	1237
2	51	26	25	301

2.1.1 Groninger Grundschuluntersuchung

In der Grundschuluntersuchung wurden von 1950 bis 1976 insgesamt 1237 FRS von 167 Kindern angefertigt.
Durch gezielte Auswahl der seltenen Klasse-III-Fälle und entsprechendes Weglassen der häufigen Klasse-II-Fällle erfolgte eine Nivellierung dieser Anomalien.

Der untersuchte Pool weicht folglich von der normalen Verteilung der Gebißanomalien deutlich ab.
Kieferorthopädisch behandelte Kinder sowie fehlerhafte Aufnahmen wurden von

der Untersuchung ausgeschlossen.

2.1.2 Groninger Reihe Klasse-I-Fälle

Das Projekt „Klasse-I-Fälle“ wurde von 1965 bis 1980 an den selben Grundschulen durchgeführt. Die Auswahl der Probanden beschränkte sich auf Kinder mit einer Klasse-I-Verzahnung. Zudem waren folgende Ausschluss-kriterien maßgeblich:

- Das Kind wurde nicht kieferorthopädisch behandelt
- Das Kind wies ein Klasse-I-Profil, eine neutrale Bisslage und eine neutrale Okklusion auf
- Es war eine ausreichende apikale Basis vorhanden, es lag kein Stützzonenverlust vor
- Es lag kein Frontengstand vor

2.1.3 Darstellung der Altersverteilung

Die Altersverteilung wurde in Histogrammen für die männlichen (s.Abb.3) und weiblichen Probanden (s.Abb.4) getrennt veranschaulicht. Es wurde jeweils das Alter in Jahren auf der x-Achse gegen die Häufigkeit auf der y-Achse aufgetragen.

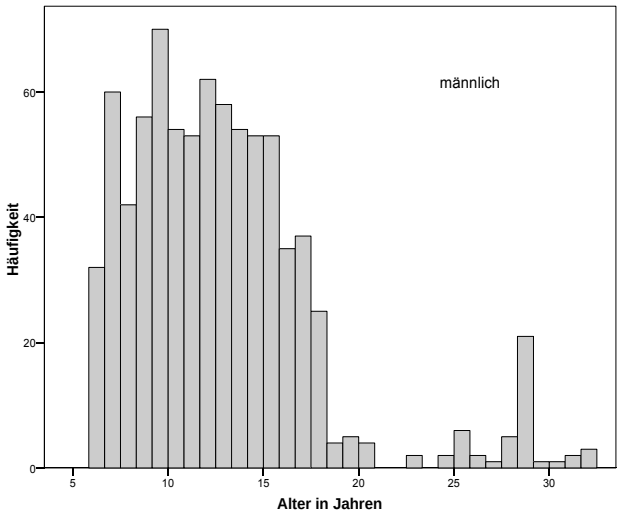

Abbildung 3: Altersverteilung der FRS der männlichen Probanden

(Mittelwert = 12,8Jahre; N = 803)

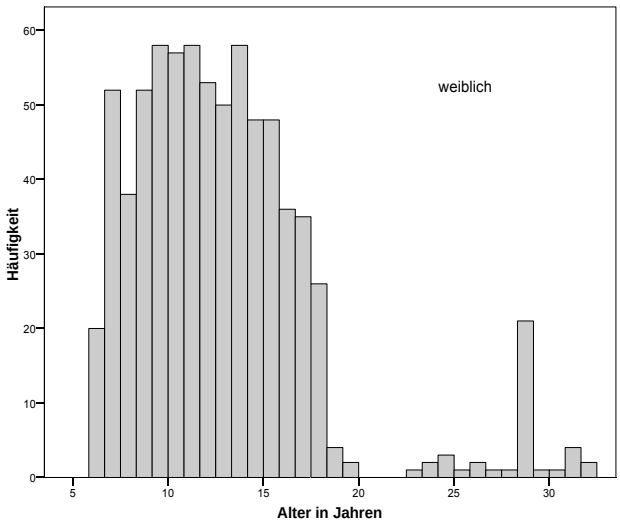

Abbildung 4: Altersverteilung der FRS der weiblichen Probanden

(Mittelwert = 12,88 Jahre; N = 735)

2.1.4 Durchzeichnung und Digitalisierung des Datenmaterials

Die Röntgenaufnahmen wurden von Dibbets durchgezeichnet und mittels 47 kephalometrischer Markierungspunkte digitalisiert (Verbeek 1988). Hierbei konnten nur eindeutig lokalisierbare Punkte per Digitalisiertablett in den Computer eingegeben werden, was gewisse Datenverluste zur Folge hatte. Der Ausgangsdatensatz für diese Untersuchung besteht aus 1538 Aufnahmen.

2.1.5 Übernahme des Datenmaterials

Das Datenmaterial wurde in Form einer Excel-Tabelle zur Verfügung gestellt. Es umfasste Patientennummer, Geschlecht, jeweilige Aufnahmenummer des Probanden, Vergrößerungsfaktor des Röntgenbildes, Aufnahmedatum, Alter des Patienten in Tagen und die Koordinaten der für die Untersuchung relevanten Punkte (siehe 2.2). Zudem war der Winkel zwischen Mandibularebene und Sella-Nasion-Ebene wie auch der Overbite angegeben, um Abweichungen und Anomalien in Form eines offenen und tiefen Bisses zu berücksichtigen.

2.2 Beschreibung der erhaltenen Daten

Im folgenden sind die für die Untersuchung relevanten Punkte graphisch dargestellt und in der Tabelle beschrieben:

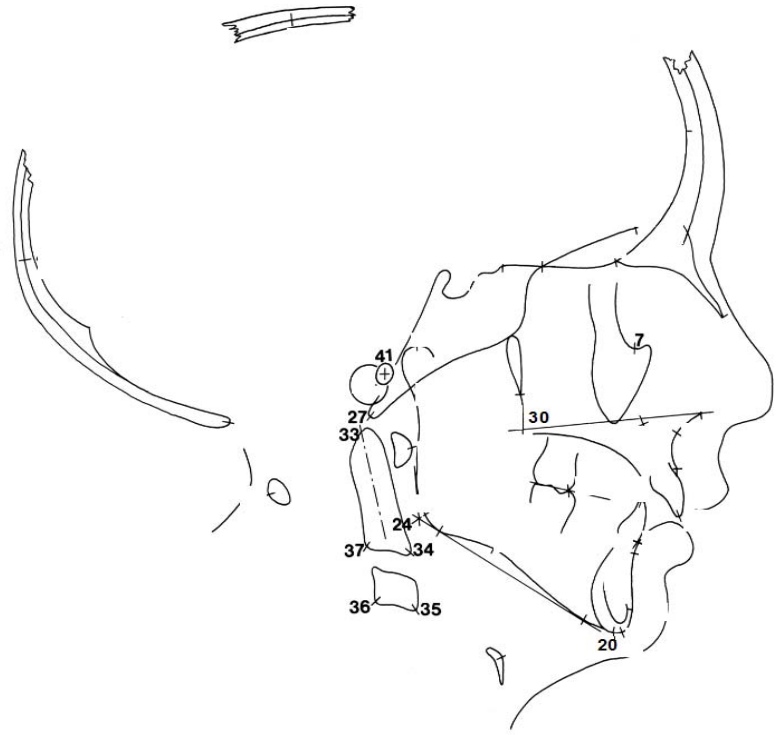

Abbildung 5: Kephalometrische Markierungspunkte zur Berechnung und Streckenmessung

Tabelle 2: Definitionen der Markierungspunkte und Variablen

7	Orbitale	tiefster Punkt der Kontur der knöchernen Orbita, bestimmt mittels einer Tangente durch Porion
20	Menton	Punkt auf der Kontur des knöchernen Kinns mit der größten Entfernung von Nasion
24	Gonion-Intersection	Schnittpunkt der Tangente durch Artikulare an den Hinterrand des Ramus mit der Tangente an den Unterrand der Mandibula
27	Basion	Medianpunkt des Vorderrandes des Foramen magnum; tiefster hinterster Punkt des Klivus
30	Posterior nasal spine	Spina nasalis posterior, Schnittpunkt der Linie durch den Nasenboden mit der hinteren Kontur des Tuber maxillaris
33	Dens superior	oberster Punkt von Dens axis, bestimmt mittels der Längsachse durch Dens axis
34	Dens anterior	vorderster tiefster Punkt von Dens axis
35	Cervical lll anterior	vorderster tiefster Punkt des Wirbelkörpers des 3. Halswirbels
36	Cevical lll posterior	hinterster tiefster Punkt des Wirbelkörpers des 3. Halswirbels
37	Dens posterior	hinterster tiefster Punkt von Dens axis
41	Porion	Mitte des Porus acusticus externus
	∠ MP_SN	Winkel zwischen Mandibularebene und Sella-Nasion
	Overbite	Vertikale Relation der ersten Inzisivi des Oberkiefers zu denen des Unterkiefers

2.3 Beschreibung der berechneten Strecken und Winkel

Im Rahmen der Studie wurde die Distanz zwischen den Projektionen folgender Punkte auf die Längsachse von Dens axis berechnet (s. Abb. 4):

- Ba - Snp
- Ba - GoI
- Ba - Me
- Ba – Dens axis superior
- Ba - C III anterior
- Ba – Dens anterior
- Dens axis = Dens anterior-Basion – Dens superior-Basion
- Unterer Part der durch Projektion von Gonion-Intersection auf Dens axis geteilten Dens-Strecke = Dens axis - Gonion-Intersection-Basion
- verikaler Abstand zwischen Dens axis anterior und Go-I
- vertikaler Abstand zwischen Me und CIII anterior
- Relation der Strecke Dens anterior – Go-I zur Gesamtdtrecke Dens axis

Zudem wurde der gegebene Winkel zwischen Mandibularebene (MP) und Sella-Nasion-Ebene (SN) ausgewertet.

Mit den Ergebnissen wurden im folgenden die vertikalen Distanzen zwischen C-III-anterior und Menton bzw. Gonion-Intersection und Dens-axis-anterior berechnet. Es erfolgte außerdem die Einteilung der gemessenen Winkel in Bissanomalie-Untergruppen.

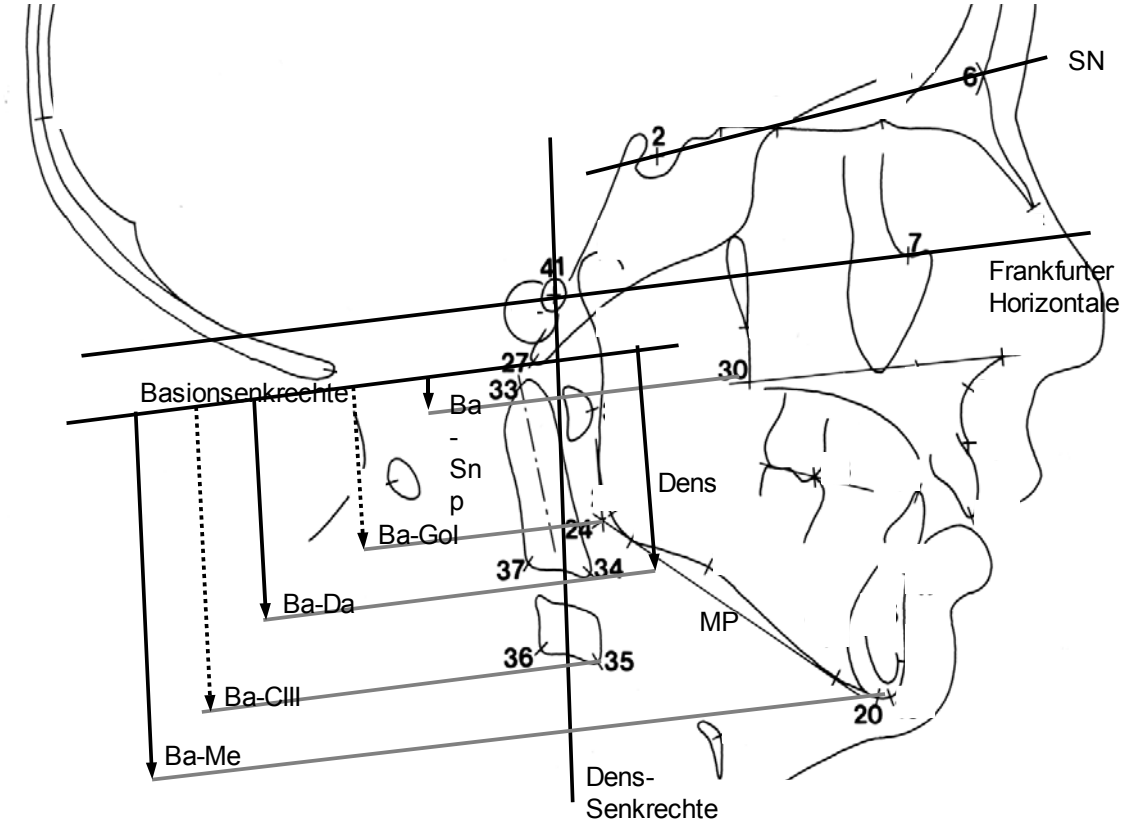

Abbildung 6: Skizze der berechneten Strecken und Winkel

2.4 Datenaufbereitung

2.4.1 Winkel zwischen Halswirbelsäule und Frankfurter Horizontalen

2.4.1.1 Festlegen der Referenzlinien:

Um die relative, vertikale Lage der Punkte Menton(20), GonionIntersection(24), Basion(27) und Spina nasalis posterior (30) zu den Halswirbeln CII und CIII anhand der vorliegenden Fernröntgenseitenbilder untersuchen zu können, muss zunächst eine Referenzlinie festgelegt werden.
Als solche wird eine Achse durch die Halswirbel gelegt. Sie wird bestimmt als Verbindungslinie des Punktes Dens superior (33) mit dem Mittelpunkt M der Strecke Dens anterior – Dens posterior (34-37). Als Hilfslinie fungiert die Frankfurter Horizontale (7-41), die einen definierten Winkel ß mit der Referenzlinie bildet.
Der Winkel ß kann ermittelt werden, indem man die Steigungen der Referenzlinie (m2) und der Frankfurter Horizontale (m1) in die Formel des Skalarprodukts einsetzt:

$$\vec{v1} * \vec{v2} = |\vec{v1}| * |\vec{v2}| * \cos ß \quad => \quad \cos ß = \frac{|\vec{v1} * \vec{v2}|}{|\vec{v1}| * |\vec{v2}|}$$

(vgl. Bronstein und Semendjajew 1991, S. 555)

Setzt man als Vektoren $\vec{v1} = \begin{pmatrix} 1 \\ m1 \end{pmatrix}$ und $\vec{v2} = \begin{pmatrix} 1 \\ m2 \end{pmatrix}$ ein, so folgt

$$\cos(ß) = \frac{(|1 + m1 * m2|)}{((\sqrt{(1 + m1^2)}) * (\sqrt{(1 + m2^2)}))}$$

2.4.1.2 Standardisierung der Halswirbelsäulenlage:

Die Lage der Wirbelsäule zur Frankfurter Horizontalen ist bereits durch geringe Veränderungen Kopfhaltung stark variabel. Um alle Röntgenbilder vergleichen zu können, wird deshalb der Winkel ß zwischen Frankfurter Horizontale und Referenzlinie auf 90° genormt (Abb.7).

Der Korrekturwinkel α gibt für jeden einzelnen Fall den Winkel an, um den die Referenzlinie gedreht werden muss, um die festgelegten 90° zur Frankfurter Horizontalen zu erreichen.

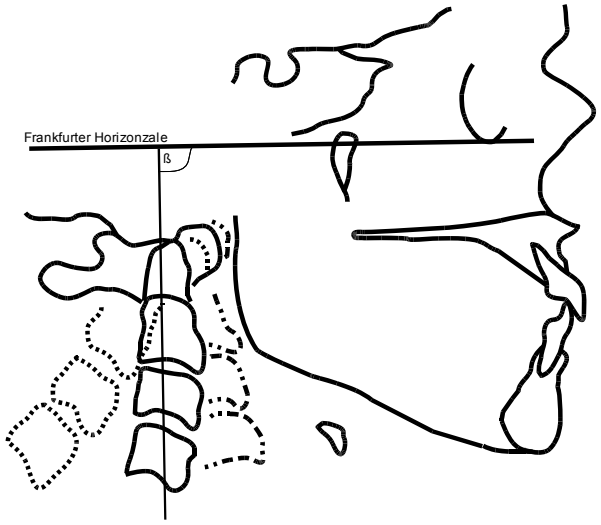

Abbildung 7: Mögliche Lagen der Halswirbelsäule (modifiziert aus King,1952)

Der Drehpunkt D für die Rotation der Referenzlinie liegt 3 mm kaudal von Dens superior (33) auf der Referenzlinie, entsprechend dem physiologischen Drehpunkt der menschlichen Halswirbelsäule nach Penning (1978).

Die Koordinaten des Drehpunkts lassen sich anhand der Daten des Punktes Dens superior (33) und der Geradensteigung m2 der Referenzlinie berechnen.

Die Veränderung der x-Koordinate (d x) ergibt sich mit

$$m2 = \frac{dy}{dx} \quad \Rightarrow \quad d\,y = m2 \cdot d\,x$$

Durch den Satz des Pythagoras folgt:

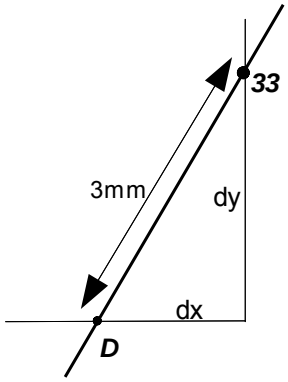

Abbildung 8: Berechnung mittels Satz des Pythagoras

$$3 = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{dx^2 + (m2 * dx)^2} = \sqrt{dx^2 + m2^2 * dx^2}$$

$$= \sqrt{dx^2 * (1 + m2^2)} = dx\sqrt{(1 + m2^2)}$$

$$\Rightarrow dx = \frac{3}{\sqrt{(1 + m2^2)}}$$

Die Multiplikation des Wertes für dx mit m2 ergibt den Wert dy.

Die Koordinaten des Drehpunkts resultieren als Differenz dieser Werte von den Koordinaten des Punktes Dens superior (33):

x (D) = x (33) – d (x) und y (D) = y (33) – d (y)

2.4.1.3 Berechnung der neuen Punkt-Koordinaten und Rotation:

Es wird ein neues Koordinatensystem parallel zum Ursprünglichen angelegt, dessen Nullpunkt der Drehpunkt (D) ist.

Die neuen Koordinaten x' und y' der im ursprünglichen Koordinatensystem verwandten Punkte 33 bis 37 lassen sich mit den beiden Ausdrücken

x' = x - x(D) und y' = y – y(D) berechnen.

Die Rotation der Koordinaten der Punkte 33 bis 37 im neuen Koordinatensystem wird folgendermaßen durchgeführt:

$x'_{rot} = (\cos \alpha * x') - (\sin \alpha * y')$ $y'_{rot} = (\sin \alpha * x') + (\cos \alpha * y')$

(vgl. Bronstein Semendjajew 1991, S. 213)

Im letzten Schritt werden die neu berechneten Koordinaten der Punkte 33 bis 37 wieder in das ursprüngliche System überführt. Dazu finden folgende Formeln Anwendung:

$x_{rot} = x'_{rot} + x(D)$ $y_{rot} = y'_{rot} + y(D)$

2.4.2 Streckenberechnung

Zur Streckenberechnung wird zunächst der Lotfußpunkt der Punkte 20, 24, 27, 30, 33, 34, 35, 36 und 37 auf die angeglichene Achse der Halswirbelsäule bestimmt.

Die Gleichung der zur Achse orthogonalen Gerade, die durch den entsprechenden Punkt verläuft, wird durch Einsetzen der Koordinaten und der Steigung m2 der Referenzlinie

$$m_{orth} = -(\frac{1}{m2})$$ ermittelt.

Da der Schnittpunkt der Referenzlinie und ihrer Orthogonalen die für beide Geradengleichungen geltenden Koordinaten liefert, können durch Gleichsetzen der beiden Geradengleichungen im folgenden die Koordinaten des Schnittpunktes (Lotfußpunktes) berechnet werden:

$$m_{orth} * x + b_{orth} = m2 * x + b_{HWS}$$

$$x = \frac{b_{orth} - b_{HWS}}{-m_{orth} + m2}$$

Die y-Koordinate des Lotfußpunktes ergibt sich aus einer der beiden Geradengleichungen anhand des zuvor berechneten x-Wertes :

$y = m_{orth} * x + b_{orth}$ oder $y = m2 * x + b_{HWS}$

Die Berechnung der Streckenlängen zwischen allen übrigen Lotfußpunkten und dem von Basion (27) erfolgt über den Satz des Pythagoras (Bsp. für Punkt 20):

$$LFP_{20} - LFP_{27} = \sqrt{(x(LFP_{27}) - x(LFP_{20}))^2 + (y(LFP_{27}) - y(LFP_{20}))^2}$$

Um das Wachstum der Halswirbelsäule selbst zu berücksichtigen, wird zusätzlich der Lotfußpunkt der rotierten Punkte 34 und 35 sowie ihr Abstand

zum Lotfußpunkt von Basion bestimmt. So können die Gesamtstrecken ermittelt und das Wachstum der Halswirbelsäule mit dem Zuwachs der übrigen Strecken verglichen werden.

2.4.3 Praktische Vorgehensweise

Zunächst wurden die Daten der FRS, die zwischen der ursprünglichen Halswirbelsäulenachse und der Frankfurter Horizontale einen Winkel aufwiesen, der mehr als 20° vom rechten Winkel abwich, entfernt. Diese Vorgehensweise begründet sich in der 1978 von Penning beschriebene Eigenschaft von Dens axis, sich in einem Maß von etwa 20° vor- bzw. zurückneigen zu können, ohne eine Positionsänderung zwischen Atlas und Kranium hervorzurufen. Ausgeschlossen wurden demnach 26 Röntgenaufnahmen.
Aufgrund der Aufnahmetechnik waren die berechneten Strecken vergrößert dargestellt, was durch die Multiplikation mit dem Kehrwert der jeweiligen Vergrößerung korrigiert wurde. Dieser Faktor betrug für die vor 1970 angefertigten Röntgenbilder (mit „V-Faktor 1 bzw 2“ gekennzeichnet) 0,9467 und für die übrigen (mit „V-Faktor 3“ markiert) 0,9693.

Der Winkel zwischen Mandibularebene und Sella-Nasion-Ebene erlaubt eine Einteilung der Aufnahmen in hypo-, normo- oder hyperdivergent und der Wert des Overbite gibt Aufschluss über das Vorliegen eines offenen, normalen oder tiefen Bisses. Zur Beurteilung dieser Bissanomalien wurden ermittelte Werte, die kleiner als -5 mm waren aus der Wertung genommen. Sie sind höchst wahrscheinlich nicht auf einen offenen Biss zurückzuführen, sondern auf Abstandsmessungen zwischen Oberkiefer- und Unterkiefer-Inzisivi, die noch im Durchbruch standen.

2.5 Statistische Methoden

Nach dem Transfer der berechneten Strecken in das Programm SPSS, Chicago, Version 12.0 erfolgten die statistischen Auswertungen. Es wurden unterschiedliche statistische Tests durchgeführt und Diagramme erstellt. Hierbei wurden die Werte geschlechtsspezifisch aufgeteilt, um die Erwartung einer unterschiedlichen Wachstumsentwicklung zu berücksichtigen. Die Analyse dieser Entwicklungen erfolgte über die Verknüpfung vom Alter der Probanden zum Aufnahmezeitpunkt mit den errechneten Strecken bzw. ihrem Zuwachs.
Grundlegend war die vorherige Einteilung in Altersklassen. Da die Fallzahl mit zunehmendem Alter deutlich sank, wurden dementsprechend größere Intervalle gewählt (vgl. Kapitel 2.5.4).
Diese Altersklassen wurden in den Diagrammen auf der x-Achse dort aufgetragen, wo sich der Mittelwert des jeweiligen Altersintervalls befand. Der Mittelwert wurde jeweils für die einer Altersklasse zugehörigen Fälle berechnet und auf die erste Nachkommmastelle gerundet.

2.5.1 Streudiagramme

Zur ersten Einschätzung der errechneten Werte wurden Streudiagramme erstellt. Die Streckenlängen und Wachstumsrelationen der Strecken Basion-Menton, Basion-Gonion-Intersection und Basion-Spina nasalis posterior zur Strecke Basion-CIII wurden hierbei gegen das Alter der Probanden aufgetragen. Dies ermöglichte zudem den Ausschluss von einzelnen stark abweichenden Werten.

2.5.2 Signifikanzniveau

Das gültige Signifikanzniveau für die statistischen Tests wurde auf 0,05 festgelegt. Aussagen über Zusammenhänge zwischen Variablen sind grundsätzlich auf die Gesamtheit, aus der die Stichprobe stammt, zu beziehen.

2.5.3 Einteilung in Altersklassen

Zur altersabhängigen Darstellung der gemessenen Strecken und Winkel wurden Altersklassen gebildet und nach ihrem jeweiligen Mittelwert benannt.

Tabelle 3: Altersklassen für die männlichen Studienteilnehmer

Altersklasse	Intervall (Jahre)	Häufigkeit (N)	Mittelwert (Jahre)	Median (Jahre)
7,0	6-8	119	7,0	7,0
9,1	8-10	141	9,1	9,1
11,0	10-12	126	11,0	11,1
12,9	12-14	145	12,9	12,8
14,9	14-16	122	14,9	14,9
17,2	16-20	100	17,2	17,2
27,4	20-32	50	27,4	28,4
Gesamt		803		

Tabelle 4: Altersklassen für die weiblichen Studienteilnehmer

Altersklasse	Intervall (Jahre)	Häufigkeit (N)	Mittelwert (Jahre)	Median (Jahre)
7,1	6-8	98	7,1	7
9,1	8-10	122	9,1	9,1
11,0	10-12	135	11,0	11
13,0	12-14	125	13,0	13
14,9	14-16	120	14,9	14,9
17,2	16-20	95	17,2	17,1
28,2	20-32	40	28,2	28,6
Gesamt		735		

Der Mittelwert liegt für die Altersklassen 7,0 bzw. 7,1 bis 14,9 sehr dicht bei der Mitte des Altersintervalls. Dies ist bei den letzten beiden Altersklassen deutlich anders: Durch die Verdopplung bzw. gar Versechsfachung der Intervallgröße liegt der Mittelwert nicht mehr nahe der Intervallmitte. Ursächlich hierfür ist neben deutlich geringeren Fallzahlen die Tatsache, dass in diesen Klassen kaum noch Wachstum stattfindet.

2.5.4 Mittelwert und Standardabweichung

Für die berechneten Strecken wurden arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung und die Anzahl der gültigen Fälle geschlechtsspezifisch für jede Altersklasse ermittelt und in Form einer Tabelle aufgeführt.
Darüber hinaus wurden die Häufigkeit und der prozentuale Anteil der Untergruppen hypo-, normo- und hyperdivergent sowie der Untergruppen offener, normaler und tiefer Biss bestimmt.

2.5.5 Korrelationsberechnungen

Die Korrelation sagt etwas über den Zusammenhang zwischen zwei Variablen aus.
Berechnet wird der Korrelationskoeffizient r. Er gibt den linearen Zusammenhang zwischen zwei normal verteilten Variablen der Stichprobe an und beläuft sich auf Werte zwischen -1 und 1.
Je näher der Wert an 1 liegt, umso stärker ist der lineare Zusammenhang zwischen zwei Variablen, bzw. je näher er an -1 liegt, umso stärker ist der negative lineare Zusammenhang.
Da die Korrelation zwischen intervallskalierten normalverteilten Variablen zu ermitteln war, wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson angewandt.
In den Korrelationstabellen wurden die Korrelationswerte zwischen folgenden Variablen angegeben:

- Alter der männlichen bzw. weiblichen Probanden
- gemessene Gesamtstrecken für Spina nasalis posterior, Menton, Gonion-Intersection, CIII anterior und Dens axis anterior
- entsprechende Zuwächse derselben Strecken
- Overbite
- Winkel zwischen Sella-Nasion- und Mandibularebene

2.5.6 Grafische Darstellung der berechneten Werte

Während die Altersverteilung in einem Histogramm dargestellt ist, werden Liniendiagramme zur Darstellung der Variablen benutzt. Die x-Achse beschreibt in jedem Diagramm das mittlere Alter in Jahren. Dem Mittelwert der Altersklassen ist jeweils ein y-Wert zugeordnet. Die y-Achse weist für zu vergleichende Diagramme die gleiche Skalierung auf, um eine unmittelbare Gegenüberstellung zu ermöglichen. Für die Längen oder Längenzunahmen vergleichenden Diagramme ist die Einheit Millimeter, die Relationsdarstellungen sind einheitslos.

2.5.7 Fehlerbestimmung

Die Fehlerbestimmung für die Groninger Studie erfolgte durch wiederholte Durchzeichnungen des selben Fernröntgenseitenbild (Dibbets 1968) . Es wurden zunächst 10 Exemplare angefertigt und digitalisiert. Nach einem Monat wurde das Vorgehen wiederholt. Dabei wurden für 47 kephalometrische Punkte die x- und y-Koordinaten bestimmt.

Die resultierenden 20 Datensätze mit den Koordinaten der 47 Punkte wurden mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate überlagert. Hierzu wurden zunächst die Punkte 2, 3, 6, 12, 14, 25, 26, 27, 29, 34, 35 und 37 ausgewählt und mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate die Überlagerung der 20 Datensätze ermittelt (S.Abb. 9).

Für die überlagerten Punkte wurden die zugehörigen Fehlerellipsen berechnet. Je kleiner die Fehlerellipse eines Punktes ist, desto reproduzierbarer ist seine Bestimmung. Anschließend wurden die 5 Punkte (2, 6, 14, 34, 36) mit den kleinsten Fehlerellipsen herausgesucht. Mit ihnen wurde die Überlagerung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate erneut durchgeführt.

Die 20 Datensätze mit den digitalisierten Messpunkten wurden entsprechend der bestimmten Überlagerungsparameter in eine schematische Durchzeichnung eingetragen. Zusätzlich wurde für jeden Punkt die Fehlerellipse eingezeichnet, wobei der Schnittpunkt der beiden Ellipsenachsen dem Mittelwert der 20

Messwerte für den jeweiligen Punkt entspricht (Abb.9).

Die 20 Messungen eines kephalometrischen Punktes beschreiben eine Punktwolke, die um den Mittelwert des jeweiligen Punktes streut. Die Punktewolke wird als Ellipse dargestellt, deren Ausdehnung die Streuung und „Streuungsrichtung“ der Punktwolke um den Mittelwert beschreibt. Die Ellipse ist etwas größer als die Punktwolke, wobei Ausreißer aber außerhalb der Ellipse liegen. Der Mittelwert des jeweiligen Punktes ist zudem von einem Quadrat mit 4 mm Kantenlänge umgeben, das jeweils in 4 Unterquadrate aufgeteilt ist. Es zeigt sich nun, dass die Bestimmung einiger Punkte mit einer höheren Fehlerquote verbunden ist als die Bestimmung von anatomisch sehr eindeutigen Punkten wie Nasion und Sella.

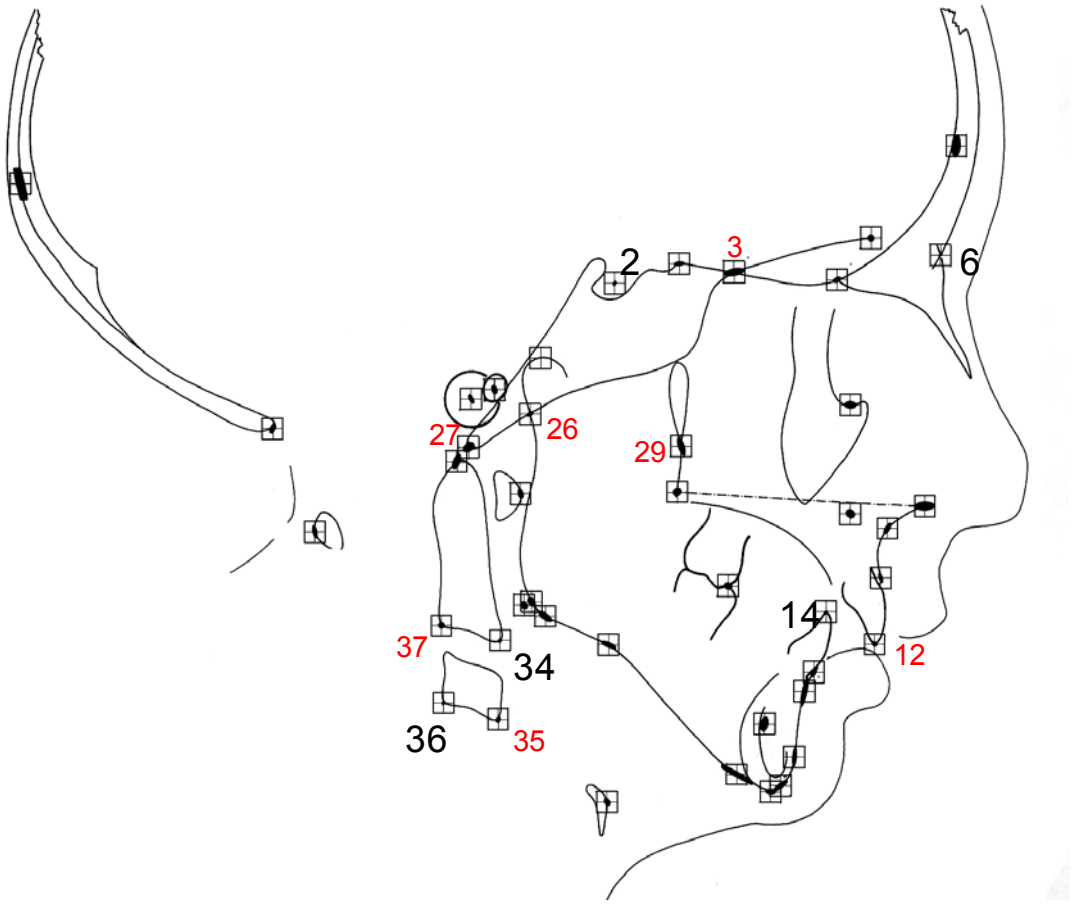

Abbildung 9: Fehlerellipsen der Markierungspunkte

3. Ergebnisse

3.1 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Halswirbel

3.1.1 Gesamtlänge von Dens Axis (LFP 33 - LFP34)

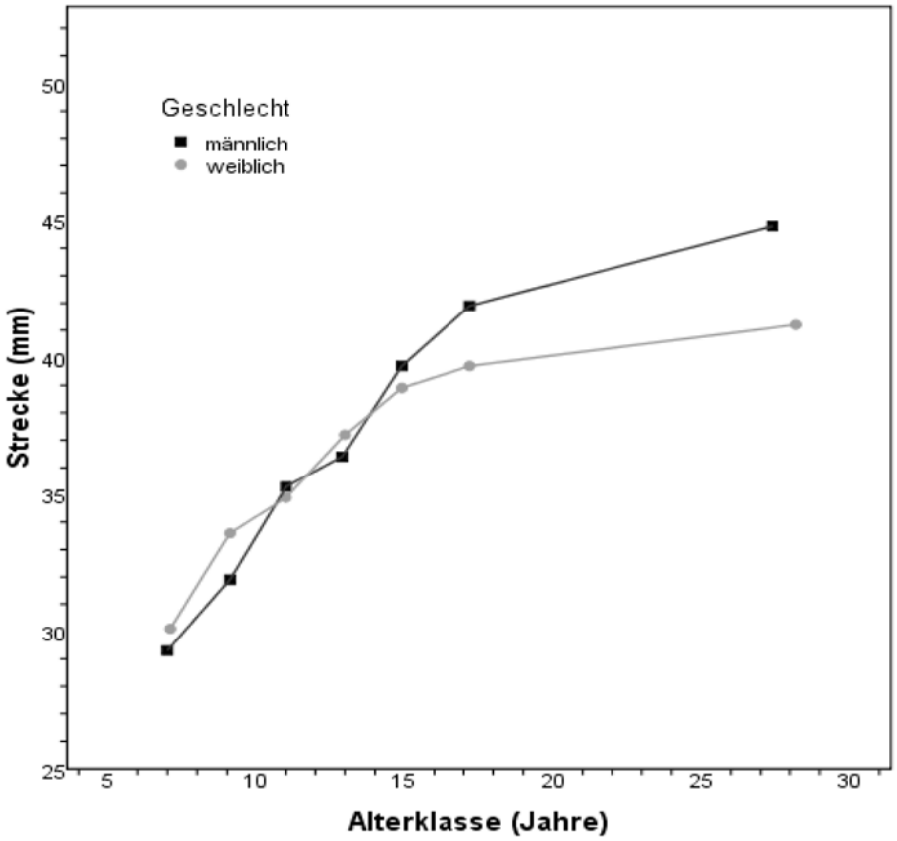

Abbildung 10: Gesamtstrecke Dens axis

Die Kurve lässt sich für beide Geschlechter in zwei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich bei den männlichen Probanden vom 7. bis zum 17. , der zweite bis zum 27. Lebensjahr. Bei den Frauen erstreckt sich der erste Abschnitt vom 7. bis zum 15. und der zweite bis zum 28. Lebensjahr.

Ausgehend von ca. 30 mm im Alter von 7 Jahren lassen beide Kurven im ersten Abschnitt einen kontinuierlichen Anstieg erkennen. Dieser ist bei den weiblichen Probanden zwischen dem 11. und 15. Lebensjahr am steilsten und hat im Alter von 15 Jahren 9 mm Zuwachs erreicht. Der Kurvenverlauf schwächt sich im folgenden ab und endet in der letzten Messung mit rund 11 mm Zuwachs. Bei

den Männern erfolgt der stärkste Anstieg zwischen 13 und 17 Jahren. Es werden mit 17 Jahren 13 mm und mit 27 Jahren 17 mm Streckenzuwachs gemessen.

Es spiegeln sich die geschlechtlichen Unterschiede in den Endlängen und den verschiedenen Phasen des stärksten Wachstums wider.

3.1.2 Strecke Basion – Dens axis superior (LFP 27 – LFP 33)

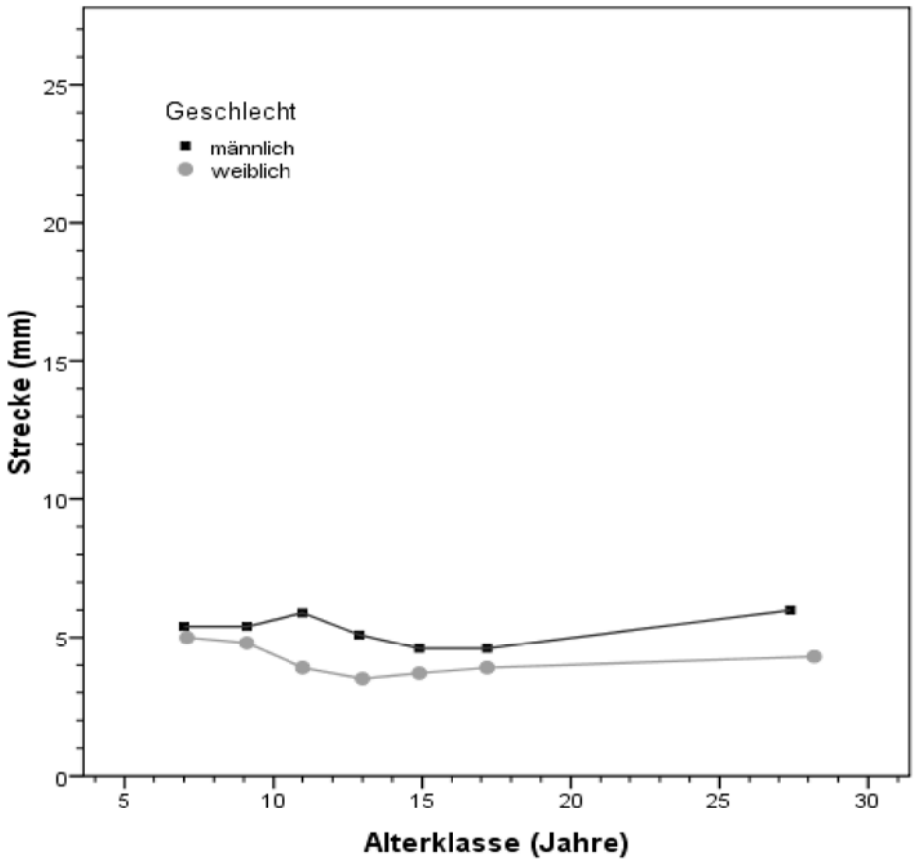

Abbildung 11: Strecke Basion - Dens axis superior

Die Kurve lässt sich für beide Geschlechter in zwei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich in etwa vom 7. bis zum 15. , der zweite bis zum 27. bzw. 28. Lebensjahr.

Ausgehend von ca. 5 mm im Alter von 7 Jahren lassen beide Kurven im ersten Abschnitt einen unregelmäßigen Abfall um 0,5 mm bis 1 mm erkennen. Dieser kehrt sich im zweiten Abschnitt zu einem leichten Anstieg um und endet in der letzten Messung in etwa bei dem Ursprungswert. Bei den Männern wird insgesamt eine Veränderung von ca.+ 0,5 mm gemessen, bei den Frauen von ca. -0,5 mm.

3.1.3 Strecke Basion – CIII anterior (LFP 27 – LFP 34)

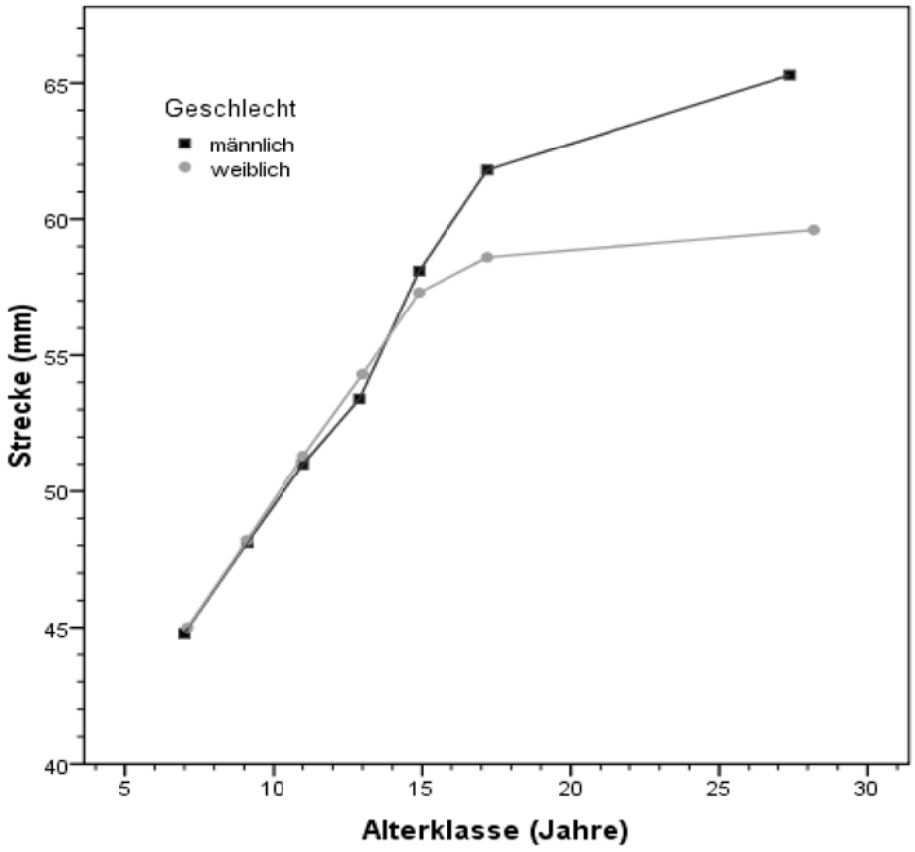

Abbildung 12: Strecke Basion - CIII anterior

Die Kurve lässt sich für beide Geschlechter in zwei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich vom 7. bis zum 17. , der zweite bis zum 27. bzw 28. Lebensjahr. Ausgehend von etwa 45 mm im Alter von 7 Jahren lassen beide Kurven einen kontinuierlichen Anstieg erkennen. Dieser ist bei den männlichen Probanden zwischen dem 13. und 15. Lebensjahr am steilsten und hat im Alter von 17 Jahren 17 mm, bei den weiblichen 13,6 mm Zuwachs erreicht. Der Kurvenverlauf schwächt sich im folgenden ab. Bei den Frauen werden mit 28 Jahren insgesamt 14,6 mm, bei den Männern bis 27 Jahre 20,5 mm Streckenzuwachs gemessen.

Es spiegeln sich die geschlechtlichen Unterschiede insbesondere in den Endlängen mit nahezu 6 mm Unterschied wider.

3.2 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Gonion-Intersection

3.2.1 Strecke Basion - Gonion-Intersection (LFP 27 – LFP 24)

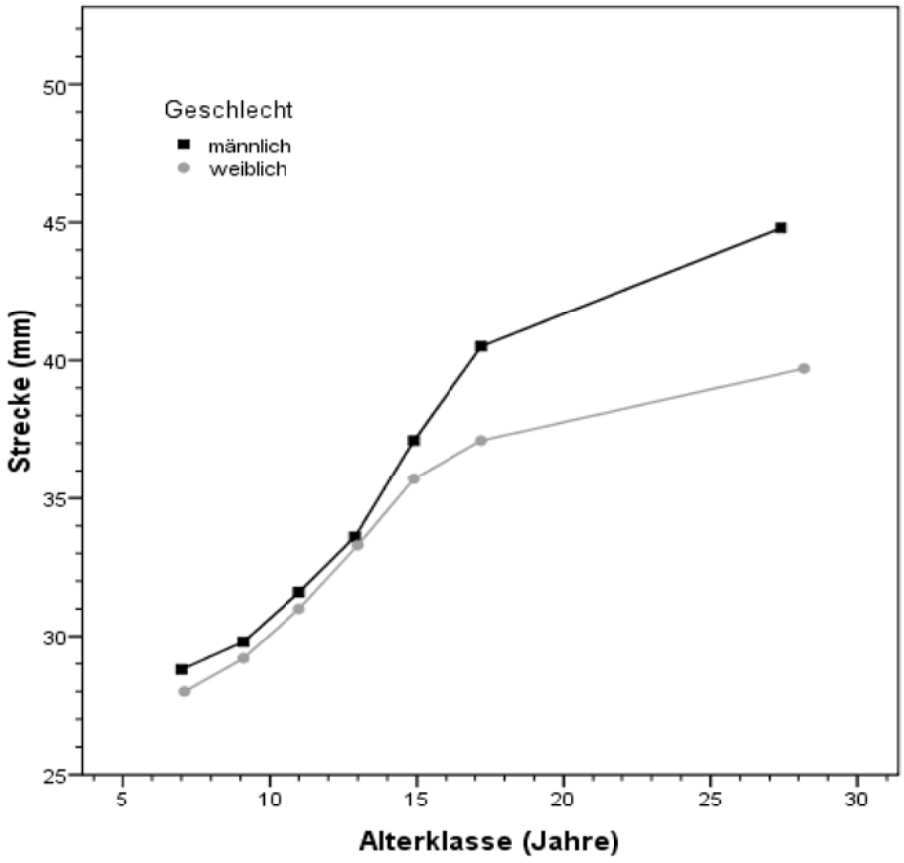

Abbildung 13: Strecke Basion - Gonion-Intersection

Die Kurve lässt sich für die Frauen in zwei, für die Männer in drei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich bei den männlichen Probanden vom 7. bis zum 13., der zweite bis zum 17. und der dritte bis zum 27. Lebensjahr. Bei den Frauen erstreckt sich der erste Abschnitt vom 7. bis zum 15. und der zweite bis zum 28. Lebensjahr.

Ausgehend von 28 mm (28,8 mm bei den Männern) im Alter von 7 Jahren lassen beide Kurven im ersten Abschnitt einen kontinuierlichen Anstieg erkennen. Dieser ist bei den weiblichen Probanden zwischen dem 11. und 15. Lebensjahr am steilsten und hat im Alter von 15 Jahren 7,7 mm Zuwachs

erreicht. Er wird im folgenden abgeschwächt und endet in der letzten Messung mit insgesamt 11,7 mm Zuwachs. Bei den Männern erfolgt der stärkste Anstieg zwischen 13 und 17 Jahren. Es werden mit 13 Jahren 4,8 mm, mit 17 Jahren 11,7 mm und mit 27 Jahren insgesamt 16 mm Zuwachs gemessen.

Es spiegeln sich die geschlechtlichen Unterschiede insbesondere in den Endlängen mit nahezu 6 mm Unterschied wider.

3.2.2 Projektion von Gonion-Intersection auf Dens axis:

Relation der Strecke Dens anterior (LFP 34) - Gonion-Intersection (LFP 24) zur Gesamtstrecke Dens axis

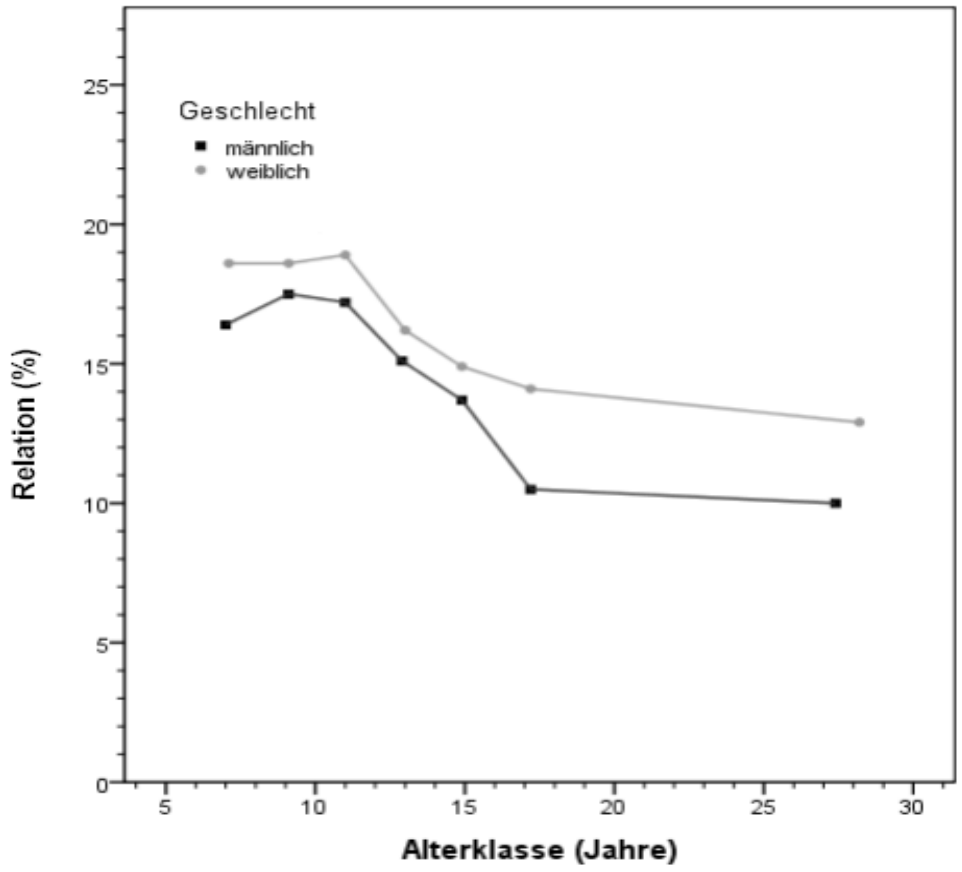

Abbildung 14: Verhältnis der Strecke GoI-Dens anterior zur Strecke Dens axis gesamt

Die Kurve lässt sich für beide Geschlechter in drei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich vom 7. bis zum 11. , der zweite bis zum 17. und der dritte bis zum 27. bzw.28. Lebensjahr.

In den ersten beiden Abschnitten verhalten sich die Kurven recht konstant zueinander. Im zweiten Teilstück erfolgt ein starker Abfall, der sich im dritten Abschnitt wieder deutlich reduziert.

Bei den Frauen erfolgt vom 7. bis zum 28. Lebensjahr insgesamt ein Abfall von etwa 5, bei den Männern von 7 Prozentpunkten.

3.2.3 Vertikaler Abstand zwischen Dens axis anterior (LFP 34) und Gonion-Intersection (LFP 24)

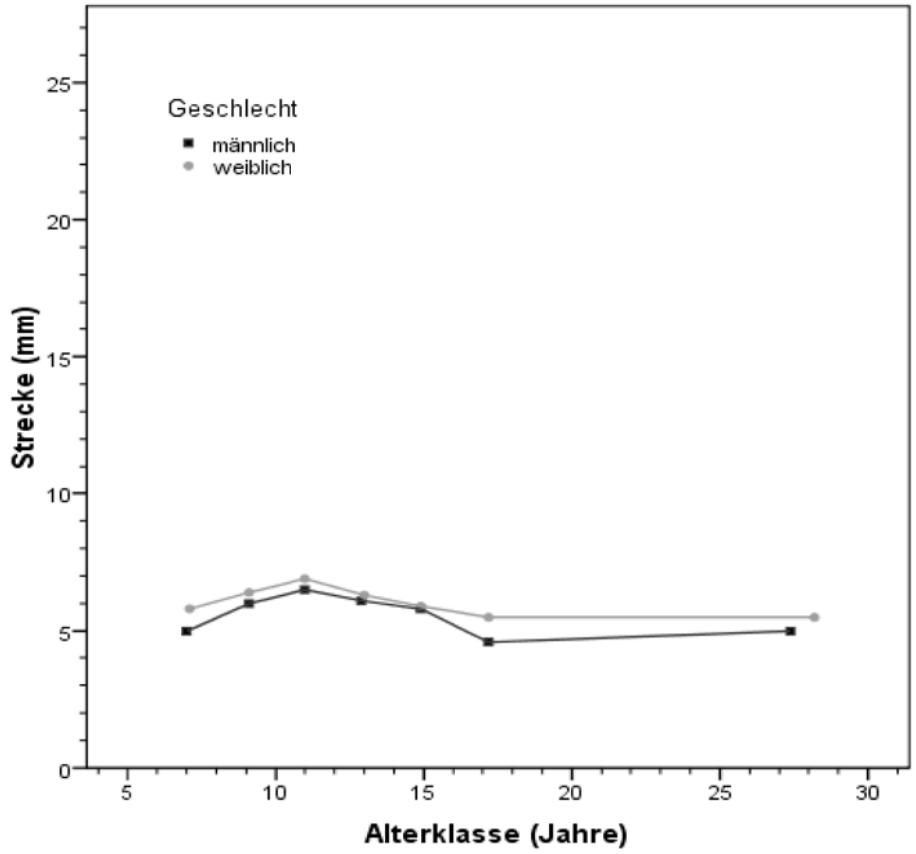

Abbildung 15: Vertikaler Abstand zwischen Dens axis anterior u.Gonion-Intersection (mm)

Die Kurve lässt sich für beide Geschlechter in zwei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich in etwa vom 7. bis zum 17. , der zweite bis zum 27. bzw. 28. Lebensjahr.

Ausgehend von ca. 6 mm für die weiblichen und 5 mm für die männlichen Probanden im Alter von 7 Jahren lassen beide Kurven im ersten Abschnitt einen unregelmäßigen Verlauf erkennen. Dieser stabilisiert sich im zweiten Abschnitt und endet in der letzten Messung etwa bei dem Ursprungswert. Sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern wird insgesamt eine Veränderung von ca. -0,5 mm gemessen.

3.2.4 Zuwachs der Strecken Basion-Dens axis anterior (LFP 27- LFP 34) und Basion- Gonion- Intersection (LFP 27- LFP 24)

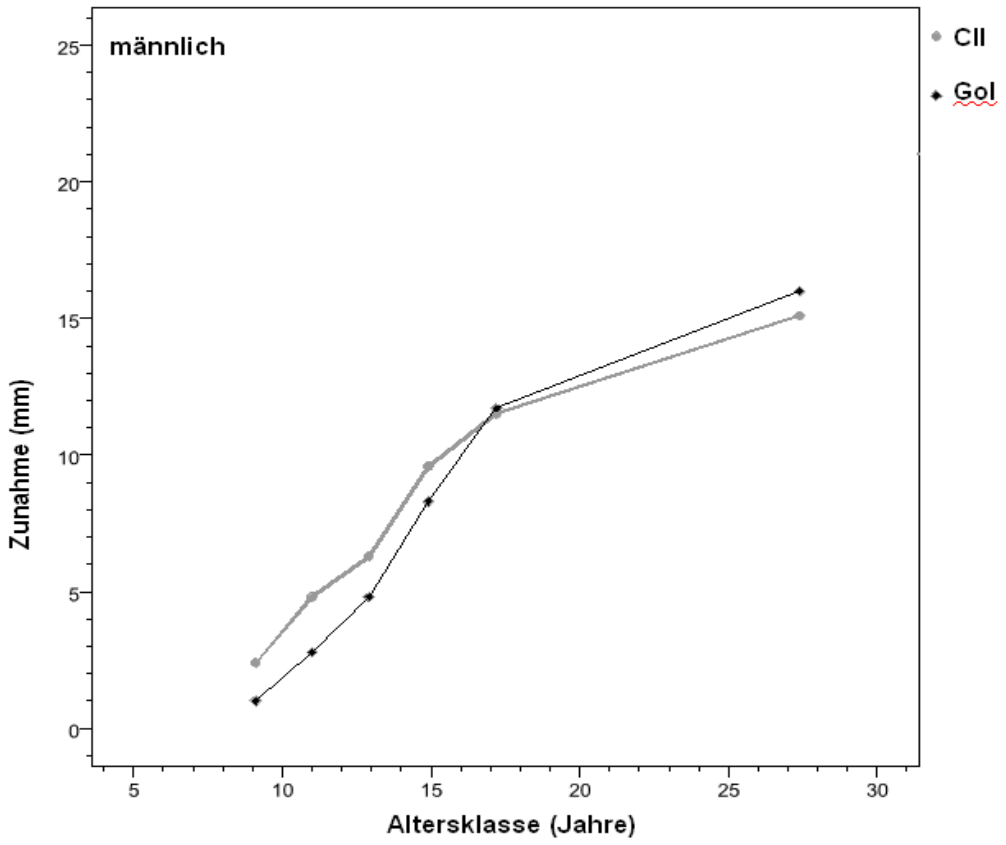

*Abbildung 16: Streckenzunahmen der **männlichen** Probanden: Basion - Dens axis anterior und Basion - Gonion-Intersection (mm)*

Die Kurven der **männlichen** Probanden für Dens axis anterior und Gonion-Intersection verlaufen ähnlich und lassen sich in zwei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich vom 7. bis zum 17., der zweite bis zum 27. Lebensjahr. Ausgehend von 1 mm für Gonion-Intersection und 2,5 mm für CII lassen sie einen unregelmäßigen Anstieg erkennen. Dieser ist zwischen dem 13. und 15. Lebensjahr in beiden Kurvenverläufen am steilsten und hat im Alter von 17 Jahren 11 mm Zuwachs für Gonion-Intersection und 9,5 mm für CII erreicht. Es werden mit 27 Jahren insgesamt für Gonion-Intersection 15 mm und für CII 11,5 mm Streckenzuwachs gemessen.

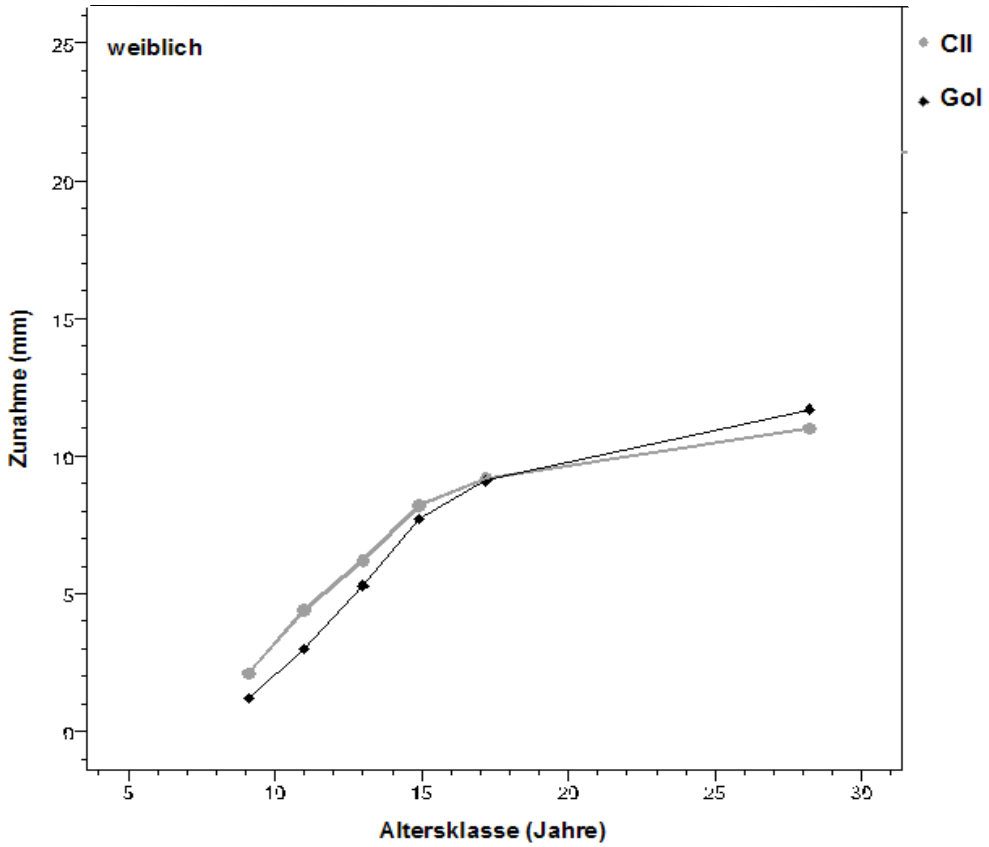

*Abbildung 17: Streckenzunahmen der **weiblichen** Probanden: Basion - Dens axis anterior und Basion - Gonion-Intersection (mm)*

Die Kurven der **weiblichen** Probanden für Dens axis anterior und Gonion-Intersection verlaufen annähernd identisch und lassen sich in zwei Unterabschnitte gliedern.

Der erste erstreckt sich vom 7. bis zum 17., der zweite bis zum 28. Lebensjahr. Ausgehend von 1 mm für Gonion-Intersection und 2 mm für CII lassen sie einen recht regelmäßigen Anstieg erkennen. Dieser ist zwischen dem 7. und 15. Lebensjahr in beiden Kurvenverläufen am steilsten und hat im Alter von 15 Jahren 6,5 mm für Gonion-Intersection und 6 mm Zuwachs für CII erreicht. Es werden mit 27 Jahren insgesamt für Gonion-Intersection 11 mm und für CII 9 mm Streckenzuwachs gemessen.

3.3 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Menton

3.3.1 Strecke Basion-Menton (LFP 27 – LFP 20)

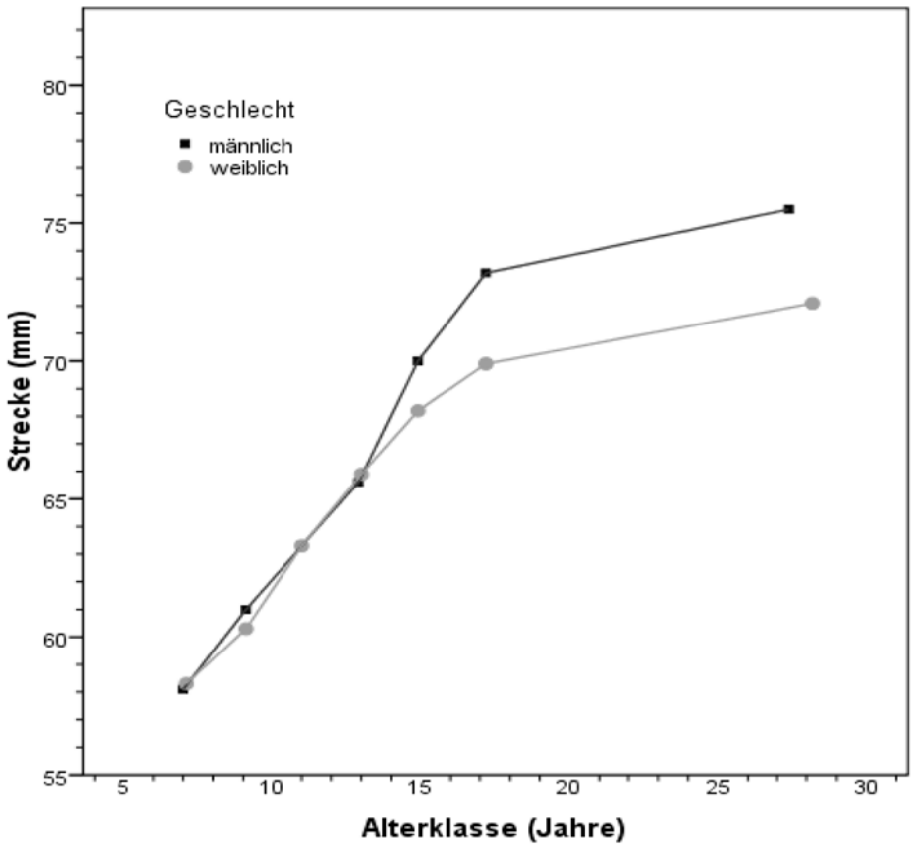

Abbildung 18: Strecke Basion – Menton

Die Kurve lässt sich für die Frauen in zwei, für die Männer in drei Unterabschnitte gliedern. Der erste erstreckt sich bei den männlichen Probanden vom 7. bis zum 15., der zweite bis zum 17. und der dritte bis zum 27. Lebensjahr. Bei den Frauen erstreckt sich der erste Abschnitt vom 7. bis zum 15. und der zweite bis zum 28. Lebensjahr.

Ausgehend von ca. 58 mm im Alter von 7 Jahren lassen beide Kurven einen kontinuierlichen Anstieg erkennen. Dieser ist bei den weiblichen Probanden zwischen dem 9. und 15. Lebensjahr am steilsten und hat im Alter von 15 Jahren ca. 10 mm Zuwachs erreicht. Er wird im folgenden abgeschwächt und

endet in der letzten Messung mit insgesamt ca. 14 mm Streckenzuwachs. Bei den Männern erfolgt der stärkste Anstieg zwischen 13 und 17 Jahren. Es werden mit 15 Jahren ca. 12 mm, mit 17 Jahren weitere 3 mm und mit 27 Jahren weitere 2,5 mm Streckenzuwachs gemessen.

3.3.2 Vertikaler Abstand zwischen Menton (LFP 20) und CIII anterior (LFP 35)

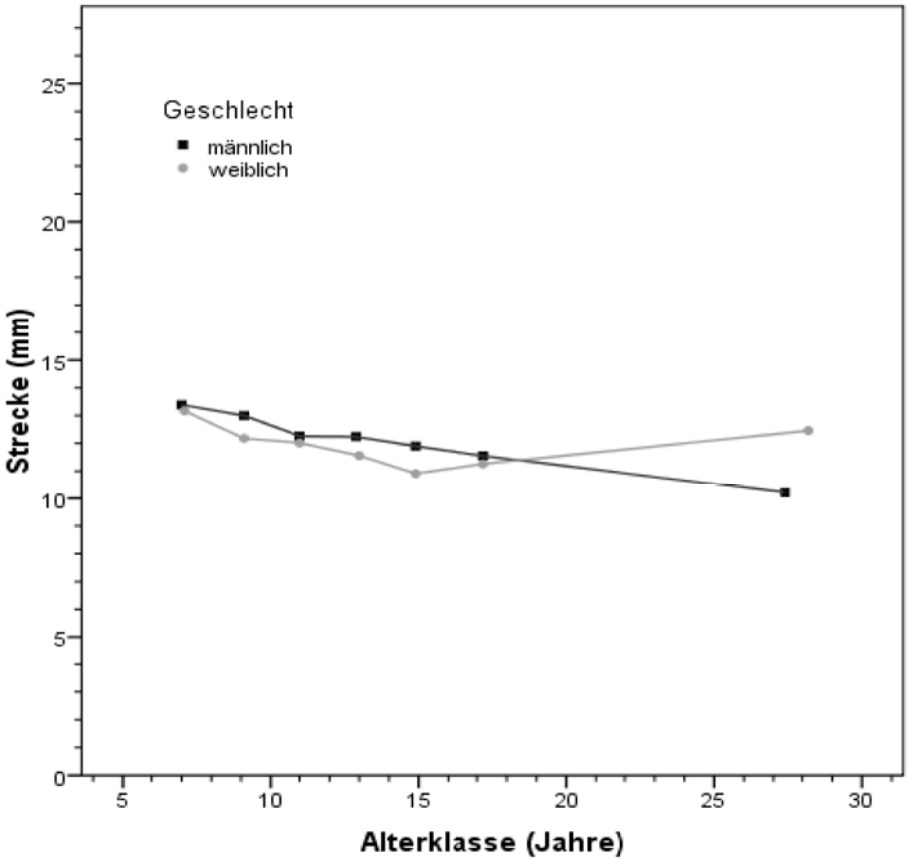

Abbildung 19: Vertikaler Abstand zwischen Menton und CIII anterior (mm)

Die Kurve lässt sich nur für die weiblichen Probanden in zwei, für die Männer in keine Unterabschnitte gliedern. Der erste Abschnitt der Frauen erstreckt sich in etwa vom 7. bis zum 15., der zweite bis zum 28. Lebensjahr.

Ausgehend von ca. 13 mm bei den weiblichen Probanden im Alter von 7 Jahren lässt der Kurvenverlauf im ersten Abschnitt Abfall auf rund 11 mm erkennen. Dieser kehrt sich im zweiten Abschnitt um und endet in der letzten Messung etwa bei dem Ursprungswert.

Die Kurve der männlichen Probanden lässt einen kontinuierlichen Abfall von 13,3 mm auf 10,2 mm erkennen.

3.3.3 Zuwachs der Strecken Basion-CIII anterior (LFP 27- LFP 35) und Basion-Menton (LFP 27 – LFP 20)

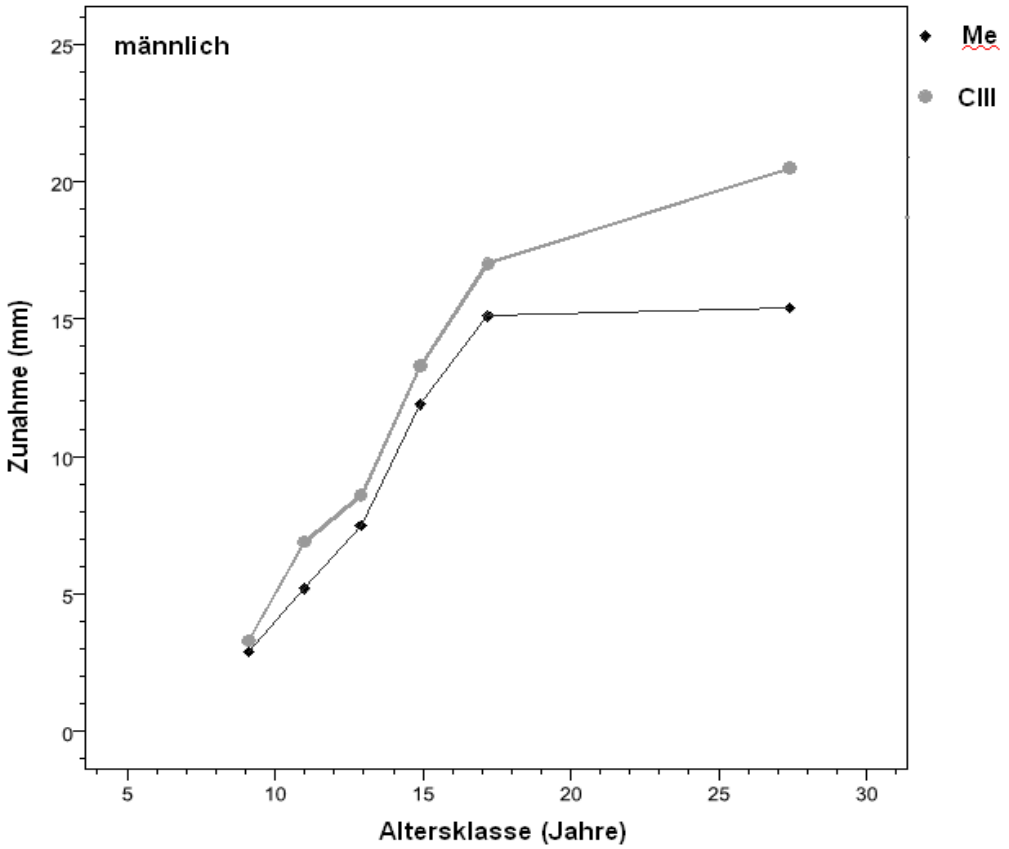

*Abbildung 20: Streckenzunahmen der **männlichen** Probanden: Basion - CIII und Basion - Menton (mm)*

Die Kurven der **männlichen** Probanden für CIII und Menton verlaufen ähnlich und lassen sich nicht in Unterabschnitte gliedern.

Ausgehend von 2,5 mm für Menton und 3 mm für CIII lassen sie einen unregelmäßigen Anstieg erkennen. Dieser ist zwischen dem 13. und 15. Lebensjahr in beiden Kurvenverläufen am steilsten und hat im Alter von 15 Jahren 9 mm Zuwachs für Menton und 10 mm für CIII erreicht. Es werden mit 27 Jahren für Menton insgesamt 12 mm und für CII 17,5 mm Streckenzuwachs gemessen.

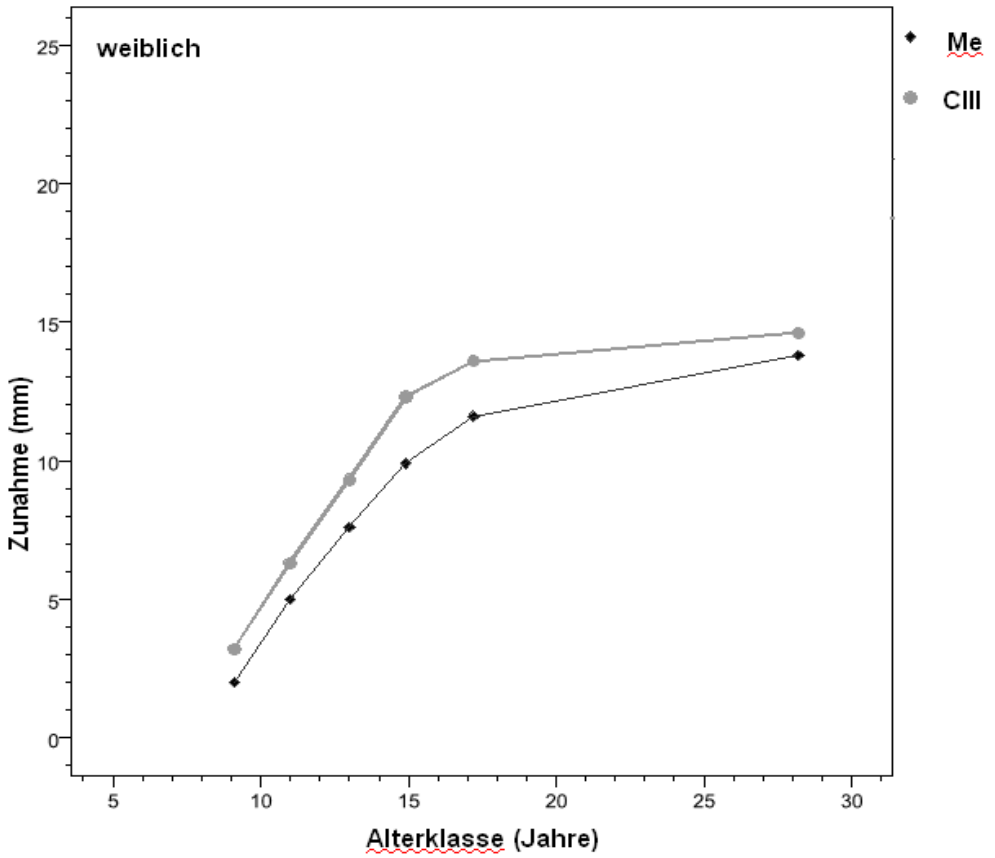

*Abbildung 21: Streckenzunahmen der **weiblichen** Probanden: Basion - CIII und Basion - Menton (mm)*

Die Kurven der **weiblichen** Probanden für CIII und Menton verlaufen annähernd identisch und sind in keine Unterabschnitte gliederbar.

Ausgehend von 1,5 mm für Menton und 3 mm für CIII lassen sie einen unregelmäßigen Anstieg erkennen. Dieser ist zwischen dem 11. und 15. Lebensjahr in beiden Kurvenverläufen am steilsten und hat im Alter von 15 Jahren 8 mm Zuwachs für Menton und 9 mm für CIII erreicht. Es werden mit 28 Jahren für Menton insgesamt 11,5 mm und für CII 11 mm Streckenzuwachs gemessen.

3.4 Graphische Darstellung der Mittelwerte gegen die Altersklasse - Spina nasalis anterior

3.4.1 Strecke Basion- Spina nasalis posterior (LFP 27 – LFP 30)

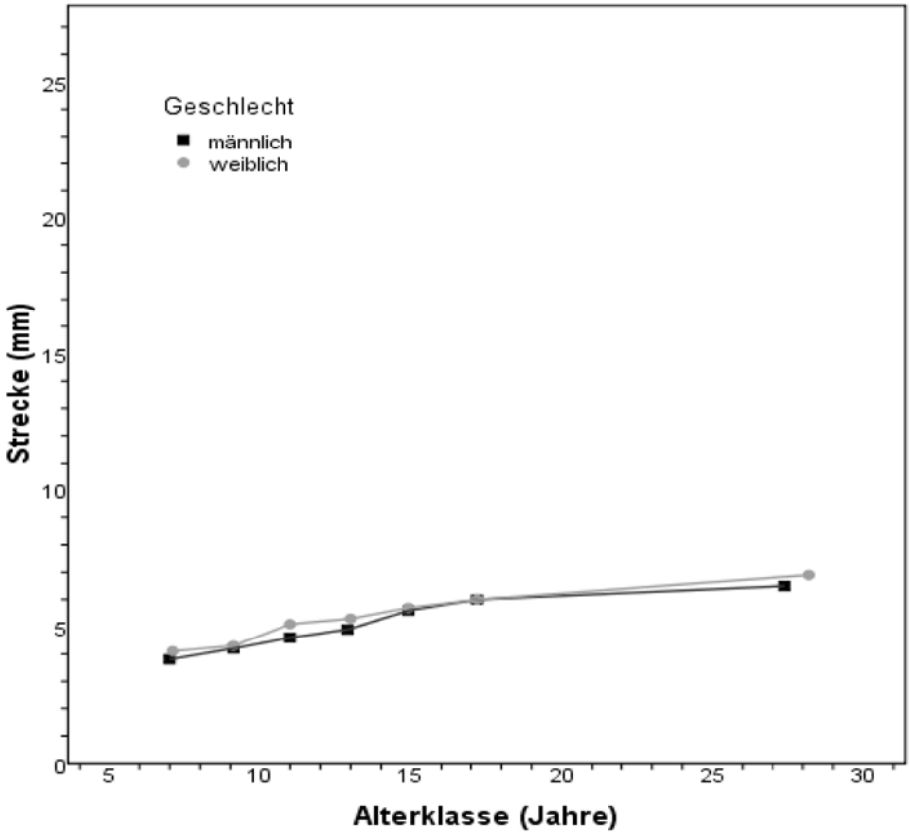

Abbildung 22: Strecke Basion - Spina nasalis posterior

Die Kurve lässt sich für beide Geschlechter nicht in Unterabschnitte gliedern. Ausgehend von 4,1 mm für die weiblichen und 3,8 mm für die männlichen Probanden im Alter von 7 Jahren lassen beide Kurven einen recht regelmäßigen Anstieg erkennen. Bis zum 27. bzw. 28. Lebensjahr werden jeweils rund 2 mm Streckenzuwachs gemessen.
Es spiegeln sich keine geschlechtlichen Unterschiede wider.

3.5 Ergebnisse der Korrelationsanalyse nach Pearson

Der lineare Zusammenhang zwischen den ermittelten Größen wurde mit der Korrelation nach Pearson untersucht.

Korrelationskoeffizienten größer 0,7 bzw. -0,7 wurden als stark, Koeffizienten zwischen 0,3 und -0,3 als schwach bezeichnet.

Tabelle 7:
Korrelationen bei den männlichen Probanden a) 6-12 b) 12-15 c) 15-32 Jahre

∟ = Winkel * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant

Starke Korrelationen sind fett gedruckt, schwache grau hinterlegt.

a)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A = Alter	-								
B = Overbite	0,47*	-							
C =∟ SN-MP	-0,23	-0,23*	-						
D = Ba-Snp	0,13*	0,04	0,04	-					
E = Ba-CII	0,50*	0,17*	-0,02	0,10	-				
F = Ba-Me	0,43*	0,00*	0,35*	0,53*	-0,31*	-			
G = Ba-Gol	0,31*	0,19*	-0,43*	0,56*	-0,30*	0,54*	-		
H = Ba-CIII	0,61*	0,26	-0,01*	0,17*	**0,90***	0,41*	0,36*	-	
I = Me-CIII	-0,13*	-0,00	0,43*	0,36*	-0,48*	0,60*	0,20*	-0,48*	-
Gol-CII	0,19*	0,04	0,32*	-0,32*	0,56*	-0,15*	-0,53*	0,52	-0,58*

b)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A = Alter	-								
B = Overbite	-0,01	-							
C =∟ SN-MP	-0,03	-0,16*	-						
D = Ba-Snp	0,07	0,02	0,01	-					
E = Ba-CII	0,35*	0,01	-0,07	0,06	-				
F = Ba-Me	0,34*	-0,25*	0,35*	0,55*	0,25*	-			
G = Ba-Gol	0,28*	0,01	-0,46*	0,60*	0,30*	0,48*	-		
H = Ba-CIII	0,40*	-0,01	-0,04	0,08	**0,91***	0,30*	0,34*	-	
I= Me-CIII	-0,04	-0,22*	0,35*	0,40*	-0,52*	0,63*	0,12*	-0,56*	-
Gol-CII	0,01	-0,04	0,19*	-0,40*	0,50*	-0,20*	-0,53*	0,48*	-0,57*

c)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A = Alter	-								
B = Overbite	0,10	-							
C = ∟ SN-MP	-0,16*	-0,21*	-						
D = Ba-Snp	0,13	-0,11	0,09	-					
E = Ba-CII	0,37*	0,16*	-0,19*	0,01	-				
F = Ba-Me	0,31*	-0,36*	0,49*	0,43*	0,10	-			
G = Ba-GoI	0,48*	-0,06	-0,56*	0,39*	0,33*	0,28*	-		
H = Ba-CIII	0,42*	0,12	-0,19*	0,01	**0,91***	0,18*	0,42*	-	
I= Me-CIII	-0,03	-0,39*	0,55*	0,37*	-0,56*	**0,73***	-0,05	-0,55*	-
GoI-CII	-0,06	0,05	0,11	-0,26*	0,30*	-0,18*	-0,45*	0,23*	-0,32*

Tabelle 8:
Korrelationen bei den weiblichen Probanden a) 6-12 b) 12-15 c) 15-32 Jahre

∟ = Winkel * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant

Starke Korrelationen sind fett gedruckt, schwache grau hinterlegt.

a)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A = Alter	-								
B = Overbite	0,52*	-							
C = ∟SN-MP	-0,08	-0,04	-						
D = Ba-Snp	0,16*	0,11	0,08	-					
E = Ba-CII	0,49*	0,23*	0,02	0,27*	-				
F = Ba-Me	0,45*	0,13*	0,35*	0,52*	0,45*	-			
G = Ba-GoI	0,38*	0,16*	-0,46*	0,48*	0,43*	0,49*	-		
H = Ba-CIII	0,61*	0,27*	-0,07	0,27*	**0,93***	0,48*	0,50*	-	
I = Me-CIII	-0,09*	-0,11	0,43*	0,30*	-0,38*	0,60*	0,06	-0,42*	-
GoI-CII	0,09*	0,04	0,41*	-0,22*	0,47*	-0,06	-0,53*	0,40*	-0,44*

b)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A = Alter	-								
B = Overbite	-0,03	-							
C =∟ SN-MP	-0,05	-0,03	-						
D = Ba-Snp	0,06	0,06	0,17*	-					
E = Ba-CII	0,26*	0,07	0,09	0,20*	-				
F = Ba-Me	0,21*	-0,27*	0,45*	0,64*	0,37*	-			
G = Ba-GoI	0,28*	-0,17*	-0,33*	0,56*	0,30*	0,51*	-		
H = Ba-CIII	0,34*	0,03	0,32	0,18*	**0,88***	0,38*	0,37*	-	
I = Me-CIII	-0,03	-0,30*	0,44*	0,53*	-0,24*	**0,76***	0,26*	-0,32*	-
GoI-CII	-0,08	0,13	0,28*	-0,44*	0,31*	-0,28*	**-0,72***	0,27*	-0,47*

c)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A = Alter	-								
B = Overbite	-0,07	-							
C = ∟ SN-MP	-0,02	-0,09	-						
D = Ba-Snp	0,13	0,16*	0,00	-					
E = Ba-CII	0,20*	-0,03	0,30*	0,16*	-				
F = Ba-Me	0,23*	-0,13	0,39*	0,54*	0,24*	-			
G = Ba-GoI	0,26*	-0,06	-0,54*	0,52*	-0,00	0,33*	-		
H = Ba-CIII	0,18*	0,11	-0,17*	0,16*	**0,90***	0,21*	0,07*	-	
I = Me-CIII	0,10	-0,19*	0,26*	0,40*	-0,32*	**0,80***	0,26*	-0,42*	-
GoI-CII	-0,02	0,03	0,47*	-0,38*	0,39*	-0,10	**-0,71***	0,37*	-0,32*

4. Diskussion

Die Untersuchungen ermöglichen Rückschlüsse über die vertikalen Lageverhältnisse zwischen dem Unterkiefer und der Halswirbelsäule. Die Beobachtungen werden nachfolgend analysiert und interpretiert.

4.1 Fehlerbestimmung

Wie in Abbildung 9 (Kapitel 2.5.8) zu erkennen ist, haben die in der Studie verwendeten Punkte ausnahmslos sehr kleine Fehlerellipsen, vor allem im Vergleich zu Spina nasalis anterior, Spheno-Ethmoidal-Sutur, Cerebrum anterior und Cerebrum posterior.
Besonders genau lassen sich die Punkte 34-37, die jeweils die vordere und hintere Begrenzung der Halswirbel Dens axis und C III beschreiben, reproduzieren. Bei Dens superior (33) und Basion (27) ist die Fehlerellipse etwas größer.

Die Problematik der inkonstanten Kopfhaltung trat in den Studien von King (1952) auch auf und führte ihm nach zu Unregelmäßigkeiten in seinen Messungen. Diese Fehlerquelle wurde in der vorliegenden Arbeit durch die Standardisierung des Winkels ß zwischen der Achse der Halswirbelsäule und der Frankfurter Horizontalen behoben (vgl. 2.4.1).

4.2 Das Wachstum der Halswirbelsäule

Die Messungen an Dens axis (vgl. Abb. 10, 11) und CIII (vgl. Abb. 12) geben Aufschluss über das Wachstum der Halswirbelsäule.

Die Entwicklung der männlichen und weiblichen Probanden verläuft bis zum Alter von etwa 13–15 Jahren nahezu identisch. In den folgenden Jahren treten deutliche geschlechtliche Unterschiede auf. Diese lassen sich im wesentlichen auf unterschiedliche Zeitpunkte des stärksten Wachstums und des Wachstumendes der weiblichen und männlichen Probanden zurückführen. Es resultieren für die weiblichen Studienteilnehmer deutlich kleinere Endwerte im Vergleich zu den der männlichen.

Dies entspricht der Entwicklung der Körpergröße (vgl. Abb. 23 und 24): Der Endwert der Frauen ist hierbei ebenso deutlich kleiner als der der Männer. Außerdem erfolgt das Abknicken der Wachstumskurve und die folgende Näherung an den Endwert im Vergleich bei Frauen zu einem früheren Zeitpunkt.

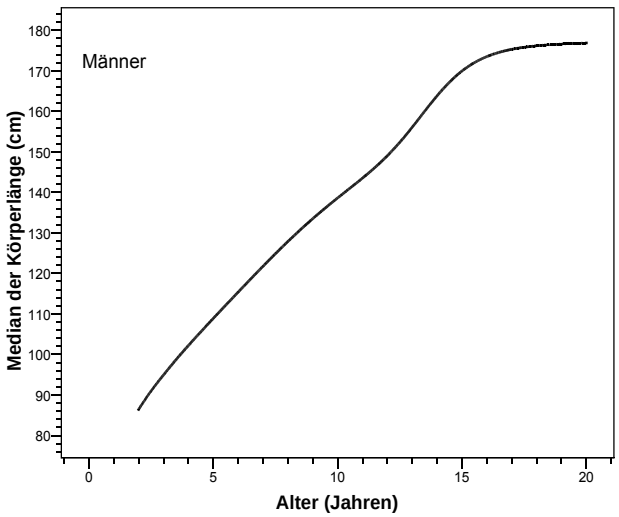

Abbildung 23: Median der Körpergröße für männliche US-Amerikaner (NCHS 2000, STATAGE)

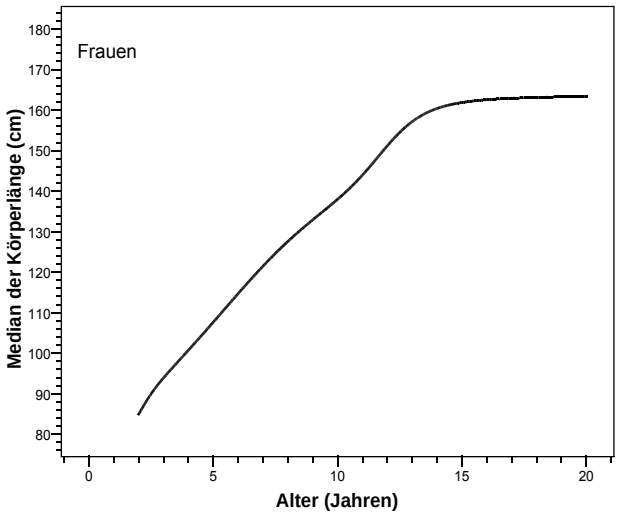

Abbildung 24: Median der Körpergröße für weibliche US-Amerikaner (NCHS 2000, STATAGE)

Die Wachstumsgeschwindigkeit unterliegt bei den männlichen Probanden etwa vom 13. bis zum 17. Lebensjahr einem Wachstumsspurt, während dies bei den weiblichen ca. vom 9. bis zum 13. Lebensjahr in etwas abgeschwächter Form zu beobachten ist (Cameron, 2006; Tanner 1989).
Dies entspricht den Studien von Hellsing (1991) und Björk (1972), die analoge geschlechtliche Divergenzen im skelettalen Wachstumsmuster beschreiben.
Ferner beobachtet Hellsing (1991), dass die Körpergröße von 8-, 11- und 15-jähringen Jungen sich nicht signifikant von der gleichaltriger Mädchen unterscheidet, während ausgewachsene Männer signifikant größer sind als Frauen. Zudem gibt es ihr nach keine signifikanten Unterschiede zwischen 15-jährigen Mädchen und ausgewachsenen Frauen.

Die unterschiedlichen Phasen des stärksten Körpergrößen-Wachstums lassen sich ebenfalls in der Entwicklung der HWS erkennen (vgl. Abb. 10, 12). Die vertikale Höhe der Halswirbel (hier C2) zeigt das gleiche Verhalten, d.h. der Wachstumsspurt wirkt sich auf die Halswirbel aus. Folglich ist ein direkter Zusammenhang zwischen dem Wachstum der Halswirbelsäule und dem allgemeinen Körperwachstum erkennbar.
Abb. 20 und 21 der vorliegenden Arbeit zeigen anhaltende Veränderungen der

vertikalen Distanz zwischen Basion und CIII sowohl für die weiblichen als auch für die männlichen Probanden.
Dies bestätigt die Studien von Israel (1973) und Behrents (1985), denen zufolge ein anhaltendes geringes Wachstum von CIII bei Frauen im Erwachsenenalter stattfindet. Es muss allerdings beachtet werden, dass der Verlauf der Kurven im Bereich der Altersklassen 17,2 und 27,4 bzw. 28,2 linear interpoliert ist und die Aussagekraft des entsprechenden Abschnitts relativiert werden muss.

Die Wirbelkörper gewinnen während des Wachstums proportional an Höhe und verändern hierdurch die Relation ihrer Höhe zu der Höhe der Bandscheiben (Hellsing, 1991).
Neben dem vertikalen Wachstum der Wirbelkörper selbst müssen Veränderungen der Bandscheiben als mögliche Einflussquelle auf die Länge der HWS und die Körpergröße in der vertikalen Ebene in Betracht gezogen werden.

4.3 Die vertikale Lage der Mandibula in Relation zur Halswirbelsäule

Anatomische Zusammenhänge zwischen dem Untergesicht und der oberen Halswirbelsäule beschreiben Feder (1995), Alp (1997) und Dibbets et al. (1998).
Eine funktionelle Verbindung zwischen der oberen HWS und der Position des Kinns zeigt nach Alp und Dibbets die Projektion von Menton auf die HWS: Liegt ein tiefer Biss vor, projeziert sich Menton auf die obere Hälfte des vierten Halswirbels. Beim offenen Biss hingegen findet sich die Projektion auf der unteren Hälfte des vierten Halswirbels. Zudem ist die HWS beim Auftreten eines offenen Bisses länger als beim Auftreten eines tiefen Bisses.
Feder und Dibbets beschäftigten sich u.a. mit der Projektion von Gonion auf die HWS, die sich ihnen zufolge im letzten Drittel von CII bzw. im mittleren Abstand von 27 mm zu Dens superior findet.
Analoge Zusammenhänge zwischen der oberen HWS und der Mandibula, die insbesondere während der Pubertät stark korrelieren, beschreibt später Karlsen (2004). Auch er weist auf eine sehr konstante vertikale Distanz zwischen Gonion und CII hin.

Nach den Untersuchungen von Björk und Helm (1967) stimmen die Wachstumsgipfel von Körpergröße und Gesicht überein. In der vorliegenden Arbeit lässt sich diese Beobachtung in Bezug auf die vertikale Entwicklung von Mandibula und HWS bestätigen.
Hunter (1966) beschreibt ebenfalls das Zusammentreffen vom maximalen Wachstum des Gesichts mit dem der Körpergröße. Im Gesichtswachstum stellt er analog das frühere Erreichen der Endgrößen bei den weiblichen Studienteilnehmern im Vergleich zu den männlichen fest: Bei letzteren hält das Gesichtswachstum nach vollendetem Körperwachstum in der dritten Lebensdekade weiter an, während es bei den Frauen etwa mit dem Körperwachstum in der späten zweiten Dekade endet. Die unterschiedlichen Zeitpunkte des beginnenden Wachstumsspurts erkennt Hunter bei Frauen im

Alter von durchschnittlich 10,4 Jahren und bei Männern von 12,8 Jahren. Die Dauer dieser Wachstumsphase weist hierbei keine geschlechtsspezifischen Unterschiede auf.

Die in der vorliegenden Arbeit projezierten Strecken Ba-Gol (vgl. Abb. 13) und Ba-Me (vgl. Abb.18) geben Auskunft über die vertikale Lage der Mandibula. Sie weisen klare Parallelen zu den Strecken auf, die das Wachstum der Halswirbelsäule verdeutlichen (vgl. Abb. 10-12), und somit auch zur Entwicklung der allgemeinen Körperlänge.
Zudem sind deutliche Analogien zu Hunters Ergebnissen erkennbar.
In den dargestellten Kurven (vgl. Abb. 13, 18) finden sich ebenfalls die geschlechtsspezifisch unterschiedlichen Endlängen und die verschiedenen Zeitpunkte des Wachstumsspurts.

Der Ramus mandibulae verkörpert die Verbindung von Corpus mandibulae und der Schädelbasis und ist essentiell an der vertikalen als auch an der horizontalen Entwicklung des Unterkiefers beteiligt. Er wächst vorwiegend in Form von Remodeling und Relocation, aber auch durch enchondrales Wachstum am Knorpel des Kieferköpfchens, nach kranial und posterior. Dies wird aber durch eine Verlagerung (Displacement) in die entgegengesetzte Richtung kompensiert (Enlow und Hunter, 1968).
Das vertikale Wachstum im anterioren Bereich des Corpus mandibulae beruht auf Remodeling-Prozessen des Alveolarkamms als Folge der vertikalen Zahndrift. Während des Wachstums der Mandibula kommt es durch Deposition am posterioren Rand des Ramus zu einer Verlängerung in der Horizontalen. Gleichzeitig findet eine Resorption am anterioren Rand des Ramus statt, wobei der Knochen bis auf die Höhe des oberen Randes des Alveolarkamms abgebaut wird. Mit dem horizontalen Wachstum entsteht aus dem teilweise abgebauten Ramus der Anteil des Corpus mandibulae, der für die neu hinzukommenden Zähne beim Übergang zur bleibenden Dentition nötig ist (Enlow 1975).

Einen Zusammenhang zwischen Halswirbelsäule und mandibulären Wachstumsveränderungen beschreiben O'Reilly und Yanniello (1988). Sie untersuchten die Länge des Corpus und die Höhe des Ramus mandibulae während der Pubertät mit Bezug auf die Reifungsgrade der Halswirbelsäule.
Die Form der Wirbelkörper wurde von ihnen entsprechend den von Lamparski (1972, 2002) aufgestellten Stadieneinteilung beurteilt.
Die für die vorliegende Studie interessanten Ergebnisse betreffen die Höhe des Ramus, da sie in der vertikalen Ebene wirksam sind. O'Reilly und Yanniello benennen die sechs Stadien, in denen der Ramus signifikant an Länge zunimmt. Die Stadien zeichnen sich durch den Formwandel der Wirbelkörper aus, die zunächst eine sich von distal nach mesial stark verjüngende Form und flache Untergrenzen zeigen. Beginnend mit Dens axis im zweiten Stadium und in den folgenden Stadien sukzessive nach kaudal fortschreitend weicht diese Form einer rechtwinkligen mit konkaven Untergrenzen. Die Wachstumsrate der Ramuslänge ist hierbei zwischen dem dritten und vierten Stadium am höchsten.

Knitschke (2005) beschreibt die Entwicklung des Ramus in zwei Phasen. Ihm nach erfolgt initial ein sagittal orientiertes Wachstum, das sich in etwa nach dem 12. Lebensjahr stärker in die vertikale Ebene ausrichtet. Dabei sind nach Knitschke im Alter von 7 Jahren über 50% des sagittalen und vertikalen Wachstums abgeschlossen.
Ferner weist er auf mögliche funktionelle Einflüsse hin, die Resorptionvorgänge am kaudalen Mandibularand auslösen und somit das kranial gerichtete kondyläre Wachstum maskieren können.

Das vertikale Wachstumsverhalten des Ramus ist maßgeblich für die Position des Punktes Gonion-Intersection am Kieferwinkel. Da Gonion-Intersection im Übergangsbereich zwischen Ramus und Corpus liegt, unterliegt der Punkt unmittelbar den vertikalen Wachstumsbewegungen des Ramus.
Kieferwinkel (Bezugspunkt Gonion-Intersection) und Dens axis (Bezugspunkt Dens axis anterior) zeigen eine annähernd synchrone vertikale Entwicklung (vgl. Abb. 16, 17). Den durchgeführten Messungen zufolge liegen also

Counterpart-Beziehungen, wie Enlow sie für das Schädelwachstum beschreibt (siehe Einleitung), auch zwischen Halswirbelsäule und Unterkiefer vor. Dies wird durch die konstanten vertikalen Lageverhältnisse zwischen Dens axis anterior und Gonion-Intersection während des Wachstums bestätigt (vgl. Abb. 15): Der vertikale Abstand zwischen Kieferwinkel und Dens axis anterior verringert sich im Verlauf des Wachstums insgesamt lediglich um 2 mm bei den Männern bzw. 3 mm bei den Frauen. Wie geringfügig diese Veränderung tatsächlich ist, wird deutlich, wenn man dies mit der Entwicklung des Abstandes zwischen Kieferwinkel und Basion vergleicht (s. Abb. 13). Die Distanz vergrößert sich um 11,7 mm bei den weiblichen und um 16 mm bei den männlichen Probanden.

Neben den Wachstumsvorgängen des Ramus unterliegt der in den Messungen verwendete Punkt Menton nur vernachlässigbar den Einflüssen der beschriebenen Entwicklung des Corpus. Durch seine Lokalisation an der Unterseite des Corpus mandibulae bleibt er von den ohnehin sehr geringen und hauptsächlich an der kranialen Oberfläche stattfindenden Wachstums-vorgängen der Symphysenregion nahezu unberührt.
Zwischen dem Kinn und dem dritten Halswirbel lassen sich analog zu Kieferwinkel und Dens axis Counterpart-Beziehungen feststellen. Die Abbildungen 18 , 20 und 21 zeigen die synchrone vertikale Entwicklung von Menton und CIII anterior. In Abbildung 19 ist die vertikale Distanz der beiden Punkte dargestellt. Sie verringert sich bei den Frauen um 0,5 mm und bei den Männern um etwa 3 mm. Wieder kann der Vergleich des vertikalen Abstands zwischen Basion und Menton die konstanten Verhältnisse von HWS und Mandibula bestätigen: Hier ändert sich die Distanz um 14 mm bei den Frauen und um 17 mm bei den Männern (vgl. Abb. 18).

Es stellt sich die Frage, woher diese Counterpart-Beziehungen zwischen Mandibula und HWS rühren. Eine plausible Erklärung für das synchrone Wachstumsverhalten liefert das Vorliegen optimaler Lagebeziehungen zwischen den beiden Strukturen als Voraussetzung für intakte Vitalfunktionen

(vgl. Einfühung).
Der Pharynx übernimmt hierbei eine Schlüsselfunktion:
Er erstreckt sich von der hinteren Schädelbasis bis zum Cartilago cricoideus des Larynx anterior bzw. zum sechsten Halswirbelkörper posterior. Der Pharynx ist durch die Raphe pterygomandibularis unmittelbar mit dem Schädel und gleichermaßen durch Bindegewebe mit der HWS verbunden. Eine konstante Anatomie des pharyngealen Raumes als Grundlage intakter Vitalfunktionen wie Schlucken und Atmen ist somit seinerseits abhängig von konstanten Lagebeziehungen der unterschiedlichen Nachbarstrukturen. Als solche sind neben HWS und Mandibula Larynx, Hyoid und die suprahyoidale Muskulatur zu nennen (King 1952).

Es zeigt sich, ausgehend von Basion, ein etwas stärkeres vertikales Wachstum von Menton verglichen mit dem von Gonion-Intersection (vgl. Abb. 13,18). Die Differenz zwischen den vertikalen Veränderungen von Menton und Gonion-Intersection liegt zwischen 1,5 und 2 mm.

Die Beobachtung bestätigt ein Studienergebnis von Dibbets et al. (1998), dass sich durch Abwärts-Rotation des Corpus mandibulae im Antegonial Notch das Kinn tiefer verlagert, während sich die vertikale Lage des Gonionwinkels kaum verändert.

Die geschlechtlichen Dimensionsunterschiede sind nicht nur für das Längenwachstum, sondern auch für die Entwicklung des Gesichtsschädels bekannt. Sie liegen für den Großteil der anatomischen Strukturen des Gesichtsschädels in einer Größenordnung von 8% (Hunter und Garn 1972).
Entsprechendes ist in den gemessenen Strecken der Mandibula wieder zu finden. Die Strecke Ba-Gol ist bei den männlichen Probanden in der Endlänge rund 11%, die Strecke Ba-Me etwa 4% größer als bei den weiblichen Studienteilnehmern.

4.4 Die vertikale Lage des harten Gaumens in Relation zur Halswirbelsäule

Schon Merkel (1890) stellte konstante Lageverhältnisse in Schädelbereichen, die dem Os palatinum benachbart sind, fest.
Zum gleichen Ergebnis kommt eine aktuelle Studie von Buchwald (2008).

Diese Studie zeigt entsprechend, dass die vertikale Lageveränderung der Spina nasalis posterior zu Basion gering ist (vgl. Abb.22). Während des gesamten dargestellten Wachstums ändert sich die Distanz nur um 2,7 mm bei den männlichen und um 2,8 mm bei den weiblichen Probanden.
Es sind weder geschlechtliche Unterschiede, noch präpubertäre Wachstumsspurts deutlich im Kurvenverlauf erkennbar.
Die geringen Werte könnten einerseits daraus resultieren, dass die Spina nasalis posterior während des Wachstums tatsächlich kaum vertikale Veränderungen erfährt. Da sie Teil der Maxilla ist, welche deutlichen vertikalen Lageveränderungen bezüglich der vorderen Schädelbasis unterliegt (siehe Einleitung), ist dies aber nicht denkbar.
Eine andere Erklärung wäre, dass auch der Referenzpunkt Basion in Relation zur vorderen Schädelbasis einer ähnlichen vertikalen Bewegung unterliegt. Diese muss den Ergebnissen zufolge der von Spina nasalis posterior nahezu synchron sein, was die konstant kleine vertikale Differenz zwischen den beiden Punkten erklären würde. Demnach sind Spina nasalis posterior und Basion als weiteres Counterpart-Paar zu nennen.

Das analoge vertikale Wachstumsverhalten der beiden sich auf zwei unterschiedlichen Knochen (Maxilla und Os occipitale) befindlichen Punkte resultiert daraus, dass sich die entsprechenden Knochen in Abhängigkeit voneinander entwickeln. Sie wachsen miteinander.
Der Clivus und der Hinterrand der Maxilla nehmen im ähnlichen Zeitraum und ebenso im ähnlichen Ausmaß an Länge zu (Broseghini 2004).
Das Clivuswachstum bestimmt die vertikale Position von Basion. Das vertikale

Wachstum der Maxilla bestimmt entsprechend neben den kaudalen Remodelingsprozessen am harten Gaumen die Lage der Spina nasalis posterior (Enlow 1975). Diese Vorgänge sind optimal aufeinander abgestimmt und verantwortlich für die konstanten Lageverhältnisse zwischen Basion und Spina nasalis posterior.

In Abbildung 22 kommt zum Ausdruck, wie nahezu identisch sich die Entwicklung der vertikalen Distanz bei Männern und Frauen verhält.

Zudem sind die vertikalen Lageverhältnisse von Basion und Dens axis superior sehr konstant (vgl. Abb.11).

4.5 Korrelationen

Karlsen (2004) erkennt eine schwache Korrelation zwischen den vertikalen Entwicklungen von Halswirbelsäule und Gesicht im Alter von 6 – 12 Jahren und starke Korrelationen zwischen 12 und 15 Jahren. Entsprechendes berichtet Bench (1963), der sich dabei auf Vorschulkinder und Jugendliche bezieht.
Karlsen begründet diese Beobachtung in einer fehlenden Koordination zwischen HWS und Gesichtsentwicklung bis etwa zum 12. Lebensjahr. Durch eine Matrixrotation wird diese ihm nach im Folgenden ausgeglichen. Karlsen beschreibt dies als einen kompensierenden Mechanismus, der die Entwicklung der stomatognathen Funktionen fördert.

In dieser Arbeit können folgende Korrelationsbeziehungen festgehalten werden (vgl. Tab. 7, 8):
Starke Korrelationen finden sich für die männlichen und weiblichen Probanden in der Altersgruppe 6-12 Jahre nur zwischen den Strecken Ba-CII und Ba-CIII. In der Altersgruppe von 12-15 Jahren trifft dies für die weiblichen Probanden zusätzlich für die Strecken Ba-Me und Me-CIII wie auch Ba-GoI und GoI-CII zu, während bei den männlichen Probanden derselben Altersgruppe wie zuvor nur die Strecken Ba-CII und Ba-CIII stark miteinander korrelieren. In der Gruppe 15-32 Jahre korrelieren auch bei den Männern die Strecken Ba-GoI und GoI-CII stark miteinander, bei den Frauen verhält es sich in dieser Altersgruppe wie in der vorherigen.
Bis zum Alter von 12 Jahren weisen lediglich die Strecken, die sich allein auf die Halswirbelsäule beziehen, Zusammenhänge auf. Im Folgenden entwickeln sich Korrelationen zwischen den gemessenen Strecken, die das vertikale Wachstum von Kinn (Referenzpunkt Menton) bzw. Kieferwinkel (Referenzpunkt Gonion-Intersection) und die vertikalen Abstände der Referenzpunkte zu den Halswirbeln verdeutlichen.
Dies ist bei den weiblichen Probanden früher als bei den männlichen zu beobachten, was durch den früheren Wachstumsspurt erklärbar ist.
Die Beobachtungen von Karlsen und Bench können also, was Halswirbelsäule

und Unterkiefer betrifft, bestätigt werden. Außerdem bekräftigen die genannten starken Korrelationen die These, dass Counterpart-Beziehungen zwischen Menton und CIII bzw. Gonion-Intersection und CII vorliegen.

Weiter ist zu beobachten, dass der Overbite schwach mit allen übrigen Größen korreliert.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die vertikale Lage des Unterkiefers in Bezug auf die Halswirbelsäule während des Wachstums untersucht.

Die Studie wurde anhand der Datensätze von insgesamt 1538 Fernröntgenseitenbildern von 232 Probanden durchgeführt. Die longitudinalen Daten stammen aus zwei unterschiedlichen Projekten der Universität Groningen / Niederlande und wurden zwischen dem 6. und 30. Lebensjahr der Studienteilnehmer erfasst.
Zur Klärung der Fragestellung wurden nach der Standardisierung der Kopfhaltung definierte Strecken der Röntgenbilder berechnet und ausgewertet.
Nach der geschlechtsspezifischen Einteilung wurden sieben Altersklassen erstellt, denen die gemessenen Strecken zugeordnet wurden.
Die statistische Auswertung erfolgte durch die Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung, Anzahl der gültigen Fälle und Korrelationen zwischen den Variablen. Es wurden grafische Darstellungen zur Veranschaulichung der Ergebnisse angefertigt.

Die Untersuchung führt zu folgenden Ergebnissen:

1. In der vertikalen Lageveränderung während des Wachstums zeigen sich, ausgehend von Basion, zwischen Menton und Gonion-Intersection kaum Unterschiede. Menton weist mit um 14 mm zunehmender Distanz bei den weiblichen und 17 mm bei den männlichen Probanden im Vergleich zu Gonion-Intersection mit 12 bzw. 16 mm eine etwas größere Veränderung auf.

2. Es finden sich sehr konstante vertikale Lageverhältnisse zwischen Unterkiefer und Halswirbelsäule während des Wachstums. Gonion-

Intersection und Menton zeigen in Bezug zu den Halswirbeln eine geringfügige Verlagerung nach kaudal. Bei Gonion-Intersection misst diese etwa 2,5 mm und bei Menton 2 mm.

3. Die Messungen an der Spina nasalis posterior weichen deutlich von den übrigen ab. Die vertikale Entwicklung der Spina nasalis posterior korreliert nicht mit der der Halswirbelsäule oder der Mandibula. Vielmehr ist eine deutliche Konstanz der vertikalen Lageverhältnisse zwischen Spina nasalis posterior und Basion zu beobachten.

4. Es lassen sich anhand der Untersuchung Zusammenhänge zwischen Mandibula und Halswirbelsäule im Wachstum beobachten, die dem von Enlow (1982) beschriebenen Counterpart-Prinzip entsprechen:
Der Kieferwinkel (Bezugspunkt Gonion-Intersection) weist eine recht synchrone vertikale Bewegung mit der von Dens axis auf. Analoges gilt für das Kinn (Bezugspunkt Menton) mit CIII.
Zudem ist eine sehr ähnliche vertikale Lageveränderung von Spina nasalis posterior und Basion erkennbar.

5. Die geschlechtlichen Unterschiede zeigen sich gleichermaßen im vertikalen Wachstum der Halswirbel und dem der Mandibula. Bei den männlichen Probanden dauert das Wachstum länger an und weist einen ausgeprägteren und späteren Wachstumsspurt gegenüber den weiblichen Studienteilnehmern auf. Es resultieren deutlich größere Endlängen bei den männlichen Probanden.

6. Summary

The vertical position of the mandible in relation to the cervical spine during growth was analysed by means of 1538 records of lateral headfilms of 232 individuals between the ages of 6 to 30 years. These longitudinal data stem from two different projects at the University of Groningen / the Netherlands.

Distances were mesured and evaluated on the roentgenograms after standardizing the head position.

After grading the measured streches due to sexes, seven age groups were created and streches were assigned.

The distances were analysed statistically. Mean values, standard deviation and number of valid cases were calculated as well as correlations coefficients. Diagrams were constructed to depict the results graphically.

As a result of this investigation the following conclusions were formulated:

1. The amount of vertical growth relative to Basion was nearly tidentical for Menton and Gonion-Intersection. Menton underwent a slightly larger change, 14 mm growth in females and 17 mm in males, compared to Gonion-Intersection with 12 respectively 16 mm.
2. The vertical position of the mandible relative to the cervical spine proved very satble during growth. Gonion-Intersection and Menton experienced a slight downward shift relative to the cervical spine, about 2,5 mm for Gonion-Intersection and 2 mm for Menton).
3. The vertical position of the PNS, the posterior nasal spine, clearly was diffenrent from the other data. Vertical developement of the PNS did not correlate with that of the mandible nor with that of the cervical spine. Rather, a fairly constant relationship between PNS and Basion has been observed.
4. A relationship between the vertical growth of mandible and the cervical

spine was evident. This relationship fits the counterpart principle as described by Enlow (1982):

The mandibular angle (reference point Gonion-Intersection) showed a vertical development equal to Dens axis. The chin (reference point Menton) and Cervical vertebra III displayed an analog pattern.

Moreover a very similar vertical development of PNS and Basion existed.

5. The sexual differences were the same during development of the mandible and the cervical spine.

The growth period in boys lasted longer than growth period in girls. Furthermore, the growth spurt occured later and was stronger and the final height was larger in boys.

7. Literaturverzeichnis

Alp M 1997

Schädelmorphologie bei tiefem und offenem Biß unter besonderer Berückdichtigung der räumlichen Beziehung zwischen Mandibula und Halswirbelsäule
Dissertation, Philipps-Universität Marburg

Baume LJ 1961

Principles of Cephalofacial Developement Revealed by Experimental Biology
American Journal Orthodontist 47: 881-901

Behrents RG 1985

Growth in the ageing craniofacial skeleton
Craniofacial growth series, Monograph 17, Center for Human Growth and Developement, Michigan: University of Michigan, Ann arbor

Bench RW 1963

Growth of the cervical vertebrae as related to tongue, face and denture behaviour
American Journal Orthodontist 49: 183-214

Björk A 1955

Facial growth in man studied with the aid of metallic implants
Acta Odontologica Scandinavica 13: 9-34

Björk A 1972

Timing of interseptive orthodontic measures based on stages of maturation
Transactions, European Orthodontic Society 1972; 48: 61-74

Björk A, Helm S 1967

Prediction of the age of maximum pubertal growth in body height
Angle Orthodontist 37: 134-43

Broadbent BH 1931

A new X-ray technique and its applikation to orthodontia
Angle Orthodontist 1: 45-66 (1981 Nachdruck in Angle Orthodontist 51: 93-114)

Broadbent BH 1931

The face of the normal child
Angle Orthodontist 7: 183-208

Bronstein IN, Semendjajew KA 1991

Taschenbuch der Mathematik
B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart und Verlag Neuka, Moskau
- Skalarprodukt: 146
  - Drehung eines Koordinatensystems: 213
  -

Broseghini B 2004

Das Wachsum des Pharyngealraumes
Dissertation, Philipps-Universität Marburg

Buchwald B 2008

Verikale Höhe des Nasenbodens im Vergleich zu Basion
Dissertation, Philipps-Universität Marburg

Carlson DS 1998

Growth and modification: from molecules to mandibles
Craniofacial Growth Series 13, Ann Arbor: Center of Human Growth and Development, The University of Michigan: 17-61

Dibbets JMH 1968

personal communication

Dibbets JMH, Alp CM, Feder H-A 1998

Open Bite and deep Bite analysis: A new reference

European Journal of Orthodontics 19: 467

Enlow DH 1975

Handbook of Facial Growth
Saunders Company, Philadelphia: 48-57; 284-288

Enlow DH, Hunter WS 1968

The growth of the face in relation to the cranial base
Report of the congress, European Orthodontic Society 44: 321-335

Feder H 1995

Der Einbau des Unterkiefers zur Wirbelsäule bei offenen und tiefen Bissen
Dissertation, Philipps-Universität Marburg

Hellsing E 1991

Cervical vertebral dimensions in 8-, 11- and 15-year-old children
Acta Odontoloogica Scandinavica 49: 4, 207-213

Hofrath H 1931

Die Bedeutung von Röntgenfern- und Abstandaufnahmen für die Diagnostik der Kieferanomalien
Fortschritt Orthodontie 1: 230-259

Hunter CJ 1966

The correlations of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence
Angle Orthoddontist 36: 44-54

Hunter WS, Garn SM 1972

Disproportionate sexualdimorphism in the human face
American Journal of Physical Anthropology 36: 133-138

Israel H 1973

Progressive enlargement of the vertebral body as part of the process of human skeletal ageing
Age ageing 2: 71-79

Karlberg J 1987

On the modelling of human growth
Statistics in Medicine 6: 185-192

Karlsen AT 2004

Association between vertical development of the cervical spine and the face in subjects with varying vertical facial patterns
American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 125: 597-606

King EW 1952

A roentgenographic study of pharyngeal growth
Angle Orthodontist 22: 23-37

Knitschke HM 2005

Über das Wachstum der Mandibula
Dissertation, Philipps-Universität Marburg

Lamparski DG 1972

Skeletal age assessment utilizing cervical vertebra
Master of science thesis, University of Pittsburg, 1972

Merkel F 1890

Handbuch der topografischen Anatomie
F. Vieweg und Sohn, Braunschweig

Moss ML 1960

Functional analysis of human mandibular growth
Journal of Prosthetic Dentistry 10: 1149-1159

Nanda RS 1978

Craniofacial Growth
Contemporary Printing, Oklahoma: 108-115

NCHS (National Center for Health Statistics) 2000

Datensätze STATAGE
url: www.cdc.gov/nchs/about/major/grouchests/datafiles.htm

O'Reilly MT, Yanniello GJ 1988

Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae –
a longitudinal cephalometric study
The Angle Orthodontist 58: 179-184

Pauwels, F 1959

Die Struktur der Tangentialfaserschicht des Gelenkknorpels der Schulterpfanne als Beispiel für ein verkörpertes Spannungsfeld
Zeitung für Anatomische Entwicklungsgeschichte 121: 188-240

Penning 1978

Normal movements of the cervical spine
American Journal of Roentgenology 130: 317-326

Salagnac JM, Delaire J, Mercier J 1999

Développement vertical de la face et du rachis cervical
Revue de stomatotogie et de chirurgie maxillofaciale 100(1): 13-26

Symons 1951

The variations in form of the mandible
British dental Journal 94: 231-236

Tanner, JM 1989

Foetus into man
Physical growth from conception to maturity (Second edition)
Castlemead Publications: 1-280

Todd TW, Tracy B 1930

Racial features in the american negro cranium
American Journal of physical antropology 15: 53 -110

Verbeek HPJ 1988

Metingen op laterale schedelröntgenfotos een overzicht
University of Groningen, Netherlands, Groningen, 1-69

8. Anhang

	Männlich			*Weiblich*		
Altersklasse	**Strecke: Spina nasalis posterior – Basion auf der Referenzlinie (mm)**					
M / W	Anzahl	Mittelwert	S .D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0 7,1	119	3,8	2,3	98	4,1	2,2
9,1 9,1	141	4,2	2,2	122	4,3	2,3
11,0 11,0	126	4,6	2,7	135	5,1	2,4
12,9 13,0	145	4,9	2,5	125	5,3	2,9
14,9 14,9	122	5,6	2,7	120	5,7	2,9
17,2 17,2	100	6	2,7	95	6	2,9
27,4 28,2	50	6,5	2,6	40	6,9	3
Altersklasse	**Strecke: Gonion-Intersection – Basion auf der Referenzlinie (mm)**					
M / W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0 7,1	119	28,8	3,7	98	28	3
9,1 9,1	141	29,8	3,6	122	29,2	3,6
11,0 11,0	126	31,6	3,5	135	31	3,6
12,9 13,0	145	33,6	4,1	125	33,3	4,4
14,9 14,9	122	37,1	4,3	120	35,7	4,2
17,2 17,2	100	40,5	4,3	95	37,1	4,6
27,4 28,2	50	44,8	4	40	39,7	4,4
Altersklasse	**Strecke: Menton – Basion auf der Referenzlinie (mm)**					
M / W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0 7,1	119	58,1	4,4	98	58,3	3,9
9,1 9,1	141	61	4,2	122	60,3	4,5
11,0 11,0	126	63,3	4,4	135	63,3	4,5
12,9 13,0	145	65,6	4,4	125	65,9	5,6
14,9 14,9	122	70	5,1	120	68,2	5,3
17,2 17,2	100	73,2	5,8	95	69,9	5,5
27,4 28,2	50	75,5	5,5	40	72,1	4,5
Altersklasse	**Strecke: CIII anterior – Basion auf der Referenzlinie (mm)**					
M / W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0 7,1	119	44,8	3,6	98	45	3,1
9,1 9,1	141	48,1	3,7	122	48,2	3,7
11,0 11,0	126	51	3,6	135	51,3	3,6
12,9 13,0	145	53,4	4,1	125	54,3	3,8
14,9 14,9	122	58,1	4,8	120	57,3	3,7
17,2 17,2	100	61,8	4,3	95	58,6	3,1
27,4 28,2	50	65,3	3,9	40	59,6	3,7

Altersklasse		Strecke: CII anterior – Basion auf der Referenzlinie (mm)					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	32,7	3,4	98	32,9	3
9,1	9,1	141	34,9	3,3	122	34,8	3,4
11,0	11,0	126	37,1	3,4	135	37,1	3,1
12,9	13,0	145	38,4	3,6	125	38,6	3,2
14,9	14,9	122	41,7	3,9	120	40,6	3,1
17,2	17,2	100	43,5	3,6	95	41,7	3
27,4	28,2	50	46,6	3,3	40	42,6	3,2
Altersklasse		**Winkel: Mandibularlinie – Sella-Nasion-Ebene (in Grad)**					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	37,1	4,5	98	37,4	5
9,1	9,1	141	37,9	5	122	37,3	5,1
11,0	11,0	126	36,9	4,7	135	36,7	5
12,9	13,0	145	36,4	4,7	125	36,9	5,9
14,9	14,9	122	35,7	4,9	120	38	5
17,2	17,2	100	34,5	5,3	95	36,9	4,8
27,4	28,2	50	32,1	6	40	36	5,8
Altersklasse		**Strecke: Gesamtlänge Dens axis auf der Referenzlinie (mm)**					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	29,3	2,5	98	30,1	2,5
9,1	9,1	141	32,6	2,2	122	32,7	2,3
11,0	11,0	126	35	3,7	135	35,1	3,6
12,9	13,0	145	36,4	2,8	125	37,2	2,6
14,9	14,9	122	39,3	2,9	120	39,3	2,8
17,2	17,2	100	40,9	2,6	95	40,8	2,7
27,4	28,2	50	44,8	2,9	40	41,2	2,6
Altersklasse		**Strecke: Abstand Menton – CIII auf der Referenzlinie (mm)**					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	13,4	4,6	98	13,2	4,3
9,1	9,1	141	12,7	4,8	122	12,5	4,9
11,0	11,0	126	12,2	5	135	12,1	4,9
12,9	13,0	145	12,2	4,9	125	11,6	5
14,9	14,9	122	11,5	5,3	120	11,4	5,4
17,2	17,2	100	11,4	6,1	95	11,3	6
27,4	28,2	50	10,2	7,6	40	12,5	5,9
Altersklasse		**Strecke: Abstand Gonion-Intersection – CII auf der Referenzlinie (mm)**					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	5	3,6	98	5,6	3,6
9,1	9,1	141	5,8	3,7	122	5,9	3,8
11,0	11,0	126	6,1	4	135	6,2	3,9
12,9	13,0	145	6,1	4,4	125	5,8	3,9
14,9	14,9	122	5,8	4,1	120	5,8	4,3
17,2	17,2	100	5,1	4,3	95	5,2	4,2
27,4	28,2	50	5	4,7	40	5,6	4

Altersklasse		Strecke: Ba – CII superior auf der Referenzlinie (mm)					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	5,4	3,1	98	5	4,1
9,1	9,1	141	5,3	7,3	122	4,8	7
11,0	11,0	126	5,1	7,1	135	4,5	6,8
12,9	13,0	145	5,1	9	125	3,5	1,8
14,9	14,9	122	4,5	5,5	120	3,8	5
17,2	17,2	100	4,2	6	95	3,7	6,1
27,4	28,2	50	6	9,1	40	4,3	6,5
Altersklasse		**Strecke: Projektion von Gonion-Intersection auf Dens axis auf der Referenzlinie (mm)**					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	0,16	0,1	98	0,19	0,1
9,1	9,1	141	0,17	0,1	122	0,18	0,1
11,0	11,0	126	0,18	0,1	135	0,18	0,1
12,9	13,0	145	0,15	0,1	125	0,16	0,1
14,9	14,9	122	0,14	0,1	120	0,15	0,1
17,2	17,2	100	0,12	0,1	95	0,13	0,1
27,4	28,2	50	0,1	0,1	40	0,13	0,1
Altersklasse		**Relation der Strecke CII anterior – Gonion-Intersection zur Gesamtlänge Dens axis (%)**					
M	W	Anzahl	Mittelwert	S.D.	Anzahl	Mittelwert	S.D.
7,0	7,1	119	16,4	11,1	98	18,6	11,5
9,1	9,1	141	17,8	11,2	122	18	11,4
11,0	11,0	126	17,9	11	135	18,2	11,1
12,9	13,0	145	15,1	10,9	125	14,3	10,1
14,9	14,9	122	14,4	10,4	120	14,3	10,3
17,2	17,2	100	12,2	10	95	12,4	9,9
27,4	28,2	50	10	8	40	12,9	9,1

Lebenslauf

14.09.1982	geboren als Tochter der Eheleute Gerhard Geuecke und Brigitte Geuecke, geborene Ewers, in Olpe
1989-1993	Franz-Hitze Grundschule in Olpe-Rhode
1993-2002	Städtisches Gymnasium Olpe
Juni 2002	Abitur
WS 2003/04	Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Philipps-Universität Marburg
4. Okt. 2004	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
29. März 2006	Zahnärztliche Vorprüfung
13. Nov. 2008	Zahnärztliche Prüfung an der Philipps-Universität Marburg
28. Nov. 2008	Approbation zur Zahnärztin
2009	Assistenzzahnärztin in der Praxis Dr.Hillesheim, Attendorn
seit 2010	Assistenzzahnärztin in der Praxis Dr. Bleckmann, Drolshagen

Meine akademischen Lehrer im Fachbereich Medizin waren die Damen und Herren in Marburg an der Lahn:

Aumüller, Austermann, Barth, Coca, Czubayko, Dibbets, Ellers, Feuser, Flores de Jacoby, Gente, Gloerfeld, Höffken, Jablonski-Momeni, Karoglan, Koolmann, Kroh, Lehmann, Lill, Lotzmann, Mandrek, Mengel, Mittag, Mutters, Neff, Neumüller, Pancherz, Pieper, Plant, Ramaswamy, Richter, Röhm, Seitz, Sonntag, Stachniss, Steiniger, Stoll, Suske, Teymoortash, Umstadt, Weihe, Wennemuth, Werner, Westermann

Danksagung

Ich möchte mich an erster Stelle ganz herzlich bei Herrn Professor Dr. J.M.H. Dibbets, meinem Doktorvater und ehemaligen Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie am Medizinischem Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg, bedanken.
Er hat seine Betreuung von Promotionen zu meinen Gunsten verlängert und mich mit dieser Arbeit betraut. Die tatkräftige Unterstützung durch Professor Dibbets über den Zeitraum seiner Tätigkeit in Marburg hinaus ist wie auch seine herzliche und ermutigende Art und Weise ganz bestimmt einzigartig.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Dr. Bernd Müller, Mitarbeiter der kieferorthopädischen Abteilung. Seine Hilfestellungen bei der Literatursuche und der statistischen Auswertung, sowie die geduldige Einführung in das wissenschaftliche Arbeiten per se waren grundlegend für den Abschluss der vorliegenden Arbeit.

Meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Gerhard und Brigitte Geuecke, danke ich für die Selbstverständlichkeit, mit der sie mir stets Rückhalt geboten, mich in allen Entscheidungen unterstützt und mir jederzeit ein offenes Ohr geschenkt hat.

Meinem Kollegen Tristan Jäger danke ich für seine Hilfsbereitschaft und Diskussionsfreudigkeit, den Zuspruch zur rechten Zeit und nicht zuletzt für seinen Humor, durch den das gemeinsame Arbeiten im Forschungslabor angenehm und abwechslungsreich war.