

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
der Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde „Hans Morat“
der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock

**Kephalometrische, tensoranalytische und visuelle Analyse des
Gesichtsschädelwachstums bei unbehandelten Probanden mit
regelrechter Gebissentwicklung vom 7. bis 18. Lebensjahr**

Habilitationsschrift

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae dentariae habilitata (Dr. med. dent. habil.)
der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock

Vorgelegt von: Franka Stahl

Geboren am 09.10.1974 in Parchim

Wohnhaft in Rostock

Rostock, den 13.07.2007

Universitäts-
bibliothek
Rostock

2008, 928

2007 D'ss 190 (1)

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Rosemarie Grabowski

Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,

Poliklinik für Kieferorthopädie, Stempelstrasse 13, 18055 Rostock

2. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. Ursula Hirschfelder

Zahnklinik 3 - Kieferorthopädie Glückstr. 11 91054 Erlangen

3. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. Christopher Johannes Lux

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum J

Jena, Poliklinik für Kieferorthopädie, 07740 Jena

Tag der Verteidigung: 17.12.2007

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

2. LABORATORIUMSWERKZEUGE

2.1. GEMEINSCHAFTLICHE WACHSTUMSUNTERRICHTSBEFUNDEN DES MENSCHLICHEN GEMEINSCHAFTSWACHSTUMS

3. PROZESS UND METHODEN

3.1. PROZESSANALYSE

3.2. ENTWICKLUNG DES PROZESSANALYSE-ANALYSE-DES GEMEINSCHAFTSWACHSTUMS

3.2.1. ANALYSE

Für Irmela, Klaus-Dieter, Martin und Marlen

3.2.2. PROZESSANALYSE

Für Eduardo

3.2.3. ANALYSE DES PROZESS

3.3. STATISTISCHE ANALYSE

4. ERGEBNISSE

4.1. ERGEBNISSE DER PROZESSANALYSE (ROWAN)

4.2. ERGEBNISSE DER PROZESSANALYSE (ROWAN)

4.3. ERGEBNISSE DER PROZESSANALYSE

5. DISKUSSION

5.1. AUFGABEN UND METHODEN

5.2. ERGEBNISSE DER PROZESSANALYSE (ROWAN) ANALYSE

5.3. DISKUSSION DER PROZESSANALYSE (ROWAN)

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1	EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	5
	2.1 GESICHTSSCHÄDELWACHSTUM UNTER DEN BEDINGUNGEN DER NORMALEN GEBISSENTWICKLUNG	12
3	PROBANDEN UND METHODEN	19
	3.1 PROBANDENAUSWAHL	19
	3.2 ENTWICKLUNG EINES FRAMEWORKS ZUR ANALYSE DES GESICHTSSCHÄDELWACHSTUMS	23
	3.2.1 ROSTOCKER KEPHALOMETRISCHE ANALYSE (ROKA)	29
	3.2.2 ROSTOCKER TENSORANALYSE (ROTA)	40
	3.2.3 ROSTOCKER VISUELLE ANALYSE (ROVA)	48
	3.3 STATISTISCHE ANALYSE	56
4	ERGEBNISSE	60
	4.1 ROSTOCKER WACHSTUMSANALYSE TOOL (ROWAT)	60
	4.2 ERGEBNISSE DER KEPHALOMETRISCHEN ANALYSE	75
	4.3 ERGEBNISSE DER TENSORANALYSE	96
5	DISKUSSION	111
	5.1 AUFGABEN UND METHODEN	111
	5.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER KEPHALOMETRISCHEN ANALYSE	115
	5.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER TENSORANALYSE	125

5.4	SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE KIEFERORTHOPÄDISCHE PRÄVENTION, FÜR DIAGNOSTIK UND THERAPIE	132
5.5	SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE WISSENSCHAFTLICHE KIEFERORTHOPÄDIE	136
6	ZUSAMMENFASSUNG	138
7	LITERATURVERZEICHNIS	142
8	DANKSAGUNG	153

ANHANG		Seite
1	RADIOGRAFISCHE VERGRÖßERUNG	A-1
2	DEFINITION KEPHALOMETRISCHER UND ANGULÄRER MESSWERTE	A-2
3	3.1 ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN TESTS AUF NORMAL- VERTEILUNG	A-7
	3.2 ERGEBNISSE DER METHODENFEHLERBERECHNUNGEN	A-9
4	ERGEBNISSE DER KEPHALOMETRISCHEN ANALYSE	A-11
	4.1 LONGITUDINALENTWICKLUNG DER KEPHALOMETRISCHEN PARAMETER UND GESCHLECHTSSPEZIFISCHER VERGLEICH IN ABHÄNGIGKEIT VOM CHRONOLOGISCHEN ALTER	A-11
	4.2 VERGLEICH DER JÄHRLICHEN UND DER GESAMTWACHSTUMSRATEN FÜR AUSGEWÄHLTE KEPHALOMETRISCHE PARAMETER IN DER MÄNNLICHEN UND DER WEIBLICHEN PROBANDENGRUPPE	A-64
	GESCHLECHTSSPEZIFISCHER VERGLEICH DER WACHSTUMSRATEN AUSGEWÄHLTER KEPHALO- METRISCHER PARAMETER IN ABHÄNGIGKEIT VOM CHRONOLOGISCHEN ALTER	
	4.3 ERGEBNISSE DER WACHSTUMSKURVENANALYSE SPEZIFISCHER KEPHALOMETRISCHER PARAMETER	A-76

LONGITUDINALENTWICKLUNG DER TENSORANALYTISCHEN
PARAMETER UND GESCHLECHTSSPEZIFISCHER VERGLEICH
IN ABHÄNGIGKEIT VOM CHRONOLOGISCHEN ALTER

VERGLEICH DER JÄHRLICHEN WACHSTUMSVERÄNDERUNGEN
UND DER WACHSTUMSRICHTUNGEN IN DER MÄNNLICHEN UND
DER WEIBLICHEN PROBANDENGRUPPE

1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Durch die Einführung des Fernröntgenseitenbildes durch Hofrath (Hofrath 1931) und Broadbent (Broadbent 1931) in die Kieferorthopädie wurde dem Wissenschaftler und dem Praktiker ein wesentliches diagnostisches Mittel zur Verfügung gestellt, das bis heute weit verbreitet ist und eine probate Methode in der klinischen kieferorthopädischen Diagnostik, der Behandlungsplanung und der Evaluation des Behandlungsfortschrittes und des Behandlungsergebnisses darstellt (Lux et al. 2002; Thordarson et al. 2006).

Die Vielzahl der seitdem entwickelten kephalometrischen und morphometrischen Analysemethoden zur Beschreibung und Analyse von Wachstumsvorgängen im Gesichtsschädelbereich verweisen auf das ungebrochene Interesse, Wachstumsprozesse qualitativ und quantitativ im zwei- und dreidimensionalen Raum erfassen und vorhersagen zu können. Die Vorhersage der Effekte spezifischer kieferorthopädischer Therapeutika ist eng daran geknüpft. Diese ist jedoch grundlegend von dem Verständnis der Wachstumsveränderungen unter natürlichen Bedingungen abhängig (Buschang et al. 1988). Die Erkenntnisse aus Wachstumsstudien unbehandelter heranwachsender Probanden mit und ohne Gebissanomalien sind dabei von besonderer Bedeutung, da sie die Grundlage für die Planung und die Evaluation des Behandlungszeitpunktes, der Behandlungsdauer und der Intensität der kieferorthopädischen Intervention darstellen (Buschang et al. 1988; Sinclair und Little 1985). Von den drei zur Verfügung stehenden Studientypen zur Analyse des Gesichtsschädelwachstums ist die Longitudinalstudie das geeignetste Mittel (Berg 1986; Bishara und Jakobsen 1985; Kerr 1979), da sich durch sie individuelle Veränderungen im kraniofazialen Bereich während unterschiedlicher Reifestadien nachweisen lassen (Ursi et al. 1993).

Reine und gemischte Longitudinalstudien haben gezeigt, dass ethnische (Miyajima et al. 1996; Zeng et al. 1998), geschlechtsspezifische und altersabhängige Unterschiede (Björk 1947; El-Batouti et al. 1994; Riolo et al. 1974) im Gesichtsschädelwachstum sowohl innerhalb heterogener als auch homogener Populationen (Solow und Sarnäs 1982) bestehen. Bereits Baume betonte die Wichtigkeit des Unterschiedes im

skelettalen und dentalen Bereich zwischen Kindern und Erwachsenen und forderte, dass Kinder auch mit kindlichen Referenzwerten ihrer Altersgruppe verglichen werden müssen und nicht mit Vergleichswerten für ältere Altersgruppen oder Erwachsene (Baume 1951). Dem widerspricht die gegenwärtige Verwendung von alters- und geschlechtsunspezifischen Referenzwerten unterschiedlicher kephalometrischer Analysemethoden (Haavikko und Rahkamo 1989), wie der nach Björk (Björk 1953; Björk 1947), Hasund (Hasund 1973), Ricketts (Ricketts 1961), Steiner (Steiner 1953) und Tweed (Tweed 1954). Sowohl der Ursprung als auch die Details über die Zusammensetzung und die Repräsentativität der für die Erstellung der Referenzwerte verwendeten Probandengruppe sind dem Anwender oft unbekannt (Thilander et al. 2005; Thilander et al. 1982). Für den deutschsprachigen Raum stehen bisher keine anwendbaren alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte für das Gesichtsschädelwachstum unbehandelter Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung vom präpuberalen bis zum postpuberalen Stadium zur Verfügung.

Die Hauptaufgabe der vorliegenden Habilitationsarbeit ist es deshalb, alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für Kinder und Jugendliche mit regelrechten Gebissen im deutschsprachigen Raum zu ermitteln, und diese Basisdaten sowohl Wissenschaftlern als auch Praktikern zur Verfügung zu stellen. Als Grundlage dazu dienen die Fernröntgenseitenbilder der Rostocker Longitudinalstudie von Klink-Heckmann, mit der die Gesichtsschädelentwicklung von unbehandelten Probanden mit regelrechten Gebissen vom 7. Lebensjahr bis ins Erwachsenenalter dokumentiert ist. Ziel ist es, mittels geeigneter Methoden die wachstumsbedingten Veränderungen im Gesichtsschädelbereich vom präpuberalen bis zum postpuberalen Wachstumsstadium geschlechts- und altersspezifisch zu analysieren. Damit sollen dem kieferorthopädischen Behandler solche Referenzwerte gegeben werden, die für diagnostische Zwecke aber auch für die Beurteilung von Therapieeffekten genutzt werden können und wachstumsspezifische und komplexe Einschätzungen für den individuellen Fall ermöglichen.

Die Kephalometrie kommt dabei als die am häufigsten benutzte Methode in der Praxis zur Anwendung. Da sie es jedoch nicht ermöglicht, unabhängig von Referenzstrukturen die Wachstumsprozesse im Gesichtsschädelbereich zu beurteilen und die Richtung der

Wachstumsvorgänge darzustellen, sollen diese Informationen für ausgewählte Regionen des Gesichtsschädelbereiches aus der zusätzlichen Anwendung der in die Kieferorthopädie bisher kaum Eingang gefundenen Tensoranalyse gewonnen werden. Im Gegensatz zur kephalometrischen Analyse sind mit ihr die Veränderungen im Gesichtsschädelaufbau unabhängig von benachbarten Strukturen und Referenzsystemen darstellbar (Bookstein 1982). Die Anwendbarkeit der Tensoranalyse ist jedoch aufgrund der aufwendigen und komplizierten Konstruktion der Dilatationen zurzeit für den Wissenschaftler und Praktiker wenig praktikabel (Klink-Heckmann 1988). Zudem handelt es sich bei der Untersuchung des Gesichtsschädelwachstums um komplexe Wachstumsabläufe, die eine Verarbeitung sehr großer Datenmengen und die Analyse multivariater Zusammenhänge erfordern. Dies verlangt die Anwendung weiterer differenzierender untersuchender Methoden. Besonders die umfassende Bewertung vieler Parameter und größerer Datenmengen profitiert von der Verwendung völlig neuer Analyseverfahren, wie der visuellen Datenverarbeitung (Kreuseler et al. 1999). Obwohl die visuelle Analyse nicht in der Lage ist, die nicht visuelle Datenanalyse zu ersetzen, ist es notwendig, umfangreiche z.B. aus mehreren Methoden gewonnene Datenmengen während des explorativen Prozesses zu verbinden (Westphal und Blaxton 1998). Es ist daher sinnvoll, die Auswertung des Datenmaterials durch geeignete visuelle Präsentationen zu unterstützen, um damit eine effektive Auswertung zu ermöglichen (Schumann und Müller 2000). Gleichzeitig verhindert die visuelle Analyse von großen Datenmengen einen möglichen Informationsverlust bei der Datenauswertung und macht die komplexe Bewertung, z.B. von Wachstumsprozessen, erst möglich.

Daraus ergibt sich die Aufgabenstellung der vorliegenden Studie für die Entwicklung eines Systems, welches zwei Aufgaben erfüllt. Einerseits soll es die Berechnung und die grafische Darstellung der Wachstumsveränderungen, basierend auf den Grundlagen der Tensoranalyse, praktikabel und anwenderfreundlich machen. Andererseits soll es die Auswertung der kephalometrischen und tensoranalytischen Daten durch visuelle Präsentationen unterstützen und optimieren. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit ein Framework zur Analyse des Gesichtsschädelwachstums zu entwickeln, das diese Bedingungen erfüllt. Die Entwicklung einer Komponente zur visuellen Analyse von kephalometrischen und tensoranalytischen Daten des Gesichtsschädelwachstums stellt dabei einen ganz neuen, innovativen Aspekt der Datenauswertung dar, der sowohl dem

Wissenschaftler als auch dem Praktiker helfen soll, die komplizierten Zusammenhänge des Wachstums in ihrer Gesamtheit leichter zu erfassen und für die Praxis nutzbar zu machen.

Die Aufgabenstellung der vorliegenden Habilitationsarbeit lässt sich somit in drei Teilaufgaben zusammenfassen:

1. Entwicklung von Methoden zur umfassenden und trotzdem anwenderfreundlichen Analyse von Daten des Gesichtsschädelwachstums mit Erfüllung folgender Aufgaben: Datenhaltung, Datenberechnung für Kephalometrie und Tensoranalyse und visuelle Präsentation der Daten zur Unterstützung der Datenauswertung.
2. Bereitstellung von alters- und geschlechtsspezifischen Basisdaten des Gesichtsschädelwachstums für Kinder und Jugendliche durch:
 - 2.1 Alters- und geschlechtsspezifische kephalometrische Analyse von longitudinalen wachstumsbedingten Veränderungen im Gesichtsschädelbereich bei unbehandelten Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung vom 7. bis 18. Lebensjahr
 - 2.2 Unter Anwendung der neuen Methode alters- und geschlechtsspezifische Tensoranalyse von longitudinalen wachstumsbedingten Veränderungen im Gesichtsschädelbereich bei unbehandelten Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung vom 7. bis 18. Lebensjahr.
3. Unter Anwendung der neuen Methode Vorstellung der visuellen Datenanalyse von kephalometrischen und tensoranalytischen Daten anhand des vorliegenden Datenmaterials.

2 LITERATURÜBERSICHT

Die Beschreibung der dentofazialen Beziehungen bei Probanden mit regelrechter und abweichender fazialer Morphologie gehört zu den am häufigsten aufgegriffenen Themen in der kieferorthopädischen Literatur (Bishara und Jakobsen 1985). Das Interesse dafür besteht nicht zuletzt darin, dass aus der Kenntnis der Entwicklungsprozesse unter natürlichen und normalen Bedingungen Schlussfolgerungen über die Ätiologie abweichender Entwicklungen abgeleitet werden können. Zudem ist die Vorhersage von Behandlungseffekten in großem Maße vom Verständnis der Wachstumsveränderungen abhängig, die ohne kieferorthopädischen Einfluss stattgefunden hätten (Buschang et al. 1988). Daraus resultiert das seit langem bestehende Interesse, über Longitudinaldaten des Gesichtsschädelwachstums bei unbehandelten Probanden mit regelrechter und nicht regelrechter Gesichtsschädel- und Gebissentwicklung zu verfügen.

Vielzählige Versuche wurden unternommen, um die Spannweite der natürlichen Variation des menschlichen Gesichtes anhand von unbehandelten Probanden zu beschreiben (Bishara und Jakobsen 1985). Kephalometrische Standard- oder Referenzwerte wurden für unterschiedlichste Populationen akquiriert. Der Terminus „normal occlusion“ wurde dabei in vielen englischsprachigen Publikationen verwandt und ist in der vorliegenden Arbeit bei der Inhaltswiedergabe der zitierten Literaturangaben aus dem Englischen übernommen worden. Grundsätzlich umfasst die „normale Okklusion“ auch kleinere Abweichungen vom Idealzustand der Okklusion, die zu keinen ästhetischen und funktionellen Beeinträchtigungen führen, wobei die Grenze zwischen normal und abnormal selbst für erfahrene Kliniker schwer zu ziehen ist (Houston et al. 1997). Auch die von Angle (Angle 1907) vorgenommene Klassifikation der Gebissanomalien wurde als häufiges Selektionskriterium der Probanden benutzt. Sie beruht auf der Annahme der Konstanz der Position der ersten Molaren bezüglich der Kieferbasen und weiterführend auf der Annahme, dass die Art der okklusalen Verschlüsselung eng mit der anterior-posterioren Lage von Mandibula und Maxilla verbunden ist (Blair 1954; Salzmann 1950).

Es existieren nur wenige Studien in denen ausschließlich Datenmaterial von Populationen ohne Zahnstellungs- und Bisslageanomalien publiziert worden ist (Baume 1951; Bishara 1981; Bishara und Jakobsen 1985; Broadbent Sr et al. 1975; El-Batouti et al. 1994; Franchi et al. 2001; Haavikko und Rahkamo 1989; Humerfelt und Slagsvold 1972; Johannsdottir et al. 1999; Sinclair und Little 1985; Thilander et al. 2005; Thilander et al. 1982; Thordarson et al. 2006; Ursi et al. 1993; Werner 1954; Yavuz et al. 2004). Die Intention einiger dieser Studien war es, Referenzwerte für die kieferorthopädische Diagnostik und Behandlungsplanung zu schaffen, und Vergleichswerte für andere Untersuchungen zur Verlaufs- und Effizienzkontrolle kieferorthopädischer Behandlungsmaßnahmen bereitzustellen. In weitaus mehr Veröffentlichungen sind kleinere Probandengruppen mit regelrechter Gebissentwicklung als Kontrollgruppe untersucht worden, um Vergleiche mit behandelten (Bishara 1998; Cevitanes et al. 2005; de Freitas et al. 2004; Janson et al. 2004; Macdonald et al. 1999) oder unbehandelten kieferorthopädischen Patienten vornehmen zu können (Alarashi et al. 2003; Buschang et al. 1988; Johannsdottir et al. 1999; Kerr und Hirst 1987; Lux et al. 2005; Lux et al. 2003; Nanda und Merrill 1994; Palomo et al. 2005; Rothstein und Phan 2001; Sayin und Turkkahraman 2004; Varrela 1998). Andere Autoren haben verfügbare kephalometrische Standardwerte, wie die der *Bolton Brush Growth Study* der Case Western Reserve University (Broadbent Sr et al. 1975), benutzt, um Vergleichswerte für ihre untersuchten kieferorthopädischen Patienten zu erhalten (Hansen und Pancherz 1992; Palomo et al. 2005; Ruf et al. 2001; Ruf und Pancherz 1999; You et al. 2001).

Obwohl es sich in allen der oben genannten Studien um Probanden handelt, die dem so genannten Normbegriff in der Kieferorthopädie entsprechen, sind doch einige Unterschiede in der Zusammensetzung der Untersuchungsgruppen zu erkennen, die einer genaueren Betrachtung bedürfen. So erfolgte die Probandenauswahl nach unterschiedlichen Kriterien. Die Selektion der Probanden wurde entweder allein nach skelettalen und/oder dentalen Parametern vorgenommen. Die in der Literatur am häufigsten verwendete Methode ist die Auswahl der Probanden allein nach dentalen Gesichtspunkten (Bishara et al. 1997; Johannsdottir et al. 1999; Lux et al. 2003; Palomo et al. 2005; Rothstein und Phan 2001; Sayin und Turkkahraman 2004). Wenige Autoren beschränkten sich bei der Selektion ihrer Probanden nur auf skelettale Parameter

(Chung und Mongiovi 2003; Haavikko und Rahkamo 1989; Karlsen und Krogstad 1999; Riesmeijer et al. 2004; Wilhelm et al. 2001) oder berücksichtigten sowohl skelettale als auch dentale Parameter für die Selektion ihrer Probanden (Foley und Duncan 1997; Nelson und Higley 1948; Sinclair und Little 1983; Tibana et al. 2004). Bei der Einschätzung der skelettalen Parameter wurde am häufigsten die anterior-posteriore Kieferbasenbeziehung in Form des ANB-Winkels zugrunde gelegt. Die Angle Klassifikation (Klasse I Okklusion im Molaren- und/oder Eckzahnbereich) war bei der Probandenauswahl nach dentalen Kriterien das am häufigsten verwendete Kriterium. Nur in einer Publikation wurde das Ausmaß des sagittalen Overjets als dentales Einstufungskriterium gewählt (Dhopatkar et al. 2002). Auch die für die Gebissentwicklung verwendeten Nomenklaturen sind uneinheitlich und reichen von allgemeinen Begriffen wie „ideale Okklusion“ (Baccetti et al. 1997; Broadbent Sr et al. 1975; Karlsen 1994; Sayin und Turkkahraman 2004), „exzellente Okklusion“ (Barnes 1955; Baume 1951; Gilmore 1950; Hopkins und Murphy 1971; Sanborn 1955), „normale Okklusion“ (Godiawala und Joshi 1974; Kerr 1979; Lux et al. 2003; Rothstein und Phan 2001; Varrela 1998), „klinisch akzeptable Okklusion“ (Bishara und Jakobsen 1985; El-Batouti et al. 1994) bis zur „Angle Klasse I Okklusion mit nicht vorliegender Asymmetrie des Gesichts und/oder Gebisses“ (Bishara et al. 1997; Bishara 1998). Die wenigsten Studien haben eine genauere Definition der untersuchten Probandengruppe vorgenommen, die zusätzliche Angaben zum sagittalen Overjet, vertikalen Overbite, zu transversalen Okklusionsbeziehungen und zu Engstandsverhältnissen enthält (Baccetti et al. 1997; Berg 1986; Ishikawa et al. 2000; Lux 2003; Lux et al. 2005; Thilander et al. 2005).

Um eine genauere Wertung der publizierten Studien zur Analyse der Wachstumsveränderungen bei unbehandelten Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung vornehmen zu können, ist es notwendig, neben den oben genannten Auswahlkriterien auch deren Studiendesign zu berücksichtigen. In der Vergangenheit wurden im Wesentlichen drei unterschiedliche Kategorien von Studien angewandt (Kerr 1979).

1. **Querschnittsstudien** haben anhand von größeren Probandengruppen versucht, Wachstumsveränderungen unter regelrechten Okklusionsverhältnissen mit dem

Wachstum bei unbehandelten Probanden mit Gebissanomalien (Angle Klassen I, II und III) zu vergleichen (Altemus 1955; Anderson und Popovich 1989; Baume 1951; Gilmore 1950; Godiawala und Joshi 1974; Ishii et al. 2001; James 1963; Johannsdottir et al. 1999; Nanda und Merrill 1994; Pancherz et al. 1998; Sanborn 1955; Werner 1954). Es existieren daneben einige wenige Querschnittsstudien, die ausschließlich Datenmaterial über unbehandelte Probanden mit regelrechten Okklusionsverhältnissen liefern, während bei zahlreichen Querschnittsstudien kleinere Probandengruppen mit normaler Gebissentwicklung als Kontrollgruppe für den Vergleich mit kieferorthopädisch behandelten Patienten benutzt worden sind.

2. Gemischte Longitudinalstudien haben Längsschnitts- und Querschnittsdaten unbehandelter Probanden mit normaler Gebissentwicklung gemischt (Thilander et al. 2005; Thilander et al. 1982), um fehlende Datensätze auszugleichen (Broadbent Sr et al. 1975) oder haben Querschnittsdaten nach dem Prinzip einer Longitudinalstudie ausgewertet, um diese mit Probanden mit Gebissanomalien zu vergleichen (Rothstein und Phan 2001; Rothstein und Yoon-Tarlie 2000).

3. Reine Longitudinalstudien an unbehandelten Probanden, die einen langen Zeitraum in der postnatalen Gesichtsschädel- und Gebissentwicklung umfassen, sind der „Goldstandard“ in der Kieferorthopädie. Sie sind die beste Methode, um individuelle Entwicklungsverläufe über einen längeren Beobachtungszeitraum zu analysieren (Berg 1986; Bishara et al. 1997; Buschang et al. 1986; Gesch 2000; Ngan et al. 1997; Varrela 1998). Bei den älteren publizierten Longitudinalstudien an unbehandelten Probanden blieben die Okklusionsverhältnisse bei den untersuchten Individuen unberücksichtigt (Björk 1963; Björk und Skieller 1972; Brodie 1953; Lande 1952; Riolo et al. 1974). Jüngere Longitudinalstudien haben diesen Faktor mitberücksichtigt und bei ihren Probanden zwischen denen mit Gebissanomalie und ohne Gebissanomalie unterschieden (Baccetti et al. 1997; Lux et al. 2003; Palomo et al. 2005).

Die Tabelle 1 gibt eine umfassende Übersicht von 31 Longitudinalstudien, die sich mit der Untersuchung des Gesichtsschädelwachstums bei unbehandelten Probanden mit normaler Gebissentwicklung, eingeteilt nach allein dentalen Kriterien, beschäftigt haben. Während die meisten Autoren die Wachstumsveränderungen in Abhängigkeit

vom chronologischen Alter der Probanden untersucht haben, berücksichtigten einzelne Untersuchungen das dentale Alter (Baccetti et al. 1997; Bishara 1998; Bishara et al. 1996; Bishara et al. 1997; Sinclair und Little 1985; Thilander et al. 2005) oder die skelettale Reife der Halswirbelsäule (Franchi et al. 2001) als unabhängige Variable. Die entsprechenden Angaben der Autoren bezüglich des chronologischen Alters wurden aus den Publikationen entnommen und sind in der Tabelle 1 dargestellt. Aus der Tabelle 1 wird deutlich, dass es sich bei den Untersuchungsgruppen um Populationen unterschiedlicher ethnischer Herkunft und verschiedenen Alters handelt.

Tabelle 1
Longitudinalstudien an unbehandelten Probanden mit normalen Okklusionsbeziehungen

Autor(en)	Ethnische Herkunft	Geschlecht	Beobachtungszeitraum Alter (in Jahren)	Auswahlkriterium
Thordarson et al. 2006	Isländisch	m, w	6-16	Normale Okklusion
Thilander et al. 2005	Schwedisch	m, w	5-13	Normale Okklusion
Palomo et al. 2005	Amerikanisch - Kaukasisch	w	6-15	Ideale Okklusion (Bolton Standards)
Lux et al. 2005	Belfast Growth Study	m, w	7-15	Normale Okklusion
Cevdanes et al. 2005	Brasilianisch	m, w	9-12	Normale Okklusion
Yavuz 2004	Türkisch	m, w	10-14	Normale Okklusion
Lux 2003	Belfast Growth Study	m, w	7-15	Normale Okklusion
You et al. 2001	Amerikanisch - Kaukasisch	m, w	8-18	Ideale Okklusion (Bolton Standards)
Franchi et al. 2001	Amerikanisch - Kaukasisch	m, w	9-14	Normale Okklusion
Ishikawa 2000	Japanisch	m, w	m 10-14, w 8-12	Akzeptable Okklusion
Bishara 1998a	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	5-12	Akzeptable Okklusion
Varella 1998	Kanadisch	keine Angabe	3-7	Normale Okklusion
Bishara 1998b	Nicht angegeben	m, w	5-45	Dentale Klasse I, keine Asymmetrien
Foley und Duncan 1997	Kaukasisch	m	14-20	Dentale und skelettale Klasse I
Bishara et al. 1997	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	5-12	Akzeptable Okklusion
Baccetti et al. 1997	Amerikanisch - Kaukasisch, Italienisch	m, w	5-7	Ideale Okklusion
Bishara et al. 1996	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	5-12	Normale Okklusion
Buschang et al. 1988	Französisch-Kanadisch	m, w	6-15	Normale Okklusion
Kerr und Hirst 1987	Belfast Growth Study (keine Angabe ethnischer Herkunft)	m, w	5-15	Normale Okklusion
Buschang et al. 1986	Keine Angabe	m	11-14	Normale Okklusion
Sinclair und Little 1985	Kanadisch	m, w	9-20	Klinisch gute Okklusion

Fortsetzung Tabelle 1

Autor(en)	Ethnische Herkunft	Geschlecht	Beobachtungszeitraum Alter (in Jahren)	Auswahlkriterium
Bishara und Jakobsen 1985	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	4-26	Akzeptable Okklusion
Bishara 1984	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	5-25	Akzeptable Okklusion
Anderson und Popovich 1983	Kanadisch	m, w	8-16	Normale Okklusion und Klasse I Anomalien gemischt
Bishara 1981	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	4-26	Akzeptable Okklusion
Adams 1981	Belfast Growth Study (keine Angabe ethnischer Herkunft)	m	10-15	Normale Okklusion und Klasse I Anomalien gemischt
Kerr 1979	Belfast Growth Study (keine Angabe ethnischer Herkunft)	m, w	5-15	Normale Okklusion
Broadbent Sr et al. 1975	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	1-18	Ideale Okklusion
Humerfelt und Slagsvold 1972	Schwedisch	m, w	10/12-25	Normale Okklusion
Nanda 1971	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	5-18	Normale Okklusion
Hopkins und Murphy 1971	Amerikanisch-Kaukasisch	m, w	13-22	Exzellente Okklusion

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die meisten der publizierten Studien, welche eine Vielzahl von kephalometrischen Standardwerten (Referenzwerten) für männliche und weibliche Probanden unterschiedlichen Alters und ethnischer Herkunft liefern, nur Querschnittscharakter (Bishara 1981) haben. Die Anzahl der Longitudinalstudien, bei denen die individuelle Gesichtsschädel- und Gebissentwicklung von der frühen Kindheit bis ins Erwachsenenalter verfolgt werden konnte, ist gering (Bishara 1981). Nur 16 der dargestellten 31 Longitudinalstudien umfassen diesen Zeitraum. Für den deutschsprachigen Raum gibt es keine veröffentlichte Longitudinaluntersuchung, die über Daten des Gesichtsschädelwachstums bei unbehandelten Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung vom präpuberalen bis zum postpuberalen Stadium verfügt.

Im Folgenden werden die vorhandenen Erkenntnisse über das Wachstum ausgewählter Bereiche des Gesichtsschädels unter besonderer Betrachtung des Wachstums bei Probanden mit normaler Gebissentwicklung ausführlich erläutert. Auf geschlechtsspezifische Unterschiede wird dabei im Besonderen eingegangen. Den Ergebnissen aus Longitudinalstudien wird dabei aufgrund ihrer größeren Aussagekraft mehr Gewicht beigemessen.

2.1 GESICHTSSCHÄDELWACHSTUM UNTER DEN BEDINGUNGEN DER NORMALEN GEBISSENTWICKLUNG

Vergleichende Untersuchungen des Gesichtsschädelwachstums zwischen unbehandelten Probanden ohne oder mit geringfügigen Abweichungen von der idealen Okklusion (normale Okklusion) und unbehandelten Probanden mit Gebissanomalien berichten über einige Unterschiede in der Morphologie des Gesichtsschädelaufbaus. Dabei wurden vor allem Schlussfolgerungen aus Vergleichen zwischen Probanden mit normalen Gebissverhältnissen und Patienten mit Angle Klasse II Anomalie gezogen, auf die sich die nachfolgenden Ausführungen beziehen. Ergebnisse longitudinaler Wachstumsstudien zeigen folgende kephalometrische Charakteristika bei unbehandelten Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung:

(1) In der Konfiguration der Schädelbasis bei Probanden bis 12 Jahren wurden keine Unterschiede zwischen normalen Probanden und unbehandelten Patienten mit Gebissanomalien gefunden (Baccetti et al. 1997; Bishara et al. 1997; Varrela 1998). Andere Studien, welche die Wachstumsveränderungen über einen längeren Beobachtungszeitraum (bis 16 Jahre) verfolgt und diese mit der Morphologie der Schädelbasis unbehandelter Klasse II Patienten verglichen haben, wiesen jedoch eine geringere Neigung der Schädelbasis (NSBa-Winkel) und eine längere untere Schädelhöhe (S-Bo) bei Probanden mit normaler Okklusion nach (Anderson und Popovich 1983; Buschang et al. 1986; Kerr und Hirst 1987). Thilander et al., die 47 Kinder mit normaler Okklusion vom 5. bis zum 16. Lebensjahr kontinuierlich untersuchten, fanden bezüglich der Entwicklung der Schädelbasisneigung einen konstanten Schädelbasis-Artikulare-Winkel, während der Schädelbasisknickungswinkel über einen Zeitraum von 11 Jahren um vier Grad abnahm (Thilander et al. 2005). Demgegenüber fand Kerr nach zehn Jahren Beobachtungszeit keine signifikanten Zu- oder Abnahmen des NSBa-Winkels (Kerr 1979).

Grundsätzlich war eine Zunahme der linearen Abmessungen der Schädelbasis in beiden Geschlechtern nachweisbar, wobei die männlichen Probanden signifikant größere Dimensionen bezüglich der hinteren und vorderen Schädelbasis (SN, S-Ar, N-Ba) aufwiesen (Sinclair und Little 1985; Thordarson et al. 2006). Bezüglich angularer Messwerte für die Schädelbasis wurden keine geschlechtsspezifisch signifikanten Unterschiede gefunden (Thilander et al. 2005). Die Ergebnisse von Bishara und Jakobsen zeigen jedoch, dass eine differenziertere Betrachtung von normalen Probanden durchaus geschlechtsspezifische Unterschiede aufzeigen kann. Sie nahmen die Einteilung ihrer normalen Probanden nach Parametern des vertikalen Gesichtsschädelaufbaus vor (long face, average face, short face) und fanden geschlechtsspezifische Unterschiede für die Gesamtlänge der Schädelbasis (N-Ba), den Schädelbasisknickungswinkel und den Sattelwinkel (NSBa) (Bishara und Jakobsen 1985). Aus dem Querschnittsvergleich der absoluten Daten ergaben sich signifikant größere Schädelbasislängen und größere Schädelbasisknickungswinkel bei den männlichen Probanden in der short-face-Gruppe, während bei den weiblichen Probanden der Sattelwinkel signifikant vergrößert war. Der Wachstumskurvenverlauf der männlichen und weiblichen Probanden für die untersuchten Parameter der

Schädelbasis war jedoch im Längsschnitt nicht signifikant unterschiedlich zwischen den drei Gruppen. Das heißt, dass das Wachstumsprofil der Schädelbasis unabhängig vom fazialen Typ war.

(2) Zwischen der anterior-posterioren Position des Oberkiefers (SNA-Winkel) bei unbehandelten Probanden mit und ohne Gebissanomalie bestehen keine signifikanten Unterschiede (Anderson und Popovich 1983; Bishara et al. 1997; Johannsdottir et al. 1999; Varrela 1998). Nur zwei Longitudinalstudien beschreiben eine retrusivere Lage des Oberkiefers bei normalen Probanden im Vergleich zu Angle Klasse II Patienten (Baccetti et al. 1997; Palomo et al. 2005).

Die sagittale Position des Oberkiefers in Form des SNA-Winkels ändert sich nur geringfügig oder wird als konstant beschrieben (Thilander et al. 2005). Nanda wies über den Gesamtzeitraum von 13 Jahren weniger als ein Grad Veränderung beim SNA-Winkel nach (Nanda 1971). Männliche Probanden zeigen dabei signifikant größere Zunahmen als die weiblichen (Broadbent Sr et al. 1975; Sinclair und Little 1985; Thordarson et al. 2006). Andere Untersucher konnten diesen geschlechtsspezifischen Unterschied nicht bestätigen (Kerr 1979) und fanden signifikant größere Zunahmen des SNA-Winkels bei den weiblichen Probanden (Humerfelt und Slagvold 1972).

Zwischen der Oberkieferlänge (Spa-Spp) und dem Wachstumsprofil des Oberkiefers bei Probanden mit und ohne Gebissanomalien bestehen keine signifikanten Unterschiede (Bishara et al. 1997). Das Längenwachstum des Oberkiefers (A-Spp) ist bei normalen männlichen Probanden größer als bei den weiblichen (Bishara 1984). Die Veränderungen in der Oberkieferlänge, also das Wachstumspotential des Oberkiefers, sind bei normalen Probanden größer als bei Probanden mit Klasse II Anomalie (Bishara et al. 1997) und beschränken sich nicht nur auf die anterior-posteriore Dimension. Lux et al. und Palomo et al. wiesen anhand ihrer Studien an posterior-anterioren kephalometrischen Röntgenaufnahmen nach, dass bei normalen Probanden auch die transversale maxilläre skelettale und dentale Basis größer ist als bei Probanden mit Angle Klasse II Anomalien (Lux 2003; Lux et al. 2003; Palomo et al. 2005).

(3) Die anterior-posteriore Position des Unterkiefers bei normalen Probanden unterscheidet sich signifikant von der bei unbehandelten Probanden mit Angle Klasse II Gebissanomalie (Anderson und Popovich 1983; Bishara et al. 1997; Buschang et al. 1988; Johannsdottir et al. 1999; Varrela 1998). Daraus resultieren die signifikant prognathere Lage des Unterkiefers (größerer SNB-Winkel) und die signifikant geringere intermaxilläre Diskrepanz (kleinerer ANB-Winkel) bei normalen Probanden. In der generellen Zunahme des SNB-Winkels und der kontinuierlichen Abnahme des ANB-Winkels während der Gebissentwicklung besteht jedoch kein Unterschied zwischen Probanden mit und ohne Gebissanomalie (Buschang et al. 1986).

Bezüglich der Gesamtunterkieferlänge haben vergleichende Untersuchungen des Unterkiefers von normalen Probanden und Probanden mit Klasse II Anomalien gezeigt, dass die Gesamtunterkieferlänge bei normalen Probanden signifikant größer ist (Anderson und Popovich 1983; Baccetti et al. 1997; Buschang et al. 1988; Kerr und Hirst 1987) und dass dieser Größenunterschied bereits vor dem 11. Lebensjahr etabliert ist (Buschang et al. 1986). Im Gegensatz dazu fanden Bishara et al. diese Größendiskrepanz nur bei jüngeren Probanden, während sie im frühen permanenten Gebiss nicht mehr nachweisbar war (Bishara 1998, Bishara et al. 1997). Übereinstimmend äußern die Autoren, dass zwischen den Wachstumsprofilen des Unterkiefers bei unbehandelten Probanden mit und ohne Gebissanomalie keine Unterschiede bestehen (Bishara 1998, You et al. 2001), während das Wachstumspotential des Unterkiefers, also die Gesamtwachstumszunahme, bei den normalen Probanden bezüglich der Gesamtunterkieferlänge (Co-Pog) und der Unterkieferkorpuslänge (Go-Pog) größer sind (Baccetti et al. 1997; Bishara et al. 1997). Buschang et al. bestätigten dies und wiesen nach, dass die jährlichen Wachstumsraten bei Jungen und Mädchen ohne Gebissanomalie um 0,4 mm pro Jahr bzw. 0,2 mm pro Jahr größer waren als bei Probanden mit Gebissanomalie, während die Wachstumsrichtung nicht signifikant unterschiedlich zwischen den Gruppen war (Buschang et al. 1988).

Die Analyse des Unterkiefers nach morphologischen Kriterien zeigte, dass Größen- und Formveränderungen des Unterkiefers bei normalen Probanden und Probanden mit Klasse II Anomalie sehr ähnlich sind (Palomo et al. 2005). Franchi et al. zeigten, dass

nur während des puberalen Wachstumsspurtes signifikante Veränderungen in der Morphologie des Unterkiefers bei normalen Probanden stattfanden, die eine Anpassungserscheinung an des exzessive Unterkieferwachstum während des adoleszenten Wachstums darstellen (Franchi et al. 2001).

Die Wachstumsrichtung des Unterkiefers in sagittaler Richtung wird bei normalen Probanden folgendermaßen beschrieben: signifikante und kontinuierliche Zunahme des SNB-Winkels und des SNPog-Winkels (Bishara et al. 1984; Kerr 1979) bei gleichzeitiger Abnahme des ANB-Winkels (Nanda 1971; Thilander et al. 2005), nachweisliche anteriore Rotation des Unterkiefers durch Verkleinerung des Kieferwinkels und des Mandibularebenenwinkels (Kerr 1979; Thordarson et al. 2006), die eng mit der Wachstumszunahme im Bereich der hinteren und vorderen Gesichtshöhe in Verbindung stehen (Nanda 1971; Sinclair und Little 1985).

Unterschiede zwischen den Geschlechtern werden für unterschiedliche Parameter des Unterkiefers angegeben und sind altersabhängig. Männliche Probanden weisen größere Unterkieferlängen auf, wobei einige Autoren bei ihren männlichen Probanden bereits im Alter von sechs Jahren größere Unterkiefer (Ar-Gn) fanden (Thordarson et al. 2006), während andere erst später über die Etablierung signifikanter Unterschiede berichten. So fand Nanda bis zum Alter von 10 Jahren keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Unterkieferlänge und auch Sinclair und Little wiesen diese erst nach der Pubertät nach (Nanda 1971; Sinclair und Little 1985). Einigkeit besteht darin, dass das Wachstum des Unterkiefers bei den männlichen Probanden länger andauert und der puberale Wachstumsspurts bei den weiblichen Probanden ein bis zwei Jahre früher einsetzt als bei den männlichen (Barnes 1955; Bishara et al. 1984; Buschang et al. 1988; Taranger und Hägg 1980).

(4) Während der Gebissentwicklung findet bei normalen Probanden eine kontinuierliche Anteriorbewegung der oberen Schneidezähne und Aufrichtung der oberen und unteren Schneidezähne in Form einer Protrusion statt (Broadbent Sr et al. 1975; Kerr 1979; Thilander et al. 2005). Dabei reduziert sich der Interinzisalwinkel signifikant (Humerfelt und Slagvold 1972). Die gemessenen Veränderungen wurden jeweils für die oberen Schneidezähne in Bezug zur vorderen Schädelbasis und zum Oberkieferplanum und für

die unteren Schneidezähne in Bezug zur Mandibularebene beurteilt. Im Gegensatz dazu beobachteten Sinclair und Little eine stabile Position der oberen Schneidezähne über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg (Sinclair und Little 1985). Zwischen den dentoalveolären Beziehungen der männlichen und weiblichen Probanden bestehen keine statistisch signifikanten Beziehungen (Humerfelt und Slagvold 1972; Thordarson et al. 2006).

(5) Der Vergleich des vertikalen Gesichtsschädelaufbaus von Probanden mit und ohne Gebissanomalien zeigt uneinheitliche Ergebnisse. Während einige Autoren keine Unterschiede bezüglich der vertikalen Relation von Ober- und Unterkiefer zueinander oder von Ober- und Unterkiefer in Relation zur vorderen Schädelbasis fanden (Baccetti et al. 1997; Bishara et al. 1997), stellten andere Autoren ein mehr vertikales Wachstum bei Probanden mit Klasse II Anomalien fest (Palomo et al. 2005). Grundsätzlich wird für normale Probanden eine Abnahme des SN-MP-Winkels für beide Geschlechter angegeben (Broadbent Sr et al. 1975; Kerr 1979). Nanda gibt über einen Zeitraum von 13 Jahren eine Abnahme der Neigung der Schädelbasis zum Mandibularplanum (SN-MP-Winkel) von 5,4 Grad an (Nanda 1971). Bezüglich der Entwicklung der Neigung des Oberkieferplanums in Relation zur vorderen Schädelbasis (SN-PP-Winkel) gibt es nur wenige veröffentlichte Angaben. Kerr beschreibt über einen Zeitraum von 10 Jahren eine Zunahme dieses Winkels (Kerr 1979). Mit Ausnahme von einer Studie (Thordarson et al. 2006), die für weibliche Probanden eine signifikant größere Neigung der Schädelbasis zum Mandibularplanum (SN-MP-Winkel) und zum Oberkieferplanum (SN-PP-Winkel) beschreibt, existieren keine Angaben zu geschlechtsspezifischen Unterschieden bezüglich des vertikalen Gesichtsschädelaufbaus bei normalen Probanden.

Grundsätzlich wird die kontinuierliche Zunahme der vorderen gesamten Gesichtshöhe (N-Gn), der vorderen oberen (N-Spa) und unteren Gesichtshöhe (Spa-Me) und der hinteren Gesichtshöhe (S-Go) für beide Geschlechter beschrieben, wobei die anfängliche Größe und die Wachstumszunahmen dieser beiden Parameter bei den männlichen Probanden signifikant größer sind (Sinclair und Little 1985; Thordarson et al. 2006).

(6) Zwischen der Entwicklung des Weichteilprofils bei Probanden mit und ohne Gebissanomalien bestehen keine nachweislichen Unterschiede (Bishara et al. 1997). Die umfangreichste Untersuchung zu dieser Thematik stammt von Bishara et al., die die Entwicklung des Weichteilprofils anhand von 15 männlichen und 25 weiblichen Probanden über einen Zeitraum von 40 Jahren verfolgte (Bishara et al. 1998). Sie analysierte die Langzeitentwicklung der Weichteile anhand von drei Winkeln und zwei linearen Messwerten, die unter anderem die Entwicklung der Gesichtskonvexität und der Lippenbeziehung zur Ästhetiklinie nach Ricketts umfasste. Bezüglich der absoluten Werte, der Wachstumszunahmen und der Wachstumsrichtung wurden für diese Parameter keine geschlechtsspezifisch signifikanten Unterschiede gefunden. Bei den weiblichen Probanden traten die Veränderungen im Weichteilprofil früher ein (10-15 Jahre), während sie bei den männlichen erst mit 15-25 Jahren deutlich wurden. Durch die Zunahme der Nasenprominenz und die damit verbundene zunehmende Retrusion von Ober- und Unterlippe, nahm die Gesichtskonvexität bei beiden Geschlechtern zu. Wiederum traten diese Veränderungen bei den weiblichen Probanden mit 15 bis 25 Jahren früher ein als bei den männlichen Probanden mit 25 bis 45 Jahren.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass grundsätzliche Wachstumscharakteristika bei unbehandelten Probanden mit normaler Gebissentwicklung bekannt sind, die jedoch auf wenigen Longitudinalstudien mit geringer Probandenanzahl beruhen. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass es während der Gesichtsschädelentwicklung zu alters- und geschlechtsabhängigen Veränderungen linearer und angulärer Messwerte in den verschiedenen Populationen kommt. Aus diesem Grund ist es erforderlich, alters- und geschlechtsspezifische kephalometrische Referenzwerte in der Diagnose und Behandlungsplanung zu benutzen. Für deutsche Kinder und Jugendliche liegen keine vergleichbaren Werte zur Nutzung vor. Die vorliegende Arbeit ist ein Beitrag dazu, alters- und geschlechtsspezifische Referenzwerte für diese Population zur Verfügung zu stellen.

3 PROBANDEN UND METHODE

Die vorliegende Untersuchung basiert auf den diagnostischen Unterlagen der *Rostocker Wachstumsstudie*. Die Rostocker Wachstumsstudie wurde von Prof. Dr. Ursula Klink-Heckmann an der Universität Rostock im Jahre 1959 begonnen und umfasste 102 kieferorthopädisch unbehandelte Probanden, die von ihrer Geburt an untersucht wurden (Heckmann 1975; Heckmann et al. 1974; Klink-Heckmann und Fischer 1997). Die Anzahl der an der Studie teilnehmenden Probanden reduzierte sich im Verlauf der Studie auf 82 (Heckmann 1973). Bei den zunächst halbjährlichen und ab dem 4. Lebensjahr jährlichen Untersuchungen wurden Calzinat-Abformungen des Ober- und Unterkiefers, anamnestische und klinische Erhebungen vorgenommen. Im Rahmen der Rostocker Wachstumsstudie wurden vom 7. Lebensjahr an in jährlichen Abständen Fernröntgenseitenbilder angefertigt.

Die Fernröntgenseitenaufnahmen wurden mit dem Röntgengerät vom Typ TUR D 300 in der Radiologischen Abteilung der Rostocker Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde angefertigt. Der Kopf des sitzenden Patienten wurde im Kephalostaten in angestrebter natürlicher Kopfhaltung und habitueller Okklusion fixiert und mit der Medianebene zur Filmebene parallel ausgerichtet. Fokus-Film-Abstand und Objekt-Film-Abstand betrugen jeweils 330 cm bzw. 22 cm. Die Ausrichtung des Zentralstrahls erfolgte auf den Bereich zwei Zentimeter hinter dem lateralen Augenwinkel. Die Spannung betrug 60-75 kV. Durch die Verwendung von Aluminiumfiltern wurde die selektive Abschwächung der Strahlungsintensität in den Bereichen mit geringerer Röntgendichte erreicht und die Darstellung des Weichteilprofils ermöglicht. Den erforderlichen Maßnahmen des Strahlenschutzes wurde durch Anlegen einer Bleischürze Rechnung getragen. Der Vergrößerungsfaktor der verwendeten Aufnahmetechnik wurde bei einem Objekt-Film-Abstand von 22 cm mit 7,14 % berechnet und bei der Auswertung der kephalometrischen Daten berücksichtigt.

3.1 PROBANDENAUSWAHL

Das Untersuchungsmaterial umfasst die seitlichen Fernröntgenseitenaufnahmen von 38 (20 männlichen und 18 weiblichen) unbehandelten Probanden der *Rostocker*

Wachstumsstudie. Von diesen wurden mit Beginn des 7. Lebensjahres bis zum 18. Lebensjahr fast jährlich Fernröntgenseitenaufnahmen angefertigt. In 23 Fällen stehen nach dem 18. bis 25. Lebensjahr vereinzelt angefertigte Fernröntgenseitenaufnahmen zur Verfügung.

Die primären Einschlusskriterien für die vorliegende Studie sind keine kieferorthopädische Behandlung vor und während des gesamten Untersuchungszeitraumes sowie regelrechte Okklusionsverhältnisse zu Beginn und während des gesamten Beobachtungszeitraumes. Dazu zählen:

- beidseitige Neutralokklusion im Eckzahnbereich und die mesial präformierte Stufe oder der gerade Abschluss der Milchzahnreihe im Milch- und Wechselgebiss
- beidseitige Neutralokklusion im Eckzahn- und Molarenbereich im permanenten Gebiss
- korrekter Overjet
- korrekter Overbite
- kein Kreuzbiss oder andere transversale Abweichungen
- kein Engstand im Ober- und Unterkiefer.

Die sekundären Einschlusskriterien sind wie folgt:

- Verfügbarkeit von mindestens sechs seitlichen Fernröntgenseitenbildern guter Qualität für jedes Individuum, davon mindestens eine Fernröntgenseitenaufnahme im Milch- bzw. frühen Wechselgebiss (1. Phase des Zahnwechsels), im späten Wechselgebiss (2. Phase des Zahnwechsels) und im permanenten Gebiss
- vollständiges Milchgebiss oder frühes Wechselgebiss zu Beginn des Untersuchungszeitraumes (Alter 6 und 7 Jahre)
- vollständiges permanentes Gebiss am Ende des Untersuchungszeitraumes (Alter 17 Jahre)
- keine Zahnnichtanlagen oder Zahnverlust vor und während des Untersuchungszeitraumes
- gesunder Allgemeinzustand der Probanden
- kaukasische Abstammung.

Ein Ausschluss von Probanden erfolgte aus den folgenden Gründen:

- Unauffindbarkeit der Fernröntgenseitenbilder bei drei männlichen Probanden
- Vorliegen einer Angle-Klasse-II Okklusion bei einem männlichen Probanden und einer weiblichen Probandin
- begonnene kieferorthopädische Behandlung während des Untersuchungszeitraumes bei einer weiblichen Probandin.

Insgesamt erfüllen 32 Probanden aus der *Rostocker Wachstumsstudie* (16 männliche und 16 weibliche) die oben genannten Einschlusskriterien. Die Einteilung der Probanden erfolgt geschlechtsspezifisch nach ihrem chronologischen Alter in Altersgruppen (Alter 6 bis 13 Jahre und Alter 15 bis 24 Jahre). Aufgrund eines technischen Defektes am Fernröntgengerät liegen aus dem Jahre 1974 (Alter 14 Jahre) keine Röntgenaufnahmen vor. Da nur vereinzelt Fernröntgenseitenbilder nach dem 18. Lebensjahr bei einigen der Probanden vorlagen, wird die Auswertung der Untersuchungsergebnisse auf den Untersuchungszeitraum vom 7. bis zum 18. Lebensjahr begrenzt. Die Tabellen 2 bis 4 geben eine ausführliche Beschreibung der untersuchten Altersgruppen.

Tabelle 2

Altersdemographie: Deskriptive Statistik der männlichen Untersuchungsgruppe (n=16)

Alter (in Jahren)	Anzahl n	\bar{x} (in Jahren)	SD (in Jahren)	Max (in Jahren)	Min (in Jahren)
6	13	6,3	0,1	6,7	6,2
7	14	7,3	0,1	7,6	7,2
8	15	8,5	0,2	8,8	8,1
9	11	9,3	0,1	9,5	9,1
10	16	10,1	0,1	10,3	10,0
11	15	11,1	0,1	11,4	11,0
12	14	12,2	0,2	12,7	12,0
13	15	13,2	0,2	13,7	13,0
15	14	15,5	0,1	15,8	15,3
16	10	16,2	0,1	16,3	16,0
17	10	17,5	0,1	17,6	17,4
18	0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	5	20,4	0,1	20,7	20,3
21	7	21,4	0,2	21,6	21,3
22	0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	3	23,4	0,2	23,7	23,3
24	2	24,2	0,2	24,3	24,0

Tabelle 3
 Altersdemographie: Deskriptive Statistik der weiblichen Untersuchungsgruppe (n=16)

Alter (in Jahren)	Anzahl n	\bar{x} (in Jahren)	SD (in Jahren)	Max (in Jahren)	Min (in Jahren)
6	14	6,3	0,1	6,8	6,2
7	12	7,3	0,1	7,5	7,3
8	16	8,5	0,1	8,9	8,3
9	13	9,3	0,1	9,5	9,2
10	15	10,2	0,1	10,3	10,1
11	14	11,2	0,1	11,5	11,0
12	11	12,2	0,2	12,7	12,1
13	15	13,2	0,1	13,3	13,1
15	13	15,5	0,2	15,8	15,1
16	8	16,1	0,0	16,2	16,1
17	6	17,6	0,1	17,8	17,4
18	2	18,5	0,1	18,6	18,6
19	4	19,9	0,0	19,9	19,8
20	4	20,3	0,1	20,4	20,2
21	4	21,4	0,2	21,6	21,1
22	1	22,1	0,0	22,1	22,1
23	2	23,8	0,0	23,8	23,8
24	1	24,3	0,0	24,2	24,2

Tabelle 4
 Geschlechtsunterschiede zwischen den Altersgruppen

Alter (in Jahren)	Anzahl n	männlich n	weiblich n
6	27	13	14
7	26	14	12
8	31	15	16
9	24	11	13
10	31	16	15
11	29	15	14
12	25	14	11
13	30	15	15
15	27	14	13
16	18	10	8
17	16	10	6
18	2	0	2
19	4	0	4
20	9	5	4
21	11	7	4
22	1	0	1
23	5	3	2
24	3	2	1

Chi-Quadrat-Test[†]: alle nicht signifikant ($p > 0,05$)

3.2 ENTWICKLUNG EINES FRAMEWORKS ZUR ANALYSE DES GESICHTSSCHÄDELWACHSTUMS

Durch die Habilitationsarbeit soll ein Framework zur Analyse des Gesichtsschädelwachstums entwickelt werden. Um unterschiedliche Aufgaben zu erfüllen, setzt es sich aus einzelnen Komponenten zusammen (Abbildung 1). Im Folgenden werden die an die Einzelkomponenten gestellten Anforderungen und deren Funktionalitäten erläutert. Im Anschluss daran wird das neu entwickelte Framework als Ergebnis und gleichzeitig angewandte Methode in der vorliegenden Arbeit vorgestellt. Auf die Umsetzung der Programmanforderungen und die Möglichkeiten der Anwendung der Einzelkomponenten des Frameworks wird im Kapitel 4.1 des Ergebnisteils ausführlich eingegangen.

Die Programmentwicklung verlief in Kooperation mit dem Lehrstuhl Computergrafik am Institut für Informatik der Universität Rostock.

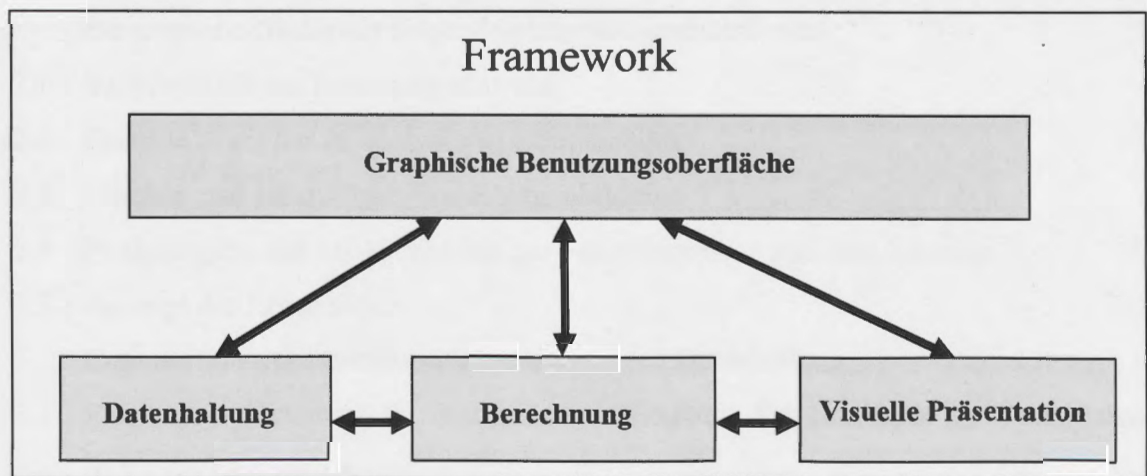


Abbildung 1
Aufbau des Frameworks zur Analyse des Gesichtsschädelwachstums mit den Einzelkomponenten zur Datenhaltung, Berechnung und visuellen Präsentation.

Alle Komponenten des Frameworks stellen die Anforderung an eine Interaktion mit dem Nutzer. Die hierfür notwendige Funktionalität wird durch eine graphische Benutzeroberfläche bereitgestellt, die dem Nutzer die notwendigen Ein- und Ausgaben ermöglicht. Diese Benutzeroberfläche muss intuitiv sein, d.h. sie muss

selbsterklärend und dem Anwendungskontext angepasst sein, um eine einfache Bedienbarkeit zu gewährleisten.

Die Berechnung der kephalometrischen und der tensoranalytischen Daten erfolgt durch zwei Komponenten.

Berechnungskomponente für die Kephalmetrische Analyse

Um die Auswertung der Fernröntgenseitenaufnahmen durch eine benutzerdefinierte kephalometrische Analyse zu ermöglichen und die kephalometrischen Ergebnisdaten der visuellen Datenanalyse zugänglich zu machen, soll eine Berechnungskomponente für die kephalometrische Analyse entwickelt werden.

Die Anforderungen an die zu entwickelnde Berechnungskomponente der kephalometrischen Analyse sind folgende:

1. Entwurf und Implementierung der kephalometrischen Analyse
2. Entwurf und Implementierung einer einheitlichen und intuitiven Benutzeroberfläche mit folgenden Interaktionsfunktionen:
 - 2.1 Suchfunktion zur Probandenauswahl
 - 2.2 Flexible Wahl der zu analysieren Röntgenbilder
 - 2.3 Löschen und Hinzufügen von Röntgenbildern
 - 2.4 Punkteingabe mit Möglichkeiten zur Fehlerkorrektur und zum Zoomen
 - 2.5 Anzeige der Ergebnisse
3. Entwurf und Implementierung einer flexiblen Datenhaltung
 - 3.1 Effektive Speicherung der Stammdaten, Bilddaten, Ergebnisdaten und Punktdaten in lokaler Datenbank
 - 3.2 Export der Ergebnisdaten in globale Datenbank und Übergabe an weitere Berechnungsfunktionen
4. Erweiterbarkeit, Austauschbarkeit.

Berechnungskomponente für die Tensoranalyse

Durch die Entwicklung der Berechnungskomponente für die Tensoranalyse soll deren Anwendung praktikabler zur Lösung wissenschaftlicher und praktischer Aufgaben

gemacht werden. Ziel ist es, die rechnerische Ermittlung der Dilatationen und der Winkel zu vereinfachen und den geometrischen Konstruktionsaufwand für die Lage der Dilatationen im Dreieck zu minimieren (siehe Seiten 42 und 43).

Die Anforderungen an die zu entwickelnde Berechnungskomponente der Tensoranalyse sind folgende:

1. Entwurf und Implementierung der Tensoranalyse mit grafischer Ausgabe der zu analysierenden Dreiecke und der eingezeichneten Dilatationen
2. Entwurf und Implementierung einer einheitlichen und intuitiven Benutzeroberfläche mit folgenden Interaktionsfunktionen:
 - 2.1 Suchfunktion zur Probandenauswahl
 - 2.2 Flexible Wahl der zu analysieren Röntgenbilder und des Referenzbildes
 - 2.3 Löschen und Hinzufügen von Röntgenbildern
 - 2.4 Punkteingabe mit Möglichkeiten zur Fehlerkorrektur und zum Zoomen
 - 2.5 Flexible Wahl der zu analysierenden Dreiecke
 - 2.6 Löschen und Hinzufügen von Dreiecken
 - 2.7 Wahlweise Anzeigemöglichkeit der Dreiecke und der Dilatationen im Dreieck
3. Entwurf und Implementierung einer flexiblen Datenhaltung
 - 3.1 Effektive Speicherung der Stammdaten, Bilddaten, Ergebnisdaten und Punktdaten in lokaler Datenbank
 - 3.2 Export der Ergebnisdaten in globale Datenbank und Übergabe an weitere Berechnungsfunktionen
 - 3.3 Export der analysierten Dreiecke mit eingezeichneten Dilatationen
4. Erweiterbarkeit, Austauschbarkeit.

Datenhaltungskomponente

Aufgabe der Datenhaltung ist es, durch die Implementierung von Datenbanken Abfragemechanismen zu schaffen und eine konsistente Datenspeicherung zu gewährleisten. Bei der Datenhaltung wird die Trennung in lokale und globale Datenbanken vorgenommen. Die globale Datenbank enthält alle erhobenen Daten und gewährleistet damit eine konsistente Datenhaltung. Die lokale Datenbank enthält einen Ausschnitt der globalen Datenbank und speichert damit nur die Daten, die zur Lösung einer konkreten Aufgabe erforderlich sind. Der Zugriff auf die lokale Datenbank

ermöglicht ein schnelles Arbeiten, da zur Lösung einer Aufgabe nur eine spezifische Sicht auf die Daten erforderlich ist und nicht alle Daten dargestellt werden müssen. Die lokale Datenbank enthält somit spezifische Daten. Nach Beendigung der Arbeit mit den Berechnungskomponenten soll ein Abgleich mit der globalen Datenbank erfolgen in der alle Daten gespeichert werden. Die globale Datenbank ermöglicht den zeitgleichen Zugriff durch mehrere Nutzer bei gleichzeitiger Verhinderung von Dateninkonsistenzen.

Komponente zur visuellen Präsentation

Um geeignete visuelle Präsentationen von Datenmengen des Gesichtsschädelwachstums zu erzeugen und damit eine effektive Auswertung zu ermöglichen wird eine Komponente zur visuellen Präsentation entwickelt. Damit sollen visuelle Vergleiche von einzelnen Datensätzen oder Gruppen von Datensätzen, die Identifikation von Gruppen mit ähnlichen und unähnlichen Eigenschaften und das Erfassen mathematischer Zusammenhänge bei der multivariaten Datenanalyse erleichtert werden. Dieser neue, innovative Aspekt der Auswertung von kephalometrischen und tensoranalytischen Daten soll im Folgenden vorgestellt werden. Die sich daraus ergebenden Anforderungen an die zu entwickelnde Komponente der visuellen Präsentation werden im Anschluss daran benannt.

Die visuelle Analyse der berechneten kephalometrischen und tensoranalytischen Daten beinhaltet die Erzeugung von Bildern mit Hilfe von unterschiedlichen Visualisierungstechniken. Hierzu werden die Eigenschaften der Datensätze auf visuelle Attribute abgebildet (Schumann und Müller 2000). Um aus Datenmengen Bilder zu generieren, wird die Visualisierungspipeline nach dem erweiterten Modell von dos Santos und Brodlie (2004) durchlaufen (Abbildung 2). Die *Problem Data* sind die vorhandenen Rohdaten. Das sind im Falle des zu entwickelnden Frameworks alle vom Nutzer eingegebenen Patienteninformationen und die Koordinaten der digitalisierten Referenzpunkte. Die Funktion *Data Analysis* berechnet aus den Rohdaten Strecken und Winkel in der kephalometrischen Analyse sowie die Dilatationen D1, D2 und die Winkel α und β in der Tensoranalyse. Es werden nur die Datensätze selektiert, die zusätzlich zu den Patientendaten auch gepunktet wurden. Dadurch entstehen keine

lückenhaften Daten. Nach diesem Datenaufbereitungsschritt erhält man die *Visualization Data*.

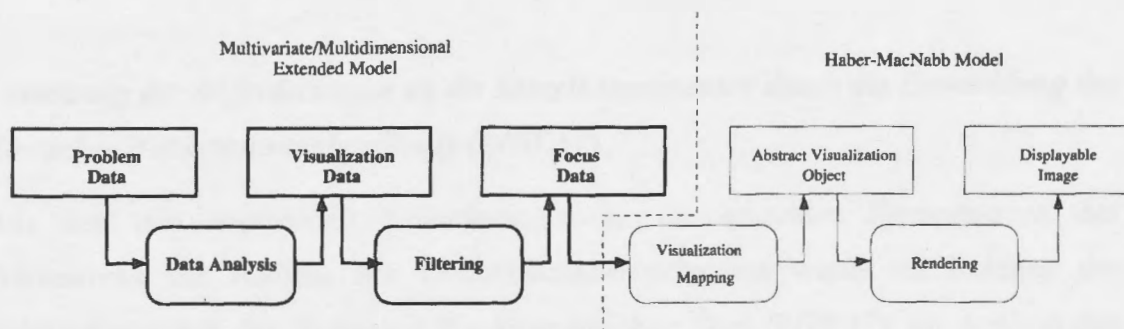


Abbildung 2
Visualisierungspipeline mit Datenfluss (dos Santos und Brodlie 2004).

Das *Filtering* ist die Einteilung in Gruppen (z. B. nach Geschlecht) und die Auswahl der zu analysierenden Strecken und Winkel aus der kephalometrischen Analyse sowie der Dreiecke aus der Tensoranalyse. Die daraus resultierenden Datenmengen bilden die *Focus Data*. Das *Visualization Mapping* generiert die Geometriedaten. Diese sind abhängig von der Visualisierungstechnik. Bei einfachen Punktdiagrammen sind dies z. B. die Punktkoordinaten und die Lage der Koordinatenachsen. Aber auch die Farbe der Punkte gehört zu dem *Abstract Visualization Object*. Der *Rendering* Schritt erzeugt das *Displayable Image*, welches dann auf dem Bildschirm (oder anderen Ausgabegeräten) ausgegeben wird (Schönfeldt 2006).

Die Anforderungen an die zu entwickelnde Komponente zur visuellen Präsentation sind folgende:

1. Entwurf und Implementierung der visuellen Analyse
2. Entwurf und Implementierung einer einheitlichen und intuitiven Benutzeroberfläche mit folgenden Interaktionsfunktionen:
 - 2.1 Interaktive (nutzergesteuerte)/automatische Gruppenbildung
 - 2.2 Einstellmöglichkeiten mit sinnvollen Voreinstellungen
 - 2.3 Auswahl und Wechsel zwischen verschiedenen Visualisierungstechniken
 - 2.4 Manipulation des Visualisierungsbildes (Hervorhebung einzelner Datensätze durch bspw. farbliche Markierung, Veränderung der Achsenanordnung und der Achsenskalierung, ausschnittsweises Betrachten der Datensätze)
3. Entwurf und Implementierung einer flexiblen Datenhaltung

3.1 Export des Visualisierungsbildes und der Datentabelle

4. Erweiterbarkeit, Austauschbarkeit.

Umsetzung der Anforderungen an die Einzelkomponenten durch die Entwicklung des Rostocker Wachstumsanalyse Tools (ROWAT)

Aus den sich ergebenden Anforderungen an die einzelnen Komponenten des Frameworks zur Analyse des Gesichtsschädelwachstums wurde im Rahmen der Habilitationsarbeit das *Rostocker Wachstumsanalyse Tool (ROWAT)* zur Analyse des Gesichtsschädelwachstums entwickelt. Dieses setzt sich aus einer lokalen Datenbank, einer SQL-Datenbank, der *Rostocker Kephalometrischen Analyse (ROKA)*, der *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* und der *Rostocker Visuellen Analyse (ROVA)* zusammen (Abbildung 3). Der große Vorteil von ROWAT besteht in der Verwendung einer einheitlichen Schnittstelle, die eine flexible Anwendung des Systems sowie die Erweiterbarkeit und die Austauschbarkeit der Einzelkomponenten ermöglicht. Der Abbildung 3 ist leicht zu entnehmen, dass ROWAT einfach um zusätzliche Analysen bzw. Komponenten erweitert werden kann. Auf die praktische Umsetzung der gestellten Anforderungen an die Einzelkomponenten des Frameworks und die Anwendung der einzelnen Programmteile wird im Ergebnisteil (siehe Kapitel 4.1) ausführlich eingegangen.

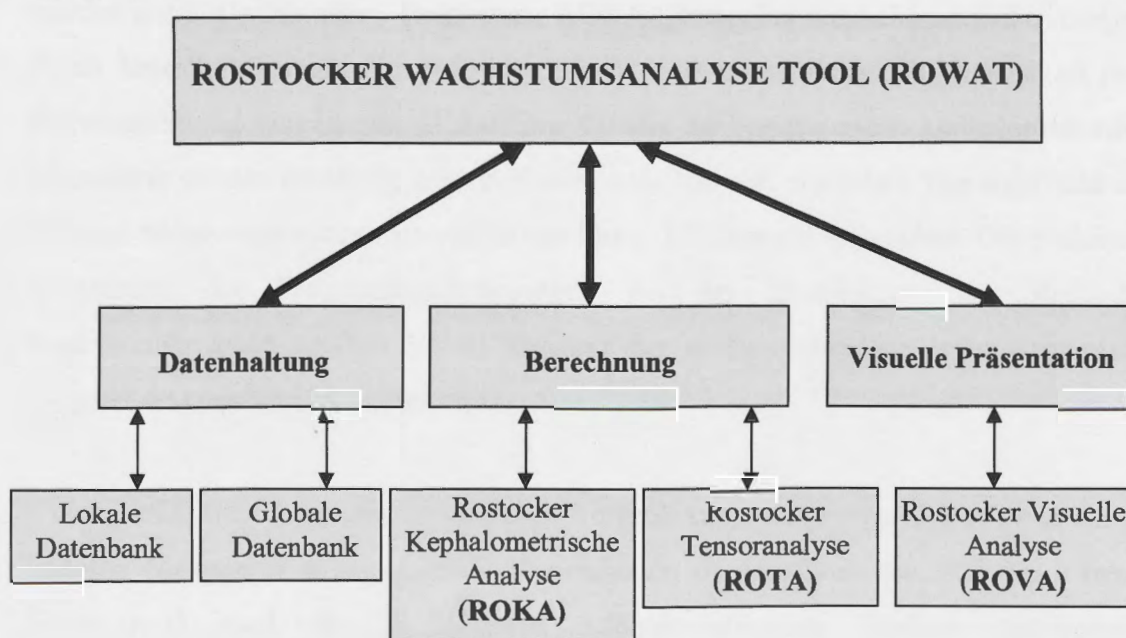


Abbildung 3

Aufbau des Rostocker Wachstumsanalyse Tools (ROWAT) mit Darstellung der Einzelkomponenten.

3.2.1 ROSTOCKER KEPHALOMETRISCHE ANALYSE (ROKA)

Durchzeichentechnik

Alle seitlichen Fernröntgenaufnahmen werden manuell auf 0,003" matter Azetatfolie mit Hilfe eines angespitzten 2H Zeichenbleistiftes durchgezeichnet. Die seriellen Filmaufnahmen eines Probanden werden in einer Sitzung durch denselben Untersucher (FS) unter dunklen Lichtverhältnissen durchgezeichnet. Bei aufgetretenen Doppelkonturen bilateraler anatomischer Strukturen wird jeweils die Mitte berücksichtigt. Die funktionelle Okklusionsebene sowie folgende Referenzlinien zur Konstruktion von Punkten werden zusätzlich auf jeder Durchzeichnung eingezeichnet: N-Ba, Ar-Gop, Goi-Me, N-Pog, Ptm-Schnittpunkt der Linien N-Pog und Goi-Me (siehe Seiten 36 und 37).

Digitalisierung und Berechnung

Vor der Punkteingabe werden die Durchzeichnungen der Fernröntgenseitenbilder mit der Auflösung von 300 dpi (dots per inch) in Graustufen gescannt und für die Auswertung in das neue Programm für die kephalometrische Analyse eingelesen. Die kephalometrischen Referenzpunkte der durchgezeichneten Fernröntgenseitenaufnahme werden mit Hilfe des neuen Programms ROKA (Rostocker Kephalemetrische Analyse) durch denselben Untersucher (FS) digitalisiert. Insgesamt werden 70 Punkte mit jeder Durchzeichnung eingegeben (Abbildung 4). Die zu berechnenden kephalometrischen Messwerte werden durch die neue Software ermittelt und exportiert. Die angulären und linearen Messwerte werden jeweils in Grad bzw. Millimetern angegeben. Die praktische Umsetzung der Programmanforderungen bei der Entwicklung der Rostocker Kephalemetrischen Analyse ist als Ergebnis der vorliegenden Arbeit im Ergebnisteil (Kapitel 4.1) ausführlich beschrieben.

Unter Berücksichtigung des verwendeten Vergrößerungsfaktors von 7,14 % werden die linearen Messwerte in lebensgroße Dimensionen umgerechnet. Im Anhang 1 (siehe Seite A-1) sind die in anderen kephalometrischen Studien verwendeten Vergrößerungsfaktoren vergleichsweise dargestellt.

Kephalometrische Analyse

Eine benutzerdefinierte kephalometrische Analyse, die Messwerte und Referenzebenen aus verschiedenen kephalometrischen Analysen enthält (Hasund 1973; Jacobson 1975; Jarabak und Fizzel 1972; McNamara 1984; Ricketts 1981; Steiner 1953) wird in der vorliegenden Studie verwandt. Insgesamt werden 53 Variablen (23 anguläre und 30 lineare Messwerte) für jede Fernröntgenseitenaufnahme ausgewertet (Tabellen 5 und 6). In der Abbildung 5 sind die verwendeten kephalometrischen Bezugsebenen grafisch dargestellt. Die Definition der ermittelten angulären und linearen Messwerte ist ausführlich im Anhang 2 (siehe Seiten A-2 bis A-6) wiedergegeben.

Kephalometrische Bezugspunkte für die kephalometrische Analyse

<u>Nummer</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Definition</u>
1	G	Glabella, anteriorster Stirnpunkt in der Region des Supraorbitalrandes
2	Gi	Punkt in der Mitte der Strecke Glabella und Weichteilnasion gelegen
3	Ns	Weichteilnasion, tiefster Punkt der Weichteilkonkavität am Übergang von Stirn zur Nase
4	Nds'	Punkt an der unteren Grenze der Weichteilkonkavität von Weichteilnasion und Nasenrücken gelegen
5	Nd'	Nasal dorsum, Punkt in der Mitte der Strecke Weichteilnasion und Pronasale gelegen
6	Ndi'	Punkt am Übergang von Nasenrücken und Nasenspitze gelegen
7	Pns'	Pronasale superior, superiorer Punkt der Nasenspitze
8	Pn	Pronasale, Nasenspitze, anteriorster Punkt der Nase
9	Pni'	Pronasale inferior, inferiorer Punkt der Nasenspitze am Übergang zur Columella
10	Col	Columella, Punkt am Übergang des geraden Teiles des Nasensteges in den konvexen Bereich der Nasenspitze
11	Sn	Subnasale, Übergang von Columella zum Oberlippenphiltrum

<u>Nummer</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Definition</u>
12	Sls	Sulcus labialis superior, tiefster Punkt der Oberlippenkonkavität zwischen Subnasale und Oberlippenpunkt
13	Ls	Labiale superior, Oberlippenpunkt, mukocutane Grenze zwischen Oberlippe und Philtrum
14	Lsi	Punkt der Oberlippe mittig zwischen Labiale superior and Stomion superius gelegen
15	Sts	Stomion superius, inferiorster Punkt des Oberlippenrotes
16	Sti	Stomion inferius, superiorster Punkt des Unterlippenrotes
17	Lis	Punkt der Unterlippe mittig zwischen Stomion inferior und Labiale inferior gelegen
18	Li	Labiale inferior, Unterlippenpunkt, mukocutane Grenze der Unterlippe
19	Lii	Punkt mittig zwischen Labiale inferior und Mentolabialfalte gelegen
20	Sm	Supramentale, tiefster Punkt der Konkavität zwischen Labiale inferior und Kinn
21	Smi	Punkt mittig zwischen Mentolabialfalte und Hautpogonion gelegen
22	Pog'	Hautpogonion, anteriorster Punkt des Weichteilkinns
23	Gn'	Hautgnathion, anterior-inferiorster Punkt des Weichteilkinns
24	Me'	Hautmenton, inferiorster Punkt des Weichteilkinns
25	C	Cervikalpunkt am Übergang von Submentalregion und Hals
26	G	Glabella, Höhe der Krümmung des den Sinus frontalis bedeckenden Knochens
27	N	Nasion, posteriorster Punkt an der Verbindung der Sutura nasofrontalis mit der Krümmung des knöchernen Nasenrückens
28	Nd	inferior-anteriorster Punkt des Os nasale

<u>Nummer</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Definition</u>
29	Ors	mittlerer Punkt des lateralen Orbitalrandes
30	Or	Orbitale, kaudalster Punkt der knöchernen Orbita
31	S	Sella Turcica, Mitte der Fossa hypophysialis des Os Sphenoidale
32	Ptm	Posterior-superiorster Punkt der Kontur der Fissura pterygomaxillaris
33	Spp	Spina nasalis posterior, posteriorster Punkt des knöchernen Hartgaumens in der Median-Sagittalebene
34	Spa	Spitze der Spina nasalis anterior in der Median-Sagittalebene
35	A	A-Punkt, tiefster Punkt der anterioren Kurvatur des Oberkieferalveolarfortsatzes
36	A OK1	Wurzelspitze des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes
37	I OK1	Inzisalpunkt des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes
38	F OK1	Anteriorster Punkt der fazialen Fläche des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes bezüglich der funktionellen Okklusionsebene
39	A OK6	Wurzelspitze der anterioren Wurzel des ersten oberen Molaren
40	H OK6	Mesiale Höckerspitze des ersten oberen Molaren
41	M OK6	Mesialer Kontaktpunkt des ersten oberen Molaren
42	D OK6	Distaler Kontaktpunkt des ersten oberen Molaren
43	Ax OK6	Punkt mittig zwischen der mesiobukkalen und distobukkalen Wurzelspitze des ersten oberen Molaren
44	H UK6	Anteriore Höckerspitze des ersten unteren Molaren
45	A UK6	Wurzelspitze der anterioren Wurzel des ersten unteren Molaren

<u>Nummer</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Definition</u>
46	M UK6	Mesialer Kontaktpunkt des ersten unteren Molaren
47	D UK6	Distaler Kontaktpunkt des ersten unteren Molaren
48	I UK1	Inzispunkt des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes
49	A UK1	Wurzelspitze des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes
50	F UK1	Anteriorster Punkt der fazialen Fläche des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes bezüglich der funktionellen Okklusionsebene
51	B	B-Punkt, tiefster Punkt der anterioren Kontur des Unterkieferalveolarfortsatzes
52	AntPog	Punkt am knöchernen Kinn mittig zwischen B-Punkt und Pogonion gelegen
53	Pog	Anteriorster Punkt des knöchernen Kinns
54	Gn	Gnathion (anatomisch), anterior-inferiorster Punkt des knöchernen Kinns, Schnittpunkt der durch die Winkelhalbierende des von Mandibularebene und Fazialebene eingeschlossenen Winkels am Unterkiefersymphysenrand entsteht
55	Me	Menton, inferiorster Punkt der Unterkiefersymphyse
56	Mep	Punkt am Unterkieferrand mittig im Bereich der Konvexität des Unterkieferrandes gelegen
57	AntGo	Antegonion, Punkt am Unterkieferrand in der Tiefe der Konkavität des Unterkieferrandes gelegen
58	Goi	Gonion inferior, Schnittpunkt der Tangente von Menton und der Konvexität des Unterkieferrandes im Bereich des Kieferwinkels
59	Go	Gonion (anatomisch), Schnittpunkt der durch die Winkelhalbierende des von Mandibularebene und hinterer Ramuslinie eingeschlossenen Winkels am Unterkieferrand entsteht

<u>Nummer</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Definition</u>
60	Gop	Gonion posterior, Schnittpunkt der Tangente von Artikulare und der posterioren Wölbung des Ramus mandibulae im Bereich des Kieferwinkels
61	Rm	Punkt an der hinteren Begrenzung des Ramus mandibulae in der Tiefe der Konkavität des Ramus mandibulae gelegen
62	Ar	Artikulare, Schnittpunkt der unteren Fläche der Schädelbasis mit der posterioren Kontur des Condylus mandibularis
63	Co	Condylion, posterior-superiorster Punkt der Kurvatur des Condylus mandibularis
64	Cos	Condylion superior, superiorster Punkt der Kurvatur des Condylus mandibularis
65	Coa	Artikulare anterior, Schnittpunkt der unteren Fläche der Schädelbasis mit der anterioren Kontur des Condylus mandibularis
66	Com	Mitte des Condylus mandibularis
67	Po	Porion, Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen dem superiorsten Punkt des rechten und linken Meatus acusticus externus
68	Ba	Basion, posterior-inferiorster Punkt des Vorderrandes des Foramen magnum
69	FHp	Posterior gelegener Punkt auf der funktionellen Okklusionsebene
70	FHa	Anterior gelegener Punkt auf der funktionellen Okklusionsebene

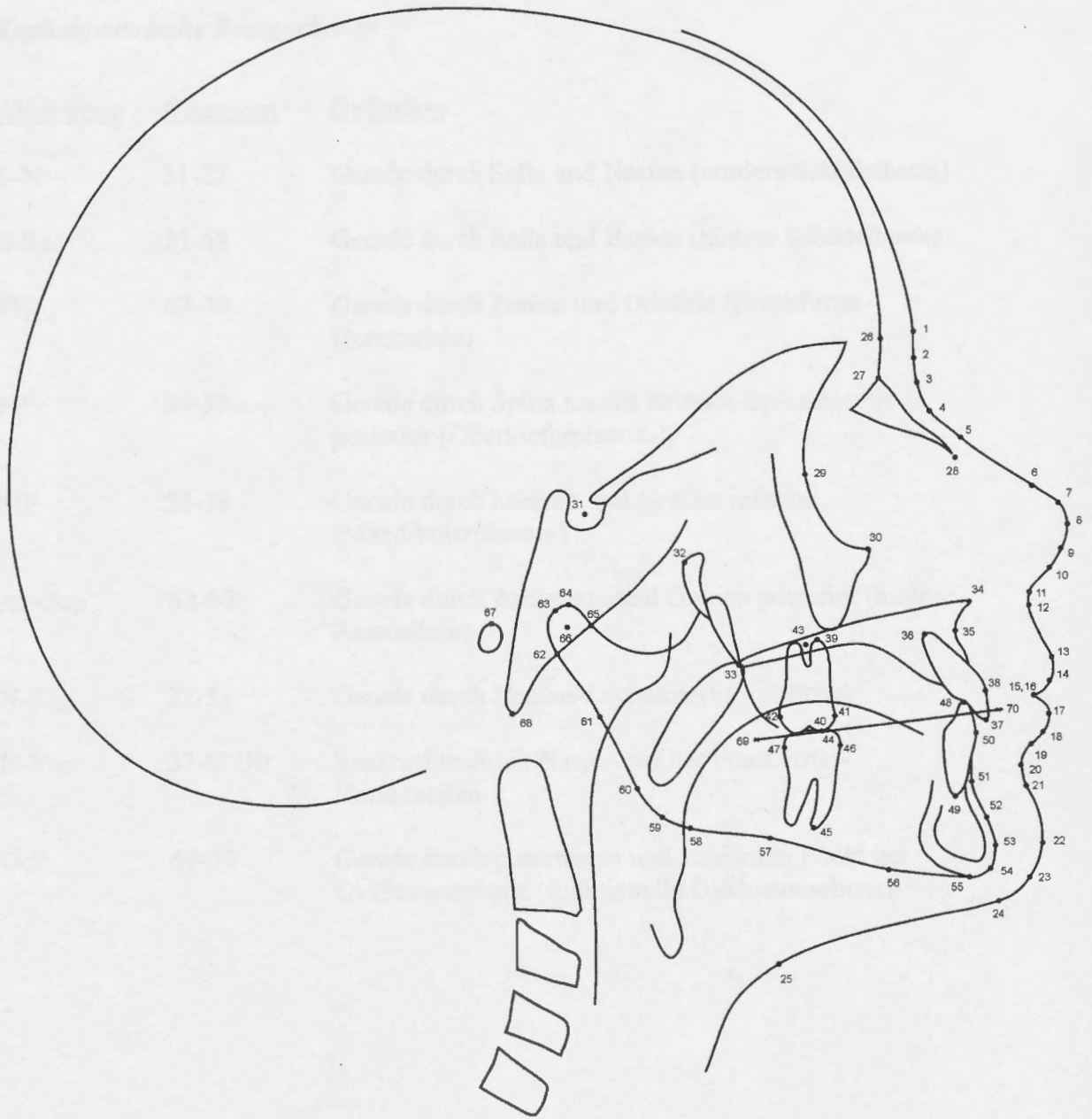


Abbildung 4
Digitalisierte kephalometrische Punkte für die kephalometrische Analyse am Beispiel
des männlichen Probanden W. K.

Kephalometrische Bezugsebenen

<u>Abkürzung</u>	<u>Nummern</u>	<u>Definition</u>
S-N	31-27	Gerade durch Sella und Nasion (vordere Schädelbasis)
S-Ba	31-68	Gerade durch Sella und Basion (hintere Schädelbasis)
FH	67-30	Gerade durch Porion und Orbitale (Frankfurter-Horizontale)
PP	34-33	Gerade durch Spina nasalis anterior-Spina nasalis posterior (Oberkieferplanum)
MP	55-58	Gerade durch Menton und Gonion inferior (Mandibularplanum)
Ar-Gop	62-60	Gerade durch Artikulare und Gonion posterior (hintere Ramuslinie)
N-Pog	27-53	Gerade durch Nasion-Pogonion (Fazialebene)
N-Vert	27-67/30	Senkrechte durch Nasion auf der Frankfurter-Horizontalen
OcP	69-70	Gerade durch posterioren und anterioren Punkt der Okklusionsebene (funktionelle Okklusionsebene)

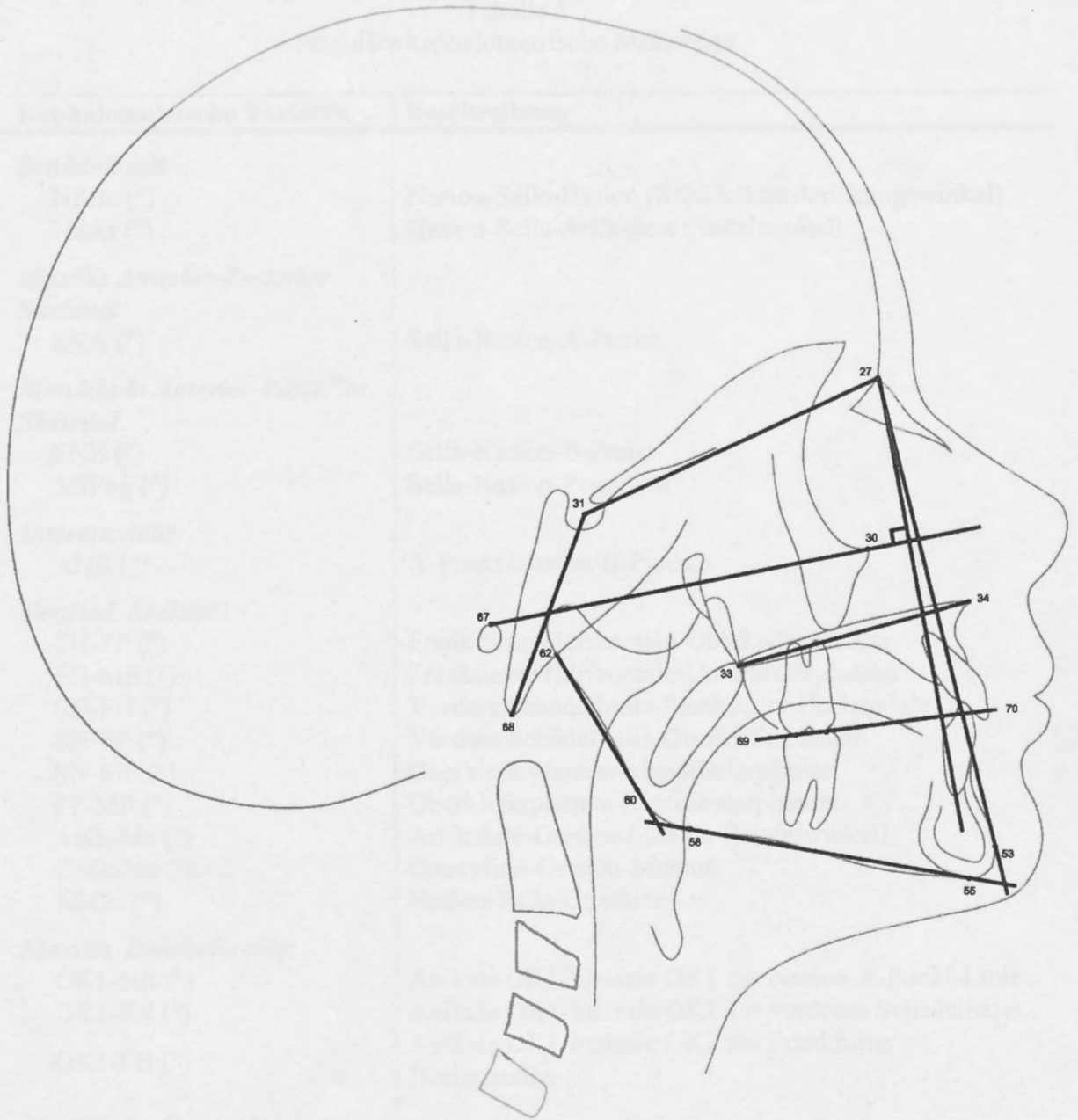


Abbildung 5
Kephalometrische Bezugsebenen am Beispiel des männlichen Probanden W. K.

Tabelle 5
 Anguläre kephalometrische Messwerte

Kephalometrische Variable	Beschreibung
Schädelbasis	
NSBa (°)	Nasion-Sella-Basion (Schädelbasisknickungswinkel)
NSAr (°)	Nasion-Sella-Artikulare (Sattelwinkel)
Maxilla Anterior-Posterior Skelettal	
SNA (°)	Sella-Nasion-A-Punkt
Mandibula Anterior-Posterior Skelettal	
SNB (°)	Sella-Nasion-B-Punkt
SNPog (°)	Sella-Nasion-Pogonion
Intermaxillär	
ANB (°)	A-Punkt-Nasion-B-Punkt
Vertikal Skelettal	
FH-PP (°)	Frankfurter Horizontale-Oberkieferplanum
FH-MP (°)	Frankfurter Horizontale-Unterkieferplanum
SN-FH (°)	Vordere Schädelbasis-Frankfurter Horizontale
SN-PP (°)	Vordere Schädelbasis-Oberkieferplanum
SN-MP (°)	Oberkieferplanum-Mandibularplanum
PP-MP (°)	Oberkieferplanum-Mandibularplanum
ArGoMe (°)	Artikulare-Gonion-Menton (Kieferwinkel)
CoGoMe (°)	Condylion-Gonion-Menton
NSGn (°)	Nasion-Sella-Gnathion
Maxilla Dentoalveolär	
OK1-NA (°)	Apikale OK1-Inzisale OK1 zur Nasion-A-Punkt-Linie
OK1-SN (°)	Apikale OK1-Inzisale OK1 zur vorderen Schädelbasis
OK1-FH (°)	Apikale OK1-Inzisale OK1 zur Frankfurter Horizontalen
Mandibula Dentoalveolär	
UK1-NB (°)	Apikale UK1-Inzisale UK1 zur Nasion-B-Punkt-Linie
UK1-MP (°)	Apikale UK1-Inzisale UK1 zum Mandibularplanum
Interdental	
OK1-UK1 (°)	Interinzisalwinkel
Weichteilanalyse	
Nasolab (°)	Nasolabialwinkel
OL Neig (°)	Oberlippenneigung

Tabelle 6
Lineare kephalometrische Messwerte

Kephalometrische Variable	Beschreibung
Schädelbasis	
S-N (mm)	Sella-Nasion (vordere Schädelbasis)
S-Ba (mm)	Sella-Basion (hintere Schädelbasis)
S-Ar (mm)	Sella-Artikulare (seitliche Schädelbasis)
Maxilla Anterior-Posterior	
Skelettal	
Pt A-N Vert (mm)	A-Punkt-Nasionsenkrechte
Co-A (mm)	Condylion-A-Punkt (Mittelgesichtslänge)
Spa-Spp (mm)	Spina nasalis anterior-Spina nasalis posterior (Oberkieferlänge)
Mandibula Anterior-Posterior	
Skelettal	
Pog-N Vert (mm)	Pogonion- Nasionsenkrechte
Co-Gn (mm)	Condylion-Gnathion (effektive Unterkieferlänge)
Ar-Gn (mm)	Artikulare-Gnathion
Co-Go (mm)	Condylion-Gonion (Höhe des Ramus mandibulae)
Go-Me (mm)	Gonion-Menton (Länge des Corpus mandibulae)
Intermaxillär	
Wits (mm)	Wits-Wert
Mx/Mn diff (mm)	Maxillo-mandibuläre Differenz
Vertikal Skelettal	
N-Me (mm)	Nasion-Menton (vordere Gesichtshöhe)
N-Spa (mm)	Nasion-Spina nasalis anterior (vordere obere Gesichtshöhe)
Spa-Me (mm)	Spina nasalis anterior-Menton (vordere untere Gesichtshöhe)
S-Go (mm)	Sella-Gonion (hintere Gesichtshöhe)
Maxilla Dentoalveolär	
OK1-NA_ (mm)	Inzisale OK1 zur Nasion-A-Punkt-Linie
OK1-Pt A Vert (mm)	Inzisale OK1 zur A-Punkt-Vertikalen
Mandibula Dentoalveolär	
UK1-NB_ (mm)	Inzisale UK1 zur Nasion-B-Punkt-Linie
UK1-Pt A Pog (mm)	Inzisale UK1 zur A-Punkt-Pogonion-Linie
Interdental	
OJ Faz (mm)	Overjet Fazial
OJ Incis (mm)	Overjet Inzisal
OB (mm)	Overbite
OK6-UK6 (mm)	Molarenbeziehung
Weichteilanalyse	
OL-E (mm)	Oberlippe zur Pn-Pog'-Linie
UL-E (mm)	Unterlippe zur Pn-Pog'-Linie
OL Protr (mm)	Oberlippe zur Sn-Pog'-Linie
UL Protr (mm)	Unterlippe zur Sn-Pog'-Linie
Mentolab (mm)	Mentolabialfalte zur Li-Pog'-Linie

3.2.2 ROSTOCKER TENSORANALYSE (ROTA)

Durchzeichentechnik

Die Durchzeichnungen der seitlichen Fernröntgenaufnahmen aller Probanden, die für die kephalometrische Auswertung der Röntgenaufnahmen verwendet werden, werden auch in der Tensoranalyse verwendet.

Digitalisierung und Berechnung

Vor der Punkteingabe werden die Durchzeichnungen der Fernröntgenseitenbilder mit der Auflösung von 300 dpi (dots per inch) in Graustufen gescannt und für die Auswertung in das neue Programm für die Tensoranalyse eingelesen. Die kephalometrischen Referenzpunkte der durchgezeichneten Fernröntgenseitenaufnahmen werden mit Hilfe des neuen Programms ROTA (Rostocker Tensoranalyse) durch denselben Untersucher (FS) digitalisiert. Die Punktauswahl ist benutzerdefiniert und die Punkteingabe erfolgt am Bildschirm. Insgesamt werden 29 kephalometrische Punkte mit jeder Durchzeichnung digitalisiert (Abbildung 8). Die Berechnung, die grafische Darstellung und die Ausgabe der Dilatationen und Winkel erfolgt durch die Rostocker Tensoranalyse. Die Messwerte für die Winkel α und β werden in Grad und für die Dilatationen D1 und D2 in dimensionslosen relativen Zahlen angegeben (Abbildung 6). Die praktische Umsetzung der Programmanforderungen bei der Entwicklung des Programms und die Anwendung der Rostocker Tensoranalyse werden als Ergebnisse der vorliegenden Arbeit im Ergebnisteil (Kapitel 4.1) ausführlicher beschrieben.

Charakteristik der Tensoranalyse

Die Tensoranalyse (Bookstein 1982) wird in der vorliegenden Arbeit als zweite Wachstumsanalysemethode ausgewählter Bereiche im Gesichtsschädel verwendet. Sie basiert auf der Geometrie der Ebene und arbeitet mit dimensionslosen Verhältniszahlen. Aufgrund ihrer Koordinatenfreiheit sind wachstumsbedingte Veränderungen ohne die Annahme scheinbar wachstumsneutraler Bezugspunkte ermittelbar. Somit dient sie als überlagerungsfreie Vergleichsmethode (Eckardt et al. 2001).

Grundsätzlich werden zwei Fernröntgenaufnahmen eines Patienten verglichen, wobei das ältere Fernröntgenseitenbild das Referenzbild darstellt, zu dem die wachstumsbedingten Veränderungen berechnet werden. In der vorliegenden Arbeit werden die Wachstumsveränderungen jeweils zum ältesten Fernröntgenseitenbild der Probanden im Alter von 6 oder 7 Jahren berechnet. Das Tensorkonzept erfordert die Aufteilung der zu vergleichenden Fernröntgenseitenbilder in Dreiecke (Triangulierung) mit deren Hilfe die Form- und Größenveränderung gemessen wird. Die Eckpunkte der Dreiecke werden im Unterschied zur konventionellen kephalometrischen Methode als veränderlich angenommen (Moyers und Bookstein 1979). Jedes Dreieck auf dem Referenzbild wird als Ursprungsfigur (Ausgangsdreieck) angenommen. Das entsprechende Dreieck auf dem Vergleichsbild (Vergleichsdreieck) entsteht durch Verformung der Ursprungsfigur in der sich die Eckpunkte des Dreiecks infolge des Wachstums unproportional zueinander verändert haben. Ein in das Ausgangsdreieck eingezeichneter Kreis, der alle drei Seiten berührt und dessen Mittelpunkt der Schnittpunkt der Winkelhalbierenden des Dreiecks ist, wird dabei zur Ellipse (Abbildung 6). Diese zeichnet sich durch zwei senkrecht aufeinander stehende Durchmesser aus. Es handelt sich hierbei um den größten und kleinsten Durchmesser der Ellipse. Gleichzeitig entsprechen sie der maximalen und minimalen Größenveränderung (Dilatationen) des Dreiecks. Bookstein definiert diese Dilatation (Verzerrung) als Quotienten der Längen einander entsprechender Strecken (Bookstein 1982). Durch die Einzeichnung eines biorthogonalen Kreuzes in das Vergleichsdreieck, ist die stattgefundene Transformation in Dimension und Richtung vereinfacht darstellbar. Die berechneten Werte der maximalen und minimalen Dilatation (D1 und D2) werden als Verhältniszahlen wiedergegeben. Die Abbildung 6 zeigt beispielhaft wie sich in dem Vergleichsdreieck A'B'C' alle Strecken parallel zu den Armen des biorthogonalen Kreuzes im Vergleich zur Ursprungsfigur um den jeweiligen Faktor verzerrt haben. In diesem Fall haben sich alle Strecken parallel zu A'B' im Vergleich zum Ausgangsdreieck um den Faktor 2,0 (200 %) verlängert, während die Höhe des Dreiecks mit dem Faktor 1,0 (100 %) gleich geblieben ist (Beetke 2003).

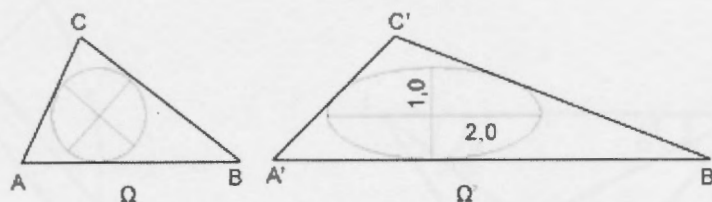


Abbildung 6
Darstellung von Ausgangsdreieck ABC und dessen Transformation zum Vergleichsdreieck A'B'C'.

Das angewandte schrittweise Verfahren zur Ermittlung der tensoranalytischen Messwerte D_1 , D_2 , α und β ist in den Abbildungen 7.1 bis 7.8 am Beispiel des Ausgangsdreiecks ABC und des Vergleichsdreiecks A'B'C' übersichtlich dargestellt.

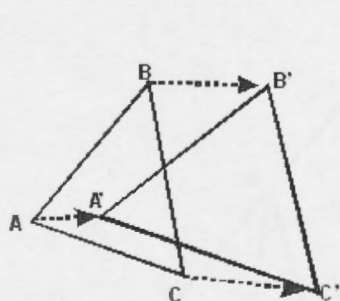


Abbildung 7.1 Ausgangsdreieck ABC und Vergleichsdreieck A'B'C'.

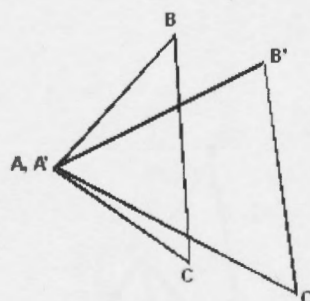


Abbildung 7.2 Translation des Punktes A' in den Punkt A.

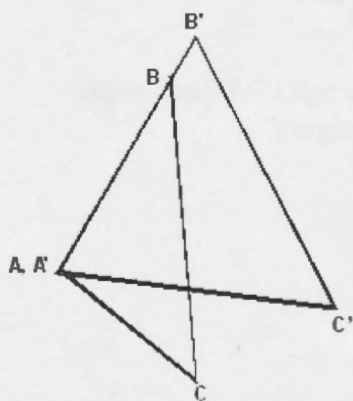


Abbildung 7.3 Rotation des Dreiecks A'B'C' um den Punkt A.

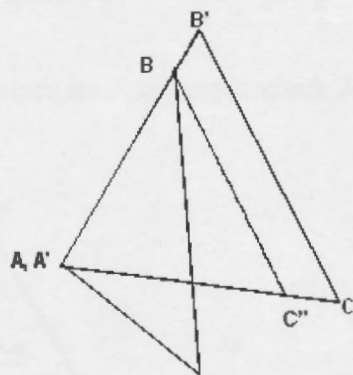


Abbildung 7.4 Wiederherstellung der Skala.

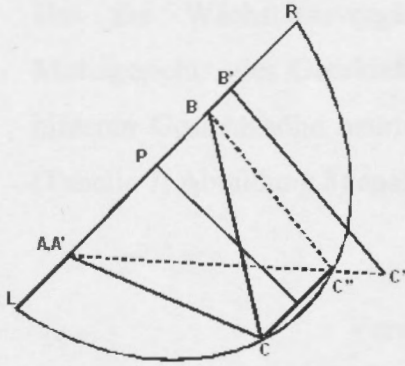


Abbildung 7.5 Konstruktion der Punkte P, L und R.

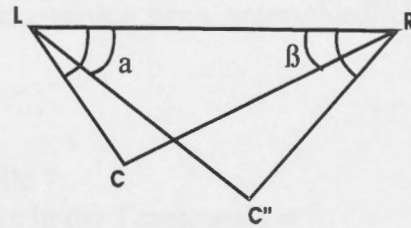


Abbildung 7.6 Richtung der Dilatationen (Winkel α und β).

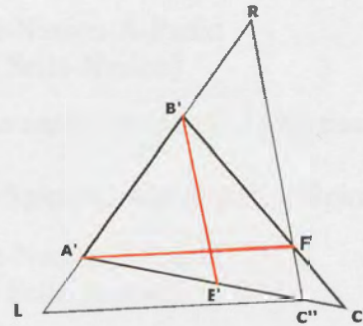
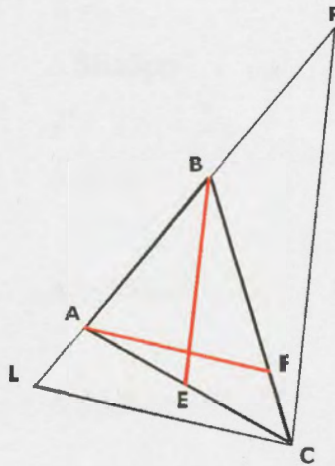


Abbildung 7.7 Lage des biorthogonalen Kreuzes im Ausgangsdreieck ABC und im Vergleichsdreieck $A'B'C'$.

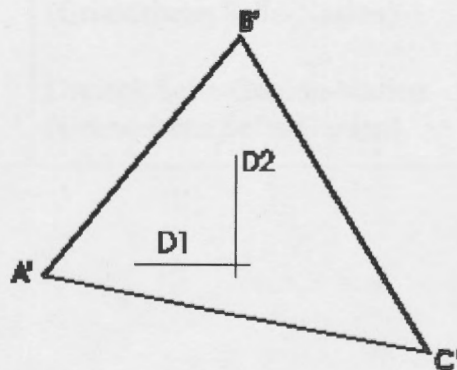


Abbildung 7.8 Ausrichtung der Dilatationen D1 und D2 im umgebauten Vergleichsdreieck $A'B'C'$.

Um die Wachstumsvorgänge lokalisiert im Bereich der Schädelbasis, des Mittelgesichts, des Oberkiefers und des Unterkiefers einschließlich der vorderen und hinteren Gesichtshöhe beurteilen zu können, werden neun unterschiedliche Dreiecke (Tabelle 7, Abbildung 8) analysiert.

Tabelle 7
Verwendete Dreiecke in der Tensoranalyse

Dreieck	Beschreibung
Δ SNBa	Dreieck Sella-Nasion-Basion (Grundebene Sella-Nasion)
Δ SNSpp	Dreieck Sella-Nasion-Spina nasalis posterior (Grundebene Sella-Nasion)
Δ SBaSpp	Dreieck Sella-Basion-Spina nasalis posterior (Grundebene Sella-Basion)
Δ SNA	Dreieck Sella-Nasion-A-Punkt (Grundebene Sella-Nasion)
Δ SppSpaA	Dreieck Spina nasalis posterior-Spina nasalis anterior-A Punkt (Grundebene Spina nasalis posterior-Spina nasalis anterior)
Δ SNB	Dreieck Sella-Nasion-B-Punkt (Grundebene Sella-Nasion)
Δ CondGnGo	Dreieck Condylion-Gnathion-Gonion (Grundebene Condylion-Gnathion)
Δ SNMe	Dreieck Sella-Nasion-Menton (Grundebene Sella-Nasion)
Δ SGoN	Dreieck Sella-Gonion-Nasion (Grundebene Sella-Gonion)

Kephalometrische Bezugspunkte für die Tensoranalyse

<u>Nummer</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Definition</u>
1	N	Nasion, posteriorster Punkt an der Verbindung der Sutura nasofrontalis mit der Kurvatur des knöchernen Nasenrückens
2	S	Sella Turcica, Mitte der Fossa hypophysialis des Os Sphenoidale
3	Spa	Spitze der Spina nasalis anterior in der Median-Sagittalebene
4	Spp	Spina nasalis posterior, posteriorster Punkt des knöchernen Hartgaumens in der Median-Sagittalebene
5	A	A-Punkt, tiefster Punkt der anterioren Kurvatur des Oberkieferalveolarfortsatzes
6	Pr	Prosthion, kaudalster Punkt des Alveolarfortsatzes in den Median-Sagittalebene zwischen den mittleren oberen Schneidezähnen gelegen
7	Or	Orbitale, kaudalster Punkt der knöchernen Orbita
8	Po	Porion, Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen dem superiorsten Punkt des rechten und linken Meatus acusticus externus
9	Ba	Basion, posterior-inferiorster Punkt des Vorderrandes des Foramen magnum
10	Co	Condylion, posterior-superiorster Punkt der Kurvatur des Condylus mandibularis
11	Ar	Artikulare, Schnittpunkt der unteren Fläche der Schädelbasis mit der posterioren Kontur des Condylus mandibularis
12	Gop	Gonion posterior, Schnittpunkt der Tangente von Artikulare und der posterioren Wölbung des Ramus mandibulae im Bereich des Kieferwinkels
13	Go	Gonion (konstruiert), Schnittpunkt von Mandibularebene und hinterer Ramuslinie im Kieferwinkelbereich

<u>Nummer</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Definition</u>
14	Goi	Gonion inferior, Schnittpunkt der Tangente von Menton und der Konvexität des Unterkieferrandes im Bereich des Kieferwinkels
15	Me	Menton, inferiorster Punkt der Unterkiefersymphyse
16	Gn	Gnathion (konstruiert), Schnittpunkt von Mandibularebene und im Pogonion gefällten Senkrechten auf die Mandibularebene
17	Pog	Anteriorster Punkt des knöchernen Kinns
18	B	B-Punkt, tiefster Punkt der anterioren Kontur des Unterkieferalveolarfortsatzes
19	Id	Infradentale, cranialster und anteriorster Punkt des Alveolarfortsatzes in der Median- Sagittalebene zwischen den mittleren unteren Schneidezähnen gelegen
20	I UK1	Inzispunkt des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes
21	A UK1	Wurzelspitze des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes
22	I OK1	Inzispunkt des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes
23	A OK1	Wurzelspitze des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes
24	D OK6	Distaler Kontaktpunkt des ersten oberen Molaren
25	H OK6	Mesiale Höckerspitze des ersten oberen Molaren
26	D UK6	Distaler Kontaktpunkt des ersten unteren Molaren
27	F UK6	Mittlere vestibuläre Querrissur des ersten unteren Molaren
28	FHp	Posterior gelegener Punkt auf der funktionellen Okklusionsebene
29	FHa	Anterior gelegener Punkt auf der funktionellen Okklusionsebene (konstruiert)

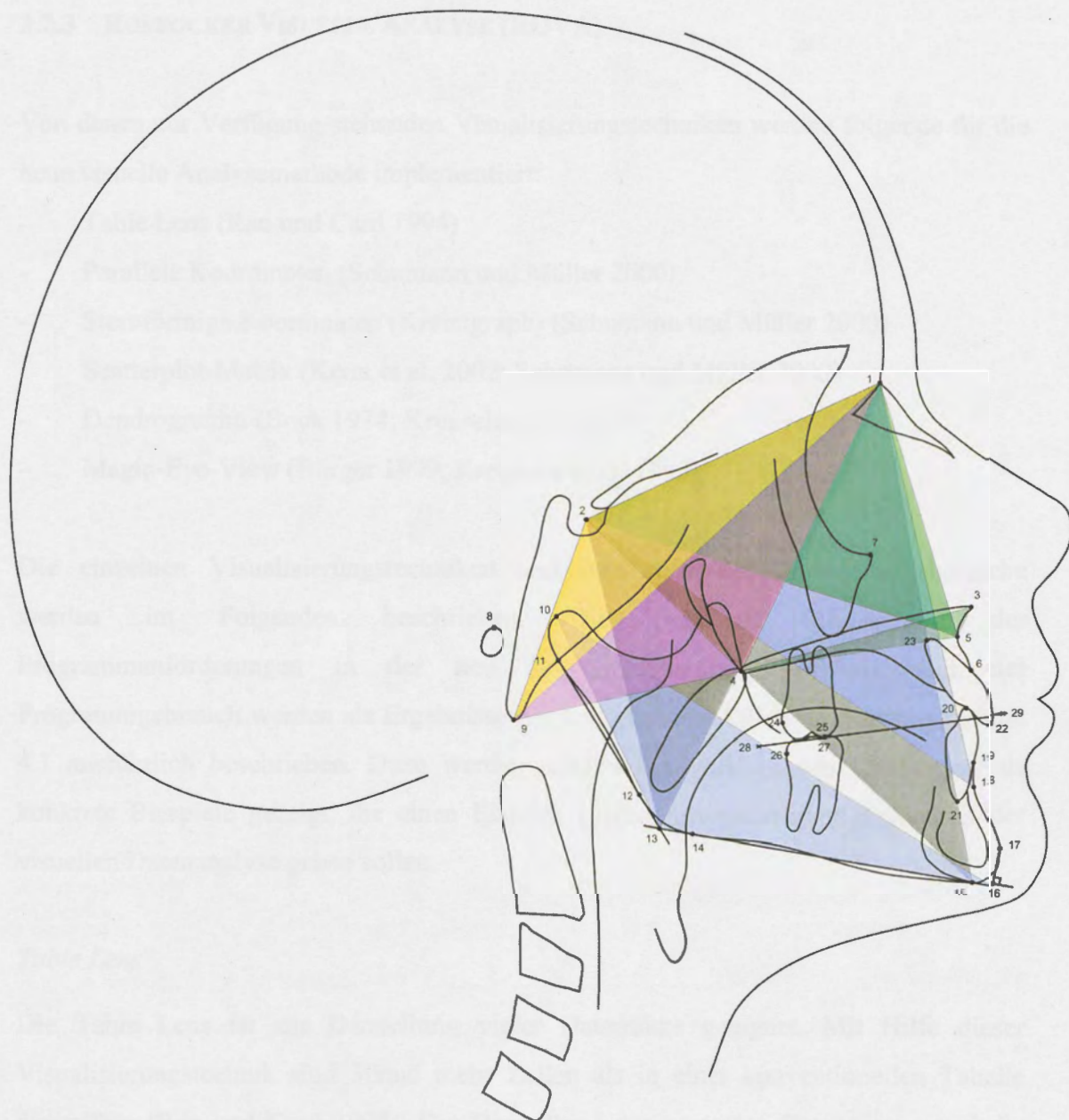


Abbildung 8
Digitalisierte kephalometrische Punkte und verwendete Dreiecke in der Tensoranalyse
am Beispiel des männlichen Probanden W. K.

3.2.3 ROSTOCKER VISUELLE ANALYSE (ROVA)

Von denen zur Verfügung stehenden Visualisierungstechniken werden folgende für die neue visuelle Analysemethode implementiert:

- Table Lens (Rao und Card 1994)
- Parallele Koordinaten (Schumann und Müller 2000)
- Sternförmige Koordinaten (Kiviatgraph) (Schumann und Müller 2000)
- Scatterplot-Matrix (Keim et al. 2002; Schumann und Müller 2000)
- Dendrogramm (Bock 1974; Kreuseler et al. 1999)
- Magic-Eye-View (Bürger 1999; Kreuseler et al. 1999).

Die einzelnen Visualisierungstechniken und ihre speziellen Anwendungsbereiche werden im Folgenden beschrieben. Die praktische Umsetzung der Programmanforderungen in der neu zu entwickelnden Software und der Programmgebrauch werden als Ergebnisse der vorliegenden Arbeit im späteren Kapitel 4.1 ausführlich beschrieben. Dazu werden anhand des vorliegenden Datenmaterials konkrete Beispiele gezeigt, die einen Einblick in die Anwendungsmöglichkeiten der visuellen Datenanalyse geben sollen.

Table Lens

Die Table Lens ist zur Darstellung vieler Datensätze geeignet. Mit Hilfe dieser Visualisierungstechnik sind 30mal mehr Zellen als in einer konventionellen Tabelle darstellbar (Rao und Card 1994). Die Darstellung der gesamten Datenmenge und die Vergrößerung benutzerdefinierter Ausschnitte sind ohne eine Reduktion der Datenmenge oder Veränderung der Reihenfolge der Datensätze möglich. Die Grundlage für die Table Lens bildet eine Tabelle mit Datensätzen, die spaltenweise in ein Balkendiagramm umgewandelt wird, wobei die einzelnen Werte auf die Balkenbreite abgetragen werden (Abbildung 9).



Abbildung 9
Beispiel für Table Lens (blau = männlich, rot = weiblich).

Parallele Koordinaten

Die parallelen Koordinaten beruhen auf der Verwendung von Streckenzügen und werden zur visuellen Analyse multivariater Daten genutzt. Der Gebrauch von Streckenzügen ist besonders gut geeignet, um Vergleiche herzustellen und durchschnittlich gut geeignet um Korrelationen, Cluster und Verteilungen zu erkennen. Korrelationen zwischen zwei Variablen werden mit Hilfe der Streckenzüge besonders gut dargestellt, mehrdimensionale Korrelationen dagegen nicht (Schumann und Müller 2000).

Bei dieser Visualisierungstechnik erhält jedes Merkmal eine eigene Koordinatenachse. Die Koordinatenachsen sind parallel zueinander angeordnet und haben den gleichen Abstand. Die Werte der Merkmale werden auf den skalierten Achsen abgetragen und die Punkte jedes Datensatzes werden verbunden, so dass ein Streckenzug pro Objekt entsteht (Abbildung 10). Dabei gilt es zu beachten, dass zwei Objekte deren Merkmale dieselben Werte haben auch auf dieselbe Strecke abgebildet werden und somit nicht zu unterscheiden sind.

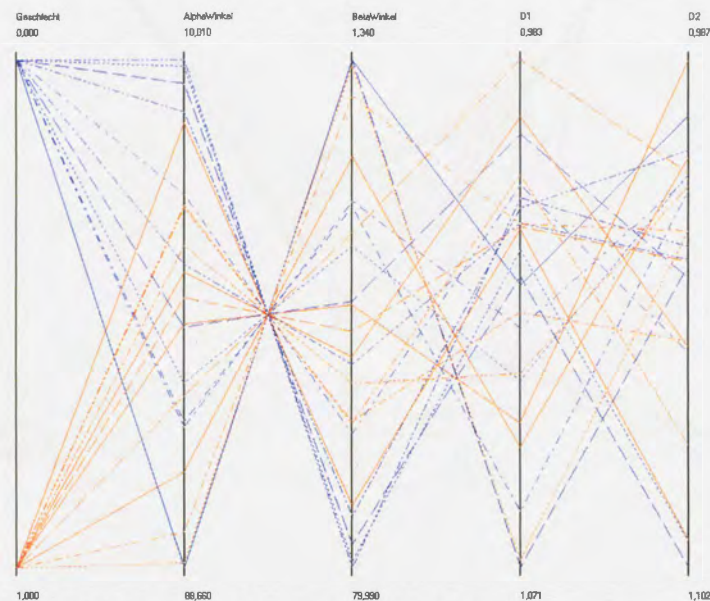


Abbildung 10
Beispiel für parallele Koordinaten (blau = männlich, rot = weiblich).

Sternförmige Koordinaten (Kiviatgraph)

Die sternförmigen Koordinaten arbeiten wie die parallelen Koordinaten mit Streckenzügen und werden ebenfalls zur visuellen Analyse multivariater Daten verwandt. Ihre Darstellungsform wird als Kiviatgraph bezeichnet. Die Anwendungsgebiete hinsichtlich des Erkennens mathematischer Zusammenhänge sind mit denen der parallelen Koordinaten gleich zu setzen. Die sternförmigen Koordinaten sind jedoch nur für die Darstellung von wenigen Datensätzen geeignet. In der Literatur wird die Anzahl auf bis zu fünf Datensätze beschränkt (Schönfeldt 2006).

Bei dieser Visualisierungstechnik sind die Koordinatenachsen sternförmig angeordnet und der Winkel zwischen den Achsen ist gleich. Je Achse wird ein Merkmal aufgetragen und die Datenpunkte werden per Kantenzug miteinander verbunden. Da der Streckenzug je Datensatz abgeschlossen ist, ergeben sich daraus Polygone, die bei unterschiedlicher Merkmalsausbildung unterschiedlich geformt sind (Abbildung 11).

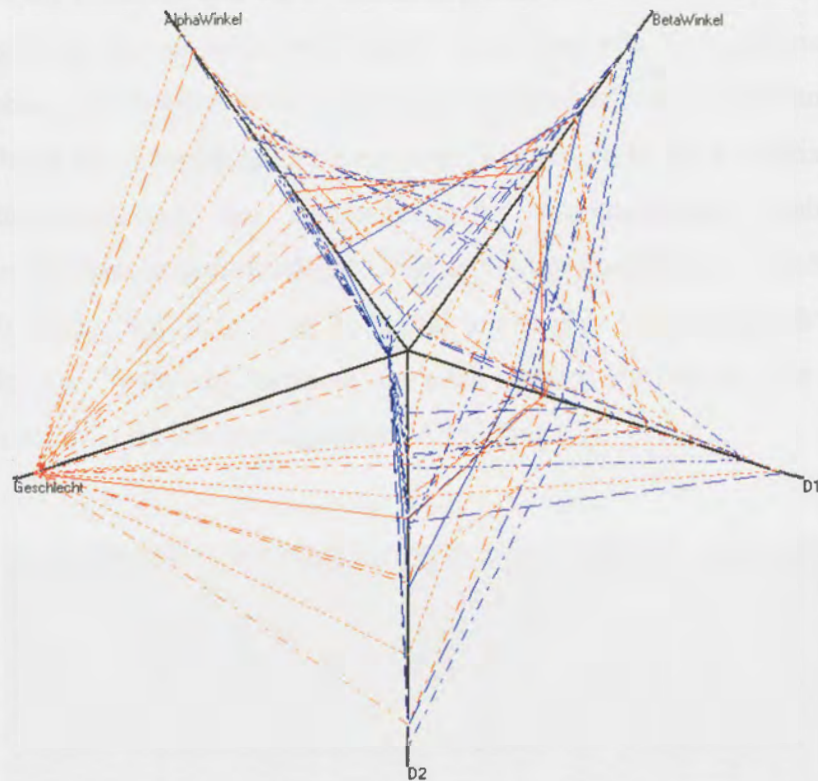


Abbildung 11
Beispiel für Kiviatgraph (blau = männlich, rot = weiblich).

Scatterplot-Matrix

Die Scatterplot-Matrix ist ein klassisches Beispiel der Panel-Matrizen, die in Matrixform angeordnete bivariate Darstellungen bezeichnen. Sie wird ebenfalls zur Darstellung multivariater Daten benutzt und ist für das Erkennen von Clustern und Verteilungen und Korrelationen von zwei Variablen besonders gut geeignet. Mehrdimensionale Korrelationen und Vergleiche sind mit dieser Visualisierungstechnik schwerer zu beurteilen (Schumann und Müller 2000).

Die Darstellung basiert auf der Auswahl von zwei Variablen, für die wie bei einem Diagramm zwei senkrecht aufeinander stehende Achsen konstruiert werden und entsprechend der zugehörigen Wertebereiche skaliert werden. Die Achsen spannen einen Raum auf, wobei jeder Punkt dieses Raumes einer möglichen Wertekombination der zwei Variablen entspricht (Schumann und Müller 2000). Die Datensätze werden in Abhängigkeit ihrer Merkmalsausprägungen und bezogen auf die ausgewählten

Variablen auf der Abszisse und der Ordinate abgetragen. Entstehende Punktwolken der Werte ermöglichen die schnelle und leichte Erkennung von Korrelationen zwischen beiden Variablen. Ein Scatterplot ist somit eine zweidimensionale Darstellung von zwei Variablen. Durch die Anordnung der einzelnen Diagramme in einer Matrix erhält man die Gesamtübersicht auf den m-dimensionalen Merkmalsraum, wobei ein m-dimensionaler Merkmalsraum durch m^2 Diagramme repräsentiert wird (Schumann und Müller 2000). Dadurch dass in jeder Zeile und Spalte eine Variable gleich bleibt, wird in jeder Zeile bzw. Spalte ein Merkmal mit allen anderen kombiniert. Die Diagramme spiegeln sich somit in der Hauptdiagonalen (Abbildung 12).

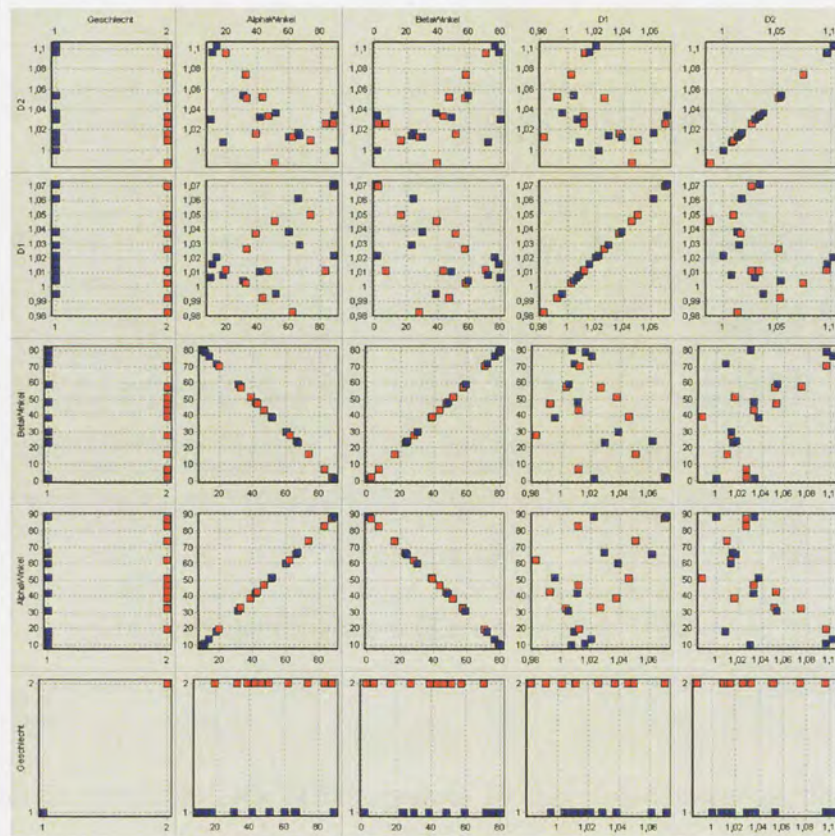


Abbildung 12
Beispiel für Scatterplotmatrix (blau = männlich, rot = weiblich).

Dendrogramm

Dendrogramme dienen der Visualisierung des hierarchischen Clusters, wobei Objekte nach ihrer Ähnlichkeit mit Hilfe einer der agglomerativen hierarchischen Clustermethoden (z. B. Single-Linkage-Verfahren) in Gruppen zusammengefasst werden. Die Werte der Knotenpunkte im Dendrogramm bezeichnen standardisierte Heterogenitätswerte der dazu gehörenden Gruppen (Kreuseler et al. 1999). Grundsätzlich unterscheidet man zwischen binären und mehrstufigen (reduzierten) Dendrogrammen. Das binäre Dendrogramm bildet dabei die Grundlage für das Erstellen des mehrstufigen Dendrogramms. Das mehrstufige Dendrogramm fasst die Cluster aufgrund von angegebenen Heterogenitätswerten zusammen (Abbildung 13).

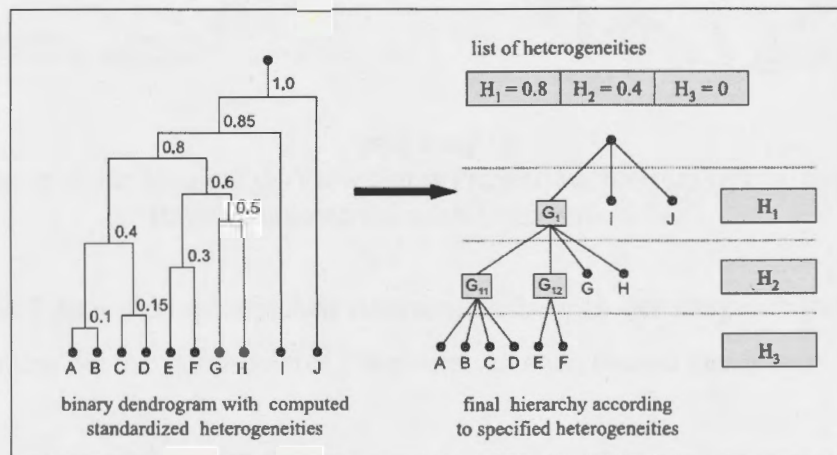


Abbildung 13
Konstruktion einer dreistufigen Hierarchie basierend auf dem binären Dendrogramm (Kreuseler et al. 1999).

Magic-Eye-View

Im Vergleich zum mehrstufigen Dendrogramm ist die Visualisierungstechnik Magic-Eye-View ideal für die Ausgabe von hierarchischen Clustern mit mehr Knotenpunkten und Stufen geeignet (Kreuseler et al. 1999). Dies wird durch die radiale Anordnung der Hierarchie auf die Oberfläche einer Halbkugel ermöglicht, wodurch eine dreidimensionale Darstellung entsteht (Bürger 1999). Der Wurzelknoten rückt dabei in den Mittelpunkt der Halbkugel (Abbildung 14). Die Einführung einer Projektion ermöglicht es, Verzerrungen in der Baumdarstellung zu definieren. Wird nun ein Knoten der Hierarchie ins Zentrum verschoben, dann wird ihm und den mit ihm

verbundenen Knoten mehr Platz zugewiesen, während weiter entfernte Knoten zusammenfallen.

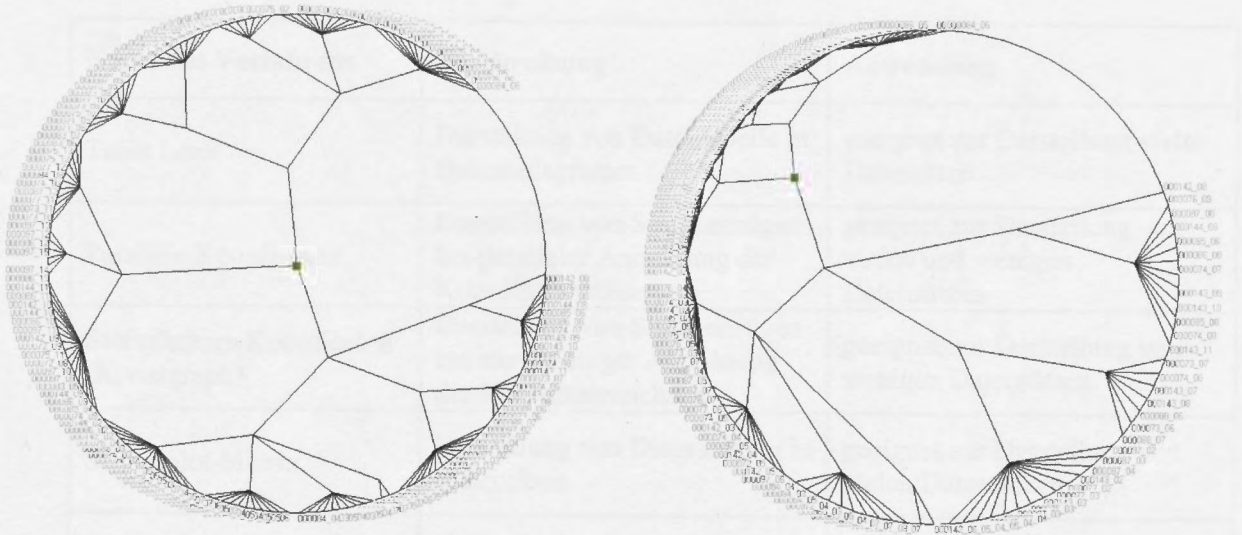


Abbildung 14
Beispiel für Magic-Eye-View (links Projektionszentrum mittig, rechts
Projektionszentrum nach links verschoben).

Die Tabelle 8 fasst den spezifischen Anwendungsbereich der ausgewählten Visualisierungstechniken bei der multivariaten Datenanalyse noch einmal zusammen.

Tabelle 8

Beschreibung und Anwendungsbereiche der verwendeten Visualisierungstechniken in der Rostocker Visuellen Analyse (ROVA)

Name des Verfahrens	Beschreibung	Anwendung
Table Lens	Darstellung von Datentabelle in Balkendiagramm	geeignet zur Darstellung vieler Datensätze
Parallele Koordinaten	Darstellung von Streckenzügen bei paralleler Anordnung der Koordinatenachsen	geeignet zur Darstellung von vielen und wenigen Datensätzen
Sternförmige Koordinaten (Kiviatgraph)	Darstellung von Streckenzügen bei sternförmiger Anordnung der Koordinatenachsen	geeignet zur Darstellung von wenigen Datensätzen
Scatterplot-Matrix	Darstellung von Diagrammen in Matrixform	geeignet zur Darstellung von vielen Datensätzen
Binäres Dendrogramm	Darstellung des hierarchischen Clusters	geeignet zur Darstellung von wenigen Datensätzen
Mehrstufiges Dendrogramm	Darstellung des hierarchischen Clusters	geeignet zur Darstellung von vielen Datensätzen
Magic-Eye-View	Darstellung des hierarchischen Clusters bei radialer Anordnung der Hierarchie (3D)	geeignet zur Darstellung von vielen Datensätzen

3.3 STATISTISCHE ANALYSE

Allgemeines

Alle Daten wurden mit den auf Windows™ basierenden statistischen Softwarepaketen SPSS (Version 13.0, Chicago, IL, USA) oder SAS (Version 9.1.3, Cary, NC, USA) gespeichert und analysiert. Im ersten Schritt erfolgte eine deskriptive Auswertung. Die quantitativen Merkmale wurden innerhalb beider Geschlechtsgruppen, in jeder Altersklasse sowie für den gesamten Beobachtungszeitraum mit Hilfe von Mittelwert [\bar{x}], Standardabweichung [SD], Minimum [Min], Maximum [Max] und Anzahl der verfügbaren Observationen [n] beschrieben.

Alle p-Werte sind das Resultat zweiseitiger statistischer Tests und prinzipiell wurde $p \leq 0,05$ als statistisch signifikant angesehen. Angesichts des multiplen Testens wurde das jeweils aktuelle Signifikanzniveau unter Verwendung einer Bonferroni-Korrektur adjustiert.

Kephalometrie

Die kategorischen Daten wurden nach Geschlecht und Untersuchungszeitpunkt zusammengefasst. Die Anzahl der verfügbaren Observationen im Alter von 6 bis 13 und 15 bis 24 Jahren ist in den Tabellen 2 und 3 (siehe Seiten 21 und 22) dargestellt. Die demographische Homogenität zwischen männlichen und weiblichen Probanden erlaubte den direkten Vergleich zwischen beiden Gruppen (Tabelle 4, siehe Seite 22).

Die Prüfung der Normalverteilung der kephalometrischen Variablen wurde mittels Shapiro-Wilks' Tests vorgenommen. Trotz der geringen Fallzahl und der damit verbundenen geringen Power lehnte die Mehrheit der Tests das in der Nullhypothese unterstellte Vorhandensein einer Normalverteilung statistisch signifikant ab (siehe Anhang 3, siehe Seiten A-7 und A-8). Aus diesem Grund erfolgte die weitere Datenanalyse unter Verwendung nichtparametrischer statistischer Verfahren.

Die Analyse der geschlechtsspezifischen Unterschiede zu jedem Alterszeitpunkt (6 bis 13 Jahre und 15 bis 17 Jahre) erfolgte durch Mann-Whitney-Tests. Das

Signifikanzniveau wurde mittels Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche automatisch angepasst. Diese Ergebnisse sind im Anhang 4.1 (siehe Seiten A-11 bis A-63) dargestellt.

Innerhalb jeder der beiden Geschlechtsgruppen wurden die jährlichen Veränderungen und die Gesamtveränderung zwischen 6 und 17 Jahren mittels Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen auf statistische Signifikanz untersucht. Nach Anwendung der Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche ergab sich für $p=0,05/11=0,0045$ ein signifikanter Unterschied. Wenn zu einem Untersuchungszeitpunkt ein Wert fehlte, wurden Werteersetzungen vorgenommen. Die Werteersetzung erfolgte nur, wenn höchstens zu drei Zwischenzeiträumen Werte fehlten. Bei der Prozedur der Werteersetzung wurde ein kontinuierliches Wachstum unterstellt. Aus den beiden vorhandenen Angaben wurde die Differenz gebildet, die durch die Differenz der beiden Altersangaben dividiert wurde. Der berechnete Wert wurde als durchschnittliche jährliche Wachstumsänderung verwendet und schrittweise zu jenem Wert addiert, der bei der kleineren Altersangabe vorlag. Um eine ausreichende Anzahl von Einzelangaben für das Alter von 17 Jahren bei der Analyse der Gesamtveränderung zwischen 6 und 17 Jahren zu erhalten, wurde diese Restriktion in diesem einen Fall nicht angewendet. Diese Ergebnisse sind im Anhang 4.2 (siehe Seiten A-64 bis A-75) zusammengefasst.

Für die geschlechtsspezifischen Vergleiche der insgesamt zehn jährlichen Wachstumsraten und der Gesamtwachstumsrate von 6 bis 17 Jahren wurden die Signifikanzniveaus mittels Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche angepasst. Folglich ergab sich für jeden einzelnen Vergleich erst bei $p=0,05/11=0,0045$ ein statistisch signifikanter Unterschied. Der Anhang 4.2 enthält diesen Ergebnisteil.

Wachstumskurvenanalyse

Das gemischte Regressionsmodell (West et al. 2006) wurde zur Wachstumskurvenanalyse der männlichen und weiblichen Probanden im Alter von 6 bis 17 Jahren für folgende Parameter durchgeführt:

1. Länge der vorderen Schädelbasis (S-N)
2. Länge der hinteren Schädelbasis (S-Ba)
3. Mittelgesichtslänge (Co-A)
4. Oberkieferlänge (Spa-Spp)
5. effektive Unterkieferlänge (Co-Gn).

Dabei wurden die realen Wachstumswerte der weiblichen und männlichen Probanden jeweils durch ein Polynom dritten Grades angepasst. Unter Verwendung dieser kubischen Gleichungen wurden Wachstumskurven männlicher und weiblicher Probanden für die oben genannten Variablen berechnet, die für Vorhersagen verwendet werden können. Der Anhang 4.3 (siehe Seiten A-76 bis A-81) enthält die Ergebnisse der Wachstumskurvenanalyse.

Tensoranalyse

Mit Ausnahme des Zeitintervalls 14 bis 6 Jahre erfolgte die Analyse der geschlechtsspezifischen Unterschiede für alle anderen Intervalle mittels Mann-Whitney-Tests mit Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche bei einem angepassten Signifikanzniveau von $p=0,05/10=0,005$. Diese Ergebnisse sind im Anhang 5 (siehe Seiten A-82 bis A-127) dargestellt.

Die Vergleiche der Wachstumsveränderungen zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitintervallen wurden innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe mittels Wilcoxon-Tests mit Bonferroni-Korrektur bei einem angepassten Signifikanzniveau von $p=0,05/9=0,0056$ ermittelt (siehe auch Anhang 5).

Alle verfügbaren Daten wurden für die statistische Analyse genutzt. Nicht bei allen Probanden waren alle Werte zu allen Untersuchungszeitpunkten verfügbar. Die statistischen Analysen wurden unter der Annahme, dass fehlende Datensätze zufällig fehlten, ausgeführt (Little und Rubin 1987).

Methodenfehler

Zehn Probanden sind zufällig ausgewählt worden. Deren Fernröntgenseitenaufnahmen wurden nochmals durchgezeichnet, die kephalometrischen Punkte digitalisiert und die kephalometrischen Variablen berechnet. Der Methodenfehler wurde mittels Intraklassen-Korrelationskoeffizient bestimmt (Shrout und Fleiss 1979). Er wird berechnet, um die innerhalb eines Probanden aufgetretene Varianz mit der Varianz zwischen den Probanden zu vergleichen. Idealerweise wäre das Verhältnis von Gesamtvarianz zu der Varianz zwischen den Probanden viel größer als das Verhältnis der Gesamtvarianz zu der Varianz innerhalb eines Probanden. Ein Koeffizient von 1 beschreibt diese Situation. Die Berechnung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten ist im Nachfolgenden dargestellt.

$$1. \quad \text{Var Komp} = \frac{(MSB - MSW)}{q}$$

$$2. \quad \text{IKK} = \frac{\text{VarKomp}}{(\text{VarKomp} + MSW)}$$

VarKomp = Varianzkomponente

IKK = Intraklassen-Korrelationskoeffizient

MSW = Quadrat der Mittelwerte innerhalb eines Probanden

MSB = Quadrat der Mittelwerte zwischen den Probanden

q = 2, Anzahl der Wiederholungen

Die Intraklassen-Korrelationskoeffizienten direkter kephalometrischer Messwerte waren hoch. Mit Ausnahme von fünf Messungen im knöchernen Bereich (SN-FH, OK1-NA_, OJ Faz, OJ Incis, OK6-UK6) und drei Messungen im Weichteilbereich (Nasolab, OL-Neig, OL Protr) lagen alle Korrelationskoeffizienten über 0,906. Die mittlere Differenz angularer und linearer Messungen lag zwischen 0,01 und 1,3 Grad bzw. 0,01 und 0,6 Millimetern. Generell waren die Standardabweichungen für die Winkelmessungen größer als die für direkte lineare Messungen. Die Ergebnisse der Methodenfehlerberechnung sind im Anhang 3 (siehe Seiten A-9 bis A-10) dargestellt.

4 ERGEBNISSE

4.1 ROSTOCKER WACHSTUMSANALYSE TOOL (ROWAT)

Um die gestellten Anforderungen an die Entwicklung eines Frameworks zur Berechnung, Datenhaltung und visuellen Präsentation von Daten des Gesichtsschädelwachstums zu erfüllen, wurde das *Rostocker Wachstumsanalyse Tool (ROWAT)* zur Analyse des Gesichtsschädelwachstums im Rahmen der Habilitationsarbeit neu entwickelt. Auf den Aufbau von ROWAT wurde bereits im Kapitel 3.2 (siehe Seite 28) eingegangen. Im Folgenden soll genauer auf die Umsetzung der Anforderungen an die Einzelkomponenten des Rostocker Wachstumsanalyse Tools als Ergebnis der vorliegenden Arbeit eingegangen werden. Vor allem die Anwendungsmöglichkeiten der *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* und der *Rostocker Visuellen Analyse (ROVA)* als grundsätzlich neue Methoden werden dazu anhand von Beispielen des in der Arbeit verwendeten Datenmaterials gezeigt. Im Anschluss daran erfolgt die ausführliche Darstellung der Ergebnisse der kephalometrischen Analyse und der Tensoranalyse.

ROSTOCKER KEPHALOMETRISCHE ANALYSE (ROKA)

1. Berechnung

Die *Rostocker Kephalemtrische Analyse (ROKA)* wurde zur benutzerdefinierten Berechnung von Strecken und Winkeln neu entwickelt und in das Framework ROWAT integriert (Blumenthal 2005).

2. Interaktion

Durch die Implementierung einer intuitiven Benutzeroberfläche ist es möglich, die zu analysierenden Probanden und deren Röntgenbilder auszuwählen sowie Röntgenbilder für die kephalometrische Analyse hinzuzufügen oder zu löschen. Die Zoomfunktion ermöglicht die präzise Punkteingabe. Die unmittelbare Fehlerkorrektur beim Setzen der Punkte ist möglich. Zur Kontrolle der Punktplatzierung lassen sich die Punkte anzeigen.

3. Präsentation

Die Anzeige der Ergebnisdaten erfolgt gegliedert nach vertikalen, sagittalen, metrischen und dentalen Parametern.

4. Datenhaltung

Die Speicherung der Stammdaten, der Bilddaten, der Ergebnisdaten und der Punktdaten erfolgt in einer lokalen Datenbank (Blumenthal 2005). Die Ergebnisdaten sind in das exportierfähige Dateiformat (.csv) konvertierbar und anschließend mit statistischer Software (z. B. Microsoft Office Excel) auswertbar. Für weitere Abfragemechanismen und um die konsistente Datensicherung zu gewährleisten, ist der Datentransfer in eine SQL-Datenbank über die Nutzung eines Zusatzprogramms möglich (Seebach und Virtel 2006).

ROSTOCKER TENSORANALYSE (ROTA)

1. Berechnung

Die *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* wurde zur Datenberechnung für die Tensoranalyse neu entwickelt und in das Framework ROWAT integriert (Blumenthal 2005). Das Programm ermöglicht es, die Lagebeziehungen der Dilatationen im Dreieck relativ zur Grundebene, das sind die Winkel α und β sowie die relativen Größenveränderungen der Dilatationen, angegeben durch D1 und D2, für ausgewählte Dreiecke zu ermitteln und grafisch darzustellen.

2. Interaktion

Durch die Implementierung einer intuitiven Benutzeroberfläche ist es möglich, die zu analysierenden Probanden und deren Röntgenbilder auszuwählen sowie Röntgenbilder für die Tensoranalyse hinzuzufügen oder zu löschen. Die Zoomfunktion ermöglicht die präzise Punkteingabe. Die unmittelbare Fehlerkorrektur beim Setzen der Punkte ist möglich. Zur Kontrolle der Punktplatzierung können diese angezeigt werden. Bei der Auswahl der zu analysierenden Dreiecke können durch das Auswählen verschiedener Punkte oder durch die Veränderung der Punktreihenfolge beliebige Dreiecke analysiert werden. Durch das Löschen und Hinzufügen von Dreiecken ist es möglich, beliebig viele Dreiecke zu analysieren.

3. Präsentation

Die Anzeige der analysierten Dreiecke mit den eingezeichneten Dilatationen und die Darstellung der Ergebnisse des gerade ausgewählten Dreieckes sind möglich. Die Abbildung 15 zeigt die Analyse der relativen Wachstumsveränderungen am Beispiel des Dreieckes CoGnGo bei einem zwölfjährigen männlichen Patienten mit regelrechtem Gebiss. Zu erkennen ist das eingezeichnete Dreieck mit den eingezeichneten Dilatationen D1 und D2. Die Ergebnisse der Tensoranalyse werden auf der linken Seite des Bildschirms angezeigt.

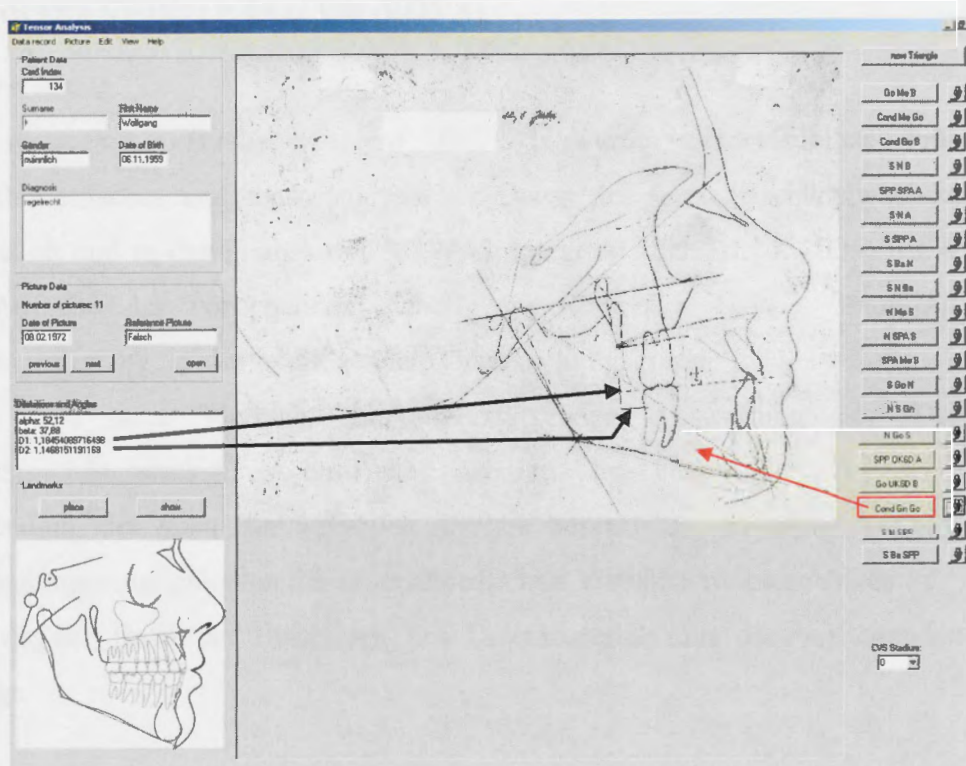


Abbildung 15

Beispiel für die Anwendung von ROTA bei einem zwölfjährigen männlichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung. Die relativen Wachstumsveränderungen zwischen 6 und 12 Jahren werden am Beispieldreieck CoGnGo präsentiert.

4. Datenhaltung

Die Speicherung der Stammdaten, der Bilddaten, der Ergebnisdaten und der Punktdaten erfolgt in einer lokalen Datenbank (Blumenthal 2005). Die Ergebnisdaten sind in ein exportierfähiges Dateiformat (.csv) konvertierbar und somit anschließend mit statistischer Software (z.B. Microsoft Office Excel) auswertbar. Der Export der grafischen Darstellungen ist im .bmp Format möglich.

Um weitere Abfragemechanismen zu schaffen und Dateninkonsistenzen zu verhindern, wurde der Datentransfer in eine SQL-Datenbank ermöglicht (Seebach und Virtel 2006). Dadurch ist auch das gleichzeitige Arbeiten von mehreren Nutzern gewährleistet. Da der automatische Abgleich zwischen der lokalen und der SQL-Datenbank aufgrund unterschiedlicher Programmierumgebungen noch nicht möglich ist, wurde ein Zusatzprogramm implementiert, welches dieses über einen Zwischenschritt ermöglicht und damit Datenkonsistenz garantiert (Seebach und Virtel 2006).

ROSTOCKER VISUELLE ANALYSE (ROVA)

1. Berechnung

Die *Rostocker Visuelle Analyse (ROVA)* wurde zur visuellen Präsentation kephalometrischer und tensoranalytischer Daten des Gesichtsschädelwachstums neu entwickelt und in das Framework ROWAT integriert (Schönfeldt 2006). Es war nicht die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, die *Rostocker Visuelle Analyse* für die Datenauswertung in der vorliegenden Untersuchungsgruppe zu verwenden. Vielmehr sollte eine neue Methode zur unterstützenden Auswertung von Daten des Gesichtsschädelwachstums entwickelt werden. Im Folgenden wird deshalb die Anwendung der *Rostocker Visuellen Analyse* beschrieben. Anschließend werden die Anwendungsmöglichkeiten der unterschiedlichen Visualisierungstechniken zur Analyse multivariater Daten an Beispielen des Datenmaterials aus der vorliegenden Arbeit gezeigt.

2. Interaktion

2.1 Gruppenbildung

Nachdem sich der Anwender zwischen der visuellen Auswertung von Datensätzen aus der kephalometrischen Analyse oder der Tensoranalyse entschieden hat, erfolgt die Gruppenbildung entweder durch den Nutzer selbst (interaktive Gruppenbildung) oder automatisch (Self-Organizing Map (SOM), hierarchische Clusteralgorithmen). Die von uns bisher am meisten verwendete Methode zur Gruppenbildung ist die *interaktive Gruppenbildung*, bei der die zu visualisierende Datenmenge durch die Vorgabe von Parametern und der anschließenden Abfrage der lokalen Datenbank erzeugt wird. Diese gewünschten Parameter können beispielsweise das Alter und das Geschlecht der Probanden oder der Diagnoseschlüssel (z.B. regelrecht) sein. Zur optischen

Differenzierung zwischen den Gruppen sind unterschiedliche Farben wählbar (z.B. blau für männlich und rot für weiblich). Die ausgewählten Datensätze werden danach übersichtlich im Tabellenformat dargestellt (Abbildung 16) und die zu analysierenden Variablen, wie Strecken, Winkel oder Dreiecke, werden bestimmt.

Als Klassifikationsverfahren der *automatischen Gruppenbildung* werden eine Self-Organizing Map (SOM) und/oder hierarchische Clusteralgorithmen verwendet. Um ein neuronales Netz zu benutzen, wurde die frei zur Verfügung stehende Implementierung SOM_PAK (Kohonen et al. 1995) integriert.

Gruppenbildung und Filtern

ID:
 Karteinummer:
 Mindestalter bzgl. Geburtsdatum:
 Höchstalter bzgl. Geburtsdatum:
 CVS:
 Geschlecht:
 Farbe der Gruppe:
 Diagnose:

	Mindestalter	Höchstalter	Geschlecht	Farbe	Diagnose	FKFRS	CVS	ID
Gruppe_1	15	15	männlich	Navy	regelmäßig	x	x	x
Gruppe_2	15	15	weiblich	Red	regelmäßig	x	x	x

	Karteinummer	PKFRS	Nummer	Name	Vorname	Alter	Geb. Datum	Datum	Geschlecht	
<input type="checkbox"/>	71	000071_08			Jörg	15	21.01.1960	16.06.1975	männlich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	72	000072_08			Heiko	15	10.02.1960	13.11.1975	männlich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	73	000073_07			Andreas	15	22.02.1960	02.06.1975	männlich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	74	000074_07			Thomas	15	20.02.1960	02.06.1975	männlich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	75	000075_09			Fred	15	12.12.1959	12.06.1975	männlich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	76	000076_09			Frank	15	01.02.1960	09.06.1975	männlich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	77	000077_09			Lutz	15	01.11.1959	05.06.1975	männlich	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	78	000078_07			Mararet	15	21.01.1960	16.06.1975	weiblich	<input type="checkbox"/>

Objektanzahl:

Abbildung 16
 Interaktive Gruppenbildung am Beispiel der männlichen (blau) und weiblichen (rot)
 Probanden mit regelrechten Gebissen im Alter von 15 Jahren.

Von den hierarchischen Clusteralgorithmusverfahren kommt das anhäufende (agglomerative) Verfahren zur Anwendung. Dabei werden folgende Schritte vollzogen:

1. Datennormierung im $[0,1]$ Intervall
2. Initialisierung der Anfangscluster mit je einem Objekt
3. Aufstellung der Distanzmatrix bzw. Ähnlichkeitsmatrix
4. Zusammenfassen der beiden ähnlichsten Cluster, die den geringsten Abstand voneinander haben

5. Iteration bis alle Objekte/Cluster zu einem Cluster vereinigt sind (Schönfeldt 2006).

Aus den Distanzmaßen für metrische Skalen (Backhaus et al. 2006) sind folgende auswählbar:

- City-Block
- Euklidische Distanz
- Quadrierte Euklidische Distanz

Aus den Distanzmaßen für binäre Merkmale sind folgende Koeffizienten (Backhaus et al. 2006) auswählbar:

- Tanimoto-Koeffizient
- Simple-Matching-Koeffizient
- Russel & Rao-Koeffizient
- Dice-Koeffizient
- Kulczynski-Koeffizient.

Aus den verschiedenen Clustermethoden, d.h. den Methoden, die das schrittweise Zusammenlegen der Cluster nach der Distanz zwischen den Clustern bestimmen, kann zwischen dem Single-Linkage-Verfahren, dem Complete-Linkage-Verfahren und dem Ward-Verfahren (Bock 1974) gewählt werden.

2.2 Auswahl und Präzisierung der Visualisierungstechnik

Durch die Auswahl der gewünschten Visualisierungstechnik, z.B. wie in der Abbildung 17 die Table Lens, erfolgt dann die visuelle Darstellung der ausgewählten Datensätze. Jede Visualisierungstechnik lässt sich durch Parameter einstellen. Diese Parameter sind voreingestellt, so dass eine Anpassung möglich aber nicht notwendig ist. Der Nutzer kann ebenfalls im Optionsmenü auswählen, ob er sich die Datenwerte und die Achsenbeschriftungen anzeigen lassen möchte. Bei den mehrstufigen Dendrogrammen und dem Magic-Eye-View besteht für den Nutzer die Möglichkeit, die Anzahl der Hierarchiestufen festzulegen.

2.3 Manipulation des Visualisierungsbildes

Die individuelle Bearbeitung jeder graphischen Präsentation ist möglich. Ein Beispiel dafür ist die Table Lens Visualisierungstechnik (siehe Seiten 48 und 49), bei der eine Zuordnung des Balkens zum jeweiligen Datensatz in der darüber angezeigten Datentabelle möglich ist (Abbildung 17). Dadurch können z.B. Ausreißer leichter identifiziert werden. Das Hervorheben einzelner Datensätze ist auch bei den parallelen Koordinaten, dem Kiviagraphen und der Scatterplot-Matrix möglich. Im Falle der Scatterplot-Matrix wird durch das Anklicken eines Datensatzes in einem der Diagramme automatisch der entsprechende Datensatz in allen anderen Diagrammen farblich markiert. Gleichzeitig wird auf den markierten Datensatz in der Datentabelle verwiesen, so dass wiederum eine schnelle und präzise Zuordnung und visuelle Analyse des ausgewählten Objektes möglich ist (Abbildung 18). Die gewünschte Markierungsfarbe kann vom Anwender im Optionsmenü eingestellt werden.

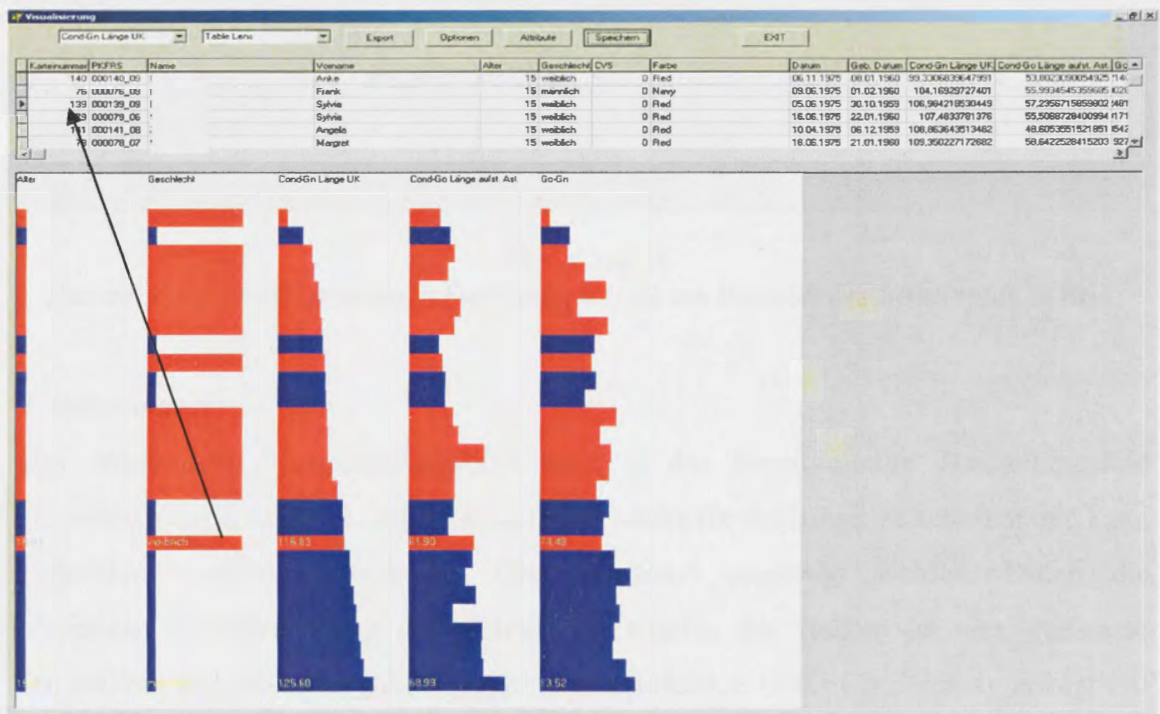


Abbildung 17

Darstellung der Interaktivität am Beispiel der Table Lens.

Die Option VisArray ermöglicht eine weitere Veränderung der visualisierten Parameter. Durch das Öffnen eines extra Formulars, kann die Reihenfolge der dargestellten Merkmale sowie deren Skalierung geändert werden. Die voreingestellte Skalierung wird automatisch berechnet und bezieht sich auf das Minimum und Maximum des jeweiligen

Parameters, um eine Übersicht über alle Datensätze zu haben. Möchte der Nutzer die Datensätze nur ausschnittsweise betrachten (zoomen), ist dies durch Veränderung der jeweiligen dargestellten Maxima und Minima möglich.

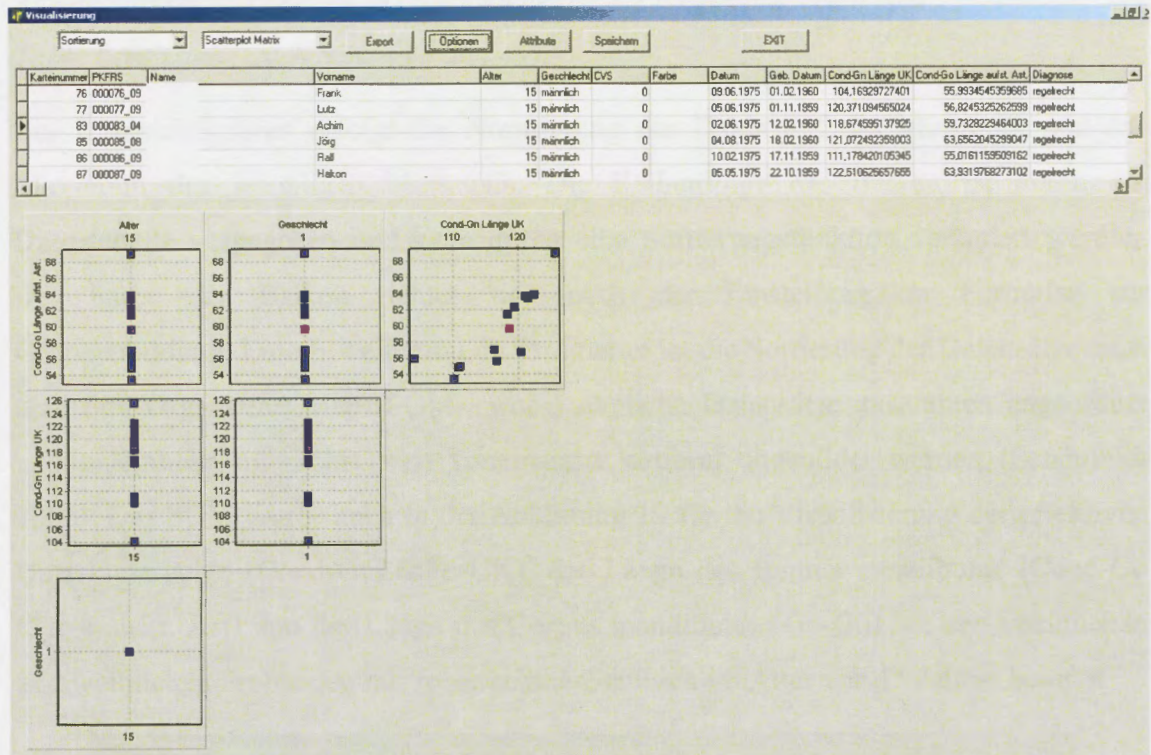


Abbildung 18

Hervorhebung eines einzelnen Datensatzes (rot) am Beispiel der Scatterplot-Matrix.

3. Präsentation

Das entstandene Visualisierungsbild wird in das bereitgestellte Darstellungsfeld gezeichnet, um eine gleichartige Benutzeroberfläche für die Bilder zu schaffen und kann vergrößert, verkleinert oder im Originalzustand angezeigt werden. Durch die programmierte Berechnung der Höhen und Breiten der Balken ist eine geeignete Darstellung des Bildes im Zeichnungsfeld gewährleistet. Diese Optimierung erfolgt mit Ausnahme der Scatterplot-Matrix bei allen anderen Visualisierungstechniken.

4. Datenhaltung

Die Visualisierungsbilder sind im .bmp Format speicherbar. Gleichzeitig erfolgt die Speicherung der angezeigten Datentabelle im .csv Format mit den ausgewählten Datensätzen, um später den Zusammenhang zum Visualisierungsbild herstellen zu

können. Beide Dateiformate sind Standardformate und können ohne Zusatzprogramme betrachtet werden.

Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Visualisierungstechniken

Table Lens (siehe auch Seiten 48 und 49)

Zur Übersichtlichkeit erfolgt die Normierung der Daten auf das Minimum und das Maximum des jeweiligen Merkmals. Die Reihenfolge der Balken ist durch die Datentabelle vorgegeben und kann durch eine Sortierungsfunktion verändert werden. Die Farbe der Balken richtet sich nach der Einstellung im Formular zur Gruppenbildung. Eine Erweiterung im Programm ist die Sortierung der Datensätze nach dem Self-Organizing Map (SOM), wobei ähnliche Datensätze zusammen angeordnet und unähnliche möglichst weit voneinander entfernt abgebildet werden (Schönfeldt 2006). Das SOM wurde auch in der Abbildung 19 für die Visualisierung der effektiven Unterkieferlänge (Cond-GnLänge UK), der Länge des Ramus mandibulae (Cond-Go Länge aufst. Ast) und der Länge des Corpus mandibulae (Go-Gn) bei den männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechten Gebissen im Alter von 15 Jahren benutzt.

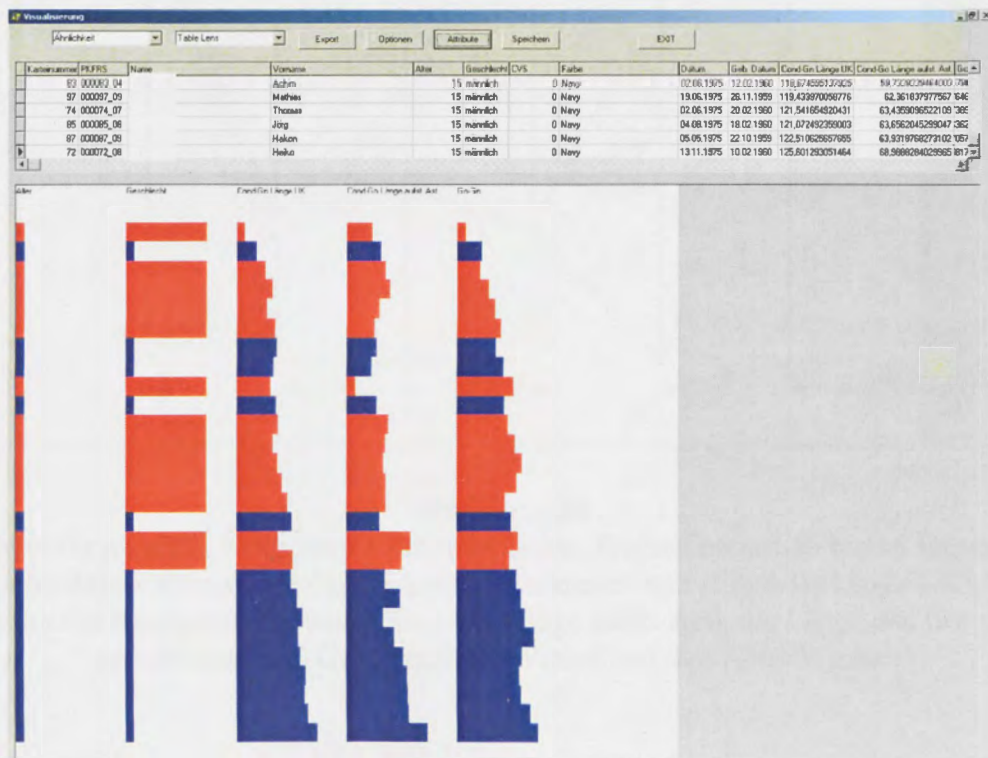


Abbildung 19

Beispiel für Table Lens (männlich =blau, weiblich =rot). Die Sortierung der Datensätze erfolgte nach ihrer Ähnlichkeit mittels Self-Organizing Map (SOM).

Parallele Koordinaten (siehe auch Seiten 49 und 50)

Um die Datensätze bei den parallelen Koordinaten zu unterscheiden, wird für jeden Streckenzug eine Linienart zufällig ausgewählt. Einzelne Datensätze können farblich hervorgehoben werden und sind somit leichter zu verfolgen und auszuwerten. In der Abbildung 20 sind die parallelen Koordinaten der männlichen Probanden mit 15 und 16 Jahren und regelrechten Gebissen für die fünf Variablen effektive Unterkieferlänge (Cond-GnLänge UK), Länge des Ramus mandibulae (Cond-Go Länge aufst. Ast), Länge des Corpus mandibulae (Go-Gn), SNB-Winkel und ANB-Winkel dargestellt. Ein einzelner Datensatz wurde als Ausreißer farblich markiert und kann somit leichter verfolgt werden.

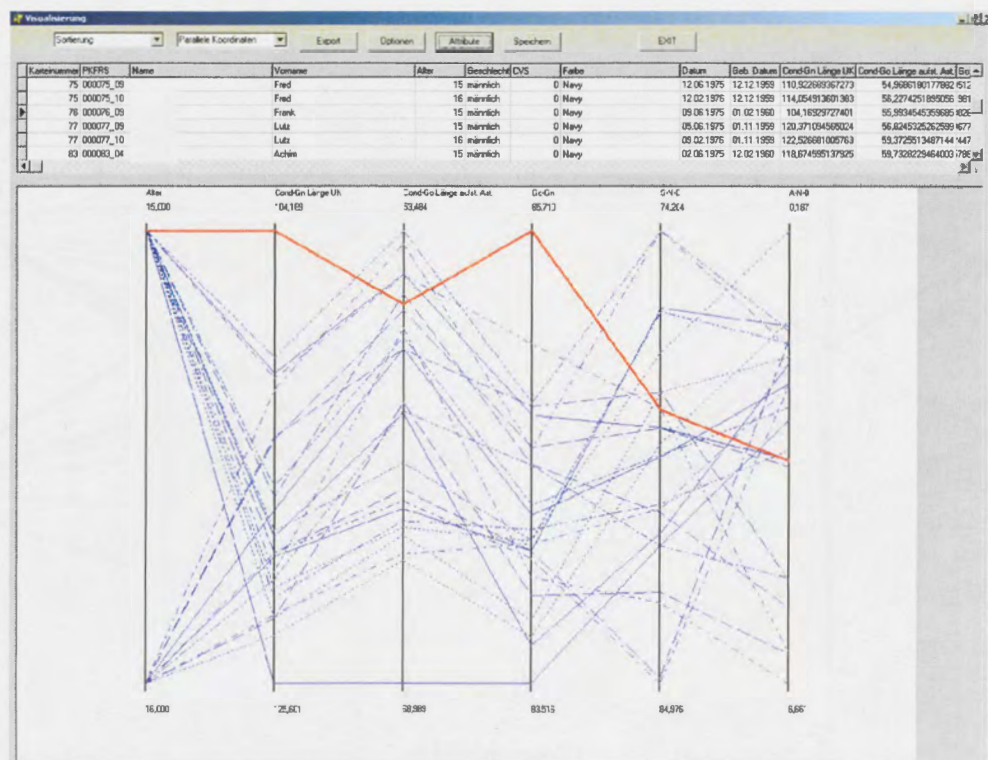


Abbildung 20

Beispiel für parallele Koordinaten der männlichen Probanden mit 15 bis 16 Jahren und regelrechten Gebissen für die effektive Unterkieferlänge (Cond-GnLänge UK), die Höhe des Ramus mandibulae (Cond-Go Länge aufst. Ast), die Länge des Corpus mandibulae (Go-Gn), den SNB-Winkel und den ANB-Winkel.

Sternförmige Koordinaten (Kiviatgraph) (siehe auch Seiten 50 und 51)

Um die Datensätze zu unterscheiden, wird auch bei den sternförmigen Koordinaten für jeden Streckenzug eine Linienart zufällig ausgewählt. Einzelne Datensätze sind ebenfalls farblich markierbar (Abbildung 21 links). Die durch die Streckenzüge entstehenden Polygone haben bei unterschiedlicher Merkmalsausbildung eine unterschiedliche Form. Wurde ein Polygon für unterschiedliche Merkmale bei den männlichen Probanden erkannt, sind abweichende Merkmalsausprägungen bei den weiblichen Probanden aufgrund der abweichenden Form des Polygons leichter erkennbar (Abbildung 21).

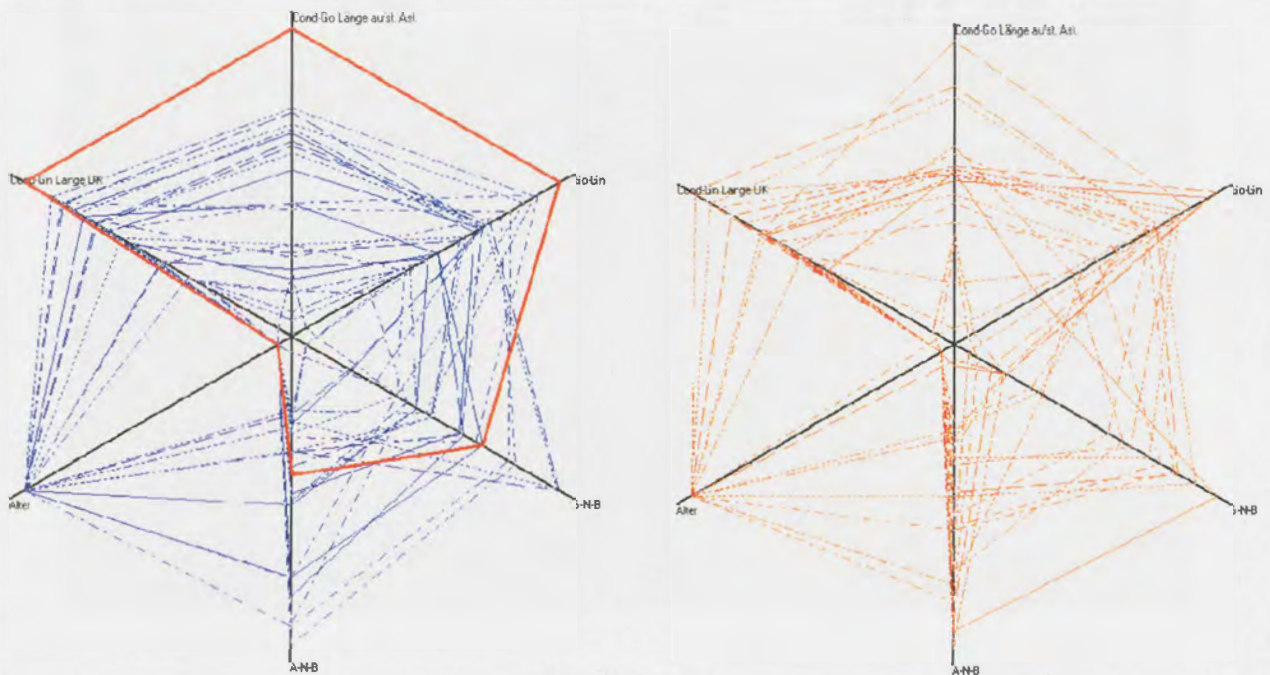


Abbildung 21

Beispiele für die Kiviatgraphen der männlichen (blau) und weiblichen (rot) Probanden mit 15 bis 16 Jahren und regelrechten Gebissen für die effektive Unterkieferlänge (Cond-GnLänge UK), die Höhe des Ramus mandibulae (Cond-Go Länge aufst. Ast.), die Länge des Corpus mandibulae (Go-Gn), den SNB-Winkel und den ANB-Winkel.

Scatterplot-Matrix (siehe auch Seiten 51 und 52)

Die Abbildung 22 zeigt am Beispiel der Scatterplot-Matrix für die männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen im Alter von 15 bis 16 Jahren die Verteilungen der Datensätze für die effektive Unterkieferlänge (Cond-Gn Länge UK) und die Höhe des Ramus mandibulae (Cond-Go Länge aufst. Ast). Durch die Veränderungen der Optionen für die Scatterplot-Matrix ist es möglich, sich nur die Dreiecksmatrix anzeigen zu lassen (vgl. Abbildungen 12 und 22).



Abbildung 22

Beispiele für die Scatterplot-Matrix der männlichen Probanden mit 15 bis 16 Jahren und regelrechten Gebissen für die effektive Unterkieferlänge (Cond-Gn Länge UK) und die Höhe des Ramus mandibulae (Cond-Go Länge aufst. Ast).

Dendrogramm (siehe auch Seite 53)

Die Anzahl der Hierarchiestufen zur Clusterbildung kann interaktiv festgelegt werden. In den Abbildungen 23 und 24 sind jeweils ein binäres und mehrstufiges Dendrogramm für die Datensätze der männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen im Alter von 15 Jahren dargestellt. Die Zusammenfassung der Probanden in Clustern erfolgte nach ihrer Ähnlichkeit bezüglich ihrer effektiven Unterkieferlänge. Bei dem mehrstufigen Dendrogramm (Abbildung 24) wurde eine vierstufige Hierarchie interaktiv festgelegt.

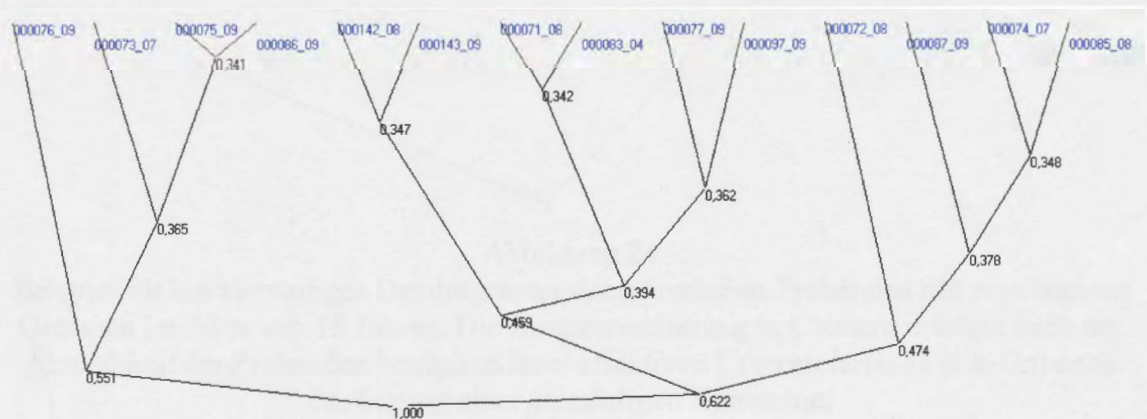


Abbildung 23

Beispiel für ein binäres Dendrogramm der männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen im Alter von 15 Jahren. Die Zusammenfassung in Clustern erfolgte nach der Ähnlichkeit der Probanden bezüglich ihrer effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn).

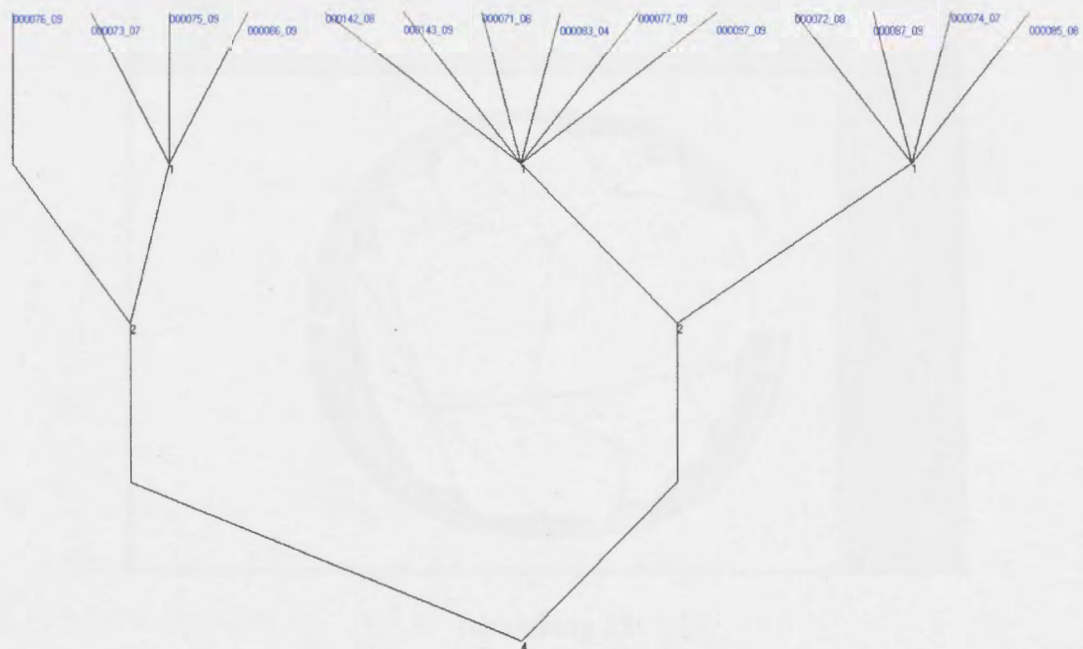


Abbildung 24

Beispiel für ein vierstufiges Dendrogramm der männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen im Alter von 15 Jahren. Die Zusammenfassung in Clustern erfolgte nach der Ähnlichkeit der Probanden bezüglich ihrer effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn) nach Festlegung einer vierstufigen Hierarchie.

Magic-Eye-View (siehe auch Seiten 53 und 54)

Durch die interaktive Verschiebung des Projektionszentrums ist es möglich, ausgewählte Datenbereiche zu fokussieren, ohne dass andere Datenbereiche verdeckt werden. Die Abbildungen 25 und 26 zeigen jeweils Beispiele für Magic-Eye-View Darstellungen derselben Datenmenge. Die beiden Abbildungen zeigen alle männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen, die bezüglich ihrer Ähnlichkeit zur effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn), zur Länge des Corpus mandibulae (Go-Gn) und zum SNB-Winkel zusammengefasst wurden. Dabei wurde die Anzahl der Hierarchiestufen auf vier festgelegt. In der Abbildung 25 liegt der Wurzelknoten der Hierarchie im Mittelpunkt der Halbkugel. In der Abbildung 26 wurde das Projektionszentrum verschoben, um spezifische Knoten näher zu analysieren.

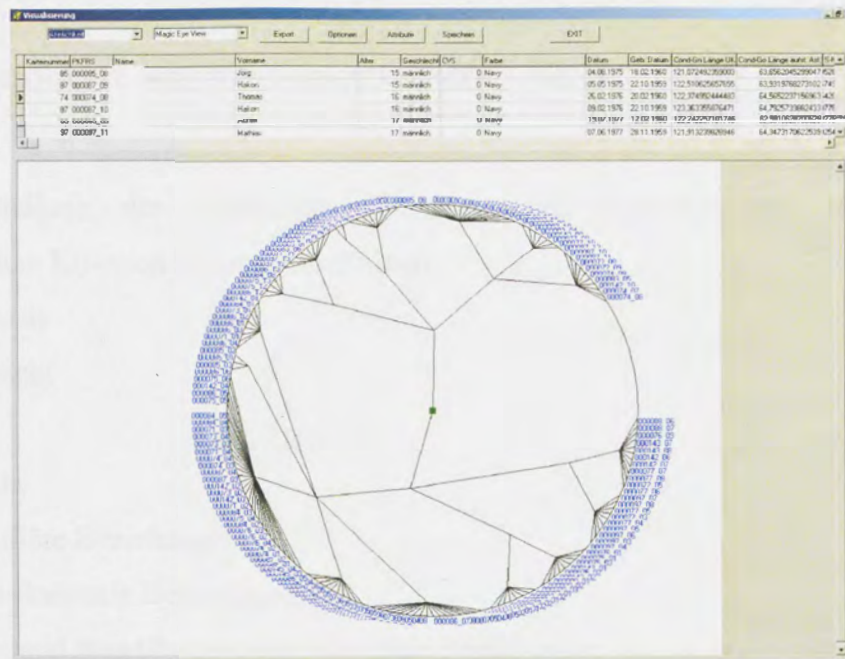


Abbildung 25

Beispiel für Magic-Eye-View aller männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen. Die Zusammenfassung in Clustern erfolgte nach der Ähnlichkeit der Probanden bezüglich ihrer effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn), der Länge des Corpus mandibulae (Go-Gn) und des SNB-Winkels nach Festlegung einer vierstufigen Hierarchie. Das Projektionszentrum (grün) liegt mittig.

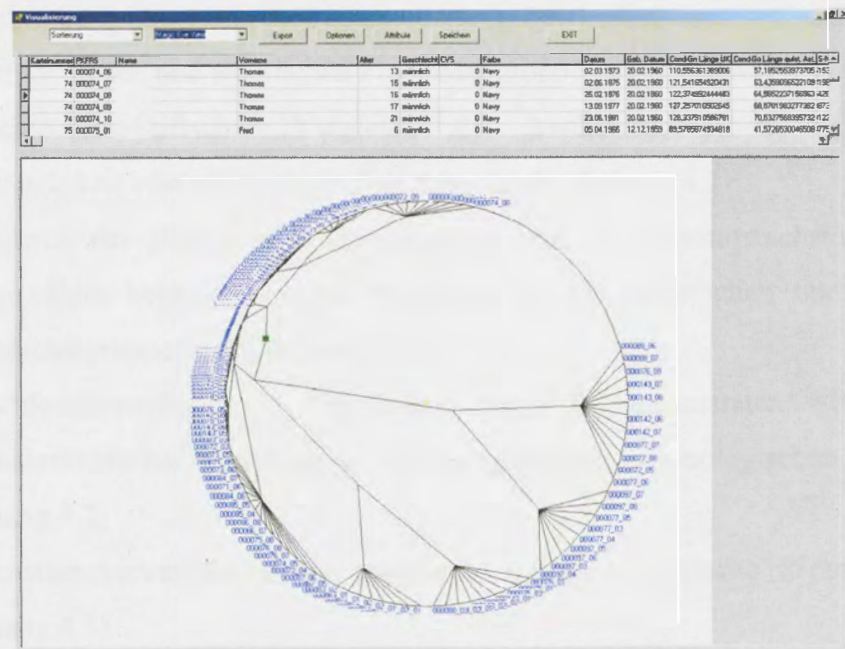


Abbildung 26

Beispiel für Magic-Eye-View aller männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen. Die Zusammenfassung in Clustern erfolgte nach der Ähnlichkeit der Probanden bezüglich ihrer effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn), der Länge des Corpus mandibulae (Go-Gn) und des SNB-Winkels nach Festlegung einer vierstufigen Hierarchie. Das Projektionszentrum (grün) ist nach links verschoben.

4.2 ERGEBNISSE DER KEPHALOMETRISCHEN ANALYSE

Die Darstellung der Ergebnisse der metrischen Kephalometrie erfolgt nach anatomischen Kriterien in neun Abschnitten:

- Schädelbasis
- Mittelgesicht
- Maxilla
- Mandibula
- Intermaxilläre Beziehungen
- Vertikale skelettale Beziehungen
- Maxilläre und mandibuläre dentoalveoläre Beziehungen
- Interdentale Beziehungen
- Weichteilanalyse.

Bei der Auswertung der Ergebnisse wurden systematisch folgende Schwerpunkte berücksichtigt:

- (1) Beschreibung der Longitudinalentwicklung der kephalometrischen Parameter in der männlichen und weiblichen Probandengruppe (siehe Anhang 4.1)
- (2) Geschlechtsspezifischer Vergleich der kephalometrischen Parameter in Abhängigkeit vom chronologischen Alter (siehe Anhang 4.1)
- (3) Vergleich der jährlichen Wachstumsraten und der Gesamtwachstumsraten für ausgewählte kephalometrische Parameter in der männlichen und weiblichen Probandengruppe (siehe Anhang 4.2)
- (5) Geschlechtsspezifischer Vergleich der Wachstumsraten ausgewählter kephalometrischer Parameter in Abhängigkeit vom chronologischen Alter (siehe Anhang 4.2)
- (4) Wachstumskurvenanalyse für ausgewählte kephalometrische Parameter (siehe Anhang 4.3).

Aufgrund der Vielzahl der Ergebnisse wird im Folgenden nur auf eine Auswahl der wichtigsten eingegangen. Die detaillierten Ergebnisse der kephalometrischen Analyse und die Ergebnisse der statistischen Auswertung sind dem Anhang 4 zu entnehmen.

Schädelbasis

(siehe auch Seiten A-12 bis A-16, A-65 bis A-67, A-76 bis A-78)

Zu Beginn der Untersuchung betrugen der Schädelbasisknickungswinkel (NSBa-Winkel) und der Sattelwinkel (NSAr-Winkel) jeweils 133° bzw. 125° bei den Jungen sowie 135° bzw. $126,4^\circ$ bei den Mädchen. Während des gesamten Beobachtungszeitraumes von 11 Jahren blieb die Neigung der Schädelbasis (NSBa-Winkel und NSAr-Winkel) in beiden Geschlechtern nahezu konstant. Es bestanden während des gesamten Untersuchungszeitraumes keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Schädelbasisneigung.

Die Längen von vorderer (S-N), hinterer (S-Ba) und seitlicher (S-Ar) Schädelbasis nahmen in beiden Geschlechtern während des gesamten Beobachtungszeitraumes zu. Die altersabhängigen geschlechtsspezifischen statistischen Querschnittsvergleiche ergaben bis zum 16. Lebensjahr keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Längenmessungen für die Schädelbasis. Erst vom 16. Lebensjahr an wiesen die männlichen Probanden signifikant längere vordere, hintere und seitliche Schädelbasen auf. In der Abbildung 27 ist diese Entwicklung beispielhaft für die Länge der vorderen (S-N) und der hinteren Schädelbasis (S-Ba) dargestellt.

Die größten jährlichen Wachstumszuwächse im Bereich der vorderen und der seitlichen Schädelbasis wurden bei den männlichen und weiblichen Probanden im 8. und 12. Lebensjahr ermittelt (Abbildung 28). Sie lagen bei den Jungen in einer Größenordnung von 1,1mm bis 1,8mm und bei den Mädchen zwischen 1mm und 2,3mm. Die Wachstumsmaxima für die hintere Schädelbasis wurden bei den männlichen Probanden im 9. und 12. Lebensjahr mit jeweils 1,1mm und 1,6mm und bei den weiblichen Probanden im 7. und 12. Lebensjahr mit jeweils 0,9mm und 1,6mm registriert (Abbildung 29).

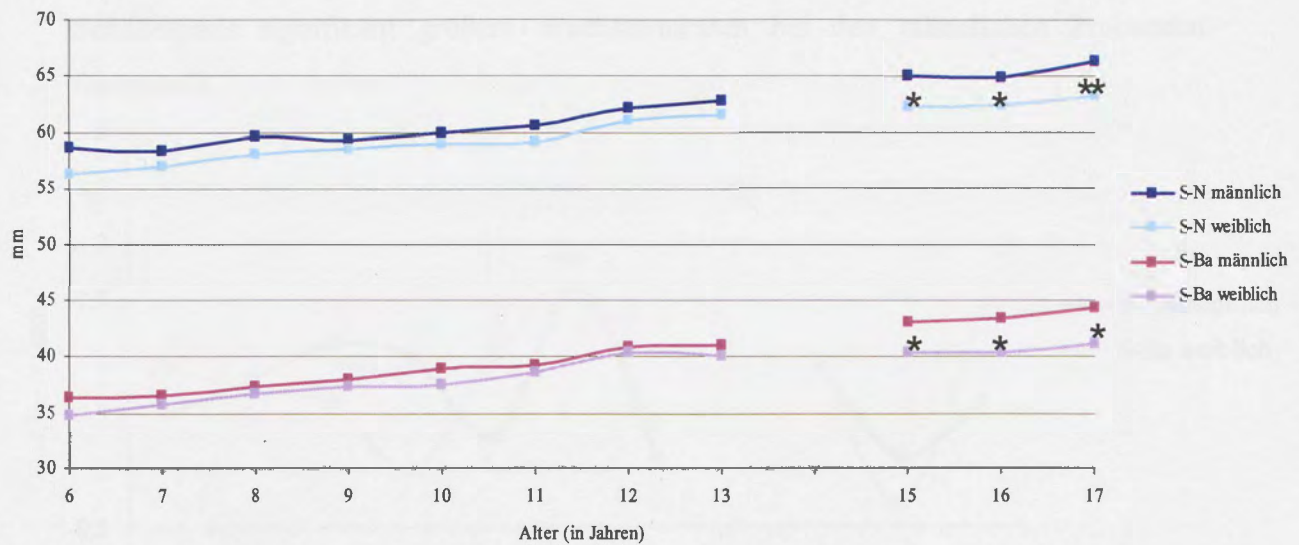


Abbildung 27
Longitudinalentwicklung der vorderen (S-N) und der hinteren Schädelbasis (S-Ba) und geschlechtsspezifischer Vergleich (* $p=0,05$, ** $p=0,001$).

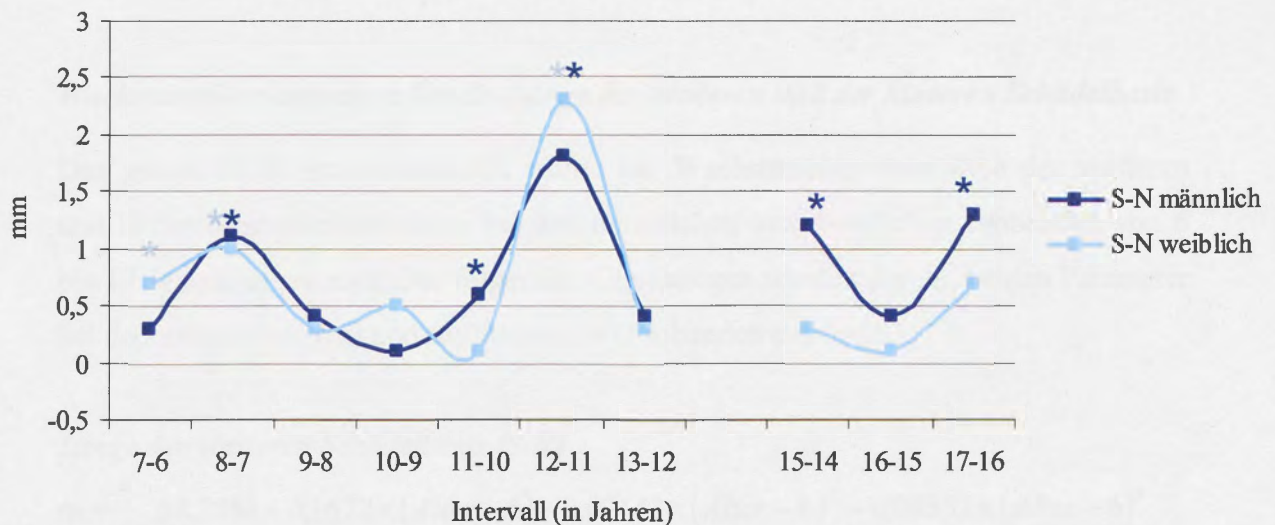


Abbildung 28
Jährliche Wachstumsraten der vorderen Schädelbasis (S-N) innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0045$).

Nach der Pubertät waren signifikante Wachstumszunahmen nur noch im Bereich der vorderen und seitlichen Schädelbasis bei den Jungen nachweisbar (Abbildung 28). Mit einer Ausnahme bestanden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede zwischen den jährlichen Wachstumsraten und den Gesamtwachstumsraten von vorderer, hinterer und

seitlicher Schädelbasis. Nur im 14. Lebensjahr wurden im Bereich der vorderen Schädelbasis signifikant größere Wachstumsraten bei den männlichen Probanden festgestellt.

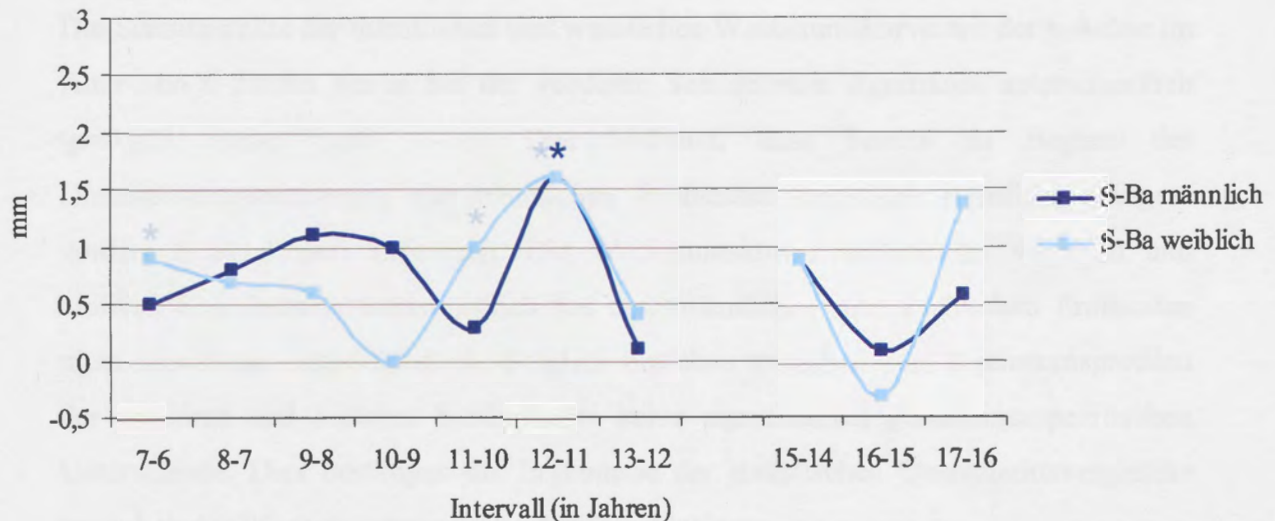


Abbildung 29

Jährliche Wachstumsraten der hinteren Schädelbasis (S-Ba) innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0045$).

Wachstumskurvenanalyse für die Länge der vorderen und der hinteren Schädelbasis

Das gemischte Regressionsmodell wurde zur Wachstumskurvenanalyse der vorderen und hinteren Schädelbasislänge bei den männlichen und weiblichen Probanden von 6 bis 17 Jahren angewandt. Die folgenden Gleichungen wurden für die beiden Parameter bei den männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden ermittelt.

Länge der vorderen Schädelbasis (S-N)

$$m = 58,2861 + 0,1672 \times (\text{Alter} - 6) + 0,09143 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,00352 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

$$w = 56,5136 + 0,4325 \times (\text{Alter} - 6) + 0,0766 \times (\text{Alter} - 6)^2 + 0,00584 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

Länge der hinteren Schädelbasis (S-Ba)

$$m = 36,1549 + 0,5143 \times (\text{Alter} - 6) + 0,05049 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,00327 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

$$w = 34,9701 + 0,8202 \times (\text{Alter} - 6) - 0,00457 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,00184 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

Interessanterweise wurden beim statistischen Vergleich der männlichen und weiblichen Wachstumskurven für die vordere Schädelbasis andere Ergebnisse als beim geschlechtsspezifischen Querschnittsvergleich zu Beginn der Untersuchung ermittelt. Die Schnittpunkte der männlichen und weiblichen Wachstumskurve mit der y-Achse im Alter von 6 Jahren waren bei der vorderen Schädelbasis signifikant unterschiedlich ($p=0,023$, siehe Seite A-76). Das bedeutet, dass bereits zu Beginn des Untersuchungszeitraumes die männlichen Probanden statistisch signifikant längere vordere Schädelbasen aufwiesen. Die Wachstumskurvenverläufe der vorderen und hinteren Schädelbasis waren jedoch bei den männlichen und weiblichen Probanden nicht signifikant unterschiedlich. Folglich bestehen zwischen den Wachstumsprofilen der vorderen und hinteren Schädelbasis keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede. Dies bestätigen die Ergebnisse der statistischen Querschnittsvergleiche bezüglich der Wachstumsraten in beiden Geschlechtern.

Die durch das Regressionsmodell ermittelten vorhersagbaren Wachstumskurvenverläufe für die Längen von vorderer und hinterer Schädelbasis bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung im Alter von 6 bis 17 Jahren sind im Anhang auf den Seiten A-77 und A-78 wiedergegeben.

Maxilla und Mittelgesicht

(siehe auch Seiten A-17 bis A-20, A-68 bis A-70, A-76, A-79 bis A-80)

Die sagittale skelettale Lage des Oberkiefers in Relation zur vorderen Schädelbasis (SNA-Winkel) veränderte sich während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei den männlichen Probanden nur unwesentlich von $81,7^\circ$ auf $82,8^\circ$ und blieb bei den weiblichen Probanden mit $80,0^\circ$ konstant. Eine ähnliche Tendenz wurde auch für die anterior-posteriore Position des Oberkiefers bezüglich der Nasionsenkrechten (Pt A-N Vert) festgestellt. Für beide Parameter wurden während des gesamten Beobachtungszeitraumes keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede ermittelt.

Über einen Zeitraum von 11 Jahren vergrößerten sich die Mittelgesichtslänge (Co-A) und die Oberkieferlänge (Spa-Spp) statistisch signifikant zur Ausgangslänge. Die

Mittelgesichtslänge und die Oberkieferlänge nahmen kontinuierlich um jeweils 15,3mm und 11,6mm bzw. 7,5mm und 5,6mm bei den Jungen und Mädchen zu. Die Längen des Mittelgesichts und des Oberkiefers nahmen bei den männlichen Probanden bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes zu, während sie bei den weiblichen Probanden mit dem 16. Lebensjahr konstant blieben (Abbildung 30). Vom 16. Lebensjahr an wurden signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Mittelgesichts- und der Oberkieferlänge festgestellt, wobei die Jungen signifikant größere Werte bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes aufwiesen (Abbildung 30).

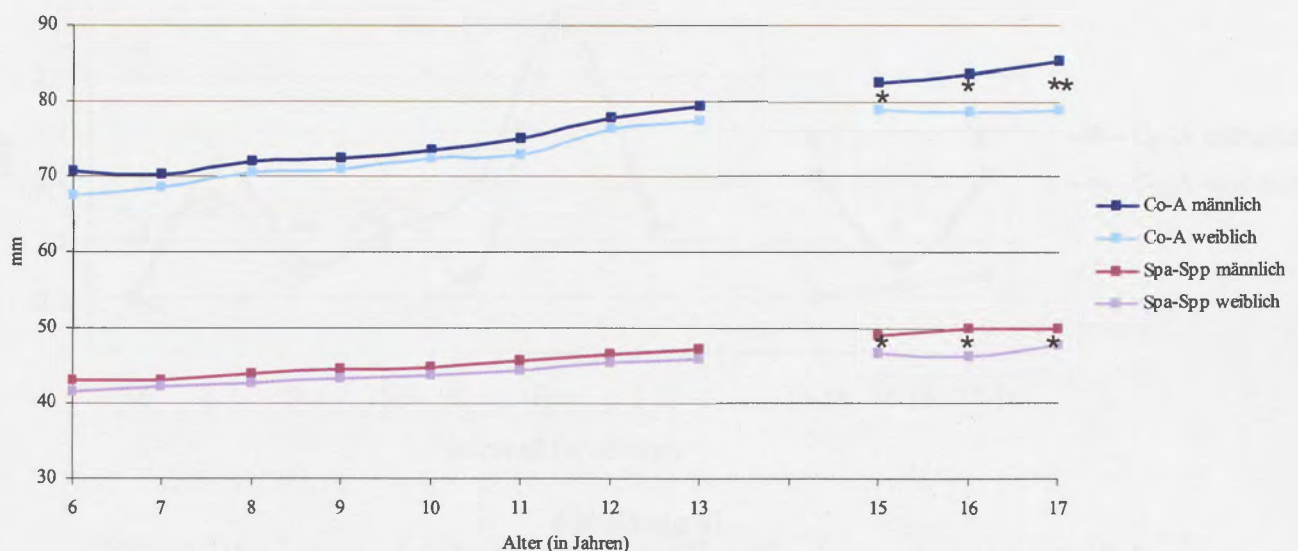


Abbildung 30
Longitudinalentwicklung der Mittelgesichtslänge (Co-A) und der Oberkieferlänge (Spa-Spp) und geschlechtsspezifischer Vergleich (* $p=0,05$, ** $p=0,001$).

Die größten präpuberalen Wachstumszunahmen der Mittelgesichtslänge wurden im 8. und 12. Lebensjahr mit jeweils 1,7mm und 3,0mm bei den Jungen und 1,4mm und 2,9mm bei den Mädchen gemessen (Abbildung 31). Während bei den Jungen noch im 17. Lebensjahr signifikante jährliche Wachstumszunahmen bezüglich der Mittelgesichtslänge nachweisbar waren, war dies bei den Mädchen nur bis zum 15. Lebensjahr der Fall (Abbildung 31). Signifikante präpuberale Wachstumszuwächse in der Oberkieferlänge wurden bei den männlichen Probanden im 8., 9. und 12. Lebensjahr ermittelt (Abbildung 32). Bei den Mädchen fanden diese im 8. und 10. Lebensjahr statt. Das Wachstumsmaximum bei den weiblichen Probanden wurde im 12. Lebensjahr mit ebenfalls 0,9mm gemessen (Abbildung 32). Bei den männlichen Probanden war bis zum

15. Lebensjahr eine signifikante jährliche Zunahme der Oberkieferlänge nachweisbar, während dies bei den weiblichen Probanden nur bis zum 13. Lebensjahr der Fall war.

Bezüglich der jährlichen Wachstumsraten für die Mittelgesichts- und die Oberkieferlänge wurden nur im 15. Lebensjahr signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede festgestellt, wobei die männlichen Probanden signifikant größere Wachstumsraten aufwiesen.

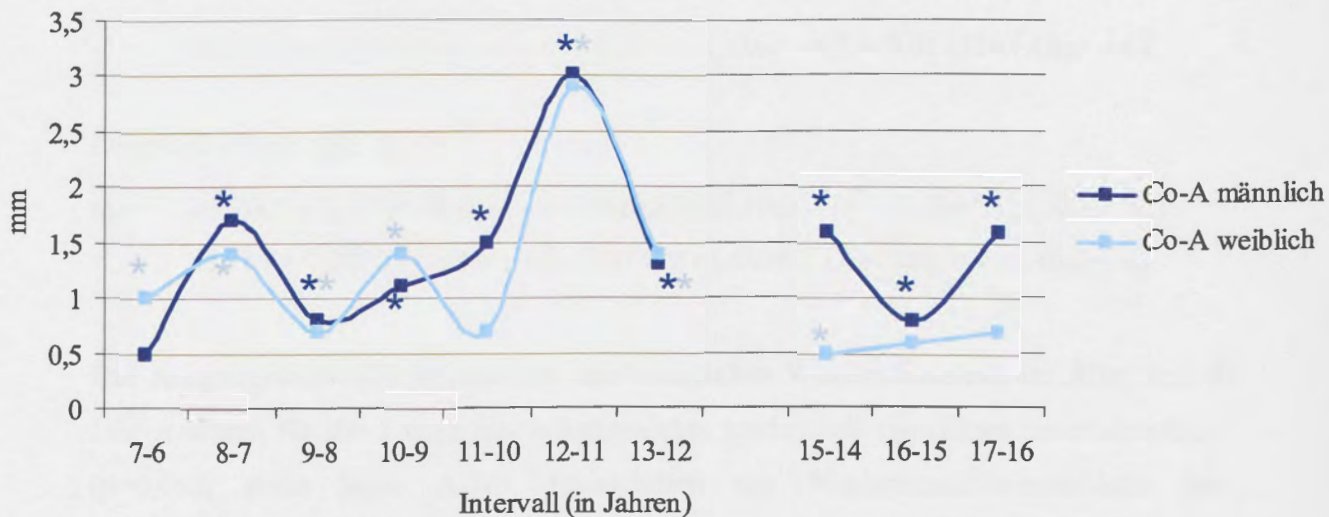


Abbildung 31

Jährliche Wachstumsraten der Mittelgesichtslänge (Co-A) innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0045$).

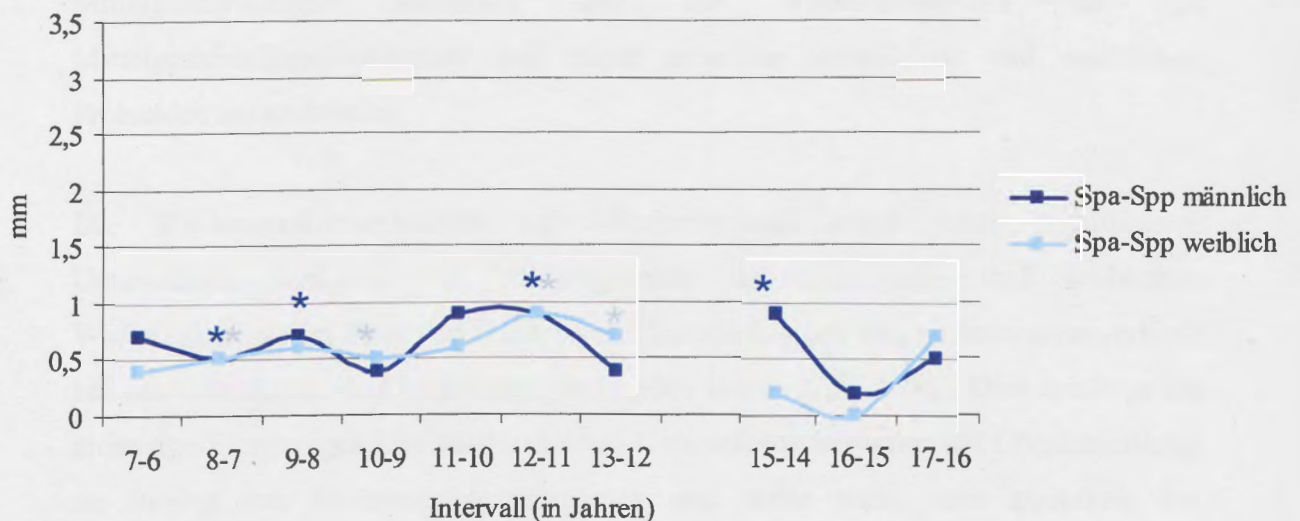


Abbildung 32

Jährliche Wachstumsraten der Oberkieferlänge (Spa-Spp) innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0045$).

Wachstumskurvenanalyse für die Mittelgesichtslänge und die Oberkieferlänge

Die Analyse der Wachstumskurven für die Mittelgesichts- und die Oberkieferlänge der männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden von 6 bis 17 Jahren ergab folgende Gleichungen.

Mittelgesichtslänge (Co-A)

$$m = 70,1883 + 0,04406 \times (\text{Alter} - 6) + 0,2840 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,01568 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

$$w = 68,1036 + 0,5556 \times (\text{Alter} - 6) + 0,1999 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,01431 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

Oberkieferlänge (Spa-Spp)

$$m = 42,7001 + 0,3772 \times (\text{Alter} - 6) + 0,06831 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,00416 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

$$w = 41,769 + 0,2995 \times (\text{Alter} - 6) + 0,07879 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,00553 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

Die Ausgangswerte der männlichen und weiblichen Wachstumskurve im Alter von 6 Jahren waren für die Länge des Mittelgesichts tendenziell signifikant unterschiedlich ($p=0,051$, siehe Seite A-76). Hinsichtlich der Wachstumskurvenverläufe der Mittelgesichtslänge waren keine signifikanten Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden nachweisbar. Das bedeutet, dass die männlichen Probanden zu Beginn des Untersuchungszeitraumes tendenziell signifikant größere Mittelgesichtslängen aufwiesen und die Wachstumsprofile für das Mittelgesichtslängenwachstum sich nicht zwischen männlichen und weiblichen Probanden unterschieden.

Die Wachstumskurvenanalyse der Oberkieferlänge ergab keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Ausgangswerte der männlichen und weiblichen Wachstumskurve im Alter von 6 Jahren und hinsichtlich der Wachstumskurvenverläufe bei den männlichen und weiblichen Probanden (siehe Seite A-76). Dies bestätigt die nicht signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Oberkieferlänge zu Beginn des Untersuchungszeitraumes und weist nach, dass zwischen den Wachstumsprofilen des Oberkiefers bei den männlichen und weiblichen Probanden kein signifikanter Unterschied besteht.

Der vorhersagbare Wachstumskurvenverlauf für die Mittelgesichts- und die Oberkieferlänge bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung im Alter von 6 bis 17 Jahren ist dem Anhang auf den Seiten A-79 bis A-80 zu entnehmen.

Mandibula

(siehe auch Seiten A-21 bis A-27, A-71 bis A-76, A-81)

Zu Beginn des Untersuchungszeitraumes wurde bei den weiblichen Probanden eine retrusivere Lage des Unterkiefers bezüglich der vorderen Schädelbasis (SNB-Winkel_{männlich}=77,1°, SNB-Winkel_{weiblich}=75,7°) festgestellt. Gleiches galt für die Lage des knöchernen Kinns in Relation zur vorderen Schädelbasis (SNPog-Winkel) und zur Nasionsenkrechten (Pog-N Vert). Innerhalb von 11 Jahren vergrößerte sich der SNB-Winkel bei den männlichen Probanden kontinuierlich bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes um 2,9°, während er bei den weiblichen Probanden nahezu unverändert blieb (Differenz 0,9°). Die vergleichsweise größeren Zunahmen des SNPog-Winkels von jeweils 4,4° bzw. 2,5° bei den Jungen und Mädchen verweisen auf ein stärkeres Wachstum im Bereich der Kinnprominenz und zeigen das deutlich nach anterior gerichtete skelettal basale Unterkieferwachstum in beiden Geschlechtern. Während der SNPog-Winkel bei den weiblichen Probanden nach dem 13. Lebensjahr nahezu konstant blieb, war die weitere Zunahme dieses Winkels bis zum Abschluss des Beobachtungszeitraumes bei den männlichen Probanden nachweisbar. Die Ergebnisse für die Abstandsmessung vom Pogonion zur Nasionsenkrechten unterstreichen die Anteriorentwicklung des Unterkiefers und die Knochenapposition im Kinnbereich noch eindrucksvoller. Die zu Untersuchungsbeginn mit -7,2mm bei den männlichen und mit -8,1mm bei den weiblichen Probanden gemessene deutliche Rücklage des Unterkiefers in Relation zur Nasionsenkrechten reduzierte sich bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes um 6,1mm bzw. 4,8mm bei den männlichen und weiblichen Probanden. Über den gesamten Untersuchungszeitraum bestanden bezüglich der sagittalen Position des Unterkiefers zur vorderen Schädelbasis und zur Nasionsenkrechten keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede.

Über einen Zeitraum von 11 Jahren vergrößerten sich die Gesamtunterkieferlängen (Co-Gn, Ar-Gn) und die Höhe des Ramus mandibulae statistisch signifikant zur Ausgangslänge. Für die Länge des Corpus mandibulae war diesbezüglich eine statistische Tendenz nachweisbar. Die effektive Unterkieferlänge nahm insgesamt um jeweils 26,3mm bzw. 21,2mm bei den Jungen und Mädchen zu. Die Höhe des Ramus mandibulae vergrößerte sich insgesamt um jeweils 15,5mm bzw. 12,3mm bei den männlichen und weiblichen Probanden. Das Corpus mandibulae vergrößerte sich insgesamt um jeweils 16,7mm bzw. 13,6mm bei den Jungen und Mädchen. Die effektive Unterkieferlänge (Co-Gn) war zu Beginn des Untersuchungszeitraumes bei den männlichen Probanden signifikant größer als bei den weiblichen (Differenz 3,7mm, Abbildung 33). Für alle anderen metrischen Parameter des Unterkiefers bestand dieser geschlechtsspezifische Unterschied zum Zeitpunkt von 6 Jahren nicht. Vom 16. Lebensjahr an waren höchst signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Höhe des Ramus mandibulae, des Corpus mandibulae, der effektiven Unterkieferlänge und der Abstandsmessung vom Artikulare zum Gnathion bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes nachweisbar (Abbildung 33). Die männlichen Probanden wiesen signifikant größere Unterkiefer sowohl in der Länge als auch in der Höhe auf.

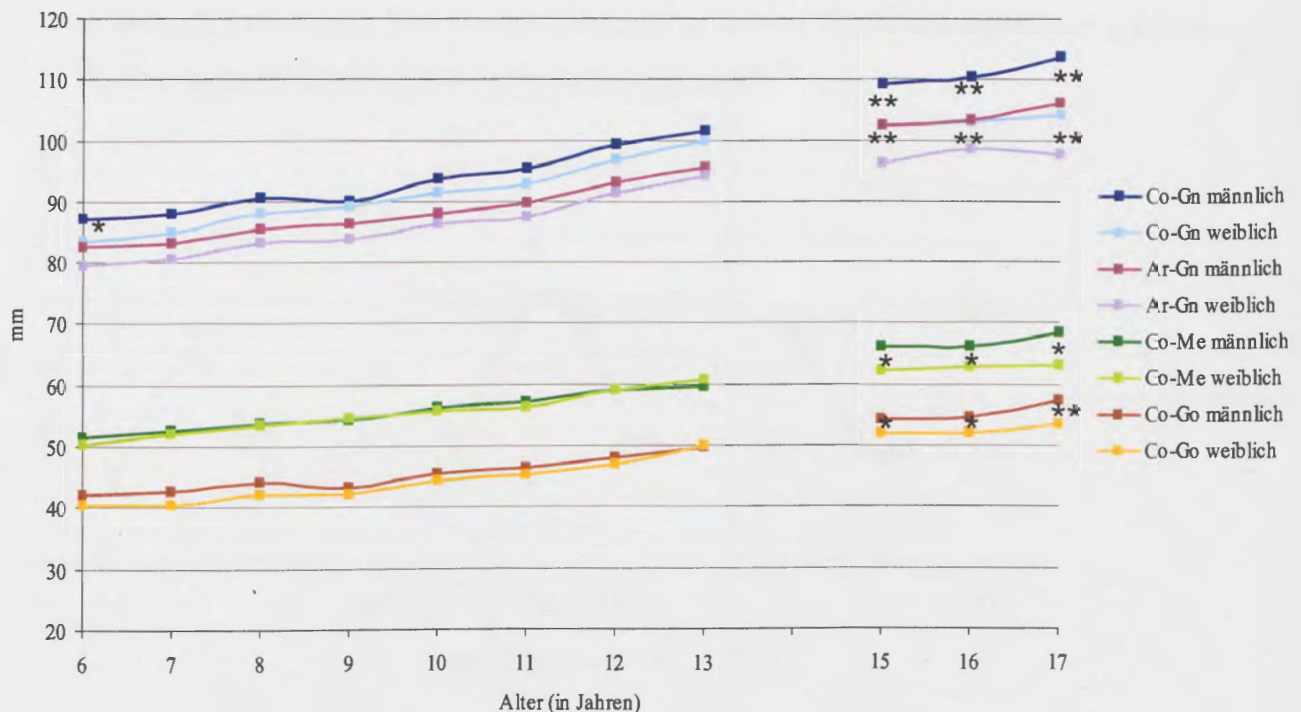


Abbildung 33

Longitudinalentwicklung der Unterkieferlängen (Co-Gn, Ar-Gn), der Höhe des Ramus mandibulae (Co-Go) und des Corpus mandibulae (Co-Me) und geschlechtsspezifischer Vergleich (*p=0,05, ** p=0,001).

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurden bei den Jungen zwischen allen jährlichen Intervallen signifikante Wachstumszuwächse bezüglich der Gesamtunterkieferlängen (Co-Gn, Ar-Gn) festgestellt. Bei den Mädchen war dies bis zum 15. Lebensjahr der Fall. Die Abbildung 34 zeigt dies beispielhaft für die effektive Unterkieferlänge (Co-Gn). In beiden Geschlechtern waren bezüglich der Gesamtunterkieferlängen (Co-Gn, Ar-Gn) frühkindliche und präpuberale Wachstumsmaxima nachweisbar. Für die effektive Unterkieferlänge fanden diese bei den männlichen Probanden im 8. (3,2mm) und 12. Lebensjahr (4,1mm) und bei den weiblichen Probanden im 8. (2,5mm) und 10. Lebensjahr (1,9mm) statt. Das puberale Wachstumsmaximum wurde bei den Mädchen im 12. Lebensjahr (4,4mm) festgestellt (Abbildung 34). Bei den Jungen muss es zwischen dem 13. und 15. Lebensjahr vermutet werden. Aufgrund der fehlenden Fernröntgenaufnahmen mit 14 Jahren ist diesbezüglich keine genauere Aussage möglich. Das Unterkieferlängenwachstum (Co-Gn) setzte sich bei den männlichen Probanden bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes mit jährlichen Wachstumsraten von 1,6mm bis 3,3mm fort. Bei den weiblichen Probanden war das Restwachstum mit 0,6mm bis 1,3mm vergleichsweise geringer (Abbildung 34). Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen den jährlichen Wachstumsraten der Unterkieferlänge bestanden ab dem 15. Lebensjahr. Von diesem Zeitpunkt an wiesen die Jungen signifikant größere Wachstumsraten für die Gesamtunterkieferlängen auf.

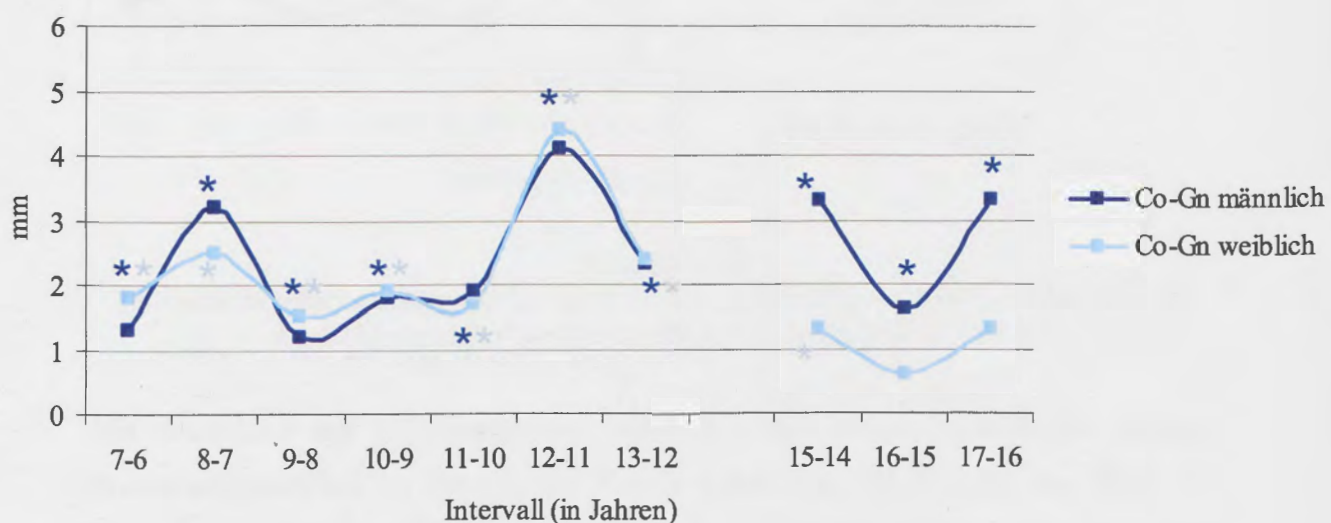


Abbildung 34
Jährliche Wachstumsraten der effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn) innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0045$).

Mit vereinzelt Ausnahmen wurden im Bereich des Corpus mandibulae (Go-Me) signifikante jährliche Wachstumszunahmen in beiden Geschlechtern bis zum 15. Lebensjahr festgestellt (Abbildung 35). Die frühkindlichen Wachstumsmaxima wurden bei den männlichen Probanden im 8. und bei den weiblichen Probanden im 9. Lebensjahr mit jeweils 1,7mm festgestellt. Das präpuberale Wachstumsmaximum war nur in der männlichen Probandengruppe im 12. Lebensjahr nachweisbar. Der jährliche Wachstumszuwachs betrug hier 2,0mm. Die puberalen Wachstumsmaxima in der männlichen und weiblichen Probandengruppe wurden mit jeweils 2,7mm im 15. und mit 3mm im 12. Lebensjahr gemessen (Abbildung 35). Bei den männlichen Probanden waren noch bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes jährliche Wachstumszuwächse von 1,5mm bis 2,7mm nachweisbar. Bei den weiblichen Probanden waren diese mit 0,7mm bis 1,2mm vergleichsweise geringer. Geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen den jährlichen Wachstumsraten für die Corpuslänge bestanden nur im 15. Lebensjahr, wobei die Jungen signifikant größere Wachstumsraten aufwiesen.

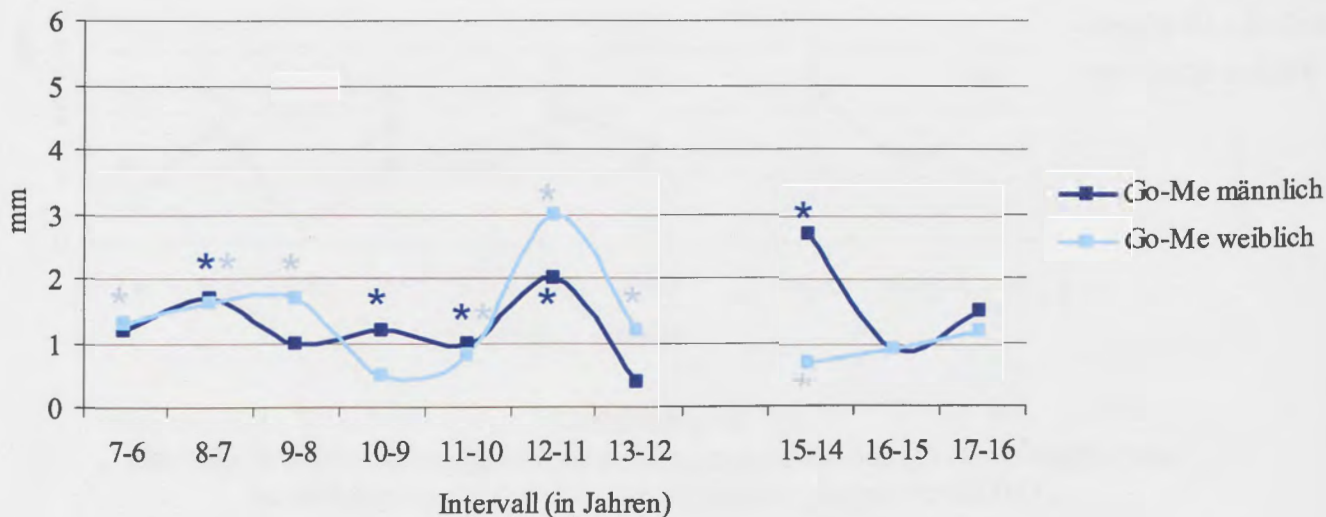


Abbildung 35
Jährliche Wachstumsraten der Länge des Corpus mandibulae (Go-Me) innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0045$).

Mit Ausnahme des 9. Lebensjahres waren bei den Jungen signifikante jährliche Wachstumszuwächse im Bereich des Ramus mandibulae (Co-Go) bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes feststellbar. Bei den Mädchen war dies bis zum 15. Lebensjahr der Fall (Abbildung 36). Die frühkindlichen Wachstumsmaxima bezüglich des Höhenwachstums des Ramus mandibulae wurden für beide Geschlechter im 8.

Lebensjahr festgestellt. Die größten präpuberalen jährlichen Wachstumszunahmen wurden bei den männlichen Probanden im 12. Lebensjahr (1,9mm) und bei den weiblichen Probanden im 10. Lebensjahr (1,8mm) registriert. Die puberalen Wachstumsmaxima wurden im 15. Lebensjahr in der männlichen und im 13. Lebensjahr in der weiblichen Probandengruppe gemessen (Abbildung 36). Sie betrugen jeweils 2,2mm und 2,6mm. Bei den männlichen Probanden waren noch bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes jährliche Wachstumszuwächse von 1,3mm bis 2,2mm nachweisbar. Bei den weiblichen Probanden waren diese mit 1,1mm bis 0,8mm vergleichsweise geringer. Geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen den jährlichen Wachstumsraten für die Ramushöhe bestanden nur im 15. Lebensjahr, wobei die Jungen signifikant größere Wachstumsraten im Bereich des Ramus mandibulae aufwiesen.

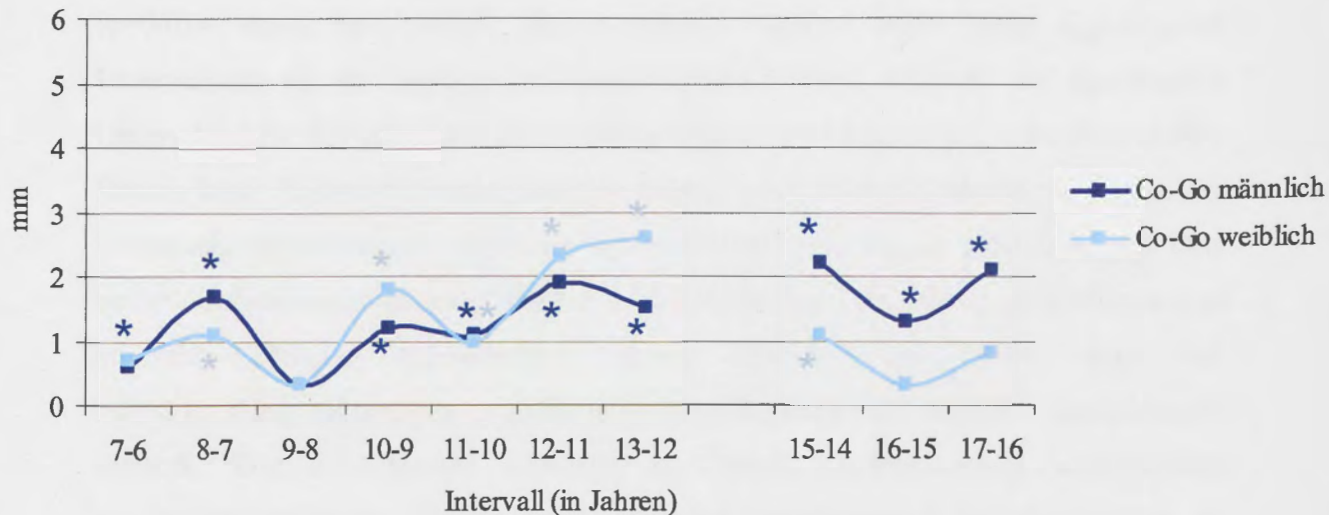


Abbildung 36
Jährliche Wachstumsraten der Höhe des Ramus mandibulae (Co-Go) innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0045$).

Wachstumskurvenanalyse für die effektive Unterkieferlänge

Die Wachstumskurvenanalyse der effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn) bei den männlichen (m) und weiblichen (w) Probanden im Alter von 6 bis 17 Jahren ergab die folgenden Gleichungen.

Effektive Unterkieferlänge (Co-Gn)

$$m = 86,826 + 0,9685 \times (\text{Alter} - 6) + 0,2460 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,01081 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

$$w = 83,9358 + 1,0530 \times (\text{Alter} - 6) + 0,3111 \times (\text{Alter} - 6)^2 - 0,02186 \times (\text{Alter} - 6)^3$$

Die Ausgangswerte der männlichen und weiblichen Wachstumskurve im Alter von 6 Jahren waren für die effektive Unterkieferlänge statistisch signifikant unterschiedlich ($p=0,024$, siehe Seite A-76). Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede für die linearen und quadratischen Effekte, während ein signifikanter Unterschied für den kubischen Effekt nachgewiesen wurde ($p=0,026$, siehe Seite A-76). Daraus kann abgeleitet werden, dass die männlichen Probanden bereits zu Beginn des Untersuchungszeitraumes signifikant größere Unterkieferlängen aufwiesen und dass beide Wachstumskurven nicht durch einzelne Parameter (für lineare, quadratische und kubische Effekte) repräsentiert werden können. Das heißt, dass das Unterkieferlängenwachstum signifikant unterschiedlich in beiden Geschlechtern verläuft. Dieses Ergebnis bestätigt die bereits beschriebenen signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der effektiven Unterkieferlänge zu Beginn und am Ende des Untersuchungszeitraumes. Auch die festgestellten signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Wachstumsraten ab dem 15. Lebensjahr werden damit unterstrichen.

Auf der Seite A-81 im Anhang ist die Wachstumsvorhersage für die effektive Unterkieferlänge bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung im Alter von 6 bis 17 Jahren grafisch dargestellt.

Intermaxilläre Beziehungen

(siehe auch Seiten A-28 bis A-30)

Der ANB-Winkel war zu Beginn des Untersuchungszeitraumes in beiden Geschlechtern gleich (männlich $4,6^\circ$, weiblich $4,7^\circ$). Während des gesamten Untersuchungszeitraumes von 11 Jahren reduzierte er sich geringfügig um $1,8^\circ$ in beiden Gruppen auf $2,8^\circ$ bei den männlichen Probanden und $2,9^\circ$ bei den weiblichen. Zu keinem Zeitpunkt während der gesamten Untersuchung lagen geschlechtsspezifische Unterschiede vor.

Auch der Wits-Wert war im Alter von 6 Jahren nicht signifikant unterschiedlich zwischen männlichen und weiblichen Probanden. Er betrug jeweils in der männlichen und weiblichen Untersuchungsgruppe $-0,3\text{mm}$ und $-0,2\text{mm}$. Der Wits-Wert blieb während des gesamten Untersuchungszeitraumes bei den männlichen Probanden konstant und nahm bei den weiblichen Probanden bis zum Alter von 17 Jahren um nur $0,6\text{mm}$ zu. Geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich des Wits-Wertes wurden zu keinem Zeitpunkt ermittelt.

Die maxillomandibuläre Differenz (Mx/Md diff) ist ein Ausdruck für die lineare Beziehung, die zwischen dem Wachstum der Mittelgesichtslänge (Co-A) und der effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn) besteht (McNamara Jr. et al. 2001). Sie berechnet sich aus der Differenz von effektiver Unterkieferlänge und Mittelgesichtslänge. Die maxillomandibuläre Differenz war im Alter von 6 Jahren bei den männlichen und weiblichen Probanden nicht signifikant unterschiedlich. Sie betrug jeweils $16,3\text{mm}$ bzw. $15,9\text{mm}$ bei den Jungen und Mädchen. Aufgrund der verhältnismäßig größeren Wachstumszunahme der effektiven Unterkieferlänge erhöhte sich die maxillomandibuläre Differenz mit zunehmendem Alter um jeweils $12,4\text{mm}$ bzw. $9,2\text{mm}$ bei den männlichen und weiblichen Probanden. Vom 17. Lebensjahr an wurden geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der maxillomandibulären Differenz nachgewiesen, die sich durch die bereits beschriebenen größeren Wachstumszunahmen in der Unterkieferlänge bei den männlichen Probanden erklären lassen.

Vertikale skelettale Beziehungen

(siehe auch Seiten A-31 bis A-42)

Die Neigung der Frankfurter-Horizontalen zur vorderen Schädelbasis (SN-FH-Winkel) blieb während des gesamten Untersuchungszeitraumes in beiden Geschlechtern unverändert. Sie betrug zu Beginn des Beobachtungszeitraumes $9,2^\circ$ bei den männlichen Probanden und $9,7^\circ$ bei den weiblichen. Zu keinem Zeitpunkt wurden geschlechtsspezifische Signifikanzen für den SN-FH-Winkel registriert.

Die Neigung des Oberkieferplanums zur Frankfurter Horizontalen (FH-PP-Winkel) bzw. zur vorderen Schädelbasis (SN-PP-Winkel) veränderte sich bei den männlichen Probanden nur geringfügig um jeweils $1,7^\circ$ und $1,5^\circ$, während sie bei den weiblichen Probanden stabil blieb.

Demgegenüber standen größere Veränderungen bezüglich der Neigung des Mandibularplanums zur Frankfurter-Horizontalen (FH-MP-Winkel), zur vorderen Schädelbasis (SN-MP-Winkel) und zum Oberkieferplanum (PP-MP-Winkel), die die counter-clockwise Rotation des Unterkiefers mit zunehmendem Alter in beiden Geschlechtern beschreiben. Der FH-MP-Winkel reduzierte sich von anfänglich 26° in beiden Geschlechtern um $2,6^\circ$ bei den Jungen und $5,0^\circ$ bei Mädchen. Der SN-MP-Winkel nahm innerhalb von 11 Jahren in beiden Gruppen um 3° auf $34,4^\circ$ bei den männlichen und $34,5^\circ$ bei den weiblichen Probanden ab. Der PP-MP-Winkel reduzierte sich von anfänglich 28° in beiden Geschlechtern um 4° auf $23,9^\circ$ bei den Jungen und $23,8^\circ$ bei den Mädchen. Geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Neigung von Oberkiefer- und Unterkieferplanum zueinander, der Neigung von Ober- und Unterkieferplanum zur Frankfurter-Horizontalen oder vorderen Schädelbasis wurden während des gesamten Untersuchungszeitraumes nicht ermittelt.

Im Alter von 6 Jahren war der Unterkieferwinkel (ArGoMe-Winkel) in der weiblichen Probandengruppe nicht signifikant kleiner als in der männlichen ($\text{ArGoMe}_{\text{männlich}} = 130,5^\circ$, $\text{ArGoMe}_{\text{weiblich}} = 128,5^\circ$). Bis zum Alter von 17 Jahren nahm er kontinuierlich um jeweils $7,2^\circ$ bzw. $8,4^\circ$ bei den Jungen und Mädchen ab. Die gleiche Tendenz, wenn auch in geringerem Maße, wurde für den CoGoMe-Winkel in beiden Geschlechtern

nachgewiesen. Er reduzierte sich um 5° bzw. $5,2^\circ$ bei den männlichen und weiblichen Probanden von anfänglich $128,7^\circ$ bzw. $127,2^\circ$. Zu keinem Zeitpunkt wurden für den Kieferwinkel oder den CoGoMe-Winkel geschlechtsspezifische Unterschiede nachgewiesen.

Der y-Achsen Winkel (NSGn-Winkel) war über einen Zeitraum von 11 Jahren in beiden Geschlechtern stabil. Er betrug 68° bei den männlichen Probanden und 69° bei den weiblichen. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant.

Die Longitudinalentwicklungen im Bereich der vorderen (N-Me), vorderen unteren (Spa-Me) und hinteren Gesichtshöhe (S-Go) verliefen konform. Die drei Strecken nahmen kontinuierlich in beiden Geschlechtern zu. Insgesamt vergrößerten sich die vordere, die vordere untere und die hintere Gesichtshöhe bei den Jungen um jeweils 23,9mm, 12,2mm und 18,5mm. Bei den weiblichen Probanden waren die respektiven Daten 17,9mm, 9,3mm und 14,8mm. Für alle drei Parameter waren vom 16. Lebensjahr an geschlechtsspezifische Unterschiede nachweisbar, wobei die männlichen Probanden signifikant größere Gesichtshöhen aufwiesen.

Die größten frühkindlichen und präpuberalen Wachstumszunahmen traten für die vordere (N-Me) und vordere untere Gesichtshöhe (Spa-Me) bei den Jungen im 8. und 12. Lebensjahr und bei den Mädchen im 8. und 10. Lebensjahr auf. Das puberale Wachstumsmaximum im Bereich der vorderen und der vorderen unteren Gesichtshöhe wurde bei den Jungen zwischen dem 14. und 15. Lebensjahr und bei den Mädchen im 12. Lebensjahr registriert. Bezüglich der hinteren Gesichtshöhe (S-Go) waren die größten frühkindlichen und präpuberalen Wachstumszunahmen bei den Jungen und Mädchen gleichzeitig im 8. und 10. Lebensjahr feststellbar. Das puberale Wachstumsmaximum fand bei den weiblichen Probanden früher (12. Lebensjahr) als bei den männlichen Probanden (zwischen dem 14. und 15. Lebensjahr) statt.

Maxilläre und mandibuläre dentoalveoläre Beziehungen

(siehe auch Seiten A-43 bis A-51)

Aufgrund des Vorhandenseins von Milchschnidezähnen wurden die dentoalveolären Beziehungen im Frontzahnggebiet erst vom 8. Lebensjahr an in der statistischen Analyse berücksichtigt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auch nur auf diesen Zeitraum.

Die Inklination der oberen Schneidezähne zur vorderen Schädelbasis (OK1-SN-Winkel), zur Frankfurter-Horizontalen (OK1-FH-Winkel) und zur Nasion-A-Punkt-Linie (OK1-NA-Winkel) veränderte sich über den gesamten Beobachtungszeitraum fast nicht. Bezüglich der Neigung der oberen Incisivi zur vorderen Schädelbasis (OK1-SN-Winkel) wiesen die weiblichen Probanden zu Beginn der Untersuchung tendenziell mehr retrudierte obere Schneidezähne auf ($OK1-SN_{\text{männlich}}=101,3^\circ$, $OK1-SN_{\text{weiblich}}=98^\circ$; $p=0,055$). Am Ende des Beobachtungszeitraumes war dieser Unterschied statistisch signifikant ($p=0,042$, siehe Seite A-45). Auch die Analyse der Neigung der oberen Schneidezähne zur Frankfurter-Horizontalen (OK1-FH-Winkel) ergab, dass bei den weiblichen Probanden die oberen Schneidezähne von Beginn an bis zum 16. Lebensjahr signifikant retrudierter standen. Am Ende der Untersuchung war dieser geschlechtsspezifische Unterschied jedoch nicht mehr vorhanden. Für den OK1-NA-Winkel wurden zu keinem Zeitpunkt geschlechtsspezifische Signifikanzen ermittelt.

Der Vergleich der Position der oberen Schneidezähne zu Beginn und am Ende des Untersuchungszeitraumes ergab eine leichte Anteriorbewegung der oberen Schneidezähne bezüglich der Nasion-A-Linie (OK1-NA_) von 1mm bzw. 1,6mm bei den Jungen und Mädchen und bezüglich der Senkrechten im A-Punkt (OK1-Pt A Vert) von jeweils 1,8mm. Geschlechtsspezifische Unterschiede bestanden für beide Parameter zu keinem Zeitpunkt.

Die Achsenneigung der unteren Schneidezähne zur Nasion-B-Punkt-Linie (UK1-NB-Winkel) blieb über den gesamten Beobachtungszeitraum bei den männlichen Probanden konstant ($25,0^\circ$) und reduzierte sich bei den weiblichen Probanden geringfügig um $1,3^\circ$ auf $22,9^\circ$. Demgegenüber waren die Veränderungen in der Inklination der unteren

Schneidezähne zum Mandibularplanum (UK1-MP-Winkel) ausgeprägter. Der UK1-MP-Winkel nahm rapide im 11. Lebensjahr bei den Jungen und im 12. Lebensjahr bei den Mädchen zu, so dass am Ende des Untersuchungszeitraumes die unteren Schneidezähne bei den männlichen und weiblichen Probanden um jeweils $17,9^\circ$ und $16,1^\circ$ protrudierter als zu Beginn mit 8 Jahren standen. Für beide Winkel wurden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede festgestellt.

Die Position der unteren Schneidezähne bezüglich der Nasion-B-Punkt-Linie (UK1-NB_) veränderte sich insgesamt nur unwesentlich um jeweils 0,8mm bzw. 0,6mm nach anterior bei den Jungen und Mädchen. Auch die während des gesamten Beobachtungszeitraumes gemessenen Veränderungen in der Position der unteren Schneidezähne zur A-Punkt-Pogonion-Linie (UK1-Pt A Pog) waren in beiden Geschlechtern minimal (Differenz männlich 0,5mm, Differenz weiblich 0,4mm). Geschlechtsspezifische Signifikanzen bestanden für beide Parameter zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung.

Interdentale Beziehungen

(siehe auch Seiten A-52 bis A-56)

Auch die interdentalen Beziehungen im Frontzahnbereich wurden erst mit dem Durchbruch der bleibenden Schneidezähne vom 8. Lebensjahr an berücksichtigt.

Der Interinzisalwinkel (OK1-UK1-Winkel) war im Alter von 8 Jahren bei den weiblichen Probanden nicht signifikant größer als bei den männlichen ($133,6^\circ$ vs. $130,7^\circ$). Die Neigung der Schneidezahnachsen zueinander nahm geringfügig um $2,5^\circ$ bei den Jungen und $2,6^\circ$ bei den Mädchen zu. Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden während des gesamten Beobachtungszeitraumes nicht nachgewiesen.

Die sagittalen Abstände (Overjet) zwischen den Fazialflächen (OJ Fac) und den Schneidekanten (OJ Incis) der oberen und unteren Incisivi blieben über einen Zeitraum von 11 Jahren in beiden Geschlechtern konstant. Der faziale Overjet wurde mit 3,3mm bei den männlichen und mit 3,7mm bei den weiblichen Probanden im Alter von 8 Jahren gemessen. Die diesbezüglichen Werte für den inzisalen Overjet waren 2,6mm

und 2,3mm. Geschlechtsspezifische Signifikanzen bestanden für beide Parameter zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung.

Während des gesamten Untersuchungszeitraumes war der vertikale Abstand der Schneidekanten von oberen und unteren Schneidezähnen (OB) bei den Jungen konstant (2,6mm bis 2,7mm), während er sich bei den Mädchen von 2,8mm auf 3,5mm vergrößerte. Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden für den Overbite während des gesamten Beobachtungszeitraumes dennoch nicht nachgewiesen.

Die Beziehung zwischen oberen und unteren ersten Molaren (OK6-UK6) war über den gesamten Untersuchungszeitraum stabil. Innerhalb von 11 Jahren veränderte sich die Molarenbeziehung nur geringfügig um 1,2mm bei den männlichen und um 1,0mm bei den weiblichen Probanden. Zwischen den Geschlechtern bestanden diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede.

Weichteilanalyse

(siehe auch Seiten A-57 bis A-63)

Der Nasolabialwinkel (Nasolab-Winkel) vergrößerte sich bei den Jungen geringfügig von 116,6° auf 119,0°, während er bei den Mädchen von 118,3° auf 114,5° abnahm. Trotz dieser Differenz wurden zu keinem Zeitpunkt geschlechtsspezifische Unterschiede für diesen Winkel ermittelt.

Bezüglich der Oberlippenneigung in Relation zur knöchernen Nasionsenkrechten (OL Neig-Winkel) wiesen die weiblichen Probanden zu Beginn der Untersuchung ein nicht signifikant flacheres Oberlippenprofil auf (OL Neig-Winkel_{männlich}=10,1°, OL Neig-Winkel_{weiblich}=5,1°). Während des gesamten Untersuchungszeitraumes flachte die Oberlippe zunehmend in beiden Geschlechtern ab. Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden nur zwischen dem 12. und 14. Lebensjahr festgestellt, wobei die weiblichen Probanden ein signifikant retrusiveres Oberlippenprofil aufwiesen.

Bezüglich des Abstandes der Oberlippe zur Ästhetiklinie (OL-E) wiesen die Mädchen von Beginn an eine retrusivere Oberlippe auf. Dieser geschlechtsspezifische

Unterschied war vom 12. Lebensjahr an statistisch signifikant. In beiden Gruppen reduzierte sich der Abstand der Oberlippe zur Ästhetiklinie kontinuierlich von 0,6mm auf -3,0mm bei den Jungen und von -0,5mm auf -4,2mm bei den Mädchen. Die Ergebnisse für die Abstandsmessung zwischen Oberlippe und Subnasale-Hautpogonion-Linie (OL Protr) waren ähnlich und bestätigen die zunehmende Gesichtskonkavität im Bereich der Oberlippe in beiden Geschlechtern und das retrusivere Oberlippenprofil bei den weiblichen Probanden. Auch der Abstand der Unterlippe zur Ästhetiklinie (UL-E) reduzierte sich kontinuierlich in beiden Geschlechtern von 0,1mm auf -1,7mm bei den Jungen und von -0,6mm auf -3,2mm bei den Mädchen. Die Rücklage der Unterlippe zur Ästhetiklinie war bei den weiblichen Probanden von Anfang an größer. Diesbezügliche geschlechtsspezifische Signifikanzen wurden ab dem 9. Lebensjahr bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes festgestellt.

Die Tiefe des Sulcus mentolabialis (Mentolab) betrug zu Beginn der Untersuchung 3,1mm bei den Jungen und 2,8mm bei den Mädchen. Während des gesamten Beobachtungszeitraumes vertiefte sich der Sulcus mentolabialis um 1,5mm bzw. 1,7mm bei den Jungen und Mädchen. Bis auf eine Ausnahme wurden für den gesamten Untersuchungszeitraum keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede ermittelt. Nur im 16. Lebensjahr wiesen die männlichen Probanden einen tieferen Sulcus mentolabialis auf.

4.3 ERGEBNISSE DER TENSORANALYSE

Die Darstellung der Ergebnisse der Tensoranalyse erfolgt nach ausgewählten anatomischen Bereichen in folgender Reihenfolge:

- Schädelbasis (Δ SNBa)
- Hintere Schädelbasis-Mittelgesicht (Δ SBaSpp)
- Vordere Schädelbasis-Mittelgesicht (Δ SNSpp)
- Vordere Schädelbasis-Maxilla (Δ SNA)
- Maxilla (Δ SppSpaA)
- Mandibula (Δ CoGnGo)
- Vordere Schädelbasis-Mandibula (Δ SNB)
- Vordere Schädelbasis-vordere Gesichtshöhe (Δ SNMe)
- Hintere Gesichtshöhe-vordere Schädelbasis (Δ SGoN).

Bei der Analyse der Ergebnisse wurden systematisch folgende Schwerpunkte berücksichtigt:

- (1) Beschreibung der Longitudinalentwicklung der tensoranalytischen Parameter in der männlichen und weiblichen Probandengruppe
- (2) Vergleich der jährlichen Wachstumsveränderungen und der Wachstumsrichtungen innerhalb der männlichen und weiblichen Probandengruppe
- (3) Geschlechtsspezifischer Vergleich der tensoranalytischen Parameter in Abhängigkeit vom chronologischen Alter.

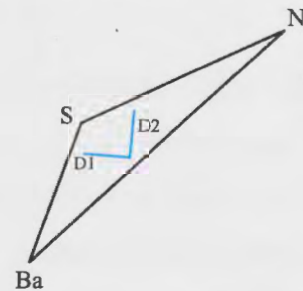
Die Vorstellung ausgewählter Dreiecke soll einen Eindruck darüber vermitteln, welche Wachstumsprozesse in spezifischen Regionen des Gesichtsschädels ablaufen und welche Aussagen daraus abgeleitet werden können. Das dafür entwickelte Programm, die *Rostocker Tensoranalyse*, lässt eine Definition anderer, den jeweiligen Anforderungen oder Fragestellungen entsprechender Dreiecke zu. Aufgrund der Vielzahl der Ergebnisse wird im Folgenden nur auf einige eingegangen. Alle Ergebnisse der vorgestellten Dreiecke und deren statistische Auswertung sind ausführlich im Anhang 5 wiedergegeben. Um ein Verständnis für die räumliche Ausrichtung der Wachstumsveränderungen in sagittaler und vertikaler Richtung zu entwickeln, werden im Folgenden die Durchschnittswerte von α und β zu Beginn und am Ende des

Untersuchungszeitraumes benutzt, um die Dilatationen 1 (D1) und 2 (D2) in die entsprechenden Dreiecke einzuzichnen. Damit sollen geschlechtsspezifische Unterschiede in der Wachstumsrichtung anschaulich dargestellt werden. Die mit * gekennzeichneten signifikanten Differenzen in den folgenden Abbildungen beziehen sich immer auf die relativen Wachstumsveränderungen zwischen zwei aufeinander folgenden Untersuchungszeitpunkten innerhalb des gleichen Geschlechts.

Schädelbasis

Δ SNBa

(siehe auch Seiten A-83 bis A-87)



Das Dreieck SNBa repräsentiert den Bereich zwischen vorderer und hinterer Schädelbasis. Die Dilatation D1 ist nach anterior gerichtet und ist vor allem Ausdruck der sagittalen Entwicklung. Die Dilatation D2 ist überwiegend vertikal ausgerichtet. Der Kurvenverlauf beider Dilatationen ist durch einen sanften, ebenmäßigen Anstieg bis zum 13. Lebensjahr gekennzeichnet (Abbildung 37). Auch wenn die Vertikalentwicklung (D2) die der nach anterior gerichteten D1 immer übertrifft, sind die Differenzen doch eher gering und machen zwischen 6 und 13 Jahren zwischen 8 und 18% Zunahme aus. Während der puberalen Wachstumsphase steigen die Kurven der D2 noch einmal deutlich an und erreichen geschlechtsunspezifische Zunahmen in der Vertikalen von bis zu 23%.

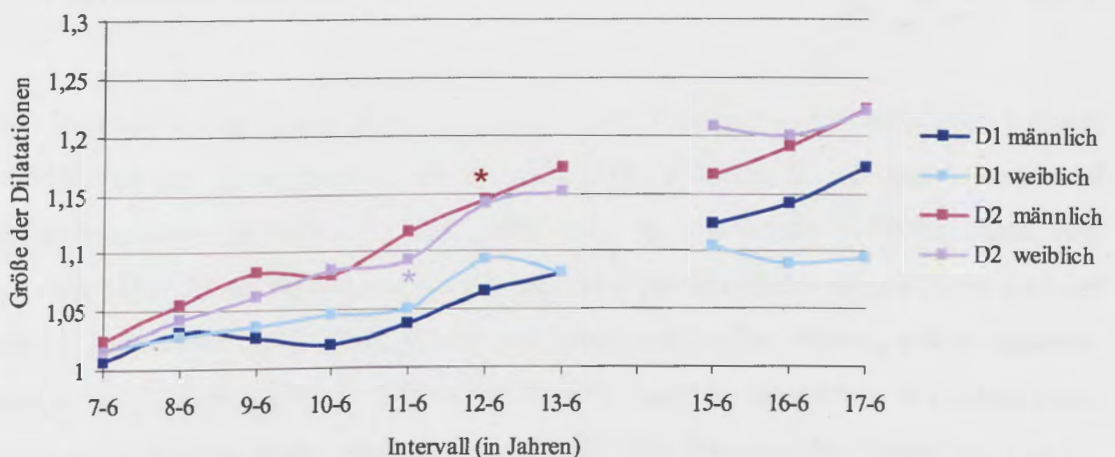


Abbildung 37

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im Δ SNBa in sagittaler (D1) und vertikaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (*p=0,0056).

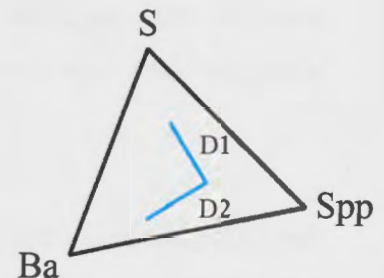
Die Sagittalentwicklung stagniert bei den weiblichen Probanden nach dem 13. Lebensjahr, während die der männlichen Probanden ihnen gegenüber signifikant ansteigt (Abbildung 37). Mit 17 Jahren stellt sich die Entwicklung so dar, dass zwischen der Wachstumszunahme beider Dilatationen bei den männlichen Probanden nur geringe Unterschiede vorliegen, während die Kurven bei den weiblichen Probanden zugunsten der stärkeren Vertikalentwicklung deutlich auseinander liegen.

Auch wenn während des gesamten Untersuchungszeitraumes keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Ausrichtung der Dilatationen (Winkel α und β) bestanden, fiel auf, dass zu Beginn des Beobachtungszeitraumes das Wachstum in sagittaler Richtung bei den männlichen Probanden mehr nach kaudal-anterior geneigt war (Winkel $\alpha_{\text{männlich}}=50^\circ$, Winkel $\alpha_{\text{weiblich}}=29,8^\circ$). Bei den Jungen war dementsprechend das Vertikalwachstum zu Beginn weniger senkrecht ausgerichtet (Winkel $\beta_{\text{männlich}}=40^\circ$, Winkel $\beta_{\text{weiblich}}=60,2^\circ$) als bei den Mädchen. Diese geschlechtsspezifischen Differenzen hoben sich bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes wieder auf. Die großen Standardabweichungen der Winkel α und β weisen auf die große individuelle Variationsbreite bezüglich der Wachstumsrichtung im Schädelbasisbereich in beiden Geschlechtern hin.

Hintere Schädelbasis-Mittelgesicht

$\Delta S Ba Spp$

(siehe auch Seiten A-88 bis A-92)



Das Dreieck spiegelt die wachstumsbedingten Veränderungen zwischen hinterer Schädelbasis und Spina nasalis posterior wider. Die Dilatation D1 ist mehr nach kaudal als nach anterior ausgerichtet, das heißt, dass sie vor allem vertikale Zunahmen ausdrückt. Die D2 ist überwiegend nach sagittal orientiert. Beide Dilatationen sind bis zum 11. Lebensjahr durch einen nahezu gleichmäßigen sanften Anstieg gekennzeichnet. Nach dem 11. Lebensjahr ist bei beiden Dilatationen ein deutlicher, z.T. signifikant ansteigender Kurvenverlauf erkennbar (Abbildung 38). Das mag der Einstellung der 12-Jahrmolaren zugute kommen oder durch deren Durchbruchdynamik unterstützt sein.

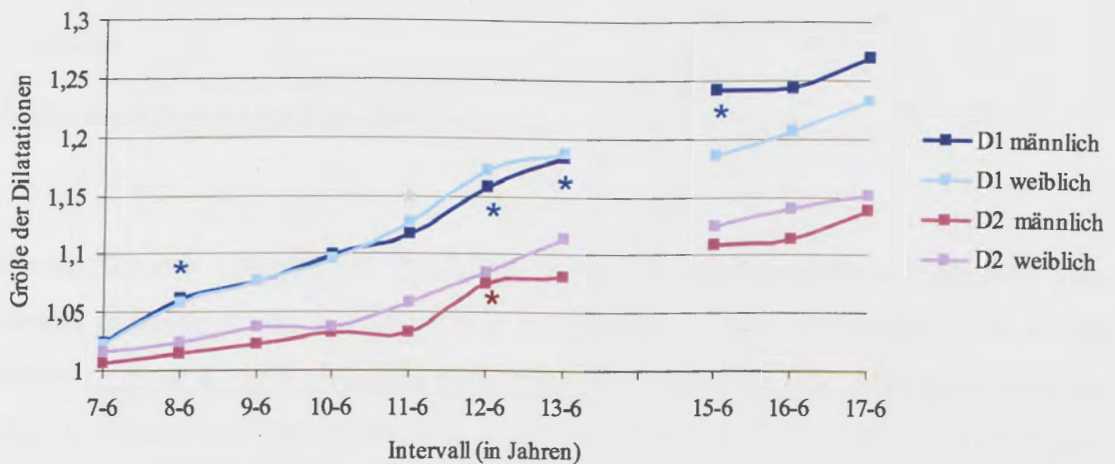


Abbildung 38

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im Δ SBaSp in vertikaler (D1) und sagittaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0056$).

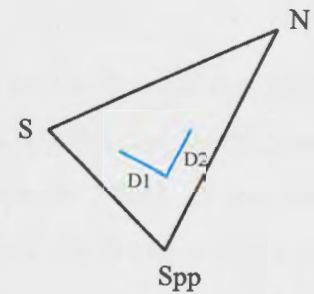
Der steile Anstieg setzt sich bei der nach vertikal anterior gerichteten D1 bis zum Ende der Beobachtung in beiden Geschlechtern fort. Der Kurvenverlauf der D2 bleibt nach dem 13. Lebensjahr durch einen eher moderaten Anstieg gekennzeichnet. Sehr deutlich ist das enge Zusammenliegen der männlichen und weiblichen Kurvenverläufe beider Dilatationen während des gesamten Beobachtungszeitraumes. Es gab zu keinem Zeitpunkt signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der relativen jährlichen und gesamten Wachstumsveränderungen in vertikaler und sagittaler Richtung.

Bereits zu Beginn der Untersuchung war das Wachstum in vertikaler Richtung (D1) bei beiden Geschlechtern nach anterior (Winkel $\alpha_{\text{männlich}}=49,1^\circ$, Winkel $\alpha_{\text{weiblich}}=39,4^\circ$) und das Wachstum in sagittaler Richtung (D2) nach kranial (Winkel $\beta_{\text{männlich}}=40,9^\circ$, Winkel $\beta_{\text{weiblich}}=50,7^\circ$) geneigt (siehe Seiten A-90 und A-91). Diese Tendenz blieb bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes in beiden Geschlechtern bestehen. Bezüglich der Wachstumsrichtung bestanden zu keinem Zeitpunkt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Wieder wurden große Standardabweichungen bei beiden Winkeln festgestellt.

Vordere Schädelbasis-Mittelgesicht

Δ SNSpp

(siehe auch Seiten A-93 bis A-97)



Dieses Dreieck spiegelt das Wachstum zwischen vorderer Schädelbasis und Spina nasalis posterior wider. Die Dilatation D1 ist wie im Dreieck SBaSp nach kaudal-anterior gerichtet, repräsentiert also vertikales und sagittales Wachstum gleichermaßen. Die D2 ist auf das Nasion gerichtet. Die Kurvenverläufe sind durch ein noch engeres Nebeneinanderliegen der beiden Dilatationen gegenüber dem Dreieck SBaSp gekennzeichnet (Abbildung 39). Auch in diesem Dreieck sind nach nur geringen Zunahmen bis zum 11. Lebensjahr deutliche Anstiege danach erkennbar. Diese lassen nach dem 13. Lebensjahr in ihrer Steilheit nach, erfahren aber dennoch Zunahmen bis zum 17. Lebensjahr. Weder zwischen den Dilatationen D1 und D2 noch zwischen den Geschlechtern gibt es nennenswerte Differenzen. Die relativen Zunahmen betrugen bei beiden Dilatationen für die Jungen und Mädchen jeweils 20% bzw. 17%. Das Wachstum in dieser Region kann deshalb bis zum Ende der Beobachtung als geschlechtsunspezifisch und in den Richtungen ausgewogen bewertet werden.

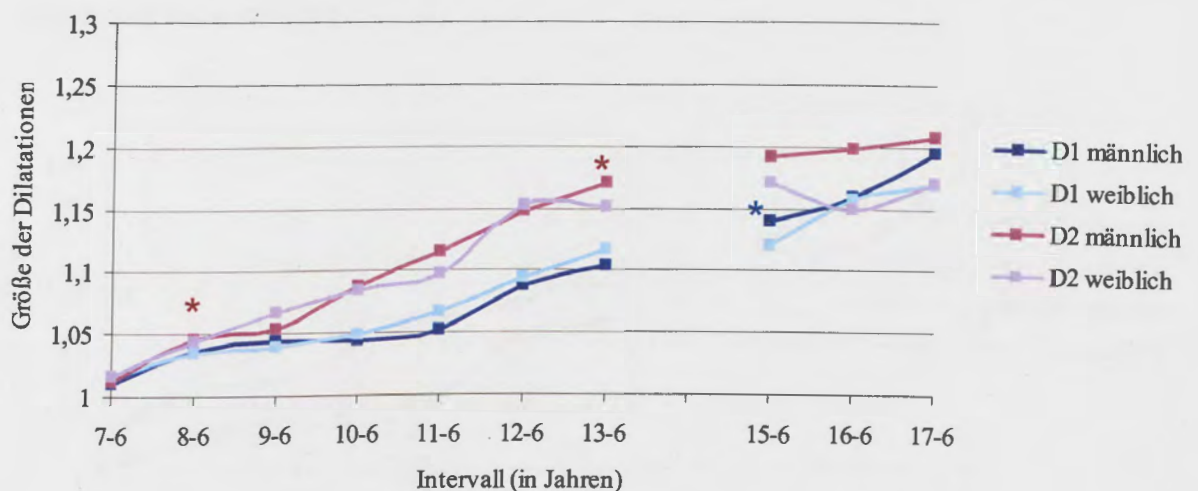


Abbildung 39

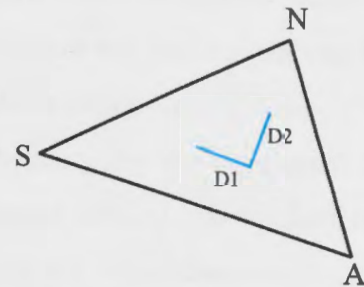
Longitudinalentwicklung der Dilatationen im Δ SNSpp in kaudal-anteriorer (D1) und vertikaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (*p=0,0056).

Bei den männlichen Probanden blieb die Wachstumsrichtung beider Dilatationen über den gesamten Untersuchungszeitraum stabil, während sich die D1 bei den weiblichen Probanden um $10,5^\circ$ weiter nach kaudal-anterior senkte (siehe Seite A-96). Zu keinem Zeitpunkt wurden geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Ausrichtung von D1 und D2 festgestellt.

Vordere Schädelbasis-Maxilla

ΔSNA

(siehe auch Seiten A-98 bis A-102)



Das Dreieck spiegelt den vorderen Mittelgesichtsbereich gegenüber der vorderen Schädelbasis wider. Wieder sind die D1 nach kaudal-anterior und die D2 auf das Nasion gerichtet. Die Dilatationen dieses Dreieckes sind denen des Dreieckes SNSpp im Kurvenverlauf und den Zunahmen sehr ähnlich (vgl. Abbildungen 39 und 40). Wieder findet sich ein Wachstumsspur nach dem 11. Lebensjahr, der sogar eine signifikante Zunahme (D1 männlich) zwischen 11 und 12 Jahren ausweist. Nur für die D1 gilt, dass bei den weiblichen Probanden nach dem 13. Lebensjahr keine nennenswerten Zunahmen mehr erfolgen.

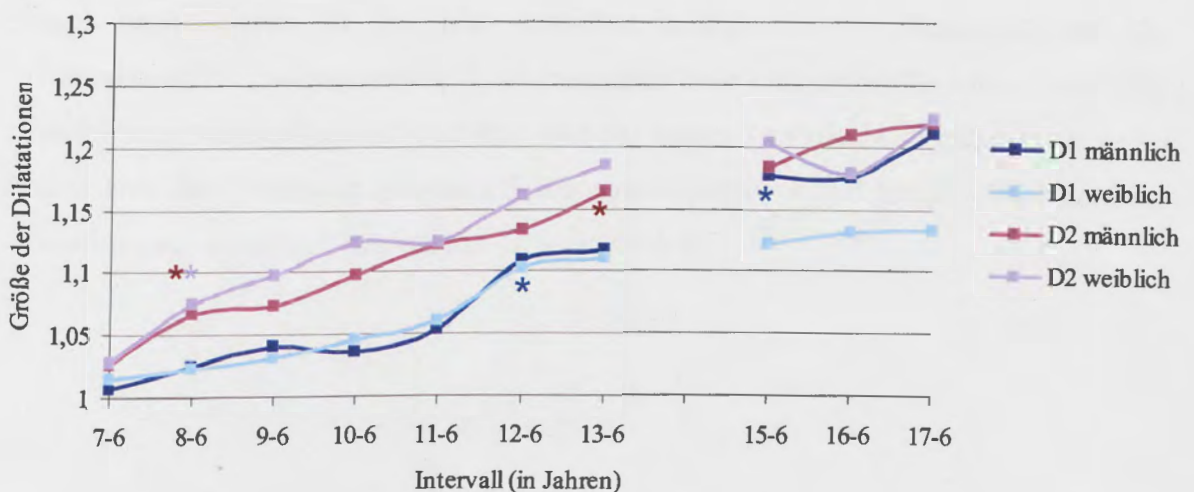


Abbildung 40

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im ΔSNA in kaudal-anteriorer (D1) und vertikaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0056$).

Grundsätzlich gilt auch für dieses Dreieck, dass die Dilatationen geschlechtsunspezifisch sind und D1 und D2 sich im Kurvenverlauf nicht wesentlich unterscheiden, auch wenn die D2, wie im Dreieck SNSpp, oberhalb der Kurve D1 liegt.

Geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Ausrichtung von D1 und D2 wurden während der gesamten Untersuchung nicht festgestellt, auch wenn sich während des gesamten Beobachtungszeitraumes die Sagittalentwicklung bei den Jungen von nahezu horizontal (Winkel $a_{\text{männlich}}=27,8^\circ$) nach kaudal-anterior ausrichtete (Winkel $a_{\text{männlich}}=44,6^\circ$), während bei den weiblichen Probanden die Ausrichtungen beider Dilatationen über den gesamten Untersuchungszeitraum nahezu unverändert blieben (siehe Seite A-101). Die individuelle Variationsbreite der Wachstumsrichtungen war wiederum in beiden Geschlechtern groß.

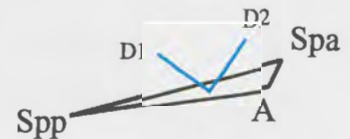
Zusammenfassung der Dreiecke von Schädelbasis und Mittelgesicht

(Δ SNBa, Δ SBaSp, Δ SNSpp, Δ SNA)

Der Wachstumsverlauf ist geschlechtsunspezifisch. Das Wachstum gestaltet sich in den Richtungen beider Dilatationen ausgewogen, auch wenn die vertikale Komponente in allen Dreiecken geringfügig größer ist. Nach dem 11. Lebensjahr findet ein z.T. signifikanter Anstieg statt, der sowohl Ausdruck der Wachstumspotenz nach kaudal als auch nach anterior ist. Er steht zumindest zeitlich mit der Einstellung der 12-Jahrmolaren im Zusammenhang. Er ist zumindest beim männlichen Geschlecht auffällig unabhängig vom puberalen Wachstum und bei beiden Geschlechtern gleich. Das heißt, dass sich der Oberkiefer zwischen Spina nasalis posterior und Spina nasalis anterior konform zur vorderen Schädelbasis (S-N) entwickelt.

Maxilla **Δ SppSpaA**

(siehe auch Seiten A-103 bis A-107)



Das Dreieck konzentriert sich auf den basalen Bereich des Oberkiefers. Die Unregelmäßigkeit der Ausprägung der Spina nasalis anterior und ihre Nähe zum A-Punkt führen zu größeren messtechnischen Problemen als bei den anderen Dreiecken und damit zu größeren Standardabweichungen. Dies wirkt sich besonders auf die D2 aus, die auf die Spina nasalis anterior gerichtet ist. Die D1 spiegelt wie im Dreieck SNA und SNSpp das nach kaudal-anterior gerichtete Oberkieferwachstum wider. Auch wenn nicht signifikant, ist doch der Anstieg der Kurven der D1 für beide Geschlechter nach dem 11. Lebensjahr identisch mit dem der Dreiecke zwischen Schädelbasis und Mittelgesicht (Abbildung 41). Nur jenseits des 17. Lebensjahres unterscheiden sich für die D1 die Geschlechter, da der puberale Wachstumsspur beim männlichen Geschlecht noch anhält.

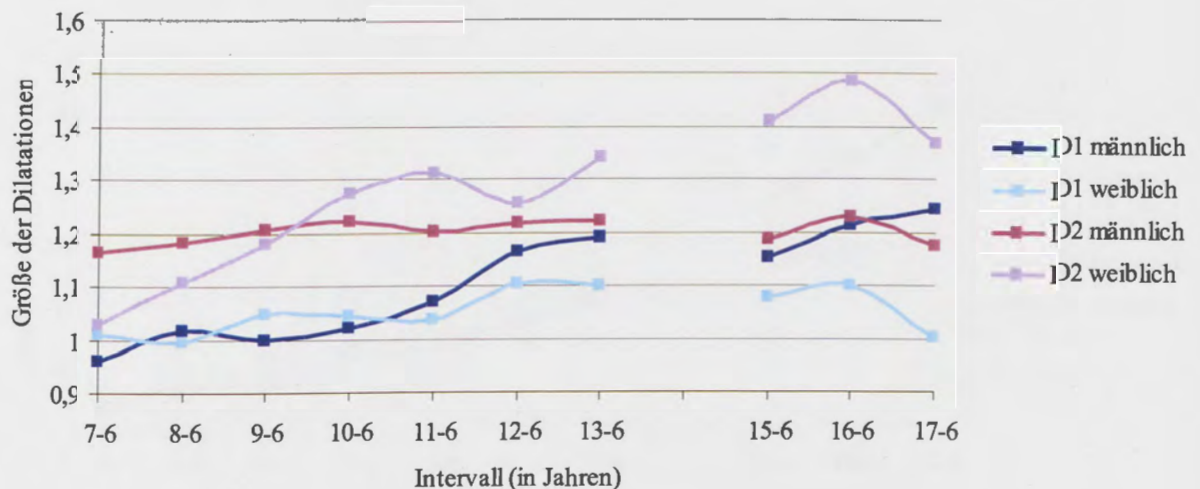


Abbildung 41

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im Δ SppSpaA in kaudal-anteriorer (D1) und vertikaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (*p=0,0056).

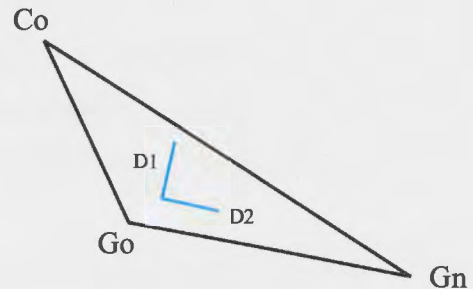
Bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes veränderte sich die Ausrichtung des Sagittalwachstums bei den Jungen nur geringfügig (Winkel $\alpha_{\text{männlich}}=49,9^\circ$). Bei den Mädchen neigte sich das Sagittalwachstum mehr nach kaudal (Winkel $\alpha_{\text{weiblich}}=39,1^\circ$) und passte sich dem der Jungen an (siehe Seite A-106). Trotz dieser Differenz wurden

keine statistisch signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Ausrichtungen der D1 und der D2 während der gesamten Untersuchung festgestellt.

Mandibula

$\Delta CoGnGo$

(siehe auch Seiten A-108 bis A-112)



Dieses Dreieck repräsentiert den skelettalen Bereich des Unterkiefers. Dabei ist die D1 nahezu ausschließlich vertikal und die D2 sagittal ausgerichtet. Beide Dilatationen zeigen bis zum 13. Lebensjahr einen nahezu identischen Verlauf (Abbildung 42). Auffällig ist, dass trotz des sehr mäßigen Anstieges der Kurven bis zum 13. Lebensjahr bei beiden Dilatationen und in beiden Geschlechtern sehr viele signifikante Jahreszuwächse registriert werden konnten. Das ist nur durch die geringe Variabilität im Unterkieferwachstum der Probanden erklärbar. Das Wachstum des Unterkiefers läuft demnach bei beiden Geschlechtern sehr stereotyp ab.

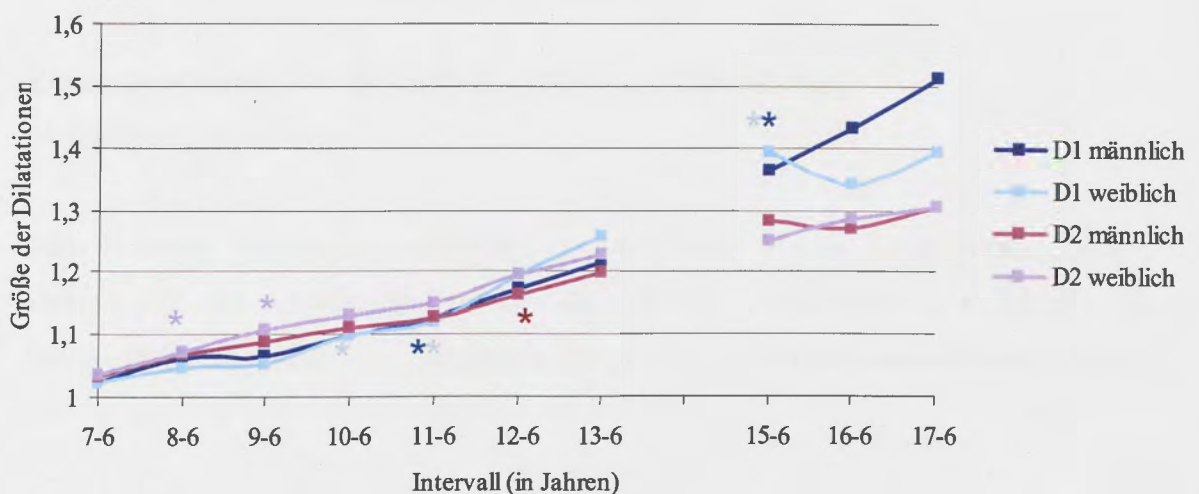


Abbildung 42

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im $\Delta CoGnGo$ in vertikaler (D1) und sagittaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0056$).

Der puberale Wachstumsschub der D1 ist bei beiden Geschlechtern stärker ausgeprägt. Das ist Ausdruck der während der Pubertät stattfindenden Änderung des

Wachstumsmusters in Richtung horizontal. Beim weiblichen Geschlecht ist diese Änderung nach dem 15. Lebensjahr beendet. Die D2, die das eigentliche Längenwachstum des Corpus mandibulae repräsentiert, zeigt nach dem 13. und 15. Lebensjahr einen auffallend geringeren Anstieg der Kurven gegenüber der D1. Beide Geschlechter erreichen mit 17 Jahren eine 30%ige Zunahme vom 7. Lebensjahr an und bleiben damit wesentlich unter den relativen Zuwächsen in der Vertikalen (D1).

Bei den Jungen kam es während des gesamten Beobachtungszeitraumes zur Aufrichtung der vertikalen Wachstumskomponente (D1) bezüglich der Grundebene Condylion-Gnathion (Co-Gn) ($\alpha_{\text{männlich}}=48,7^\circ$ vs. $\alpha_{\text{männlich}}=70,5^\circ$). Bei den Mädchen blieb die Ausrichtung des Vertikalwachstums über den gesamten Untersuchungszeitraum nahezu konstant (siehe Seite A-111). Dementsprechend gab es nur geringfügige Veränderungen in der Ausrichtung der D2 bei den Mädchen, während bei den Jungen der Winkel β um $21,8^\circ$ abnahm. Das Sagittalwachstum (D2) verlief bei den Jungen demnach fast horizontal zur Grundebene Co-Gn. Trotz dieser Differenz wurden zwischen den Geschlechtern keine signifikanten altersspezifischen Unterschiede bezüglich der Wachstumsrichtungen festgestellt.

Zusammenfassung der Dreiecke des Ober- und Unterkiefers

(Δ SppSpaA, Δ CoGnGo)

Zum besseren Verständnis vergleicht die Abbildung 43 das Sagittalwachstum des Unter- und des Oberkiefers anhand der D2 im Unterkiefer- und der D1 im Oberkieferdreieck, auch wenn im Oberkiefer die D2 mit am Sagittalwachstum beteiligt ist.

Das nach vorn unten gerichtete Wachstum erfährt im Ober- und Unterkiefer zumindest bei den männlichen Probanden die gleiche Veränderung um etwa 20% bis zum 13. Lebensjahr. Das puberale Unterkieferwachstum erreicht mit 15 Jahren in der Sagittalen (D2) eine Zunahme um ca. 25-28%. Auch nach dem 15. Lebensjahr ist das relative Sagittalwachstum des Unterkiefers dem des Oberkiefers nur mäßig überlegen (Abbildung 43). Mit 17 Jahren werden wachstumsbedingte Zunahmen von ca. 30% für den Unterkiefer und von 25% für den Oberkiefer bei den männlichen Probanden

erreicht. Das heißt, dass das relative Längenwachstum des Oberkiefers mit dem des Unterkiefers bei Kindern mit regelrechter Gebissentwicklung annähernd identisch ist. Für die weiblichen Probanden trifft dies in ähnlicher Weise zu.

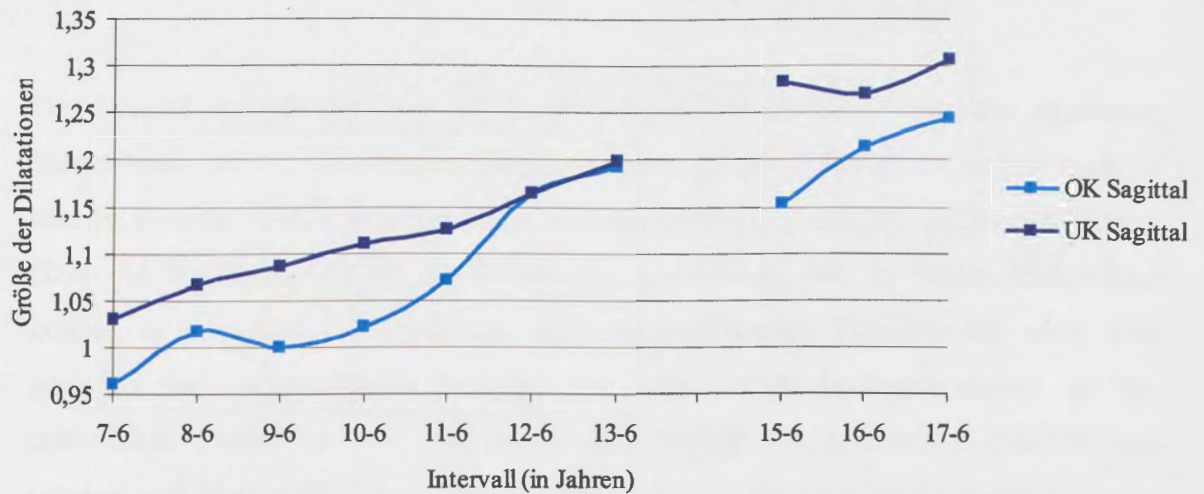


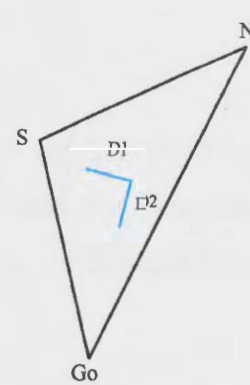
Abbildung 43

Vergleich der Longitudinalentwicklung des Längenwachstums von Oberkiefer (D1) und Unterkiefer (D2) bei den männlichen Probanden mit regelrechten Gebissen.

Hintere Gesichtshöhe-vordere Schädelbasis

$\Delta SGoN$

(siehe auch Seiten A-113 bis A-117)



Das Dreieck spiegelt die Lage des Unterkieferwinkels (Gonion-Punkt) zur anterioren Schädelbasis wider. Wie bereits im Unterkiefer (Dreieck CoGnGo) liegen auch in diesem Dreieck die Dilatationen in kaudal-anteriorer (D1) und in vertikaler Richtung (D2) geschlechtsunabhängig eng beieinander (Abbildung 44). In beiden Richtungen kommt es nach dem 11. Lebensjahr zu einer signifikanten Zunahme des sonst eher geringen aber gleichmäßigen Anstiegs. Am Ende der Beobachtung weisen nur die männlichen Probanden eine gegenüber dem Sella-Punkt anteriorere Position von Gonion und Nasion (D1) aus. Das Vertikalwachstum nimmt gegenüber der vorderen Schädelbasis nur bis zum 15. Lebensjahr zu. Danach kommt es in beiden Geschlechtern zu keiner wesentlichen Veränderung.

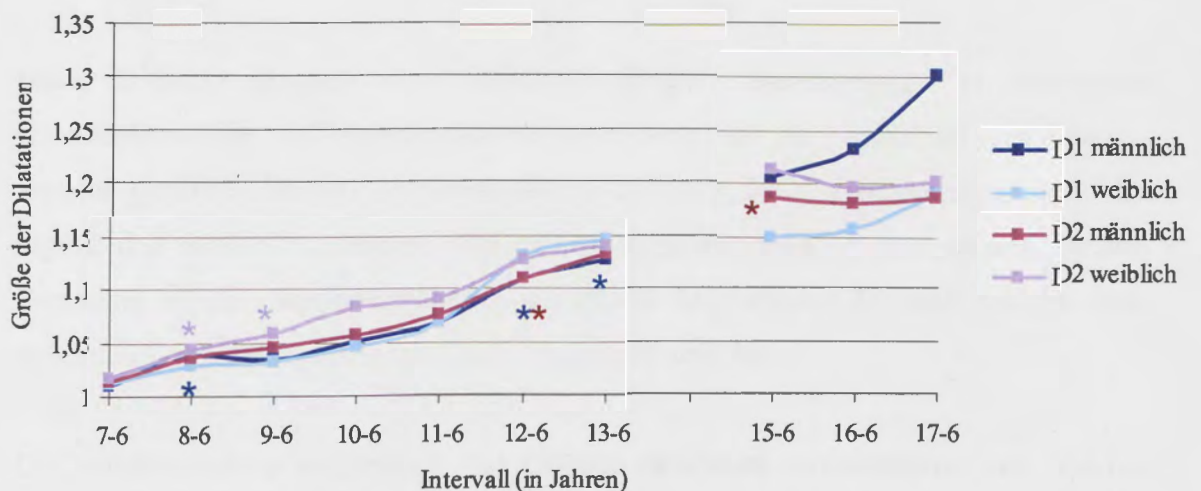


Abbildung 44

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im $\Delta SGoN$ in kaudal-anteriorer (D1) und vertikaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (* $p=0,0056$).

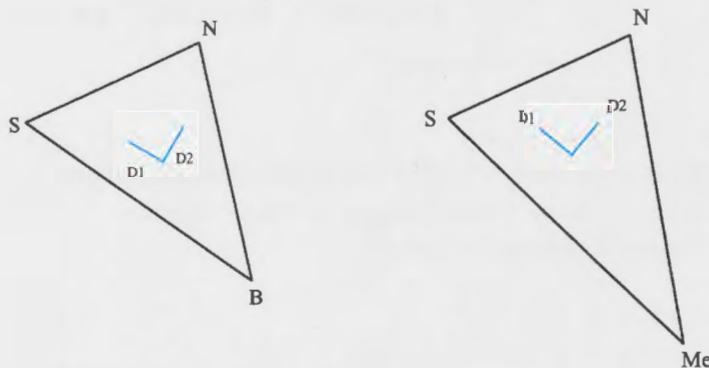
Während des gesamten Untersuchungszeitraumes richtete sich die D1 bei den Jungen horizontaler aus ($a_{\text{männlich}}=48,6^\circ$ vs. $a_{\text{männlich}}=27,3^\circ$), während sie bei den Mädchen nahezu konstant blieb ($a_{\text{weiblich}}=41,4^\circ$ vs. $a_{\text{weiblich}}=43,6^\circ$) (siehe Seiten A-115 und A-116). Dementsprechend gab es nur geringfügige Veränderungen in der Ausrichtung des

Wachstums in vertikaler Richtung bei den Mädchen, während der Winkel β bei den Jungen um $21,3^\circ$ abnahm. Trotz dieser Differenz waren zwischen den Geschlechtern keine signifikanten altersspezifischen Unterschiede bezüglich der Wachstumsrichtungen feststellbar.

Vordere Schädelbasis-Mandibula, vordere Schädelbasis-vordere Gesichtshöhe

ΔSNB , $\Delta SNMe$

(siehe auch Seiten A-118 bis A-122 und A-123 bis A-127)



Beide Dreiecke spiegeln die wachstumsbedingten Veränderungen im anterioren Unterkieferbereich zur vorderen Schädelbasis wider. Die D1 ist jeweils nach kaudal-anterior gerichtet. Die D2, die senkrecht zu D1 steht, ist dementsprechend ebenfalls sagittal und vertikal ausgerichtet. Bei ihr überwiegt die vertikale Komponente. Beiden Dreiecken ist der identische Kurvenverlauf der Dilatationen D1 und D2 bis zum puberalen Wachstum gemeinsam (Abbildungen 45 und 46).

Die verhältnismäßig zahlreichen signifikanten jährlichen Zuwachsraten sind wie im Dreieck CoGnGo Ausdruck der geringen individuellen Verschiedenartigkeit der Wachstumsabläufe der Probanden. Wieder findet sich ein deutlicher, z.T. signifikanter, Zuwachs zwischen dem 11. und 12. Lebensjahr. Im Dreieck SNMe ist der Zuwachs in kaudal-anteriorer Richtung auf Me geringfügig größer als der im Dreieck SNB auf den B-Punkt gerichtete. In beiden Dreiecken ist zur Zeit des puberalen Wachstums die Zunahme in kaudal-anteriorer Richtung größer als für die mehr vertikal ausgerichtete Dilatation D2.

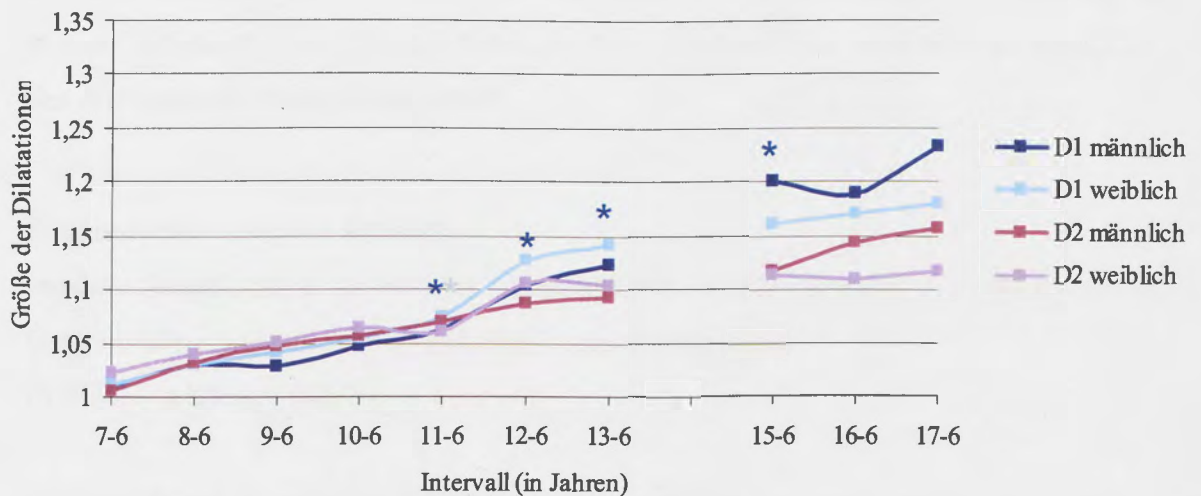


Abbildung 45

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im Δ SNB in kaudal-anteriorer (D1) und vertikaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (*p=0,0056).

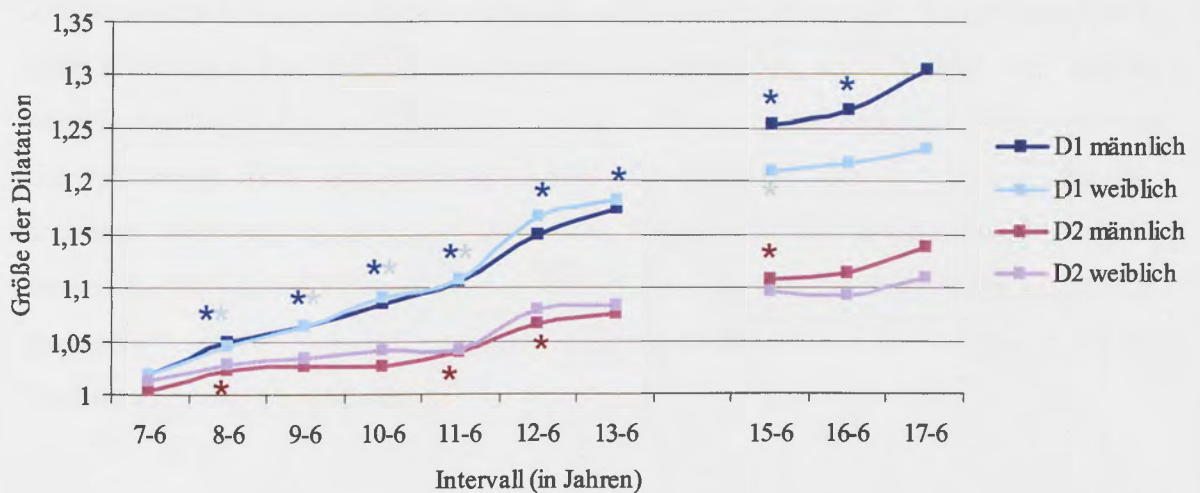


Abbildung 46

Longitudinalentwicklung der Dilatationen im Δ SNMe in kaudal-anteriorer (D1) und vertikaler (D2) Richtung innerhalb der männlichen und der weiblichen Probandengruppe (*p=0,0056).

In den Dreiecken veränderte sich bei den Jungen die Ausrichtung des Sagittalwachstums (D1) nach kaudal-anterior nur geringfügig, während sie sich bei den Mädchen verstärkte (siehe Seiten A-120 und A-121 sowie A-125 und A-126). Dementsprechend gab es nur geringfügige Veränderungen in der vertikalen Ausrichtung

der D2 bei den Jungen, während bei den Mädchen die Winkel β in den Dreiecken SNB und SNMe um jeweils $28,1^\circ$ und $21,1^\circ$ abnahmen. Trotz dieser Differenzen wurden in beiden Dreiecken keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Wachstumsrichtungen festgestellt.

Zusammenfassung der Dreiecke

vordere Schädelbasis zu hinterer Gesichtshöhe, vordere Schädelbasis zu vorderer Gesichtshöhe und vordere Schädelbasis zum Unterkiefer

(Δ SGoN, Δ SNMe, Δ SNB)

Die drei Dreiecke spiegeln die Lage des Unterkiefers im anterioren und posterioren Bereich zur vorderen Schädelbasis wider. Gegenüber der Schädelbasis kommt es bis zum 11. Lebensjahr zu gleichmäßigen, aber eher geringen Veränderungen der sagittalen und vertikalen topografischen Beziehungen. Trotzdem sind im Dreieck SNMe und, wenn auch reduziert, in den Dreiecken SGoN und SNB viele signifikante jährliche Zuwachsraten vorhanden. Das spricht für sehr ähnlich ablaufende Wachstumsabläufe aller Probanden. Das relative Unterkieferwachstum zeigt einschließlich der starken geschlechtsunspezifischen Zunahme nach dem 11. Lebensjahr nur geringe Schwankungen. Erst nach dem 15. Lebensjahr überwiegt die Zunahme in kaudal-anteriorer Richtung in allen drei Dreiecken. Gegenüber dem männlichen Geschlecht weisen die weiblichen Probanden nach dem 15. und bis zum 17. Lebensjahr wesentlich geringere Zuwächse in kaudal-anteriorer Richtung im Bereich des Kieferwinkels, des B-Punktes und des Mentons auf.

5 DISKUSSION

5.1 AUFGABEN UND METHODEN

Das wesentliche Ziel der wissenschaftlichen Studie war es, alters- und geschlechtsspezifische Basisdaten des Gesichtsschädelwachstums für Kinder und Jugendliche durch die Anwendung der konventionellen kephalometrischen Analyse und der Tensoranalyse für praktische und wissenschaftliche Fragestellungen zu erstellen. Um die Nutzung solcher Analysen praktikabel zu machen und die Auswertung großer Datenmengen zu vereinfachen, sollten gleichzeitig neue Methoden entwickelt werden, die eine differenziertere Bewertung komplexer Wachstumsprozesse im Gesichtsschädelbereich ermöglichen und durch zusätzliche visuelle Datenanalysen unterstützen.

Dazu wurden die Fernröntgenseitenaufnahmen von 32 unbehandelten Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung aus der *Rostocker Wachstumsstudie* vermessen und ausgewertet. Die Auswahl der Probanden erfolgte nach strengen Kriterien, so dass das Probandenkollektiv eine sehr homogene Gruppe darstellt. Im Vergleich zu anderen Longitudinalstudien (z.B. Thilander et al. 2005; Thordarson et al. 2006) wurden keine Probanden mit nur „normalen Gebissen“ oder dentaler Klasse I berücksichtigt, sondern es handelt sich um Kinder, bei denen während der gesamten Gebissentwicklung absolut regelrechte Gebissverhältnisse, d.h. ideale Okklusionsverhältnisse, vorlagen. Die Entwicklung des Gesichtsschädelwachstums von 32 Kindern ist nahezu lückenlos in jährlichen Abständen vom 7. bis zum 18. Lebensjahr dokumentiert und umfasst somit die gesamte Entwicklung vom präpuberalen bis zum postpuberalen Stadium. Damit stellt die Untersuchungsgruppe ein in Deutschland einzigartiges Probandenkollektiv dar, welches sich dazu eignet, kephalometrische und tensoranalytische Referenzdaten für Kinder und Jugendliche zu liefern, die bei der Beurteilung dysgnather Veränderungen und der Bewertung von Therapieerfolgen unabdingbar sind. Vergleichbare Longitudinaldaten von Probanden mit „idealer“ oder „exzellenter“ Okklusion wurden weltweit nur wenig veröffentlicht (Baccetti et al. 1997; Broadbent Sr et al. 1975; Hopkins und Murphy 1971; Ursi et al. 1993) und aufgrund ihrer Rarität von anderen

Autoren als Referenzdaten genutzt (Hansen und Pancherz 1992; Palomo et al. 2005; You et al. 2001).

Die metrische Kephalometrie zählt nach wie vor zu der am häufigsten verwendeten Methode bei der Analyse des Gesichtsschädelwachstums in der Kieferorthopädie und wurde deshalb in der vorliegenden Arbeit als eine Untersuchungsmethode angewandt. Alle Fernröntgenseitenaufnahmen wurden durch die Autorin selbst manuell durchgezeichnet und digitalisiert. Dadurch war der Methodenfehler für die Mehrheit der kephalometrischen Messwerte gering. Die Messwerte, bei denen Intraklassen-Korrelationskoeffizienten von $<0,906$ berechnet wurden, können durch die größeren Schwierigkeiten in der Identifikation der Punkte Orbita und Porion und damit in der leichten Variabilität der Konstruktion der Frankfurter-Horizontalen erklärt werden. Schwerer zu identifizieren waren auch die dentalen Punkte und die Weichteilpunkte, was die größeren Abweichungen bezüglich dieser Messwerte zeigen. Die Korrektur aufnahmetechnisch bedingter Vergrößerungen im Fernröntgenseitenbild wurde für jeden Zeitpunkt, jeden Probanden und jeden linearen kephalometrischen Messwert vorgenommen. Damit sollten korrekte Längenangaben für die jeweiligen anatomischen Strukturen erhalten werden und eine bessere Vergleichbarkeit zu anderen Studien, die ebenfalls eine Korrektur der radiologischen Vergrößerung vorgenommen haben, wie z.B. Lux et al. (2003) und Bishara et al. (1984), hergestellt werden.

Die berechtigte Kritik von Moyers und Bookstein (1979) an der konventionellen Kephalometrie, dass Größenänderungen nicht als der Abstand zwischen zwei kephalometrischen Punkten und z.B. translatorische Veränderungen nicht anhand von Winkeländerungen erfasst werden können, wurde in der vorliegenden Arbeit durch die Anwendung der Tensoranalyse als methodische Alternative aufgegriffen. Damit sind unabhängig von Referenzstrukturen und konventionellen Überlagerungssystemen Wachstumsveränderungen lokalisiert nachweisbar. Zudem hat die Angabe relativer Wachstumsveränderungen den Vorteil, dass Größenunterschiede zwischen den Individuen vernachlässigt werden können.

Auch wenn für die Nutzung der Tensoranalyse in der Kieferorthopädie die Entwicklung aufwendiger Software notwendig wurde und die Abstraktheit der Tensoren die

Interpretation der Ergebnisse erschwert (Battagel und Orth 1993; Moss et al. 1985), so überwiegen doch die genannten Vorteile in der Aussagekraft dieser Methode. Dies war der Grund für die Verwendung des Tensorkonzeptes in der vorliegenden Arbeit. War die Anwendbarkeit der Tensoranalyse bisher aufgrund der aufwändigen und komplizierten Konstruktion der Dilatationen in der kieferorthopädischen Praxis und Wissenschaft sehr eingeschränkt, so ermöglicht die im Rahmen der vorliegenden Arbeit neu entwickelte *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* zum ersten Mal den praktikablen und anwenderfreundlichen Umgang mit der Methode. Die *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* wurde als eine Komponente in das *Rostocker Wachstumsanalyse Tool (ROWAT)* integriert und hat die Berechnung der tensoranalytischen Daten nicht nur wesentlich vereinfacht, sondern ermöglicht auch die Interaktion zwischen dem Nutzer und den zu analysierenden Daten sowie die grafische Darstellung, Ausgabe und Speicherung der Ergebnisse. Dadurch sind die Datenkonsistenz und die Möglichkeit der Auswertung der Ergebnisse mit Hilfe statistischer Software gewährleistet. Große Vorteile des Programms liegen in seiner beliebigen Erweiterbarkeit und der Verknüpfungsfähigkeit mit anderen Modulen. Dadurch kann die *Rostocker Tensoranalyse* durch beliebig viele benutzerdefinierte Analysen erweitert und mit zusätzlichen Modulen verknüpft werden. Das Programm hat die Testphase bereits durchlaufen und steht sowohl dem Praktiker als auch dem Wissenschaftler ab sofort zur Verfügung. Die Entwicklung der *Rostocker Tensoranalyse* war eine Vorleistung für deren Anwendung in der vorliegenden Arbeit. Mit der Analyse der Probanden mit regelrechten Gebissen sind die bisher fehlenden tensoranalytischen Referenzdaten, ohne die eine Bewertung anderer Probandengruppen mittels Tensoranalyse wertlos ist, geliefert worden. Sie lassen den alters- und geschlechtsspezifischen Vergleich für zukünftige Studien zu.

Trotz aber auch wegen der zusätzlichen Leistung der Tensoranalyse gegenüber der metrischen Kephalometrie ist es schwierig, eine summarische Erfassung aller Daten zu erhalten. Dies führt zu einem Verlust an Informationen, da die Daten in ihrer Komplexität nicht erfassbar sind. Auch die meisten der heute angewandten statistischen Analyseverfahren vergleichen nur eine begrenzte Anzahl von unterschiedlichen Parametern miteinander. Sie sind immer nur ausschnittsweise Betrachtungen der gesamten Datenmenge. Das Gesamtbild der komplexen Zusammenhänge des Gesichtsschädelwachstums wird dadurch nicht ausreichend wiedergegeben. Die visuelle

Datenanalyse ist auf anderen Gebieten, wie z.B. in der Geografie und der Wirtschaft, ein bereits gebräuchliches Verfahren zur Analyse großer multivariater Datenmengen und ist in der Lage, die Datenanalyse während des explorativen Prozesses erheblich zu unterstützen. Durch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte *Rostocker Visuelle Analyse* ist es erstmals möglich geworden die visuelle Datenanalyse auch für Daten des Gesichtsschädelwachstums anzuwenden. Dadurch ist neben der umfangreichen Darstellung der Daten eine ganz neue Sicht auf die Gruppenbildung von Probanden für zukünftige Studien geschaffen worden. Durch die Anwendung des Programms sind Daten zur Gesichtsschädelentwicklung vollständig, d.h. ohne Informationsverlust, abbildbar. Gleichzeitig werden durch die visuelle Darstellung und die Interaktionsmöglichkeiten statistische Zusammenhänge, wie z.B. Korrelationen, in großen multivariaten Datenmengen leichter oder überhaupt erkennbar. Von großem Nutzen für zukünftige Studien ist die Interaktionsfähigkeit der *Rostocker Visuellen Analyse* zur Gruppenbildung von Probanden. Dadurch wird einerseits die Selektion von Probanden durch die Auswahl sehr spezifischer Kriterien, die in ihrer Anzahl unbegrenzt sein können, ermöglicht. Andererseits wird durch die Verwendung automatischer Klassifikationsmechanismen, wie z.B. hierarchischer Clusteralgorithmen, die Zusammenfassung von Probanden mit ähnlichen Eigenschaften erheblich erleichtert. Das heißt, dass die bisher in der Kieferorthopädie benutzten Kriterien zur Selektion von Probanden, die häufig zu widersprüchlichen Ergebnissen geführt und die Vergleichbarkeit mit anderen Studienergebnissen erschwert haben, jetzt viel spezifischer und umfassender definiert werden können. Durch die Anwendung der *Rostocker Visuellen Analyse* lassen sich Probanden nicht nur nach einer Vielzahl von definierten Parametern leichter gruppieren, sondern sie sind auch durch die Anwendung automatischer Klassifikationsmechanismen nach ihrer Ähnlichkeit bestimmbar. Die in der Vergangenheit praktizierte Selektion von Probanden allein nach meist wenigen dentalen und/oder skelettalen Parametern ist damit obsolet. Jetzt lassen sich real zueinander passende Probanden in Bezug auf Wachstum und Therapieeinfluss mit anderen vergleichen. Das führt zu grundsätzlich neuen Möglichkeiten in der Planung zukünftiger Studien und in der Auswertung von zukünftigem oder bereits bestehendem Datenmaterial.

5.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER KEPHALOMETRISCHEN ANALYSE

In der vorliegenden Untersuchung zeigen alle linearen kephalometrischen Messwerte eine wachstumsbedingte Vergrößerung zwischen dem 7. und 18. Lebensjahr. Grundsätzlich wurden bei den männlichen Probanden größere Dimensionen als bei den weiblichen festgestellt. Dies bestätigt die Ergebnisse anderen Autoren (Forsberg 1979; Sinclair und Little 1985; Thordarson et al. 2006; Ursi et al. 1993).

Schädelbasis

Die Neigung der Schädelbasis blieb während des gesamten Untersuchungszeitraumes nahezu konstant und kann als geschlechtsunspezifisch angenommen werden. Dies bestätigt die Ergebnisse von Thilander (2005), Ursi et al. (1993) und Kerr (1979). Verglichen mit der Neigung der Schädelbasis in anderen Populationen mit idealer und normaler Okklusion (Broadbent Sr et al. 1975; El-Batouti et al. 1994; Hansen und Panherz 1992; Thilander et al. 2005; Ursi et al. 1993) wurden bei den Rostocker Kindern mit jeweils 134° und $125,5^\circ$ etwas größere Schädelbasisknickungswinkel und Sattelwinkel festgestellt.

Bei der statistischen Analyse der Wachstumskurven wurden zwei Aspekte, der Ausgangswert im Alter von 6 Jahren (Schnittpunkt der Wachstumskurven mit der y-Achse zum Zeitpunkt 6 Jahre) und der Wachstumskurvenverlauf, evaluiert. Der Wachstumskurvenverlauf entspricht dem Kurvenanstieg, der die Wachstumsrichtung beschreibt. Diesbezüglich beschreibt ein paralleler Kurvenverlauf gleiche Wachstumstrends für unterschiedliche Parameter (Bishara und Jakobsen 1985).

Der Longitudinalvergleich der absoluten Werte für die metrischen Parameter der Schädelbasis (Wachstumskurvenanalyse) wies nach, dass die männlichen Probanden bereits zu Beginn des Untersuchungszeitraumes signifikant längere vordere Schädelbasen (S-N) aufwiesen. Dieser signifikante Unterschied wurde beim statistischen Querschnittsvergleich nicht festgestellt. Erst mit dem puberalen Wachstumsschub erreichten die geschlechtsspezifischen Längenunterschiede nach den Ergebnissen der statistischen Querschnittsvergleiche statistische Signifikanz, was mit

den Studienergebnissen anderer Autoren übereinstimmt (Sinclair und Little 1985; Thordarson et al. 2006; Ursi et al. 1993). Dennoch ist das Wachstumsprofil (Kurvenverlauf) der vorderen (S-N) und hinteren Schädelbasis (S-Ba) als geschlechtsunspezifisch anzunehmen. Damit bestätigen die vorliegenden Studienergebnisse die von Bishara und Jacobsen (1985) und Ursi et al. (1993).

Die bei der statistischen Analyse der vorderen Schädelbasis festgestellten Unterschiede zwischen dem Ergebnis der Wachstumskurvenanalyse und dem des statistischen Querschnittsvergleiches zeigen, dass die Auswahl der statistischen Analysemethode das statistische Ergebnis beeinflussen kann. Der Mangel an Signifikanzen beim statistischen Querschnittsvergleich könnte mit der Größe der relativ kleinen Veränderungen zwischen benachbarten Untersuchungszeitpunkten verbunden sein und/oder an der relativ großen Variabilität der Probanden liegen. Die Grenzen des statistischen Querschnittsvergleiches bei der Interpretation longitudinaler Veränderungen im Gesichtsschädelbereich werden daraus deutlich. Daneben zeigen sie, dass die Unterschiede zwischen Probanden mit regelrechten Gebissen von einer Größe sind, die nicht kontinuierlich zu jedem Zeitpunkt der Wachstumskurve festgestellt werden können. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Bishara und Jakobsen (1985) beim Vergleich von Probanden mit unterschiedlichem Gesichtstypus. Sie stellten fest, dass die kumulativen, wenn auch kleinen, Unterschiede, die während der gesamten Entwicklungsperiode stattfinden, besser mit der longitudinalen Datenanalyse nachzuweisen sind (Bishara und Jakobsen 1985).

Maxilla und Mittelgesicht

Die bereits von anderen Autoren (Buschang et al. 1988; Nanda 1971; Thilander et al. 2005) beschriebene Konstanz der sagittalen Position des Oberkiefers (SNA-Winkel) wurde durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigt. Ähnlich wie von Nanda (1971) beschrieben, veränderte sich der SNA-Winkel über einen Zeitraum von 11 Jahren weniger als 1° bei den Jungen und blieb bei den Mädchen ganz stabil. D.h., dass der Oberkiefer bei Probanden mit regelrechten Gebissen seine Lagebeziehung zur vorderen Schädelbasis durch die kontinuierliche Verlagerung nach anterior auch mit zunehmendem Alter konstant hält. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung ist dieser Prozess geschlechtsunabhängig, was den Ergebnissen von Ursi

et al. (1993) und Kerr (1979) entspricht. Geschlechtsspezifische Veränderungen des SNA-Winkels, wie Broadbent Sr et al. (1975), Sinclair und Little (1985) und Thordarson et al. (2006) sie beschrieben haben, werden damit nicht bestätigt.

Die Analyse der Höhen der männlichen und weiblichen Wachstumskurven für die Mittelgesichtslänge ergab tendenziell größere Mittelgesichtslängen bei den männlichen Probanden von Beginn der Untersuchung an. Für die Oberkieferlänge bestand dieser geschlechtsspezifische Unterschied nicht. Auch die Ergebnisse der Querschnittsvergleiche ergaben bis zum Alter von 15 Jahren keine geschlechtsspezifischen signifikanten Unterschiede bezüglich beider Längenmessungen. Konträr zur longitudinalen Analyse der absoluten Daten für die Mittelgesichts- und die Oberkieferlänge wurden beim statistischen Querschnittsvergleich vom 16. Lebensjahr an geschlechtsspezifische Signifikanzen festgestellt. Dies zeigt wiederum die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Auswahl der statistischen Analysemethode.

Die weiblichen Probanden hatten bis zum 16. Lebensjahr ihre Maximallängen für Oberkiefer- und Mittelgesicht erreicht, während die männlichen Probanden ihr Wachstum in diesen Bereichen kontinuierlich weiter fortsetzten. Auch Bishara et al. (1984), Ingerslev und Solow (1975) und Savara und Singh (1968) berichteten über größere Längenzunahmen des Oberkiefers beim männlichen Geschlecht. Ursi et al. (1993), denen lückenlose Datensätze von 32 Probanden mit idealer Okklusion aus der *Bolton Growth Study* zur Verfügung standen, beobachteten diese signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede bereits von 14 Jahren an. In der vorliegenden Studie lagen aufgrund eines technischen Defektes am Fernröntgengerät keine Aufnahmen mit 14 Jahren vor, so dass keine Aussagen über diesen Zeitpunkt möglich sind.

Zwischen den Wachstumsprofilen der Mittelgesichts- und der Oberkieferlänge bestanden keine geschlechtsspezifischen Unterschiede, was die Angaben anderer Autoren unterstützt (Bishara und Jakobsen 1985; Savara und Singh 1968). Die größten präpuberalen Wachstumszunahmen der Mittelgesichtslänge wurden bei den Jungen und Mädchen im 8. und 12. Lebensjahr festgestellt und fallen jeweils mit den Zeitpunkten des physiologischen Schneidezahnwechsels und dem Durchbruch der 12-Jahrmolaren

zusammen. Die größten präpuberalen Wachstumszunahmen in der Oberkieferlänge wurden bei den Jungen im Alter von 8 bis 9 und 12 Jahren gefunden, während sie bei den Mädchen mit 8 und 10 Jahren etwas früher stattfanden, was die Ergebnisse anderer Studien (Savara und Singh 1968; Tracy und Savara 1966) unterstützt. Die Untersuchungen von Tracy und Savara (1966) an 52 männlichen und 50 weiblichen Probanden vom 3. bis 16. Lebensjahr zeigten ebenfalls, dass der adoleszente Wachstumsspur des Oberkiefers bei den männlichen Probanden mit etwa 13 bis 14 Jahren, also etwa 1 bis 3 Jahre später als bei den weiblichen Probanden, auftritt. Diese Ergebnisse wurden durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigt. Der adoleszente Wachstumsspur bei den weiblichen Probanden der eigenen Studie fand mit 11 bis 12 Jahren statt, während er bei den männlichen Probanden zwischen 13 und 15 Jahren festgestellt wurde.

Mandibula

Die von anderen Autoren (Bishara et al. 1984; Kerr 1979; Thilander et al. 2005) beschriebenen Zunahmen des SNPog-Winkels und des SNB-Winkels werden durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigt. Die anterior-posterioren Lagebeziehungen der Unterkieferbasis und des knöchernen Kinns zur vorderen Schädelbasis (SNB-Winkel und SNPog-Winkel) und zur Nasionsenkrechten (Pog-N Vert) waren ebenso wie die sagittale Lage des Oberkiefers geschlechtsunspezifisch und bestätigen die Ergebnisse von Ursi et al. (1993). Auffällig war, dass die Wachstumszunahmen im knöchernen Bereich des Unterkiefers (B-Punkt und Pogonion) bei den männlichen Probanden größer waren als bei den weiblichen, was die Ergebnisse anderer Autoren bestätigt (Humerfelt und Slagvold 1972; Nanda und Ghosh 1995). Dies führte im Vergleich zu anderen Studien (El-Batouti et al. 1994; Nanda 1971; Sinclair und Little 1985; Ursi et al. 1993) nur bei den männlichen Probanden zu einer Zunahme des SNB-Winkels um $2,9^\circ$. Auch der Abstand vom Pogonion zur Nasionsenkrechten verkleinerte sich bei den Jungen mit 6,1mm mehr als mit 4,8mm bei den Mädchen. Nanda (1971) und Ursi et al. (1993) geben vergleichsweise Werte für die Zunahmen des SNB-Winkels über einen Zeitraum von 12 und 13 Jahren von $2,3^\circ$ und $2,5^\circ$ an. Die Abnahme des Abstandes vom Pogonion zur Nasionsenkrechten war bei Ursi et al. (1993) mit 4mm für die Gesamtgruppe vergleichsweise geringer.

Die Wachstumskurvenanalyse der effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn) ergab signifikant größere Unterkieferlängen bei den männlichen Probanden von Beginn der Untersuchung an. Der statistische Querschnittsvergleich zwischen den Geschlechtern bestätigte in diesem Fall die Ergebnisse der Wachstumskurvenanalyse. Thordarson et al. (2006) fanden bei ihrer Longitudinalstudie an 55 männlichen und 56 weiblichen Probanden mit normalen Gebissen ebenfalls längere Unterkiefer (Ar-Gn) bei den Jungen von 6 Jahren an, während Savara und Tracy (1967) bereits mit 3 Jahren geschlechtsspezifische Längenunterschiede bezüglich der maximalen Unterkieferlänge (Co-Pog) und der Unterkiefercorpuslänge (Go-Pog) feststellten. Für die Länge des Corpus mandibulae (Go-Me) und die Höhe des Ramus mandibulae (Co-Go) wurden in der vorliegenden Untersuchung keine Wachstumskurvenanalysen durchgeführt. Deshalb soll auf die Ergebnisse der statistischen Querschnittsvergleiche zurückgegriffen werden. Diese ergaben signifikante geschlechtsspezifische Differenzen erst ab 15 Jahren. Demnach muss die effektive Unterkieferlänge von 6 Jahren an als geschlechtsspezifisch bewertet werden, während sich für die Ramushöhe und die Corpuslänge erst mit dem puberalen Wachstumsschub der männlichen Probanden geschlechtsspezifische Unterschiede ergaben. Diese Ergebnisse sollten für die Ramushöhe und die Corpuslänge des Unterkiefers aufgrund der bereits nachgewiesenen Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen unterschiedlicher statistischer Analysemethoden nachuntersucht werden.

Die für alle metrischen Parameter festgestellten geschlechtsspezifischen Signifikanzen ab dem 16. Lebensjahr resultieren zum einen aus dem späteren und größeren puberalen Wachstumsschub bei den männlichen Probanden und zum anderen aus dem fortbestehenden, z.T. noch signifikant zunehmenden Wachstum in der Unterkieferlänge (Co-Gn, Ar-Gn) und der Ramushöhe (Co-Go) vom 16. Lebensjahr an bis zum Ende des Untersuchungszeitpunktes. Das Längen- und das Höhenwachstum des Unterkiefers endet bei den Mädchen mit 15 Jahren früher. Diese Ergebnisse bestätigen die Aussagen anderer Autoren, dass der puberale Wachstumsschub bei den männlichen Probanden ein bis zwei Jahre später einsetzt und dass das Wachstum des Unterkiefers im männlichen Geschlecht länger andauert (Barnes 1955; Bishara et al. 1984; Nanda 1955; Ursi et al. 1993).

Interessanterweise wurden auch signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede im Wachstumsprofil der effektiven Unterkieferlänge ermittelt. Das heißt, dass das Unterkieferlängenwachstum (Co-Gn) bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechten Gebissen signifikant unterschiedlich verläuft. Daraus ergibt sich, dass Jungen und Mädchen nicht für Analysen des Unterkieferlängenwachstums (Co-Gn) zusammengefasst werden können, sondern getrennt bewertet werden müssen. Die diesbezüglichen Analysen des Wachstumsprofils von Ramus und Corpus mandibulae bleiben späteren Untersuchungen vorbehalten.

Vergleicht man zusätzlich die Ergebnisse der statistischen Querschnittsvergleiche für den Ober- und Unterkiefer, so wird deutlich, dass in beiden Kiefern geschlechtsspezifische Unterschiede zur selben Zeit auftreten (15 Jahre). Das heißt, dass Ober- und Unterkiefer bei Probanden mit regelrechten Gebissen in ihrer Längenentwicklung miteinander Schritt halten. Dies unterstützt die von Ursi et al. publizierten Ergebnisse von Probanden mit idealer Okklusion (Ursi et al. 1993). Die später auftretenden geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Unterkieferlänge werden von Björk und Skieller (1972) vor allem durch die größeren Wachstumsraten in der Unterkieferlänge bei den männlichen Probanden erklärt. Buschang et al. (1982) fügten hinzu, dass früher auftretende geschlechtsspezifische Unterschiede in der Unterkiefergröße durch den früheren puberalen Wachstumsspur bei den weiblichen Probanden möglicherweise verdeckt würden.

Intermaxilläre Beziehungen

Auch die über den gesamten Beobachtungszeitraum geringfügigen Veränderungen der intermaxillären Beziehungen (ANB-Winkel und Wits-Wert) spiegeln ebenfalls das konforme Wachstum des Ober- und Unterkiefers bei Probanden mit regelrechten Gebissen wider. Die leichte Abnahme des ANB-Winkels von 1 bis 2 Grad über einen Zeitraum von 11 Jahren weist die etwas größere Anteriorentwicklung des Unterkiefers relativ zur vorderen Schädelbasis aus (Zunahme des SNB-Winkels bei gleichbleibendem SNA-Winkel) und bestätigt die Ergebnisse anderer Autoren (Nanda 1971; Thilander et al. 2005).

Wie das Längenwachstum des Oberkiefers, hält auch das Längenwachstum des Mittelgesichts (Co-A) in seiner Entwicklung mit dem Unterkieferlängenwachstum Schritt. Nur so lassen sich die gemeinsamen geschlechtsspezifischen Unterschiede zum selben Zeitpunkt erklären. Durch die bereits beschriebenen größeren Zunahmen im Unterkieferlängenwachstum bei den männlichen Probanden während und auch nach der Pubertät lassen sich die geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der maxillo-mandibulären Differenz von 16 Jahren an deuten.

Vertikale skelettale Beziehungen

Für keine der angulären Messwerte der vertikalen skelettalen Analyse wurden in der vorliegenden Untersuchungsgruppe geschlechtsspezifische Differenzen festgestellt, was für die Homogenität des Untersuchungsmaterials bezüglich des vertikalen Gesichtsschädelaufbaus spricht. Geschlechtsspezifische Differenzen, wie sie von Thordarson et al. (2006) und El-Batouti et al. (1994) bezüglich der Neigung des Oberkieferplanums zur vorderen Schädelbasis und des Mandibularplanums zur vorderen Schädelbasis beschrieben wurden, können somit für die untersuchten Probanden nicht bestätigt werden und beruhen möglicherweise auf den Unterschieden in der Auswahl und der ethnischen Herkunft des Untersuchungsmaterials bei den anderen Untersuchungen.

Die von anderen Autoren (Björk 1963; Broadbent Sr et al. 1975; El-Batouti et al. 1994; Kerr 1979; Lande 1952) beschriebene Abnahme der Neigung des Mandibularplanums zur vorderen Schädelbasis (SN-MP-Winkel) wird durch die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigt. In der vorliegenden Untersuchungsgruppe reduzierte sich der SN-MP-Winkel insgesamt in beiden Geschlechtern um 3 Grad. Vergleichsweise dazu gibt Nanda (1971) über einen Zeitraum von 13 Jahren eine Abnahme des Winkels von 5,4 Grad an. Auch die festgestellten Abnahmen in der Neigung des Mandibularplanums zur Frankfurter-Horizontalen (FH-MP-Winkel), der Neigung des Mandibularplanums zum Oberkieferplanum (PP-MP-Winkel) und des Unterkieferwinkels (ArGoMe-Winkel, CoGoMe-Winkel) weisen die geschlechtsunspezifische counter-clockwise Rotation des Unterkiefers bei den Probanden mit regelrechten Gebissen nach. Die Abnahme des ArGoMe-Winkels von 7,8 Grad in der vorliegenden Gesamtgruppe ist im Vergleich zu den Angaben von Ursi

et al. (1993) mit 3 Grad höher und zeigt das deutlich nach anterior und horizontal ausgerichtete Wachstum in der vorliegenden Probandengruppe. Dieser Prozess ist eng mit den Wachstumszunahmen im Bereich der hinteren Gesichtshöhe (S-Go) verbunden (Sinclair und Little 1985). In der vorliegenden Untersuchungsgruppe wurden in beiden Geschlechtern im 8. und 10. Lebensjahr präpuberale Wachstumsschübe im Bereich der hinteren Gesichtshöhe festgestellt. Diese Zeitpunkte sind demnach aus therapeutischer Sicht zur Beeinflussung der Wachstumsrichtung des Unterkiefers von Bedeutung.

Die Entwicklung im Bereich der vorderen und hinteren Gesichtshöhe ist denen der bereits beschriebenen anderen metrischen Parameter für den Unterkiefer sehr ähnlich. Da für die vordere und hintere Gesichtshöhe keine Wachstumskurvenanalyse durchgeführt wurde, wird auf die Ergebnisse der statistischen Querschnittsanalysen zurückgegriffen. Damit wurden geschlechtsspezifische Unterschiede von 15 Jahren an nachgewiesen, die durch die größeren Zunahmen des späteren puberalen Wachstumsschubes bei den Jungen und auch mit den danach noch größeren Zuwächsen beim männlichen Geschlecht erklärt werden können. Dies unterstützt die Ergebnisse anderer Autoren (El-Batouti et al. 1994; Nanda 1955; Sinclair und Little 1985; Thordarson et al. 2006). Ob geschlechtsspezifische Größendifferenzen schon vor dem 16. Lebensjahr vorliegen, sollte durch nachfolgende Wachstumskurvenanalysen überprüft werden.

Maxilläre und mandibuläre dentoalveoläre Beziehungen

Nur für zwei der neun Messungen zur Bestimmung der maxillären und mandibulären dentoalveolären Beziehungen wurden geschlechtsspezifische Unterschiede festgestellt. Die weiblichen Probanden wiesen stärker retrudiert stehende obere Schneidezähne bezüglich der vorderen Schädelbasis (OK1-SN-Winkel) und der Frankfurter-Horizontalen (OK1-FH-Winkel) auf. Für alle anderen Werte kann die Inklination und Position der oberen und unteren Schneidezähne als geschlechtsunspezifisch angenommen werden, was die Aussagen von Humerfelt und Slagvold (1972) und Thordarson et al. (2006) bekräftigt.

Die Neigung der oberen Schneidezähne zur vorderen Schädelbasis (OK1-SN-Winkel), zur Frankfurter-Horizontalen (OK1-FH-Winkel) und zur Nasion-A-Punkt-Linie (OK1-

NA-Winkel) sowie die Neigung (UK1-NB-Winkel) und Position (UK1-NB_) der unteren Schneidezähne zur Nasion-B-Punkt-Linie sind bei Probanden mit regelrechten Gebissen stabil, was die Ergebnisse von Sinclair und Little (1985) unterstützt.

Die in anderen Studien bei Probanden mit normalen Gebissen beschriebene Anteriorbewegung der oberen Schneidezähne und Aufrichtung der unteren Schneidezähne durch Protrusion (Broadbent Sr et al. 1975; Kerr 1979; Thilander et al. 2005) kann für die Position der oberen Inzisivi zur Nasion-A-Punkt-Linie (OK1-NA_) und für die Inklinations der unteren Schneidezähne zum Mandibularplanum (UK1-MP-Winkel) unterstützt werden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Schneidezahnachsenstellung zum Mandibularplanum in erheblichem Maße von der Entwicklung des Unterkieferwinkels (ArGoMe-Winkel) abhängt, denn allein durch die Reduktion des Kieferwinkels nimmt messtechnisch der UK1-MP-Winkel zu. Demzufolge ist die Relativität dieser Winkelangabe in Betracht zu ziehen. Die Problematik in der Anwendung der metrischen Kephalemetrie zur Einschätzung der dentalen Inklinations wird dadurch deutlich. In der vorliegenden Untersuchung waren die Messungen zur Nasion-A-Punkt-Linie und zur Nasion-B-Punkt-Linie, wie sie von Steiner (1953) vorgegeben werden, stabiler und geschlechtsunabhängig und sind demzufolge für das Messen der Schneidezahninklination zu empfehlen.

Interdentale Beziehungen

Auch die ermittelten Messungen zur Beurteilung der interdentalen Beziehungen sind nach den vorliegenden Ergebnissen an Probanden mit regelrechten Gebissen geschlechtsunspezifisch und durch die Konstanz der Werte während der gesamten Gebissentwicklung gekennzeichnet. So gab es nur leichte Zunahmen des Interinzisalwinkels in beiden Geschlechtern, was den Ergebnissen von Humerfelt und Slagsvolt (1972) entspricht. Overjet, Overbite und Molarenbeziehung änderten sich kaum.

Weichteilanalyse

Während Bishara et al. (1998) keine geschlechtsspezifischen Unterschiede im Weichteilprofil bei Probanden mit normalen Gebissen fanden, wurden in der

vorliegenden Untersuchungsgruppe retrusivere Oberlippenprofile (OL-E, OL Neig-Winkel, OL-Protr) und Unterlippenprofile (UL-E, UL-Protr) bei den weiblichen Probanden von Untersuchungsbeginn an festgestellt. Dies ist möglicherweise durch die von Anfang an bestehende stärkere Retrusion der oberen Frontzähne und die zunehmend stärkere Retrusion der unteren Frontzähne (UK1-NB-Winkel) bei den Mädchen bedingt.

Grundsätzlich wird die Abflachung des Ober- und Unterlippenprofils und die zunehmende Gesichtskonkavität mit steigendem Alter in beiden Geschlechtern, wie sie bereits von anderen Autoren beschrieben wurde (Bishara et al. 1998; Foley und Duncan 1997; Ricketts 1982), auch für die Probanden mit regelrechten Gebissen bestätigt. Bei den Mädchen reduzierten sich jedoch die Abstände der Ober- und Unterlippe in Relation zur Ästhetiklinie früher und stärker, was mit steigendem Alter zu geschlechtsspezifischen Unterschieden führte. Die Tiefe des Sulcus mentolabialis war aber bis zum 18. Lebensjahr geschlechtsunspezifisch.

Zusammenfassend können die vorliegenden Ergebnisse der Weichteilanalyse so interpretiert werden, dass Veränderungen im Weichteilprofil altersabhängig und in Abhängigkeit vom Ausgangslippenprofil geschlechtsabhängig sind und dementsprechend bei der Diagnostik und Therapieplanung berücksichtigt werden müssen. Die vorliegenden alters- und geschlechtsspezifischen Werte über einen Zeitraum von 11 Jahren geben eine gute Orientierung über die zu erwartenden Veränderungen im Weichteilprofil unter den Bedingungen der regelrechten Gebissentwicklung und können somit als Referenzwerte benutzt werden.

5.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER TENSORANALYSE

Gegenüber der metrischen klassischen Kephalometrie ist es durch die Tensoranalyse möglich, lokale Wachstumsabläufe in ihrem Ausmaß und ihrer Richtung isoliert zu erfassen. Durch die Angabe relativer Größenveränderungen können unabhängig von der Körpergröße Zuwachsraten erfasst werden. Beispielhaft wurden die Schädelbasis, der Mittelgesichtskomplex, Ober- und Unterkiefer isoliert und der Bereich der vorderen und der hinteren Gesichtshöhe sowie der Unterkiefer zur vorderen Schädelbasis vorgestellt.

Für die Diskussion der Ergebnisse der Tensoranalyse existieren in der Literatur keine vergleichbaren Untersuchungen. Daher wurden die Ergebnisse der Tensoranalyse mit denen der kephalometrischen Analyse aus der vorliegenden Untersuchung verglichen, um Schlussfolgerungen abzuleiten.

Schädelbasis

Die Wachstumsrichtung (Ausrichtung der Dilatationen D1 und D2) war im Schädelbasisbereich geschlechtsunspezifisch und von einer großen Variabilität geprägt. Verglichen mit der kephalometrischen Analyse geben die Ergebnisse der Tensoranalyse eine differenziertere Sicht auf die Ausrichtung des Wachstums im Schädelbasisbereich im zweidimensionalen Raum. Während die kephalometrische Analyse die Konstanz des Schädelbasisknickungswinkels (SNBa-Winkel) über den gesamten Untersuchungszeitraum nachweist, zeigt die Tensoranalyse, dass es während des Entwicklungsprozesses trotzdem zu Veränderungen in der Neigung der Wachstumskomponenten im Bereich der Schädelbasis kommt, auch wenn diese meist keine statistische Signifikanz aufweisen. Dies Ergebnis zeigt, dass allein durch die Beschreibung des SNBa-Winkels mittels metrischer Kephalometrie keine differenzierte Betrachtungsweise der Wachstumsveränderungen im zweidimensionalen Raum möglich ist und somit tatsächlich stattfindende Wachstumsprozesse übersehen werden. Die Tensoranalyse bestätigt die kephalometrische Analyse jedoch dahingehend, dass die Wachstumsrichtung der Schädelbasis (Winkel α und β im Δ SNBa) geschlechtsunspezifisch ist.

Nach den Ergebnissen der Tensoranalyse sind die sagittalen und vertikalen Wachstumsveränderungen im Bereich der vorderen und hinteren Schädelbasis (Δ SNBa) durch kontinuierliche Wachstumsverläufe bis zum 13. Lebensjahr charakterisiert. Interessanterweise wurden durch die Tensoranalyse signifikante Wachstumszuwächse in vertikaler Richtung (D2) bei den Jungen mit 12 Jahren und bei den Mädchen etwas früher mit 11 Jahren festgestellt. Diese stimmen mit den Zeitpunkten der Wachstumsmaxima für die Längen der vorderen und hinteren Schädelbasis in der kephalometrischen Analyse (siehe Seite A-67) überein.

Die Wachstumszunahmen nach dem 13. Lebensjahr sind durch kräftige Zunahmen v.a. in vertikaler Richtung gekennzeichnet, die interessanterweise in beiden Geschlechtern bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes gleichstark anhalten. Die relativen Zunahmen in der Sagittalen stagnieren bei den Mädchen nach dem 13. Lebensjahr. Die einzige geschlechtsspezifische Differenz für das Sagittalwachstum im 18. Lebensjahr zeugt von diesem stärkeren Sagittalwachstum bei den Jungen am Ende des Beobachtungszeitraumes. Dies bestätigt die Ergebnisse der kephalometrischen Analyse für die jährlichen Wachstumsraten der vorderen Schädelbasislänge, die ebenfalls nach dem puberalen Wachstumsschub signifikante Zunahmen in diesem Bereich nachwiesen und zu signifikanten geschlechtsspezifischen Größenunterschieden im Bereich der vorderen Schädelbasis führten. Insgesamt kann das Wachstumsprofil der relativen Veränderungen im Schädelbasisbereich, d.h. der Kurvenverlauf der Dilatationen D1 und D2, zumindest bis zum 18. Lebensjahr, als geschlechtsunspezifisch angesehen werden. Dies bestätigt die Ergebnisse der Wachstumskurvenanalyse bezüglich des Wachstumsprofils in dieser Region.

Schädelbasis und Mittelgesicht

Die Wachstumsrichtung in der Mittelgesichtsregion, die von der vorderen und hinteren Schädelbasis sowie von der Spina nasalis posterior und der Spina nasalis anterior eingeschlossen wird (Δ SBaSp, Δ SNSpp, Δ SNA) verläuft sehr individuell und geschlechtsunspezifisch. Der statistische Querschnittsvergleich der Kurvenverläufe der Dilatationen D1 und D2 zeigte zu keinem Zeitpunkt geschlechtsspezifische Signifikanzen auf. Dies bestätigen die Ergebnisse der Wachstumskurvenanalysen für die Schädelbasis, die Mittelgesichtslänge und die Oberkieferlänge.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der kephalometrischen Analyse gibt die Tensoranalyse jedoch einen sehr genauen Einblick in die Ausrichtung der Wachstumsveränderungen, der allein durch die Interpretation von Winkeln nicht möglich sind. Am Beispiel der Wachstumsprozesse, die zwischen vorderer Schädelbasis und Maxilla stattfinden (Δ SNA), soll dies erläutert werden. Im Gegensatz zur kephalometrischen Analyse, in der keine Veränderung des SNA-Winkels über einen Zeitraum von 11 Jahren festgestellt wurde, wurden im gleichnamigen Dreieck kontinuierliche jährliche Wachstumszunahmen von 2 bis 5% in beiden Geschlechtern festgestellt. Dies beweist, dass es durch die proportionalen Wachstumszuwächse im Bereich zwischen vorderer Schädelbasis und Maxilla zu einem gleichbleibenden Verhältnis dieser beiden Regionen zueinander kommt. Die in der kephalometrischen Analyse festgestellte Konstanz des SNA-Winkels resultiert daraus und zeigt, dass gerade kleine Wachstumsveränderungen allein durch die Angabe des Winkels nicht festzustellen sind. Auch die gemessenen Veränderungen in der Ausrichtung der vertikalen und der sagittalen Wachstumskomponente sind durch die alleinige Winkelangabe nicht erfassbar und führen zu einem Verlust an Informationen.

Die Vertikalentwicklung war im Mittelgesichtsbereich, wie auch schon im Dreieck SNBa beschrieben, größer als die Sagittalentwicklung. Auffällig war, dass im Alter von 8 Jahren in allen drei Dreiecken eine signifikante Zunahme der relativen Wachstumsveränderungen in der Vertikalen bei den männlichen Probanden und im Dreieck SNA bei den weiblichen Probanden beobachtet werden konnte. Dies ist Ausdruck der verstärkten Vertikalentwicklung und somit Kaudalverlagerung des gesamten Mittelgesichtskomplexes bei Probanden mit regelrechten Gebissen in diesem Alter. Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen der kephalometrischen Analyse so sind neben der Entwicklung in der Vertikalen auch Veränderungen in der Sagittalen nachweisbar, denn die Mittelgesichtslänge (Co-A) weist zu diesem Zeitpunkt in beiden Geschlechtern signifikante Wachstumszunahmen auf (siehe Seiten A-68 und A-70). Dies bedeutet, dass unter den Bedingungen einer regelrechten Gebissentwicklung bereits im Alter von 8 Jahren größere Wachstumszunahmen in vertikaler und sagittaler Richtung im Mittelgesichts- und Oberkieferbereich stattfinden, wie sie später nur noch in der Pubertät auftreten.

Im Gegensatz zur kephalometrischen Analyse wurden in beiden Geschlechtern bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes relative Wachstumszunahmen in sagittaler und vertikaler Richtung im hinteren, mittleren und vorderen Mittelgesichtsbereich festgestellt, wobei deutliche Wachstumszunahmen in allen drei Dreiecken zwischen 11 und 13 Jahren v.a. bei den männlichen Probanden vorliegen. Signifikante präpuberale und puberale relative Wachstumszuwächse wurden in sagittaler und vertikaler Richtung mit 12 und 15 Jahren im Mittelgesichtsbereich nur bei den männlichen Probanden festgestellt und bestätigen das größere und länger andauernde Wachstum bei den Jungen. Die diesbezüglichen Unterschiede zu den Ergebnissen der kephalometrischen Analyse lassen sich durch die unterschiedlichen statistischen Analysen in beiden Methoden erklären. Während in der Tensoranalyse statistische Vergleiche zwischen relativen Größenveränderungen vorgenommen wurden, sind in der kephalometrischen Analyse die absoluten Werte im Querschnitt miteinander verglichen worden. Dies führt zu weniger signifikanten Unterschieden in der Tensoranalyse.

Maxilla

Die Analyse der relativen Wachstumsveränderungen im basalen Bereich des Oberkiefers (Δ SppSpaA) war aufgrund der z.T. schwierigen Identifikation und individuell sehr unterschiedlichen Ausprägung der Spina nasalis anterior von allen Dreiecken am schwersten und spiegelt sich in den größeren Standardabweichungen der Messwerte wider.

Die Vertikalentwicklung des Oberkiefers ist größer als dessen Sagittalentwicklung und bestätigt die Ergebnisse von kephalometrischen Studien anderer Autoren zu Untersuchungen des Oberkiefers (Savara und Singh 1968). Wiederum sind mit 11 Jahren größere relative Wachstumszunahmen in vertikaler und kaudal-anteriorer Richtung in beiden Geschlechtern nachweisbar. Der statistische Vergleich der jährlichen Wachstumsraten für die Oberkieferlänge aus der kephalometrischen Analyse bestätigt dies (siehe Seiten A-68 und A-70). Bis zum 17. Lebensjahr verlaufen die relativen Wachstumsveränderungen geschlechtsunspezifisch. Erst danach sind in kaudal-anteriorer Richtung signifikant größere Wachstumszunahmen bei den männlichen Probanden nachweisbar, die zu größeren Dimensionen des Oberkiefers am Ende des Untersuchungszeitraumes bei den Jungen führen (siehe Seite 81). Die

Wachstumsrichtungen sind während des gesamten Untersuchungszeitraumes geschlechtsunspezifisch und bestätigen die Ergebnisse der Wachstumskurvenanalyse bezüglich des Wachstumsprofils des Oberkiefers zumindest für die Oberkieferlänge (Spa-Spp).

Mandibula

Die relativen Wachstumsveränderungen im basalen Bereich des Unterkiefers (Δ CoGnGo) laufen sowohl in sagittaler als auch in vertikaler Richtung bis zu 13 Jahren in beiden Geschlechtern konform und in ihrer Ausrichtung geschlechtsunspezifisch ab. Bei den Mädchen und Jungen wurden dabei kontinuierlich signifikante relative Wachstumszunahmen beobachtet, die nur durch die geringe Variabilität des Unterkieferwachstums bei den Probanden mit regelrechten Gebissen erklärt werden können und auf ein sehr stereotyp ablaufendes Wachstum im Unterkieferbereich hinweisen. Danach überwiegt das Wachstum in vertikaler Richtung in beiden Geschlechtern, was Ausdruck der zunehmenden counter-clockwise Rotation des Unterkiefers bei den Probanden mit regelrechten Gebissen ist und die kephalometrischen Messwerte bestätigt. Die in der Wachstumskurvenanalyse festgestellten Unterschiede bezüglich des Wachstumsprofils der effektiven Unterkieferlänge bei den männlichen und weiblichen Probanden können durch die Ergebnisse der Tensoranalyse nicht bestätigt werden, denn zu keinem Zeitpunkt wurden statistisch signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen den relativen Wachstumszunahmen ermittelt. Wie bereits in der kephalometrischen Analyse festgestellt wurde, weist dies die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen des statistischen Querschnittsvergleiches und der longitudinalen Wachstumskurvenanalyse aus.

Interessanterweise zeigte der Vergleich der relativen Wachstumsveränderungen des Ober- und Unterkiefers in kaudal-anteriorer Richtung, dass zumindest bei den männlichen Probanden gleich große Zunahmen von ca. 20% bis zu 13 Jahren vorliegen. Auch danach ist das relative Längenwachstum des Unterkiefers dem des Oberkiefers nur mäßig überlegen. Dies ist im Wesentlichen durch die Wachstumsvorgänge im Kinnbereich bedingt. Vor allem nach der Pubertät führt dies zur Abflachung des Gesichtsprofils. Das heißt, dass das relative Längenwachstum des Ober- und Unterkiefers bei Probanden mit regelrechten Gebissen proportional abläuft.

Offensichtlich wird das Wachstum im Oberkiefer durch die regelrechte Verzahnung gesteuert. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich bei fehlender regelrechter Verzahnung unproportionale Entwicklungen des Ober- und Unterkiefers mit den sichtbaren Anomaliesymptomen begünstigt entwickeln und sich nach dem puberalen Wachstum noch verstärken können.

Hintere Gesichtshöhe-vordere Schädelbasis, vordere Gesichtshöhe-vordere Schädelbasis, Mandibula-vordere Schädelbasis

Die relativen Wachstumsveränderungen in der Region zwischen vorderer Schädelbasis, hinterer Gesichtshöhe, vorderer Gesichtshöhe und anteriorem Unterkieferbereich ($\Delta SGoN$, $\Delta SNMe$, ΔSNB) sind in ihrem Ausmaß und ihrer Richtung geschlechtsunspezifisch, auch wenn die männlichen Probanden am Ende des Untersuchungszeitraumes relativ größere Wachstumszunahmen in kaudal-anteriorer Richtung im Kieferwinkelbereich, im Bereich des B-Punktes und im Mentonbereich aufweisen. Demnach ist das Wachstumsprofil in dieser Region geschlechtsunspezifisch. Der diesbezügliche Vergleich mit der noch durchzuführenden Wachstumskurvenanalyse für die vordere und die hintere Gesichtshöhe bleibt späteren Untersuchungen vorbehalten.

In allen drei Dreiecken liegen die Wachstumsveränderungen in kaudal-anteriorer Richtung über denen der in vertikaler Richtung, was Ausdruck der größeren kaudal-anterioren Unterkieferverlagerung relativ zur vorderen Schädelbasis ist, die bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes anhält und nach den Ergebnissen der kephalometrischen Analyse ohne Veränderungen entlang der y-Achse verläuft. Die Konstanz des NSGn-Winkels dokumentiert dies. Während sich im Dreieck SNGo die relativen Wachstumsveränderungen in der Vertikalen mit 15 Jahren nicht mehr verändern, nehmen diese in den anderen beiden Dreiecken bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes geringfügig zu.

Die v.a. im Dreieck SNMe festgestellten vielen signifikanten relativen Wachstumszunahmen lassen, wie im Dreieck CoGnGo, auf die geringen Unterschiede

zwischen den Wachstumsprozessen in diesem Bereich bei den Probanden mit regelrechten Gebissen schließen.

Auffällig sind wiederum die relativ größeren Wachstumszunahmen nach dem 11. Lebensjahr in beiden Richtungen und in beiden Geschlechtern, die mit dem Durchbruch der 12-Jahrmolaren korrespondieren.

5.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE KIEFERORTHOPÄDISCHE PRÄVENTION, FÜR DIAGNOSTIK UND THERAPIE

Die vorliegenden Ergebnisse über den Ablauf des Gesichtsschädelwachstums unter den Bedingungen einer regelrechten Gebissentwicklung erlauben Einblicke in die wachstumsbedingten Veränderungen im Bereich lokal begrenzter und definierter Bereiche des Gesichtsschädels. Sie vermitteln ein diffiziles Bild darüber, wie die Anforderungen durch den Zahnwechsel und die zweite Dentition mit Veränderungen der skelettalen Strukturen kombiniert sind. Das unterstreichen u.a. Phasen beschleunigten und reduzierten Wachstums lange vor der Pubertät. Deshalb sind diese Ergebnisse sowohl für die kieferorthopädische Prävention als auch für die Therapie von grundsätzlicher Bedeutung.

Wenn davon ausgegangen werden muss, dass sich nach dem Schneidezahnwechsel bezüglich der Inklination und Position der Schneidezähne keine wesentlichen Veränderungen ergeben, bedeutet dies einerseits, dass das weitere Wachstum der skelettalen Strukturen den Erhalt dieser regelrechten Schneidezahnstellung möglich macht oder andererseits, dass das Wachstum durch die funktionellen Impulse des Schneidezahnkontaktes selbst gesteuert wird. Unabhängig von den komplizierten Mechanismen des menschlichen Gesichtsschädelwachstums kommt offensichtlich gerade dieser regelrechten Schneidezahnstellung mit ihrer adäquaten interdentalen Abstützung eine wachstumsinduzierende und -regulierende Wirkung zu. Der Stellenwert der regelrechten Schneidezahnabstützung wurde auch durch Björk und Skieller (1972) in ihrem Einfluss auf die Richtung des Unterkieferwachstums erkannt. Im Zusammenhang mit der Distalokklusion bei Angle Klasse II/1 Patienten kann abgeleitet werden, dass die fehlende dentale Abstützung das synchrone Wachstum von Ober- und Unterkiefer belastet. Die Auswirkungen bleiben nicht auf die sagittale Dimension beschränkt. Sie verstärken ebenso die skelettale Tiefbisssituation und führen zur Reduktion der transversalen Breite, vor allem des Oberkiefers. Ein später Therapiebeginn impliziert neben allen sich aus funktioneller Sicht aufpfropfenden Einflüssen mit zunehmendem Alter immer weniger Möglichkeiten der Harmonisierung der Wachstumsprozesse. Auf die Klasse II/1 Anomalie übertragen bedeutet das, je umfangreichere sagittale, vertikale und transversale Abweichungen vorliegen, umso

mehr verstärken Wachstumsphasen ohne Therapieeinflüsse die skelettalen Disproportionen. Allein die frühzeitige Herstellung einer regelrechten Schneidezahnrelation, z.B. über einen apparativen Behelf, schafft die Möglichkeit, Wachstumsprozesse zu harmonisieren. Das heißt, dass eine solche Therapie zwangsläufig mit einer Einflussnahme auf das Wachstum verbunden ist. Das hypothetische Modell der multifaktoriellen Vererbung mit Polygenie und Schwellenwerteffekt (Schulze 1993) unterstreicht die Möglichkeiten den Phänotypus in dem Rahmen, den der Genotypus zulässt, durch äußere Einflüsse, wie die kieferorthopädische Therapie, zu gestalten.

Die Ergebnisse unterstreichen überraschend, dass das relative sagittale Wachstum von Ober- und Unterkiefer über die gesamte Wachstumsperiode sehr synchron abläuft. Ohne diese Übereinstimmung wäre der Bestand der regelrechten Schneidezahnstellung bis nach der Pubertät nicht möglich. Die Folge eines überproportionalen Unterkieferlängenwachstums wäre z.B. die Entwicklung eines tertiären Engstandes oder eines unteren Frontzahnvorbisses. Diese Wachstumsvorgänge bei regelrechter Gebissentwicklung lassen deshalb auch Schlussfolgerungen für den kieferorthopädischen Umgang mit der Angle Klasse III zu. Die metrische Kephallometrie lässt im Gegensatz zur Angle Klasse II in jungen Gebissentwicklungsphasen meist nur gering ausgeprägte Merkmale gegenüber der ausgereiften Klasse III diagnostizieren (Brune 2003). Nur das frühzeitige Erkennen einer Entwicklung in Richtung einer skelettalen Klasse III ermöglicht es, auf das Wachstum Einfluss zu nehmen. Die Bedeutung einer frühzeitig erreichten regelrechten sagittalen und vertikalen Frontzahnrelation kann gerade als Konsequenz aus den natürlichen Wachstumsabläufen bei regelrechter Entwicklung nicht hoch genug eingeschätzt werden und wurde durch Brune (2003) nachgewiesen. Auch das Rezidiv nach kieferorthopädischer Therapie bei progenen Anomalien mit unzureichend gesichertem Overjet ist Ausdruck einer nicht kompensierten und deshalb fehlenden Harmonie im Wachstum von Ober- und Unterkiefer. Ein überproportionales Oberkieferwachstum erklärt umgekehrt das Wiederkehren der Steilstellung der oberen Schneidezähne nach Korrektur bei Anomalien der Angle Klasse II/2.

Bei Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung läuft das Sagittalwachstum des Oberkiefers sehr synchron mit der Verlängerung der anterioren Schädelbasis ab. Bei beiden Geschlechtern sind für das Vertikalwachstum des Mittelgesichtskomplexes bereits mit 8 und nachfolgend mit 10 Jahren signifikante präpuberale Wachstumsschübe vorhanden. Besonders die Ergebnisse der Tensoranalyse geben einen genauen Einblick in Zeiten beschleunigten Wachstums im Ober- und Unterkiefer, die z.B. mit den Wachstumsimpulsen für die Einstellung der 12-Jahrmolaren in einem zeitlich engen Zusammenhang stehen. Im Umkehrschluss haben fehlende Zahnanlagen oder retinierte und verlagerte Zähne im sich entwickelnden Gebiss nicht nur eine lokale Wirkung, sondern auch eine wachstumshemmende Komponente. Patienten mit deutlich reduzierter Zahnzahl sind deshalb mit einer alleinigen Pfeilerverteilung des Restgebisses für eine prothetische Versorgung nicht optimal therapiert. Vielmehr gilt es, zwangsläufig wachstumsbedingte Defizite mit geeigneten Mitteln zu kompensieren. Mit der Beschreibung der Wachstumsabläufe in Einjahresschritten sind für die kieferorthopädische Praxis Referenzwerte gegeben, die für Kinder mit nicht regelrechter Gebissentwicklung eine wichtige Orientierung geben.

Auch wenn die Ergebnisse der Tensoranalyse in der eigenen Studie im Gruppenvergleich keine grundsätzlichen Änderungen der Wachstumsrichtung in lokal begrenzten Strukturen erkennen ließen, war doch die Individualität der Probanden sehr groß. Trotz z.T. beträchtlicher Unterschiede der Winkel α und β während des langen Entwicklungsprozesses war deshalb im Gruppenvergleich keine signifikante Richtungsänderung nachweisbar. Im 8. und 10. Lebensjahr waren in beiden Geschlechtern im Bereich der hinteren Gesichtshöhe Wachstumsschübe nachweisbar. Das bedeutet, dass es unter dem Einfluss kieferorthopädischer Therapie in der individuellen Situation prinzipiell während der Gebissentwicklung möglich ist, die Richtung des Wachstums zu beeinflussen. Mit den Methoden der metrischen Kephallometrie ist eine Erfolgsbewertung dieser Therapieeinflüsse nicht oder nur schwer nachweisbar.

Für die Bewertung lokaler Wachstumsprozesse und möglicher Therapieeinflüsse ist die Tensoranalyse am besten geeignet. Wenn diese Analyse bisher keinen Eingang in die kieferorthopädische Praxis gefunden hat, liegt dies auch daran, dass ein Vergleich mit

Referenzwerten bisher nicht möglich war. Erst mit der Schaffung von altersspezifischen Daten des natürlichen Wachstums ist eine Beurteilung möglich. Die Angabe relativer Werte ermöglicht einen Vergleich unabhängig von der individuellen Körpergröße.

Die Datenvisualisierung ist der komplexen Analyse umfangreicher Datenmengen geschuldet. Ihre Anwendungsmöglichkeit ist methodisch vielschichtig und was die Auswahl der Parameter betrifft, unbegrenzt. Die in dieser Arbeit vorgestellten Visualisierungsmethoden ermöglichen Bewertungen von Probanden in einem konstanten Alter. Sie machen es gleichermaßen möglich, Gruppen zu vergleichen als auch den individuellen Fall einer Gruppe gegenüber zu stellen. In weiterführenden Arbeiten mit der *Rostocker Visuellen Analyse (ROVA)* wird die Visualisierung zeitlicher Abläufe erarbeitet. Dadurch wird z.B. die Erfolgsbewertung eines Therapieverlaufs zusätzlich möglich.

Wenn gegenwärtig die kieferorthopädische Therapie weitgehend von der Gebissentwicklung abgekoppelt wird, soll die vorliegende Studie mit ihrem differenzierten Einblick in das Gesichtsschädelwachstum die Möglichkeiten wachstumsbeeinflussender Maßnahmen erkennen und bewerten lassen.

5.5 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE WISSENSCHAFTLICHE KIEFERORTHOPÄDIE

Seit der Einführung und der Entwicklung funktionskieferorthopädischer Therapiemethoden ist die kritische Auseinandersetzung über die nachweisbare Beeinflussung skelettaler Strukturen nicht verstummt. Madsen (2002) hat in einer umfangreichen Literaturrecherche Kritik an der Evidenz dargestellter Ergebnisse in der internationalen Literatur geübt. Seine Ausführungen sind Ausdruck des generellen Unvermögens, mittels alleiniger metrischer Kephaldimetrie eine Erfolgsbewertung wachstumsorientierter Therapie vornehmen zu können. Das ist umso weniger möglich, wenn es zusätzlich an geeigneten Referenzwerten fehlt. Die vorliegenden Ergebnisse liefern diese alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte sowie vorhersagbare Wachstumskurven wichtiger Parameter zur Beurteilung des Gesichtsschädelwachstums. An dem ausgewogenen Verlauf der Wachstumskurven ist erkennbar, dass es sich um eine hochwertige, weil homogene Gruppe von Probanden handelt. Besonders im Bereich des Unterkiefers konnten deshalb für geringe relative Zuwächse zwischen den jährlichen Untersuchungszeitpunkten statistische Signifikanzen nachgewiesen werden. Trotzdem lässt sich das skelettale Wachstum nicht an wenigen Parametern nachweisen. Erst die Betrachtung der Summe vieler Einzeldaten wird der Komplexität der Beurteilung von Wachstum gerecht. Das heißt, eine auf nur wenigen Parametern beruhende Analyse kann einem wissenschaftlichen Anspruch nicht genügen. Aber gerade dieser Mangel charakterisiert die Beurteilung der Wachstumsvorgänge am lebendigen Menschen.

Durch die Entwicklung der *Rostocker Visuellen Analyse (ROVA)* und die nun vorliegenden Daten von Probanden mit regelrechten Gebissen wird es mittels der Datenvisualisierung zukünftig möglich sein, Therapieergebnisse an den am besten geeigneten, weil vergleichbaren Probanden zu messen. Die *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* erlaubt erstmalig die Beurteilung von relativen Wachstumszuwächsen regional und in jeder beliebigen Gebissentwicklungsphase. Wissenschaftliche Studien können damit Probanden in adäquatem Alter am natürlichen Wachstum messen.

Es kann der Erwartung Ausdruck verliehen werden, dass sowohl das zur Verfügung stellen umfangreicher Daten von unbehandelten Probanden mit regelrechter

Gebissentwicklung als auch die Entwicklung neuer Analysemethoden für die kieferorthopädische Praxis und Wissenschaft gleichermaßen von Nutzen sein werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Zielstellung der vorliegenden Arbeit war es, alters- und geschlechtsspezifische Basisdaten des Gesichtsschädelwachstums von Kindern und Jugendlichen für praktische und wissenschaftliche Fragestellungen zu erstellen. Um die Nutzung solcher Analysen praktikabel zu machen und die Auswertung großer Datenmengen zu vereinfachen, sollten gleichzeitig neue Methoden entwickelt werden, die eine differenziertere Bewertung komplexer Wachstumsprozesse im Gesichtsschädelbereich ermöglichen und durch zusätzliche visuelle Datenanalysen unterstützen.

Die Analyse des Gesichtsschädelwachstums erfolgte anhand der Fernröntgenseitenaufnahmen von 32 unbehandelten Probanden mit regelrechten Gebissen, die in jährlichen Abständen vom 6. bis zum 18. Lebensjahr ausgewertet wurden. Die Probanden stammen aus der *Rostocker Wachstumsstudie* von Prof. Dr. Klink-Heckmann. Die im Fernröntgenseitenbild aufgetretenen projektionsbedingten Vergrößerungen wurden rechnerisch korrigiert, so dass die metrischen Messungen lebensgroßen Dimensionen entsprachen.

Das Gesichtsschädelwachstum unter den Bedingungen einer regelrechten Gebissentwicklung wurde mittels der in der Praxis am häufigsten benutzten Methode, der kephalometrischen Analyse, untersucht. Da sie es jedoch nicht ermöglicht, unabhängig von Referenzstrukturen die Wachstumsprozesse im Gesichtsschädelbereich zu beurteilen und die Richtung der Wachstumsvorgänge darzustellen, wurden diese Informationen für ausgewählte Regionen des Gesichtsschädelbereiches aus der zusätzlichen Anwendung der Tensoranalyse gewonnen. Um das komplizierte und bisher wenig praktikable Tensorkonzept bei der Wachstumsanalyse umzusetzen, wurde die *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* als Teilkomponente des *Rostocker Wachstumsanalyse Tools (ROWAT)* im Rahmen der Habilitation in Kooperation mit dem Institut für Computergrafik der Universität Rostock entwickelt und in der Untersuchungsgruppe erstmalig angewandt.

Da es sich bei der Untersuchung des Gesichtsschädelwachstums um komplexe Wachstumsabläufe handelt, die eine Verarbeitung sehr großer Datenmengen und die

Analyse multivariater Zusammenhänge erfordern, ist durch die zusätzliche Entwicklung der *Rostocker Visuellen Analyse (ROVA)* erstmals eine Übertragung der visuellen Datenanalyse auf Daten des Gesichtsschädelwachstums ermöglicht worden. Diese eröffnet neben der Darstellung großer Datenmengen ohne Informationsverlust u.a. auch ganz neue Möglichkeiten für die Selektion von Probanden in zukünftigen Studien des Gesichtsschädelwachstums.

Die statistische Auswertung der Daten wurde in mehreren Schritten vorgenommen. Im ersten Schritt erfolgte eine deskriptive Auswertung. Danach wurde die Prüfung der Normalverteilung der kephalometrischen Variablen mittels Shapiro-Wilks' Tests vorgenommen. Die anschließende Analyse der geschlechtsspezifischen Unterschiede zu jedem Alterszeitpunkt erfolgte durch Mann-Whitney-Tests. Das Signifikanzniveau wurde mittels einer Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche angepasst. Für die insgesamt zehn jährlichen Wachstumsraten sowie die Gesamtwachstumsrate von 6 bis 17 Jahren wurde das Signifikanzniveau ebenfalls mittels Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche adjustiert. Innerhalb jeder der beiden Geschlechtsgruppen wurden die jährlichen Veränderungen und die Gesamtveränderung zwischen 6 und 17 Jahren mittels des Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen auf statistische Signifikanz untersucht. Auch hier erfolgte die Anwendung der Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche. Zusätzlich wurde das gemischte Regressionsmodell zur Wachstumskurvenanalyse der männlichen und weiblichen Probanden im Alter von 6 bis 17 Jahren für ausgewählte Parameter durchgeführt. Dabei wurden die realen Wachstumswerte der weiblichen und männlichen Probanden jeweils durch ein Polynom dritten Grades angepasst. Unter Verwendung dieser kubischen Gleichungen wurden Wachstumskurven männlicher und weiblicher Probanden für die Variablen berechnet, die für Wachstumsvorhersagen verwendet werden können.

Die Ergebnisse der kephalometrischen Analyse zeigen, dass alle linearen kephalometrischen Messwerte eine wachstumsbedingte Vergrößerung zwischen dem 7. und 18. Lebensjahr aufweisen. Geschlechtsspezifische Unterschiede treten mit wenigen Ausnahmen erst während und nach der Pubertät auf. Diese sind durch die größeren Wachstumszunahmen und das längere Gesichtsschädelwachstum bei den männlichen Probanden zu erklären. Signifikante Größenunterschiede, die bereits zu Beginn der

Untersuchung vorlagen, wurden nur für die Länge der vorderen Schädelbasis und die effektive Unterkieferlänge ermittelt. Das Wachstumsprofil zwischen männlichen und weiblichen Probanden war nur bezüglich der effektiven Unterkieferlänge signifikant unterschiedlich. Die Analyse longitudinaler Daten mit Hilfe des gemischten Regressionsmodells ist denen der statistischen Querschnittsvergleiche überlegen und sollte für die Datenanalyse longitudinaler Wachstumsstudien angewandt werden.

Das Wachstum zwischen vorderer Schädelbasis und Oberkieferbasis sowie zwischen Oberkiefer- und Unterkieferbasis verläuft bei Probanden mit regelrechten Gebissen über die gesamte Wachstumsperiode sehr synchron und ist geschlechtsunspezifisch. Der regelrechten Schneidezahnstellung kommt mit ihrer adäquaten interdentalen Abstützung offensichtlich eine wachstumsinduzierende und -regulierende Wirkung zu.

Die im Mittelgesichtsbereich und im Bereich der hinteren Gesichtshöhe festgestellten frühen präpuberalen Wachstumsschübe im 8. und 10. Lebensjahr lassen die Schlussfolgerungen zu, dass die Beeinflussung der Wachstumsrichtung des Unterkiefers in einer therapeutischen Situation bereits während der Gebissentwicklung praktikabel ist.

Durch die Anwendung der Tensoranalyse war es möglich, unabhängig von metrischen Größendifferenzen relative Wachstumszunahmen und Veränderungen in der Wachstumsrichtung im zweidimensionalen Raum lokal nachzuweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass relative Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung denen in sagittaler Richtung im Gesichtsschädelbereich überlegen sind und bis zum Ende des 18. Lebensjahres anhalten, während das Sagittalwachstum früher endet. Grundsätzlich waren das Wachstumsprofil und die Ausrichtung des Wachstums in den analysierten Dreiecken geschlechtsunspezifisch, während gleichzeitig eine große Variabilität diesbezüglich zwischen den Probanden vorlag. Die festgestellten häufigen statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den jährlichen relativen Wachstumszunahmen in der männlichen und der weiblichen Probandengruppe, z.B. bei der effektiven Unterkieferlänge, zeigen ein sehr stereotyp ablaufendes Wachstum bei den Probanden mit regelrechten Gebissen. Dabei läuft das relative Längenwachstum des Ober- und Unterkiefers proportional zueinander ab. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass

sich bei fehlender regelrechter Verzahnung unproportionale Entwicklungen des Ober- und Unterkiefers mit den sichtbaren Anomaliesymptomen begünstigt entwickeln und sich nach dem puberalen Wachstum noch verstärken können.

Im Vergleich zur kephalometrischen Analyse machte die Anwendung der Tensoranalyse es möglich, vor allem kleinere Wachstumszuwächse und Veränderungen in den Wachstumsrichtungen nachzuweisen. Damit ist z.B. die translatorische Vorverlagerung des Oberkiefers in Relation zur vorderen Schädelbasis nachgewiesen worden, die allein durch die Auswertung von Winkelangaben aus der kephalometrischen Analyse nicht erfasst worden wäre.

Aus klinischer Sicht sind die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung unabdingbar für die Bewertung der Wachstumsvorgänge bei Vorliegen von Gebissanomalien. Aus der Kenntnis der Wachstumsvorgänge bei regelrechter Gebissentwicklung ist das frühzeitige Erkennen disproportionaler Entwicklungen möglich, die ein rechtzeitiges therapeutisches Eingreifen rechtfertigen und erfordern. Gleichzeitig sind Schlussfolgerungen darüber möglich, wann mit geeigneten Behandlungsmitteln die Entwicklung des Gesichtsschädelwachstums beeinflussbar ist. Das gilt für die Angle Klasse II und III Anomalien. Die Bereitstellung der bisher in Deutschland fehlenden alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte ermöglicht es jetzt, kindgerechte Werte bei der Therapieplanung und der Beurteilung von Therapieeffekten einzusetzen.

Auch für die wissenschaftliche Kieferorthopädie sind die Entwicklungen der *Rostocker Tensoranalyse (ROTA)* und der *Rostocker Visuellen Analyse (ROVA)* nutzbar. Das Programm *ROTA* erlaubt es erstmalig, relative Wachstumszuwächse regional und in jeder beliebigen Gebissentwicklungsphase zu beurteilen. Von großem Nutzen für zukünftige Wachstumsstudien ist z.B. die Interaktionsfähigkeit der *Rostocker Visuellen Analyse* zur Gruppenbildung von Probanden. Dadurch wird einerseits die Selektion von Probanden durch die Auswahl sehr spezifischer Kriterien, die in ihrer Anzahl unbegrenzt sein können, erheblich erleichtert. Andererseits wird erstmalig die Verwendung von automatischen Klassifikationsmechanismen, wie z.B. hierarchischer Clusteralgorithmen, für die Zusammenfassung von Probanden mit ähnlichen Eigenschaften möglich.

7 LITERATURVERZEICHNIS

Alarashi M, Franchi L, Marinelli A, Defraia E (2003)

Morphometric analysis of the transverse dentoskeletal features of class II malocclusion in the mixed dentition. *Angle Orthod* 73(1):21-25.

Altemus LA (1955)

Horizontal and vertical dentofacial relationships in normal and Class II division 1 malocclusion in girls 11-15 years. *Angle Orthod* 25:120-137.

Anderson DL, Popovich F (1983)

Lower cranial height vs craniofacial dimensions in Angle Class II malocclusion. *Angle Orthod* 53(3):253-260.

Anderson DL, Popovich F (1989)

Correlations among craniofacial angles and dimensions in Class I and Class II malocclusions. *Angle Orthod* 59:37-42.

Angle EH (1907)

Malocclusion of the teeth. Philadelphia: S. S. White Dental Mfg. Co.

Baccetti T, Franchi L, McNamara JA, Jr., Tollaro I (1997)

Early dentofacial features of Class II malocclusion: a longitudinal study from the deciduous through the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 111(5):502-509.

Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber R (2006)

Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin u. a.: Springer Verlag.

Barnes JQ (1955)

A Serial Cephalometric Study of Facial and Denture Patterns in Children Having Excellent Occlusion Using Angular and Linear Measurements. *Am J Orthod* 41:231-232.

Battagel JM, Orth M (1993)

The aetiology of class III malocclusion examined by tensor analysis. *Br J Orthod* 20:283-295.

Baume AT (1951)

A Cephalometric Evaluation of the Normal Skeletal and Dental Pattern of Children With Excellent Occlusions. *Angle Orthod* 21:96-103.

Beetke S (2003)

Gesichtsschädelwachstum bei orthognathen Patienten-Eine Longitudinalstudie vom 6. bis 18. Lebensjahr mittels Tensoranalyse [Med. Diss.]. Rostock: Universität Rostock.

Berg R (1986)

Die sagittale Kieferrelation. Eine longitudinale Untersuchung über die Änderungen in der Altersperiode zwischen 6 und 12 Jahren. *Fortschr Kieferorthop* 47:28-38.

Bishara SE (1981) Longitudinal cephalometric standards from 5 years of age to adulthood. *Am J Orthod* 79:35-44.

Bishara SE (1998)

Mandibular changes in persons with untreated and treated Class II division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 113(6):661-673.

Bishara SE, Bayati P, Jakobsen JR (1996)

Longitudinal comparisons of dental arch changes in normal and untreated Class II, Division 1 subjects and their clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 110(5):483-489.

Bishara SE, Jakobsen JR (1985)

Longitudinal changes in three normal facial types. *Am J Orthod* 88:466-502.

Bishara SE, Jakobsen JR, Vorhies B, Bayati P (1997)

Changes in dentofacial structures in untreated Class II division 1 and normal subjects: a longitudinal study. *Angle Orthod* 67(1):55-66.

Bishara SE, Jacobsen JR, Hession TJ, Treder JE (1998)

Soft tissue profile changes from 5 to 45 years of age. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 114:698-706.

Bishara SE, Peterson LC, Bishara EC (1984)

Changes in facial dimensions and relationships between the ages of 5 and 25 years. *Am J Orthod* 85:238-252.

Björk A (1947)

The face in profile. An anthropological X-ray investigation on Swedish children and conscripts. *Sven Tandlak Tidskr Suppl* 5B.

Björk A (1953)

Variability and age changes in overjet and overbite. *Am J Orthod* 39:779-801.

Björk A (1963)

Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal study by the implant method. *J Dent Res* 42:400-411.

Björk A Skieller V (1972)

Facial development and tooth eruption. *Am J Orthod* 62:339-383.

Blair ES (1954)

A Cephalometric Roentgenographic Appraisal of the Skeletal Morphology of Class I, Class II, Div. 1, and Class II, Div. 2 (Angle) Malocclusions. *Am J Orthod* 24(2):106-119.

Blumenthal R (2005)

Entwicklung eines Frameworks zur visuellen Analyse des Gesichtsschädelwachstums [Studienarbeit]. Rostock: Universität Rostock.

Bock HH (1974)

Automatische Klassifikation. Theoretische und praktische Methoden zur Gruppierung und Strukturierung von Daten (Cluster Analyse). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Bookstein FL (1982)

On the cephalometrics of skeletal change. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 82:177-198.

Broadbent BH, Sr. (1931)

A new x-ray technique and its application to orthodontia. *Angle Orthod* 1:45-66.

Broadbent BH, Sr., Broadbent BB, Jr., Golden WH (1975)

Bolton Standards of dentofacial developmental growth. St Louis: Mosby Co.

Brodie AG (1953)

Late growth changes in the human face. *Angle Orthod* 23:143-157.

Brune Y (2003)

Auswirkung der Behandlung von Progeniepatienten mit dem Funktionsregler Typ III nach Fränkel. Eine Auswertung mit Hilfe der individualisierten Kephalmetrie und der Tensoranalyse [Med. Diss.]. Rostock: Universität Rostock.

Bürger T (1999)

Magic Eye View: Eine neue Focus + Kontext-Technik zur Darstellung von Graphen [Diplomarbeit]: Universität Rostock.

Buschang PH, Nass GG, Walker GF (1982)

Principal components of craniofacial growth for white Philadelphia males and females between 6 and 22 years of age. *Am J Orthod* 82:508-512.

Buschang PH, Tanguay R, Demirjian A, LaPalme L, Turkewicz J (1988)

Mathematical models of longitudinal mandibular growth for children with normal and untreated Class II, division 1 malocclusion. *Eur J Orthod* 10(3):227-234.

Buschang PH, Tanguay R, Turkewicz J, Demirjian A, La Palme L (1986)

A polynomial approach to craniofacial growth: description and comparison of adolescent males with normal occlusion and those with untreated Class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 90(5):437-442.

Cevidane LH, Franco AA, Gerig G, Proffit WR, Slice DE, Enlow DH, Lederman HM, Amorim L, Scanavini MA, Vigorito JW (2005)

Comparison of relative mandibular growth vectors with high-resolution 3-dimensional imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 128(1):27-34.

Chung CH, Mongiovi VD (2003)

Craniofacial growth in untreated skeletal Class I subjects with low, average, and high MP-SN angles: a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(6):670-678.

de Freitas MR, Beltrao RT, Janson G, Henriques JF, Cancado RH (2004)

Long-term stability of anterior open bite extraction treatment in the permanent dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125:78-87.

Dhopatkar A, Bhatia S, Rock P (2002)

An investigation into the relationship between the cranial base angle and malocclusion. *Angle Orthod* 72(5):456-463.

dos Santos S, Brodlie K (2004)

Gaining understanding of multivariate and multidimensional data through visualization. *Comput Graph* 23:311-325.

Eckardt L, Gebert E, Harzer W (2001)

Tensor Analytical Evaluation of the Effects of a Skeletonized Activator in the Treatment of Class II, Division 1 Patients. *J Orofac Orthop* 62:337-349.

El-Batouti A, Øgaard B, Bishara SE (1994)

Longitudinal cephalometric standards for Norwegians between the ages of 6 and 18 years. *Eur J Orthod* 16:501-509.

Foley TF, Duncan PG (1997)

Soft tissue profile changes in late adolescent males. *Angle Orthod* 67(5):373-380.

Forsberg CM (1979)

Facial morphology and ageing: a longitudinal investigation of young adults. *Eur J Orthod* 1:15-23.

Franchi L, Baccetti T, McNamara JA, Jr. (2001)

Thin-Plate Spline Analysis of Mandibular growth. *Angle Orthod* 71:83-92.

Gesch D (2000)

A longitudinal study on growth in untreated children with Angle Class II, Division 1 malocclusion. *J Orofac Orthop* 61(1):20-33.

Gilmore WA (1950)

Morphology of the adult mandible in Class II, division 1 malocclusion and in excellent occlusion. *Angle Orthod* 20:137-146.

Godiawala RN, Joshi MR (1974)

A Cephalometric Comparison between Class II, Division 2 Malocclusion and Normal Occlusion. *Angle Orthod* 44:262-267.

Haavikko K, Rahkamo A (1989)

Age and skeletal type-related changes of some cephalometric parameters in Finnish girls. *Eur J Orthod* 11:283-289.

Hansen K, Pancherz H (1992)

Long-term effects of Herbst treatment in relation to normal growth development: a cephalometric study. *Eur J Orthod* 14(4):285-95.

Hasund A (1973)

Klinische Kephalexmetrie für die Bergen Technik: University of Bergen, Norway.

Heckmann U (1973)

Längsschnittuntersuchung über die Entwicklung des lückenlos angelegten Milchgebisses. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl Gesamte* 61(3):161-167.

Heckmann U (1975)

Längsschnittuntersuchungen der Gebißentwicklung und daraus resultierende Schlußfolgerungen für die kieferorthopädische Behandlungsplanung im Milchgebiss. *Stomatol DDR* 25(7):445-448.

Heckmann U, Grabowski R, Brune K (1974)

Über die Breiten- und Längenentwicklung des Gebisses. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl Gesamte* 62(5):429-435.

Hofrath H (1931)

Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. *Fortschr Kieferorthop* 1:232-236.

Hopkins JB, Murphy J (1971)

Variations in good occlusions. *Angle Orthod* 41(1):55-65.

Houston WJB, Stephens CD, Tulley WJ (1997)

A Textbook of Orthodontics. Oxford u.a.: Wright.

Humerfelt A, Slagvold O (1972)

Changes in occlusion and craniofacial pattern between 11 and 25 years of age. *Transactions of the European Orthodontic Society*:113-122.

Ingerslev CH, Solow B (1975)

Sex differences in craniofacial morphology. *Acta Odontol Scand* 33:85-94.

Ishii N, Deguchi T, Hunt NP (2001)

Craniofacial morphology of Japanese girls with Class II division 1 malocclusion. *J Orthod* 28(3):211-215.

Ishikawa H, Nakamura S, Iwasaki H, Kitazawa S (2000)

Seven parameters describing anteroposterior jaw relationships: Postpubertal prediction accuracy and interchangeability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 117:714-720.

Jacobson A (1975)

The "Wits" appraisal of jaw disharmony. *Am J Orthod* 67:125-138.

James G (1963)

Cephalometric analysis of 100 Angle Class II, division 1 malocclusions with special reference to the cranial base. *Dent Pract* 14:35-46.

Janson G, Caffer Dde C, Henriques JF, de Freitas MR, Neves LS (2004)

Stability of Class II, division 1 treatment with the headgear-activator combination followed by the edgewise appliance. *Angle Orthod* 74(5):594-604.

Jarabak JR, Fizzel JA (1972)

Technique and Treatment with Lightwire Edgewise Appliance. St. Louis: Mosby.

Johannsdottir B, Thordarson A, Magnusson TE (1999)

Craniofacial morphology in 6-year-old Icelandic children. *Eur J Orthod* 21(3):283-290.

Karlsen AT (1994)

Craniofacial characteristics in children with Angle Class II div. 2 malocclusion combined with extreme deep bite. *Angle Orthod* 64(2):123-130.

Karlsen AT, Krogstad O (1999)

Morphology and growth in convex profile facial patterns: a longitudinal study. *Angle Orthod* 69(4):334-344.

Keim DA, Müller W, Schumann H (2002)

Visual Data Mining. Eurographics. Saarbrücken.

Kerr WJ (1979)

A longitudinal cephalometric study of dento-facial growth from 5 to 15 years. *Br J Orthod* 6(3):115-121.

Kerr WJ, Hirst D (1987)

Craniofacial characteristics of subjects with normal and postnormal occlusions-a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 92(3):207-212.

Klink-Heckmann U (1988)

Variation des Gesichtsschädels bei regelrechtem Gebiß. Eine Darstellung mittels Tensoranalyse. *Stomatol DDR* 38(6):378-381.

Klink-Heckmann U, Fischer J (1997)

Rostocker Tabellen für die Vermessung von Fernröntgenseitenbildern bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Rostock: Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund-Kieferheilkd.

Kohonen T, Hynninen J, Kangas J, Laaksonen J (1995)

SOM_PAK The Self-Organizing Map Program. Version 3.1. Helsinki: Helsinki University of Technology, Laboratory of Computer and Information Science.

Kreuseler M, Nocke T, Schumann H (1999)

Integration of Cluster Analysis and Visualization Techniques for Visual Data Analysis. Rostock: Universität Rostock.

Lande MJ (1952)

Growth behaviour of the human bony facial profile as revealed by serial cephalometric roentgenology. *Am J Orthod* 22:78-90.

Little RJA, Rubin DB (1987)

Statistical Analysis with Missing Data. New York: John Wiley.

Lux CJ (2003)

Sagittal-, Transversal- und Vertikalentwicklung des Gesichtsschädels und der Kieferbasen in der präpubertären und pubertären Wachstumsphase sowie die pathologischen Veränderungen bei Anomalien der Angle-Klassen II/1 und II/2 [Habilitation]. Heidelberg: Universität Heidelberg.

Lux CJ, Burden D, Conradt C, Komposch G (2005)

Age related changes in sagittal relationship between the maxilla and the mandible. *Eur J Orthod* 27:568-578.

Lux CJ, Conradt C, Burden D, Komposch G (2003)

Dental arch widths and mandibular-maxillary base widths in Class II malocclusions between early mixed and permanent dentitions. *Angle Orthod* 73(6):674-85.

Lux CJ, Starke J, Rübel J, Stellzig A, Komposch G (2002)

Visualization of Individual Growth-Related Craniofacial Changes Based on Cephalometric Landmark Data: A Pilot Study. *Cleft Palate J* 39:341-352.

Macdonald KE, Kapust AJ, Turley PK (1999)

Cephalometric changes after the correction of Class III malocclusion with maxillary expansion/facemask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116:13-24.

Madsen H (2002)

Kommentar zu den Artikeln von Collett, You et al. und Kim et al. *Inf Orthod Kieferorthop* 34:265-268.

McNamara JA, Jr. (1984)

A method of cephalometric evaluation. *Am J Orthod* 86:449-469.

McNamara JA, Jr., Brudon WL, Kokich VG (2001)

Orthodontics and dentofacial orthopedics. Ann Arbor, Michigan: Needham Press, Inc.

Miyajima K, McNamara JA, Jr., Kimura T, Murata S, Iizuka T (1996)

Craniofacial structure of Japanese and European-American adults with normal occlusions and well balanced faces. *Am J Orthod and Dentofacial Orthopedics* 110: 431-438.

Moss ML, Skalak R, Patel H, Sen K, Moss-Salentijn L, Shinozuka M, Vilmann H (1985)

Finite element method modelling of craniofacial growth. *Am J Orthod* 87:453-472.

Moyers RE, Bookstein FL (1979)

The inappropriateness of conventional cephalometrics. *Am J Orthod* 75:599-617.

Nanda RS (1955)

The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms. *Am J Orthod* 41(9):658-673.

Nanda RS, Ghosh J (1995)

Longitudinal growth changes in the sagittal relationship of maxilla and mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 107(1):79-90.

Nanda RS, Merrill RM (1994)

Cephalometric assessment of sagittal relationship between maxilla and mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 105(4):328-344.

Nanda SK (1971)

Growth changes in skeletal-facial profile and their significance in orthodontic diagnosis. *Am J Orthod* 59:501-513.

Nelson WE, Higley B (1948)

The length of mandibular nasal bone in normal occlusion and Class I malocclusion compared to Class II, division 1 malocclusion. *Am J Orthod* 34:610-617.

Ngan PW, Byczek E, Scheick J (1997)

Longitudinal evaluation of growth changes in Class II division 1 subjects. *Semin Orthod* 3(4):222-231.

Palomo JM, Hunt DW, Jr., Hans MG, Broadbent BH, Jr. (2005)

A longitudinal 3-dimensional size and shape comparison of untreated Class I and Class II subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 127(5):584-591.

Pancherz H, Hoyer, B., Zieber K (1998)

An atlas of skeletofacial morphology in Class II malocclusion. Giessen: Department of Orthodontics, University of Giessen.

Rao R, Card SK (1994)

The table lens: merging graphical and symbolic representations in an interactive focus + context visualization for tabular information. New York: ACM Press.

Ricketts RM (1961)

Cephalometric analysis and synthesis. *Angle Orthod* 33:141-156.

Ricketts RM (1981)

Perspectives in the clinical application of cephalometrics. The first fifty years. *Angle Orthod* 51:115-150.

Ricketts RM (1982)

Divine proportion in facial esthetics. *Clin Plast Surg* 9:401-422.

Riesmeijer AM, Prah-Andersen B, Mascarenhas AK, Joo BH, Vig KW (2004)

A comparison of craniofacial Class I and Class II growth patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125(4):463-471.

Riolo ML, Moyers RE, McNamara JA, Jr., Hunter WS (1974)

An Atlas of Craniofacial Growth: Cephalometric Standards from The University School Growth Study. Ann Arbor: University of Michigan, Center for Human Growth and Development.

Rothstein T, Phan XL (2001)

Dental and facial skeletal characteristics and growth of females and males with Class II Division 1 malocclusion between the ages of 10 and 14 (revisited). Part II. Anteroposterior and vertical circumpubertal growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120(5):542-55.

Rothstein T, Yoon-Tarlie C (2000)

Dental and facial skeletal characteristics and growth of males and females with Class II, Division 1 malocclusion between the ages of 10 and 14 (revisited) - Part I: Characteristics of size, form, and position. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 117:320-332.

Ruf S, Baltromejus S, Pancherz H (2001)

Effective condylar growth and chin position changes in activator treatment: a cephalometric roentgenographic study. *Angle Orthod* 71(1):4-11.

Ruf S, Pancherz H (1999)

Temporomandibular joint remodeling in adolescents and young adults during Herbst treatment: A prospective longitudinal magnetic resonance imaging and cephalometric radiographic investigation.[see comment]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 115(6):607-18.

Salzmann JA (1950)

Principles of orthodontics. Philadelphia: Lippincott.

Sanborn RT (1955)

Differences between the facial skeletal patterns of Class III malocclusion and normal occlusion. *Angle Orthod* 25:208-222.

Savara BS, Singh IJ (1968)

Norms of Size and Annual Increments of Seven Anatomical Measures of Maxillae in Boys from Three to Sixteen Years of Age. *Angle Orthod* 38:104-120.

Savara BS, Tracy WE (1967)

Norms of size and annual increments for five anatomical measures of the mandible in boys from three to sixteen years of age. *Arch Oral Biol* 12(4):469-486.

Sayin MO, Turkkahraman H (2004)

Comparison of dental arch and alveolar widths of patients with Class II, division 1 malocclusion and subjects with Class I ideal occlusion. *Angle Orthod* 74(3):356-60.

Schönfeldt C (2006)

Entwicklung eines Analysetool zur visuellen Auswertung von Daten des Gesichtsschädelwachstums [Studienarbeit]: Universität Rostock.

Schulze C (1993)

Lehrbuch der Kieferorthopädie. Bd. 3. Berlin u. a.: Quintessenz-Verlags-GmbH.

Schumann H, Müller W (2000)

Visualisierung. Grundlagen und allgemeine Methoden. Berlin u. a.: Springer Verlag.

Seebach H, Virtel E (2006)

Datenmanagement im Framework [Projektarbeit]. Rostock: Universität Rostock.

Shrout PE, Fleiss JL (1979)

Intraclass correlation: Uses in assessing rater reliability. Psychol Bull 86:420-428.

Sinclair PM, Little RM (1985)

Dentofacial maturation of untreated normals. Am J Orthod 88(2):146-56.

Sinclair PM, Little RM (1983)

Maturation in untreated normal occlusion. Am J Orthod 83:114-123.

Solow B, Sarnäs KV (1982)

A comparison of the adult Swedish and Danish craniofacial morphology. Swed Dent J Suppl 15:229-237.

Steiner CC (1953)

Cephalometrics for you and me. Am J Orthod 39:729-755.

Taranger J, Hägg U (1980)

The timing and duration of adolescent growth. Eur J Orthod 38:57-67.

Thilander B, Persson M, Adolfsson U (2005)

Roentgen-cephalometric standards for a Swedish population. A longitudinal study between the ages of 5 and 31 years. Eur J Orthod 27:370-389.

Thilander B, Persson M, Skagius S (1982)

Roentgencephalometric standards for the facial skeleton and soft tissue profile of Swedish children and young adults. Swed Dent J Suppl 15:219-228.

Thordarson A, Johannsdottir B, Magnusson TE (2006)

Craniofacial changes in Icelandic children between 6 and 16 years of age--a longitudinal study. Eur J Orthod 28:152-165.

Tibana RH, Palagi LM, Miguel JA (2004)

Changes in dental arch measurements of young adults with normal occlusion--a longitudinal study. Angle Orthod 74(5):618-623.

Tracy WE, Savara BS (1966)

Norms of size and annual increments of five anatomical measures of the mandible in girls from 3 to 16 years of age. *Arch Oral Biol* 11(6):587-598.

Tweed CH (1954)

The Frankfurt mandibular incisor angle (FMIA) in orthodontic diagnosis, treatment and prognosis. *Angle Orthod* 24:121-169.

Ursi W, Trotman C, McNamara JA Jr., Behrents RG (1993)

Sexual dimorphism in normal craniofacial growth. *Angle Orthod* 63:47-56.

Varrela J (1998)

Early developmental traits in class II malocclusion. *Acta Odontol Scand* 56(6):375-377.

Werner H (1954)

Bestämning av överkäkens och underkäkens cefalometriska orientering. *Sven Tandlak Tidskr* 47:419-430.

West B, Welch KB, Galecki AT (2006)

Linear Mixed Models: A Practical Guide Using Statistical Software: Chapman and Hall/CRC.

Westphal C, Blaxton T (1998)

Data Mining Solutions - Methods and Tools for Solving Real-World Problems. New York: John Wiley & Sons; Inc.

Wilhelm BM, Beck FM, Lidral AC, Vig KW (2001)

A comparison of cranial base growth in Class I and Class II skeletal patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119(4):401-405.

Yavuz I, Ikbal A, Baydas B, Ceylan I (2004)

Longitudinal posteroanterior changes in transverse and vertical craniofacial structures between 10 and 14 years of age. *Angle Orthod* 74:624-629.

You ZH, Fishman LS, Rosenblum RE, Subtelny JD (2001)

Dentoalveolar changes related to mandibular forward growth in untreated Class II persons. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120(6):598-607; quiz 676.

Zeng XL, Forsberg C, Linder-Aronson S (1998)

Craniofacial morphology in Chinese and Swedish children with Angle Class I and Class II occlusal relations. *Australian Orthodontic Journal* 15:168-176.

8 DANKSAGUNG

Mein ganz besonderer Dank gilt *Frau Prof. Dr. Rosemarie Grabowski* für die langjährige und sehr persönliche Unterstützung bei der Verwirklichung meines Vorhabens. Trotz der schwierigen personellen Situation der Rostocker Zahnmedizin hat sie es mir ermöglicht, mich auf die vorliegende Arbeit zu konzentrieren und auch im Ausland dafür tätig zu sein.

Darüber hinaus möchte ich mich auch bei *Frau Prof. Dr. Ursula Klink-Heckmann* für die Überlassung des hervorragenden Untersuchungsmaterials bedanken. Ihrer Akribie bei der Organisation und Durchführung der Rostocker Wachstumsstudie gebührt mein großer Respekt.

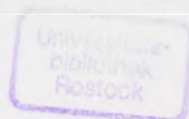
Ich möchte auch sehr herzlich *Frau Prof. Dr. Heidrun Schumann*, Institut für Computergrafik der Universität Rostock, für die hervorragende Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Rostocker Wachstumsanalyse Tools danken. Ihre Ideen waren von unschätzbarem Wert für die vorliegende Arbeit. Diesbezüglich geht mein Dank auch an Herrn *Riccardo Blumenthal*, Herrn *Christian Schönfeldt*, Herrn *Erik Virtel* und Herrn *Henning Seebach*, die maßgeblich an der Programmierung beteiligt waren.

Mein herzlicher Dank gilt auch *Kathy Welch*, Zentrum für statistische Konsultation und Forschung der Universität Michigan USA, und Herrn *PD Dr. Günther Kundt*, Institut für Medizinische Biometrie und Informatik der Universität Rostock, für ihre Betreuung in Bezug auf statistische Fragestellungen.

Herrn *Prof. Dr. James A. McNamara Jr.*, Herrn *Dr. Sunil Kapila* und Herrn *Dr. Lysle E. Johnston Jr.*, Abteilung für Kieferorthopädie und Kinderzahnheilkunde der Universität Michigan USA sowie Herrn *Dr. Tiziano Baccetti* und Herrn *Dr. Lorenzo Franchi*, Abteilung für Kieferorthopädie der Universität Florenz Italien, danke ich für die gute Zusammenarbeit während meines Forschungsaufenthaltes an der Universität Michigan.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Herrn *Gerd Borgwardt* für die Hilfe bei der Umsetzung der grafischen Arbeiten bedanken.

Schließlich gilt mein Dank der *Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie* und der *Max Kade Foundation* für die finanzielle Unterstützung des Projektes.



2008. 931

2007 Diss 190 (2)

ANHANG 1

RADIOGRAPHISCHE VERGRÖßERUNG ANDERER WACHSTUMSSTUDIEN UND KIEFER- ORTHOPÄDISCHER PRAXEN BZW. KLINIKEN

Wachstumsstudie/ Kieferorthopädische Praxis bzw. Klinik	Vergrößerung (in %)
Belfast Growth Study	8,5
Bolton Brush Growth Study	6
Burlington Growth Study	9,84
Denver Growth Study	4,0
Universität Florenz, Kieferorthopädische Klinik	10
Michigan Growth Study	12,92
Universität Rostock, Poliklinik für Kieferorthopädie (bis 1985)	7,14
Universität Rostock, Poliklinik für Kieferorthopädie (nach 1985)	8,91
Praxis Prof. Dr. Rolf Fränkel	~0
Praxis Drs. James A McNamara Jr., Patrick Nolan, Kristine West, and Donald Burkhardt	8

ANHANG 2

DEFINITION KEPHALOMETRISCHER ANGULÄRER UND LINEARER MESSWERTE

Schädelbasis

NSBa	Schädelbasisknickungswinkel, von den Punkten Nasion, Sella und Basion eingeschlossener Winkel
NSAr	von den Punkten Nasion, Sella und Artikulare eingeschlossener Winkel
S-N	vordere Schädelbasis, linearer Abstand zwischen Sella und Nasion
S-Ba	hintere Schädelbasis, linearer Abstand zwischen Sella und Basion
S-Ar	linearer Abstand zwischen Sella und Artikulare

Maxilla anterior-posterior skelettal

SNA	von den Punkten Sella, Nasion und A-Punkt eingeschlossener Winkel
Pt A – N Vert	senkrechter Abstand von der Nasionsenkrechten zum A-Punkt, Nasionsenkrechte wird konstruiert durch eine Senkrechte vom Nasion auf die Frankfurter-Horizontale. Der Messwert ist positiv wenn der A-Punkt vor der Nasionsenkrechten liegt.
Co-Pt A	Mittelgesichtslänge, linearer Abstand zwischen Condylion und A-Punkt
Spa-Spp	Oberkieferlänge, linearer Abstand zwischen Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior

Mandibula anterior-posterior skelettal

SNB	von den Punkten Sella, Nasion und B-Punkt eingeschlossener Winkel
SNPog	von den Punkten Sella, Nasion und Pogonion eingeschlossener Winkel
Pog-N Vert	senkrechter Abstand von der Nasionsenkrechten zum Pogonion, Der Messwert ist positiv wenn das Pogonion vor der Nasionsenkrechten liegt.
Co-Gn	effektive Unterkieferlänge, linearer Abstand zwischen Condylion und anatomischem Gnathion

Ar-Gn	linearer Abstand zwischen Artikulare und anatomischem Gnathion
Co-Go	Länge des Ramus mandibulae, linearer Abstand zwischen Condylion und anatomischem Gonion
Go-Me	Länge des Corpus mandibulae, linearer Abstand zwischen anatomischem Gonion und Menton

Intermaxillär

ANB	von den Punkten A-Punkt, Nasion und B-Punkt eingeschlossener Winkel
Wits	Wits-Wert, entlang der funktionellen Okklusionsebene gemessener linearer Abstand zwischen den Senkrechten der im A-Punkt und B-Punkt gefällten Senkrechten auf die funktionelle Okklusionsebene, Der Messwert ist positiv wenn der A-Punkt vor dem B-Punkt liegt.
Mx/Md diff	maxillomandibuläre Differenz, Differenz zwischen effektiver Unterkieferlänge (Co-Gn) und Mittelgesichtslänge (Co-A)

Vertikal skelettal

FH-PP	von Frankfurter Horizontalen (Po-Or) und Oberkieferplanum (Spa-Spp) eingeschlossener Winkel Der Messwert ist positiv wenn das Oberkieferplanum bezüglich der Frankfurter Horizontalen im Uhrzeigersinn rotiert ist.
FH-MP	von Frankfurter Horizontalen (Po-Or) und Mandibularplanum (Me-Goi) eingeschlossener Winkel
SN-FH	von vorderer Schädelbasis (S-N) und Frankfurter Horizontalen (Po-Or) eingeschlossener Winkel
SN-PP	von vorderer Schädelbasis (S-N) und Oberkieferplanum (Spa-Spp) eingeschlossener Winkel
SN-MP	von vorderer Schädelbasis (S-N) und Mandibularplanum (Me-Goi) eingeschlossener Winkel
PP-MP	von Oberkieferplanum (Spa-Spp) und Mandibularplanum (Me-Goi) eingeschlossener Winkel
ArGoMe	Unterkieferwinkel, von den Punkten Artikulare, anatomischem Gonion und Menton eingeschlossener Winkel

CoGoMe	von den Punkten Condylion, anatomischem Gonion und Menton eingeschlossener Winkel
NSGn	von den Punkten Nasion, Sella und anatomischem Gnathion eingeschlossener Winkel
N-Me	vordere Gesichtshöhe, linearer Abstand zwischen Nasion und Menton
N-Spa	vordere obere Gesichtshöhe, linearer Abstand zwischen Nasion und Spina nasalis anterior
Spa-Me	vordere untere Gesichtshöhe, linearer Abstand zwischen Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior
S-Go	hintere Gesichtshöhe, linearer Abstand zwischen Sella und anatomischem Gonion

Maxilla dentoalveolär

OK1-NA	von der Längsachse des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes (I OK1-A OK1) und der von Nasion und A-Punkt gebildeten Geraden eingeschlossener Winkel
OK1-SN	von der Längsachse des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes (I OK1-A OK1) und der vorderen Schädelbasis (S-N) eingeschlossener Winkel
OK1-FH	von der Längsachse des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes (I OK1-A OK1) und der Frankfurter Horizontalen (Po-Or) eingeschlossener Winkel
OK1-NA_	linearer Abstand zwischen dem labialsten Punkt der Krone des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes und der von Nasion und A-Punkt gebildeten Geraden
OK1-Pt A Vert	senkrechter Abstand zwischen der im A-Punkt errichteten Senkrechten auf der Frankfurter Horizontalen und dem labialsten Punkt der Krone des am meisten protrudiert stehenden oberen Schneidezahnes Der Messwert ist positiv wenn die Fazialfläche des oberen Schneidezahnes vor dem A-Punkt liegt.

Mandibula dentoalveolär

UK1-NB	von der Längsachse des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes (I UK1-A UK1) und der von Nasion und B-Punkt gebildeten Geraden eingeschlossener Winkel
--------	--

UK1-MP	von der Längsachse des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes (I UK1-A UK1) und dem Mandibularplanum (Me-Goi) eingeschlossener Winkel
UK1-NB_	linearer Abstand zwischen dem labialsten Punkt der Krone des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes und der von Nasion und B-Punkt gebildeten Geraden
UK1-Pt A Pog	senkrechter Abstand zwischen dem Inzisalpunkt des am meisten protrudiert stehenden unteren Schneidezahnes und der von A-Punkt und Pogonion gebildeten Geraden

Interdental

OK1-UK1	Interinzisalwinkel, von den Längsachsen der am meisten protrudiert stehenden oberen und unteren Schneidezähne eingeschlossener Winkel
OJ Faz	linearer Abstand zwischen den fazialsten Punkten der Schneidezahnkronen der am meisten protrudiert stehenden oberen und unteren Inzisivi
OJ Incis	linearer Abstand zwischen den Inzisalpunkten der am meisten protrudiert stehenden oberen und unteren Schneidezähne
OB	vertikaler Abstand zwischen den Inzisalpunkten der am meisten protrudiert stehenden oberen und unteren Schneidezähne Dieser Messwert ist positiv wenn die Spitze des oberen mittleren Schneidezahnes die des unteren Schneidezahnes bedeckt.
OK6-UK6	entlang der funktionellen Okklusionsebene gemessener Abstand zwischen den mesialen Kontaktpunkten der oberen und unteren ersten Molaren

Weichteilanalyse

Nasolab	Nasolabialwinkel, von den Punkten Columella, Subnasale und Labiale superior eingeschlossener Winkel
OL Neig	Oberlippenneigung, von der Gerade der Punkte Labiale superior und Subnasale und der Nasionsenkrechten eingeschlossener Winkel, Nasionsenkrechte wird konstruiert durch eine Senkrechte vom Nasion auf die Frankfurter-Horizontale.
OL-E	linearer Abstand zwischen Labiale superior und der Geraden der Punkte Pronasale und Hauptpogonion (Ästhetik-Linie nach Ricketts)

UL-E	linearer Abstand zwischen Labiale inferior und der Geraden der Punkte Pronasale und Hauptpogonion (Ästhetik-Linie nach Ricketts)
OL Protr	linearer Abstand zwischen Labiale superior und der Geraden der Punkte Subnasale und Hauptpogonion
UL Protr	linearer Abstand zwischen Labiale inferior und der Geraden der Punkte Subnasale und Hauptpogonion
Mentolab	Sulcus mentolabialis, linearer Abstand zwischen Supramentale und der Geraden der Punkte Labiale inferior und Hauptpogonion

ANHANG 3

3.1 ERGEBNISSE DER STATISTISCHEN TESTS AUF NORMALVERTEILUNG

Test auf Normalverteilung (n=32)

Kephalometrische Variable	p-Wert*
Schädelbasis	
S-N (mm)	0,001
S-Ba (mm)	0,568
S-Ar (mm)	0,576
NSBa (°)	< 0,001
NSAr (°)	0,003
Maxilla A-P Skelettal	
SNA (°)	0,001
Pt A-N Vert (mm)	< 0,001
Co-Pt A (mm)	0,011
Spa-Spp (mm)	< 0,001
Mandibula A-P Skelettal	
SNB (°)	0,035
SNPog (°)	0,355
Pog-N Vert (mm)	< 0,001
Co-Gn (mm)	< 0,001
Ar-Gn (mm)	0,007
Co-Go (mm)	0,021
Go-Me (mm)	< 0,001
Intermaxillär	
ANB (°)	0,072
Wits (mm)	0,179
Mx/Mn diff (mm)	0,094
Vertikal Skelettal	
FH-PP (°)	< 0,001
FMA (°)	< 0,001
SN-FH (°)	0,280
SN-PP (°)	< 0,001
SN-MP (°)	< 0,001
PP-MP (°)	0,151
ArGoMe (°)	0,055
CoGoMe (°)	0,291
NSGn (°)	0,230
N-Me (mm)	< 0,001
N-Spa (mm)	< 0,001
Spa-Me (mm)	< 0,001
S-Go (mm)	0,050
Maxilla Dentoalveolär	
OK1-NA (°)	0,106
OK1-NA_ (mm)	< 0,001
OK1-SN (°)	0,277
OK1-FH	0,350
OK1-Pt A Vert (mm)	0,112

Fortsetzung der Tabelle

Mandibula Dentoalveolär

UK1-NB (°)	0,369
UK1-NB ₋ (mm)	< 0,001
UK1-MP (°)	0,005
UK1-Pt A Pog (mm)	0,486

Interdental

OJ Faz (mm)	0,009
OJ Incis (mm)	0,008
OB (mm)	0,005
OK1-UK1 (°)	0,223
OK6-UK6 (mm)	0,001

Weichteilanalyse

OL-E (mm)	0,140
UL-E (mm)	0,001
Nasolab (°)	< 0,001
OL Neig (°)	0,034
OL-Protr (mm)	0,001
UL-Protr (mm)	< 0,001
Mentolab (mm)	0,058

*Shapiro-Wilks' Test

3.2 ERGEBNISSE DER METHODENFEHLERBERECHNUNGEN

Methodenfehler für kephalometrische Variablen, Intra-Klassen-Korrelationskoeffizient

Kephalometrische Variable	Durchzeichnung 1 vs. Durchzeichnung 2 n=10		
	mittlere Differenz	SD	IKK*
Schädelbasis			
S-N (mm)	0,01	0,4	0,993
S-Ba (mm)	0,1	0,8	0,971
S-Ar (mm)	0,01	0,4	0,989
NSBa (°)	0,01	1,4	0,954
NSAr (°)	0,1	1,1	0,951
Maxilla A-P Skelettal			
SNA (°)	0,1	1,2	0,938
Pt A-N Vert (mm)	0,4	0,7	0,960
Co-Pt A (mm)	0,3	0,8	0,989
Spa-Spp (mm)	0,4	0,8	0,971
Mandibula A-P Skelettal			
SNB (°)	0,01	0,7	0,973
SNPog (°)	0,01	0,7	0,973
Pog-N Vert (mm)	0,6	1,0	0,979
Co-Gn (mm)	0,3	0,7	0,996
Ar-Gn (mm)	0,1	0,6	0,997
Co-Go (mm)	0,1	0,6	0,994
Go-Me (mm)	0,01	0,8	0,990
Intermaxillär			
ANB (°)	0,1	0,5	0,950
Wits (mm)	0,1	0,7	0,910
Mx/Mn diff (mm)	0,1	0,6	0,986
Vertikal Skelettal			
FH-PP (°)	0,3	0,8	0,972
FH-MP (°)	0,3	0,7	0,987
SN-FH (°)	0,3	1,0	0,893
SN-PP (°)	0,1	0,9	0,945
SN-MP (°)	0,1	0,8	0,983
PP-MP (°)	0,01	0,7	0,990
ArGoMe (°)	0,01	0,8	0,988
CoGoMe (°)	0,1	1,0	0,977
NSGn (°)	0,01	0,7	0,976
N-Me (mm)	0,01	0,9	0,993
N-Spa (mm)	0,01	0,8	0,974
Spa-Me (mm)	0,2	0,5	0,995
S-Go (mm)	0,1	0,5	0,996
OK1-NA (°)	0,2	1,7	0,963

Fortsetzung der Tabelle

Maxilla dentoalveolär

OK1-NA (°)	0,2	1,7	0,963
OK1-NA_ (mm)	0,2	0,6	0,884
OK1-SN (°)	0,01	1,8	0,936
OK1-FH (°)	0,3	1,7	0,952
OK1-Pt A Vert (mm)	0,1	0,4	0,915

Mandibula**dentoalveolär**

UK1-NB (°)	0,01	1,6	0,943
UK1-NB_ (mm)	0,1	0,3	0,980
UK1-MP (°)	0,1	1,7	0,935
UK1-Pt A Pog (mm)	0,01	0,3	0,983

Interdental

OJ Faz (mm)	0,2	0,4	0,786
OJ Incis (mm)	0,1	0,3	0,848
OB (mm)	0,2	0,4	0,974
OK1-UK1 (°)	0,1	2,2	0,950
OK6-UK6 (mm)	0,1	0,4	0,885

Weichteilanalyse

OL-E (mm)	0,1	0,6	0,927
UL-E (mm)	0,3	0,6	0,946
Nasolab (°)	1,3	8,8	0,755
OL Neig (°)	0,2	4,1	0,852
OL Protr (mm)	0,01	0,4	0,835
UL Protr (mm)	0,2	0,6	0,906
Mentolab (mm)	0,1	0,4	0,941

*Intraklassenkorrelationskoeffizient (IKK)

ANHANG 4

ERGEBNISSE DER KEPHALOMETRISCHEN ANALYSE

4.1 LONGITUDINALENTWICKLUNG DER KEPHALOMETRISCHEN VARIABLEN UND GESCHLECHTSSPEZIFISCHER VERGLEICH IN ABHÄNGIGKEIT VOM CHRONOLOGISCHEN ALTER



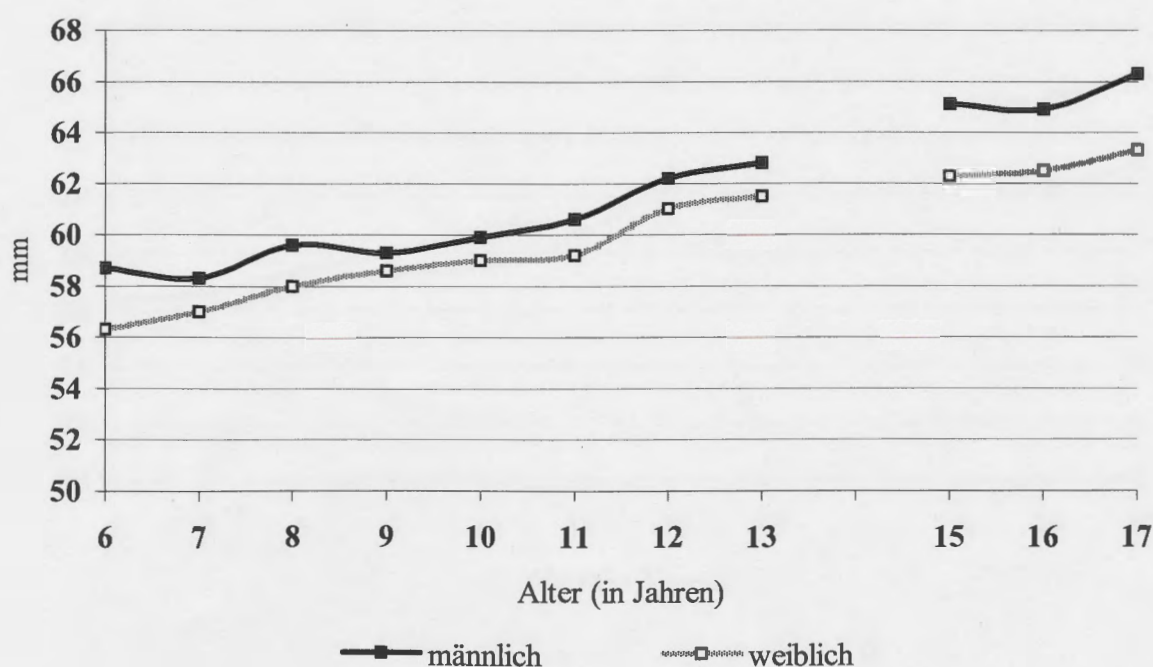


Schädelbasis

Länge vorderer Schädelbasis
S-N (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	58,7	2,1	54,6	62,5	14	56,3	1,7	52,5	58,6	0,066
7	14	58,3	2,2	54,9	62,0	12	57,0	2,0	53,1	59,3	0,099
8	15	59,6	2,1	55,9	63,7	16	58,0	1,9	54,4	61,1	0,102
9	11	59,3	1,8	55,8	61,3	13	58,6	1,9	54,5	61,7	0,124
10	16	59,9	2,5	56,0	64,0	15	59,0	2,1	54,5	62,8	0,252
11	15	60,6	2,4	56,6	63,7	14	59,2	2,4	54,6	63,5	0,088
12	14	62,2	2,6	58,2	65,9	11	61,0	2,7	56,5	65,5	0,267
13	15	62,8	2,6	58,5	66,6	15	61,5	2,4	56,9	65,2	0,229
15	14	65,1	3,0	59,3	69,5	13	62,3	2,4	57,6	65,4	0,003
16	10	64,9	2,7	60,3	68,8	8	62,5	1,6	60,0	64,1	0,002
17	10	66,3	3,2	60,9	70,9	6	63,3	1,7	60,2	65,0	<0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



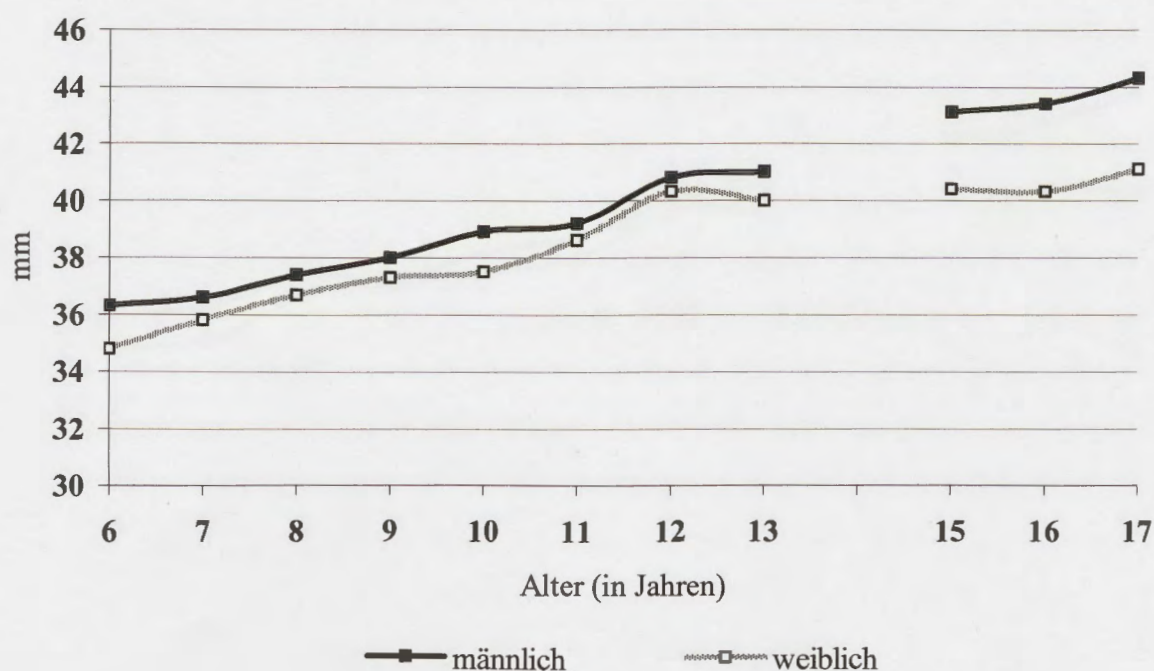


Schädelbasis

Länge hinterer Schädelbasis
S-Ba (mm)


Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	36,3	1,8	31,3	38,5	14	34,8	1,6	32,9	37,6	0,226
7	14	36,6	1,8	32,6	39,3	12	35,8	1,7	33,7	38,7	0,343
8	15	37,4	2,1	33,5	42,0	16	36,7	1,4	34,8	39,6	0,446
9	11	38,0	2,1	34,3	41,0	13	37,3	1,7	34,4	40,6	0,429
10	16	38,9	2,0	34,7	42,3	15	37,5	2,2	34,0	41,0	0,118
11	15	39,2	2,8	34,8	44,7	14	38,6	1,7	35,2	41,3	0,468
12	14	40,8	2,9	36,4	44,7	11	40,3	1,5	38,3	42,9	0,331
13	15	41,0	2,9	36,4	46,7	15	40,0	1,9	35,7	42,2	0,361
15	14	43,1	3,9	35,7	48,4	13	40,4	2,0	36,2	42,6	0,004
16	10	43,4	3,8	37,1	49,0	8	40,3	1,4	38,0	42,2	0,008
17	10	44,3	3,8	39,2	49,7	6	41,1	2,6	36,7	44,0	0,018

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



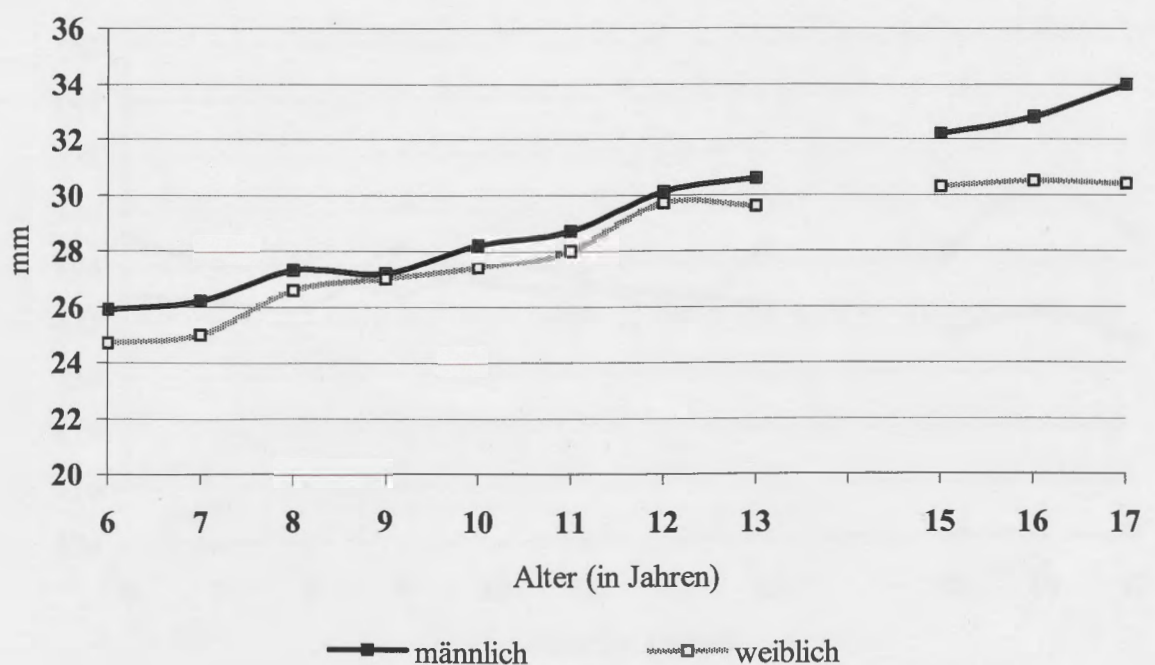
Schädelbasis

Länge seitlicher Schädelbasis
S-Ar (mm)

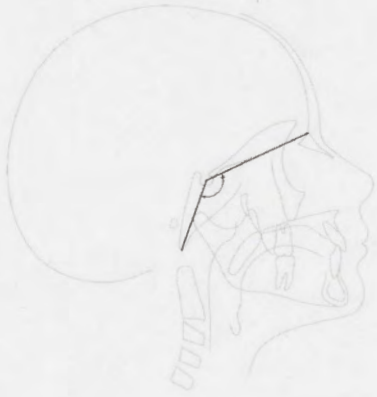


Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	25,9	1,8	22,7	27,9	14	24,7	1,5	22,7	27,9	0,219
7	14	26,2	1,8	23,2	29,4	12	25,0	1,4	22,2	27,1	0,197
8	15	27,3	2,3	23,1	32,2	16	26,6	1,8	24,2	29,9	0,307
9	11	27,2	2,3	22,8	31,3	13	27,0	1,6	23,6	29,9	0,610
10	16	28,2	2,0	24,7	32,0	15	27,4	1,9	24,1	30,9	0,379
11	15	28,7	2,0	25,0	31,7	14	28,0	1,4	25,7	30,2	0,296
12	14	30,1	2,3	26,5	34,3	11	29,7	1,9	26,5	32,4	0,308
13	15	30,6	2,2	27,6	35,1	15	29,6	1,5	26,9	31,7	0,149
15	14	32,2	2,2	27,7	36,5	13	30,3	1,6	27,7	32,8	0,011
16	10	32,8	1,7	30,6	36,1	8	30,5	2,0	28,2	33,7	0,055
17	10	34,0	1,8	31,2	37,3	6	30,4	1,9	28,0	32,6	0,002

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



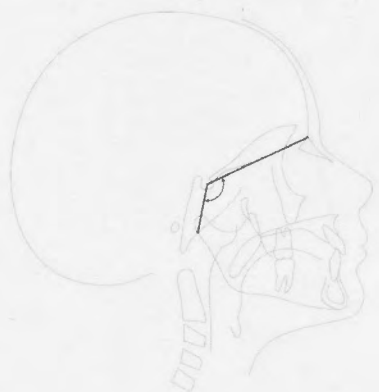
Schädelbasis

Schädelbasisknickungswinkel
NSBa (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	133,0	6,0	121,9	140,5	14	135,0	4,8	127,0	141,2	0,423
7	14	132,7	5,8	120,6	140,7	12	134,1	4,0	126,6	139,4	0,612
8	15	132,5	5,1	121,2	138,0	16	133,9	5,6	124,4	143,9	0,476
9	11	134,6	5,3	121,1	138,5	13	133,0	5,3	124,3	141,6	0,994
10	16	133,3	5,4	121,8	140,1	15	134,1	5,7	125,0	142,6	0,658
11	15	133,1	5,1	122,2	140,4	14	133,5	5,3	125,1	141,7	0,722
12	14	132,9	5,1	122,5	140,7	11	132,2	5,9	124,2	141,0	0,684
13	15	132,4	4,9	121,9	138,3	15	134,6	5,2	126,1	141,7	0,360
15	14	131,4	4,2	123,4	138,0	13	134,4	5,4	124,9	141,7	0,154
16	10	132,2	4,8	124,2	139,0	8	136,9	3,3	132,6	142,3	0,358
17	10	131,1	5,0	123,5	138,1	6	135,0	5,7	125,0	142,3	0,215

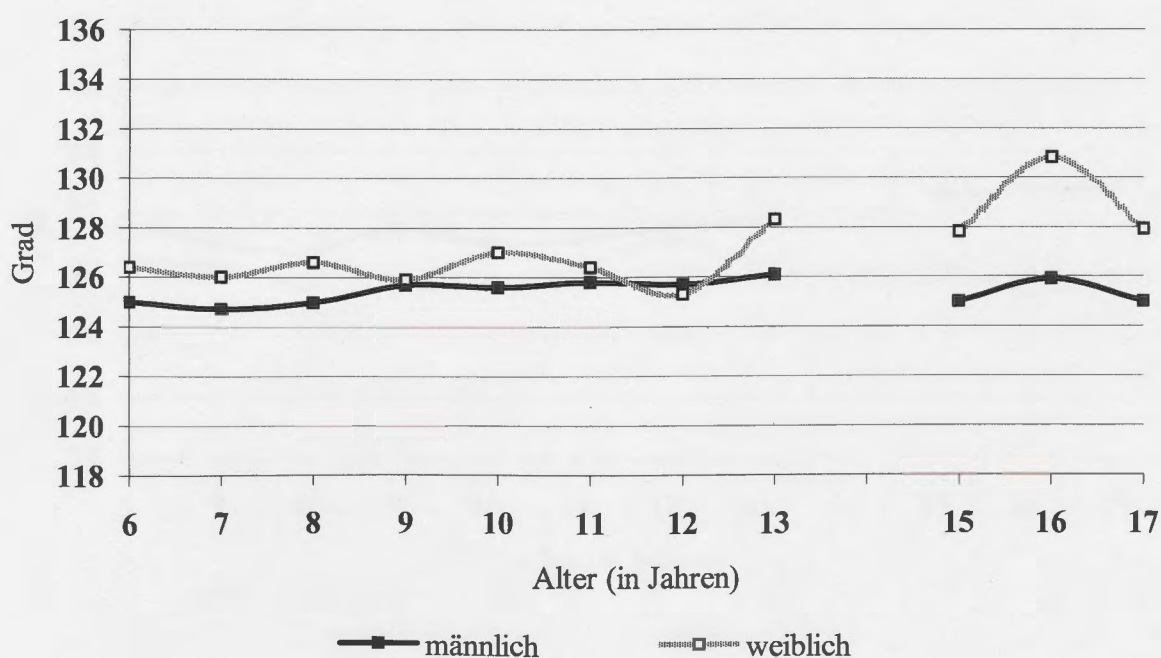
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur





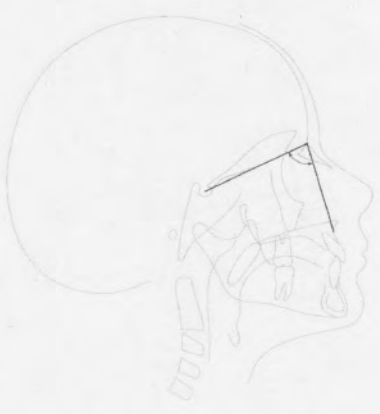
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	125,0	6,6	113,0	133,4	14	126,4	5,4	117,8	135,4	0,677
7	14	124,7	5,6	114,3	131,9	12	126,0	4,4	117,7	131,9	0,454
8	15	125,0	5,1	113,9	131,1	16	126,6	6,4	115,9	138,0	0,371
9	11	125,7	4,7	115,4	131,9	13	125,9	5,9	116,1	136,1	0,481
10	16	125,6	4,4	117,1	132,4	15	127,0	6,3	116,7	136,7	0,420
11	15	125,8	4,3	115,9	131,4	14	126,4	5,6	117,7	135,7	0,547
12	14	125,7	4,2	116,8	131,0	11	125,3	5,4	116,5	133,2	0,476
13	15	126,1	4,1	118,2	133,2	15	128,3	5,8	117,1	137,4	0,333
15	14	125,0	3,6	119,2	130,5	13	127,8	6,1	117,1	135,8	0,224
16	10	125,9	3,4	119,6	129,6	8	130,8	5,3	124,0	138,3	0,262
17	10	125,0	4,3	118,3	131,0	6	127,9	6,3	117,6	137,1	0,212

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



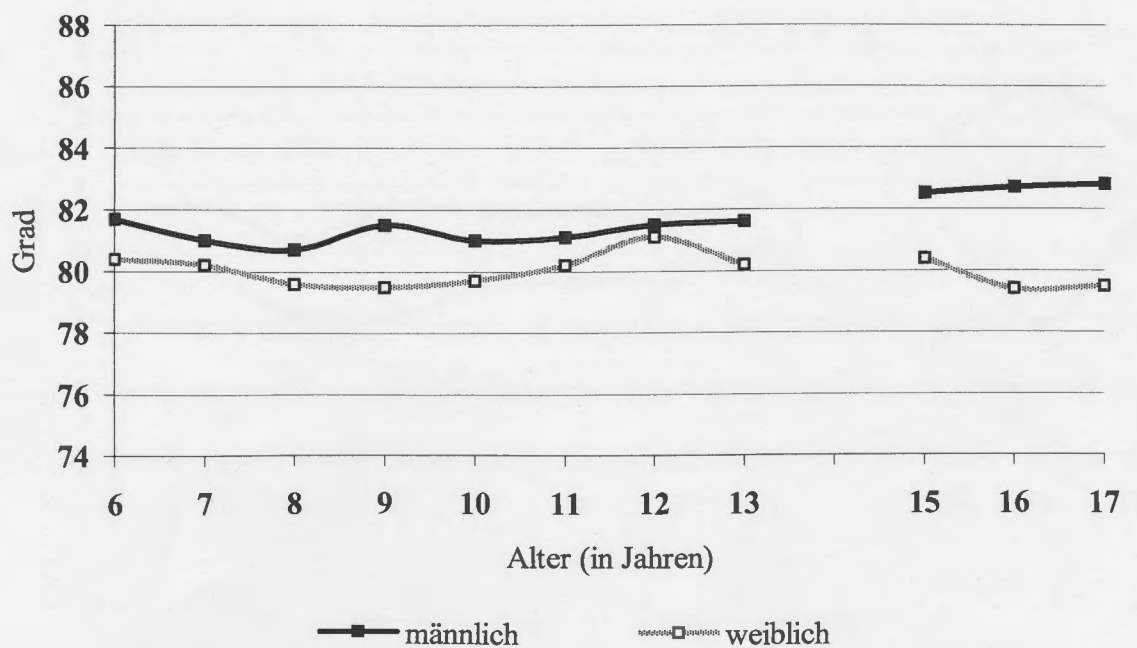
Maxilla A-P Skelettal

SNA (°)



Alter	Anzahl n	männlich				Anzahl n	weiblich				p-Wert*
		\bar{x}	SD	Min	Max		\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	81,7	3,9	73,8	87,4	14	80,4	3,5	75,3	86,9	0,799
7	14	81,0	3,6	73,7	87,4	12	80,2	3,3	74,7	86,6	0,530
8	15	80,7	3,7	73,7	87,5	16	79,6	3,2	73,4	85,2	0,343
9	11	81,5	3,3	78,2	88,0	13	79,5	3,3	74,6	86,2	0,391
10	16	81,0	3,4	74,8	87,4	15	79,7	3,8	73,6	86,0	0,359
11	15	81,1	3,4	75,6	87,6	14	80,2	3,6	74,2	87,0	0,533
12	14	81,5	3,5	75,8	88,1	11	81,1	3,7	74,3	87,5	0,293
13	15	81,6	3,6	75,4	88,5	15	80,2	3,8	73,7	86,9	0,274
15	14	82,5	4,0	75,4	89,6	13	80,4	3,1	75,2	86,7	0,134
16	10	82,7	4,2	75,6	88,9	8	79,4	4,2	74,3	84,5	0,486
17	10	82,8	3,7	74,1	87,3	6	79,5	2,8	76,3	84,1	0,254

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



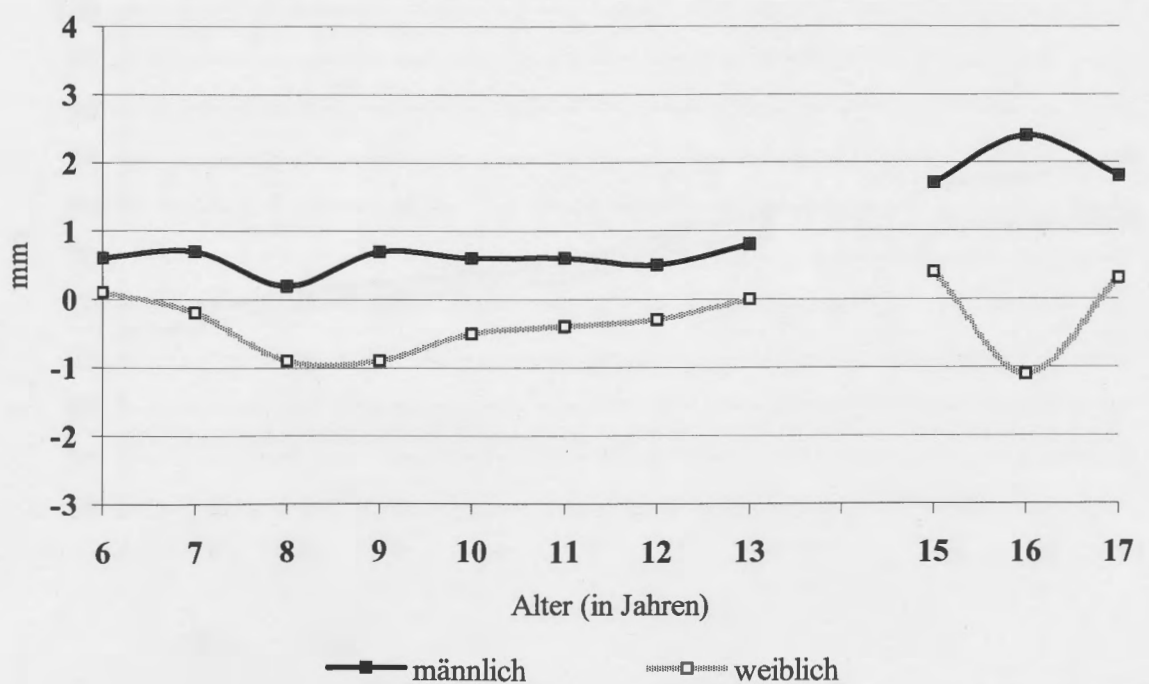


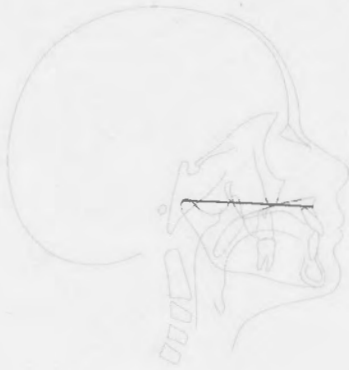
Maxilla A-P Skelettal

Pt A - N Vert (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	0,6	2,4	-3,5	4,9	14	0,1	2,7	-4,9	4,5	0,739
7	14	0,7	2,0	-2,8	3,7	12	-0,2	2,6	-5,3	4,1	0,404
8	15	0,2	2,3	-3,5	3,9	16	-0,9	2,6	-5,5	3,2	0,258
9	11	0,7	2,3	-2,5	4,2	13	-0,9	2,4	-5,3	4,1	0,231
10	16	0,6	2,4	-3,5	3,9	15	-0,5	2,8	-4,8	3,4	0,279
11	15	0,6	2,3	-3,0	5,5	14	-0,4	2,8	-4,7	3,9	0,308
12	14	0,5	2,7	-2,6	5,3	11	-0,3	2,9	-5,5	3,7	0,215
13	15	0,8	2,7	-3,6	5,8	15	0,0	3,1	-4,7	3,9	0,306
15	14	1,7	3,1	-2,8	6,7	13	0,4	2,7	-3,4	4,3	0,183
16	10	2,4	2,9	-2,8	6,7	8	-1,1	3,0	-4,6	3,7	0,154
17	10	1,8	2,9	-3,7	5,0	6	0,3	3,2	-3,9	3,6	0,245

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur





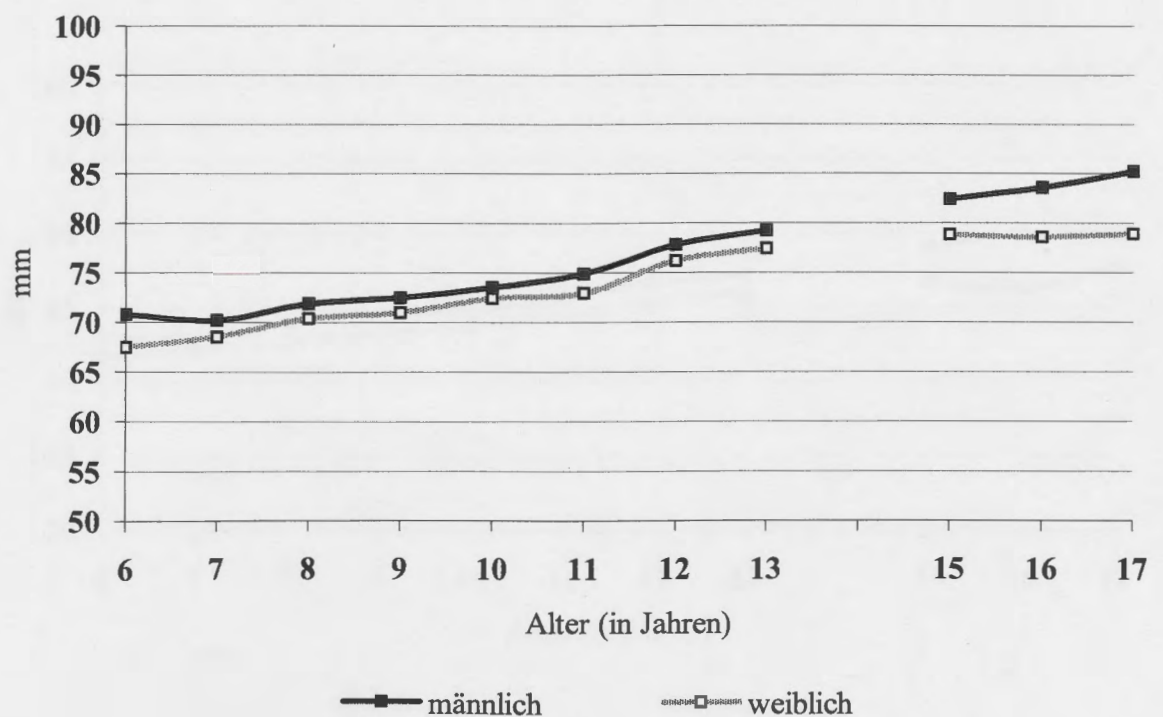
Mittelgesicht

Mittelgesichtslänge

Co – A (mm)

Alter	Anzahl n	männlich				Anzahl n	weiblich				p-Wert*
		\bar{x}	SD	Min	Max		\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	70,8	2,3	66,9	74,9	14	67,5	2,4	61,4	69,9	0,158
7	14	70,2	2,7	65,4	74,5	12	68,5	3,1	61,7	71,6	0,196
8	15	71,9	3,3	66,4	77,5	16	70,4	3,1	64,2	74,9	0,214
9	11	72,5	3,3	66,7	77,7	13	71,0	3,3	63,4	75,7	0,272
10	16	73,5	3,2	68,6	78,8	15	72,4	3,2	65,5	77,6	0,410
11	15	74,9	3,9	68,8	81,3	14	72,9	3,4	66,5	78,3	0,173
12	14	77,8	3,8	71,4	83,6	11	76,2	3,4	69,9	81,3	0,155
13	15	79,2	4,4	70,8	85,9	15	77,4	3,4	70,5	81,8	0,182
15	14	82,4	4,7	73,6	89,0	13	78,8	3,4	71,6	83,3	0,007
16	10	83,6	4,8	73,8	89,9	8	78,6	3,7	70,9	83,4	0,005
17	10	85,2	5,1	74,3	91,2	6	78,9	4,4	71,6	84,1	0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur

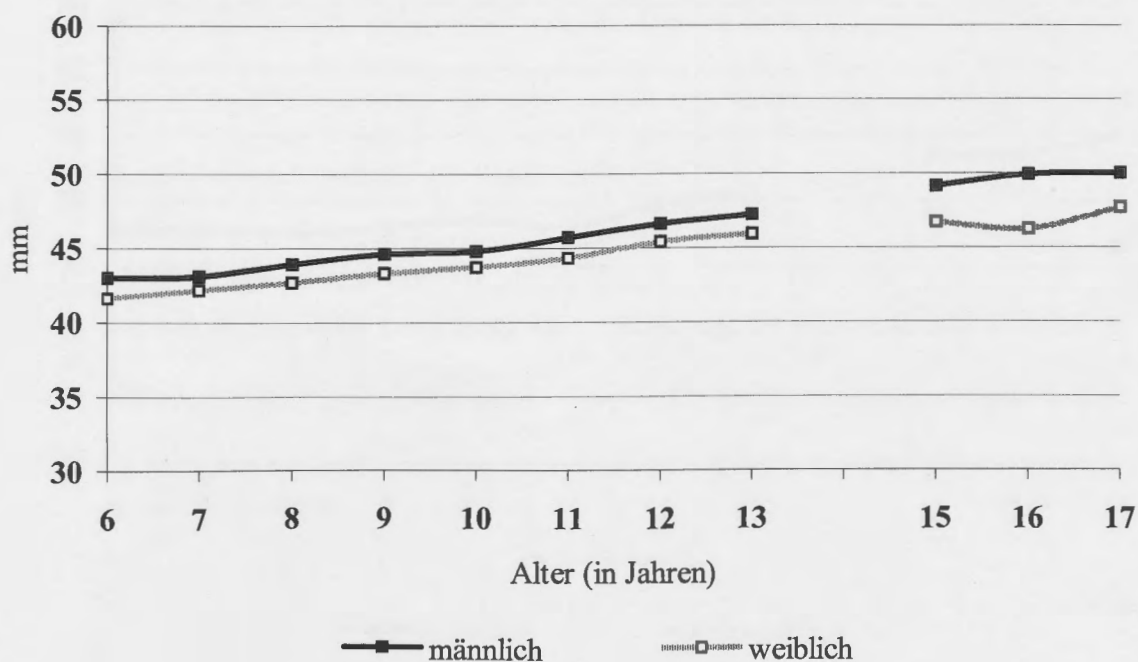


Maxilla

Oberkieferlänge
Spa – Spp (mm)

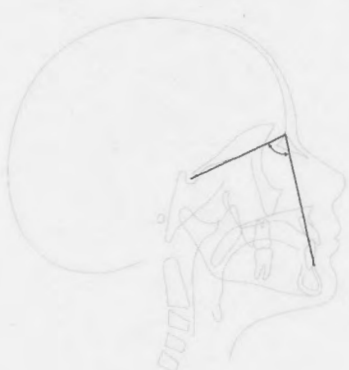
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	43,0	2,2	39,2	46,9	14	41,6	2,2	37,0	44,9	0,488
7	14	43,1	2,7	38,1	47,9	12	42,2	2,2	37,1	45,1	0,199
8	15	43,9	2,6	39,7	48,1	16	42,7	2,0	37,3	45,4	0,263
9	11	44,6	3,0	39,6	49,3	13	43,3	2,3	38,2	47,1	0,184
10	16	44,8	2,7	39,8	49,7	15	43,7	2,4	38,6	48,3	0,278
11	15	45,7	3,0	40,8	51,7	14	44,3	2,5	39,5	48,8	0,166
12	14	46,6	3,4	41,4	52,0	11	45,4	2,6	40,3	49,6	0,211
13	15	47,2	3,3	41,7	52,4	15	45,9	2,5	40,8	50,9	0,218
15	14	49,1	3,1	44,0	53,6	13	46,7	2,5	41,3	51,8	0,024
16	10	49,9	3,1	44,2	54,0	8	46,2	2,7	40,9	49,1	0,022
17	10	50,0	2,9	44,2	53,7	6	47,7	3,6	41,5	52,6	0,018

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



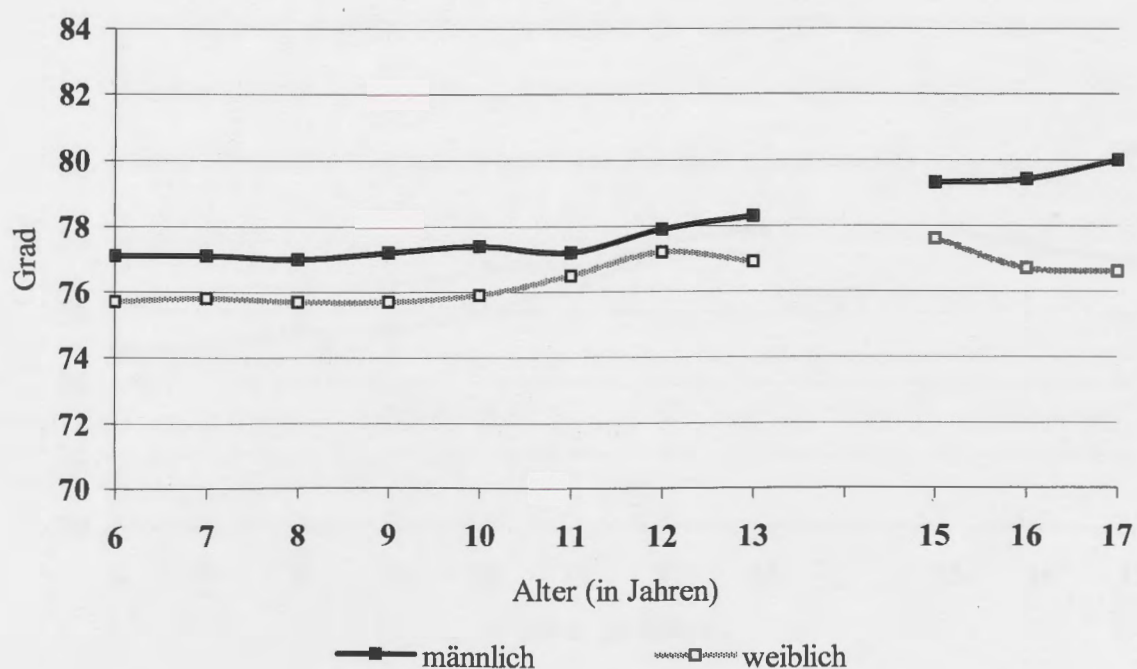
Mandibula A-P Skelettal

SNB (°)



Alter	Anzahl n	männlich				Anzahl n	weiblich				p-Wert*
		\bar{x}	SD	Min	Max		\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	77,1	3,6	70,2	82,9	14	75,7	3,0	70,4	80,1	0,434
7	14	77,1	3,3	72,1	83,5	12	75,8	2,7	70,3	80,0	0,237
8	15	77,0	3,2	72,4	84,8	16	75,7	2,6	71,1	80,2	0,174
9	11	77,2	3,2	72,6	83,9	13	75,7	2,7	70,4	78,9	0,276
10	16	77,4	2,7	73,8	84,3	15	75,9	2,9	70,3	79,9	0,152
11	15	77,2	2,6	74,3	83,4	14	76,5	2,7	72,1	80,6	0,455
12	14	77,9	2,6	74,4	84,1	11	77,2	3,0	72,1	81,4	0,167
13	15	78,3	2,6	74,6	84,5	15	76,9	3,0	72,7	81,8	0,183
15	14	79,3	2,9	74,0	84,1	13	77,6	2,2	74,5	80,9	0,096
16	10	79,4	3,1	73,8	84,3	8	76,7	2,5	73,8	80,0	0,199
17	10	80,0	3,0	73,3	84,5	6	76,6	2,7	72,9	80,3	0,060

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



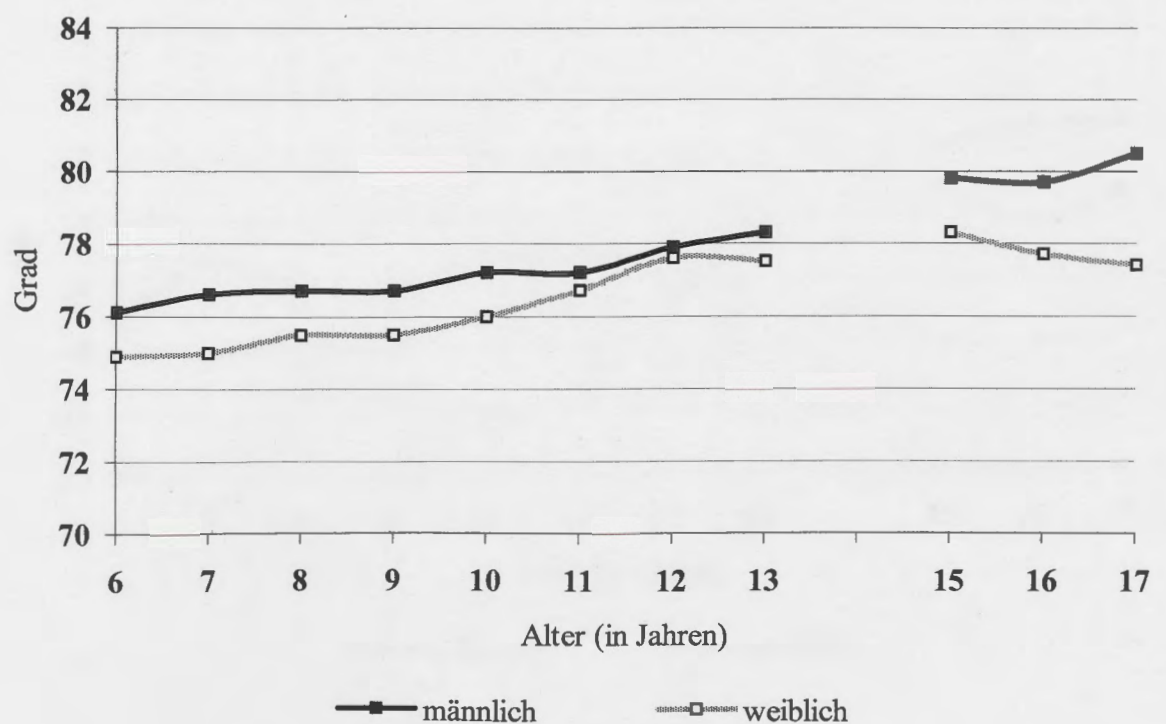


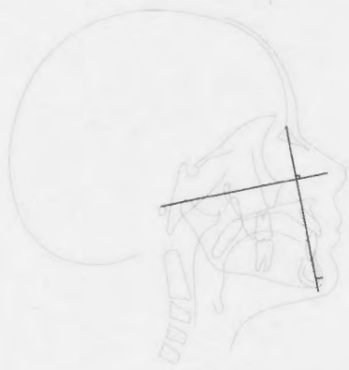
Mandibula A-P Skelettal

SNPog (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	76,1	4,1	67,1	82,8	14	74,9	3,0	69,1	80,0	0,442
7	14	76,6	3,6	68,7	83,0	12	75,0	2,4	69,9	78,4	0,228
8	15	76,7	3,2	71,2	84,3	16	75,5	2,6	70,7	80,2	0,208
9	11	76,7	3,7	70,2	83,9	13	75,5	2,7	70,0	79,3	0,433
10	16	77,2	2,8	73,2	84,5	15	76,0	2,8	70,8	80,1	0,254
11	15	77,2	2,8	72,5	83,8	14	76,7	2,7	72,1	80,2	0,586
12	14	77,9	2,7	74,4	83,9	11	77,6	2,7	73,1	81,4	0,357
13	15	78,3	2,8	74,1	85,3	15	77,5	3,0	72,1	82,1	0,471
15	14	79,8	2,9	74,6	85,4	13	78,3	2,3	74,1	81,4	0,218
16	10	79,7	3,1	75,2	85,6	8	77,7	2,9	74,2	82,3	0,373
17	10	80,5	2,9	76,2	85,6	6	77,4	3,1	73,9	82,4	0,115

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



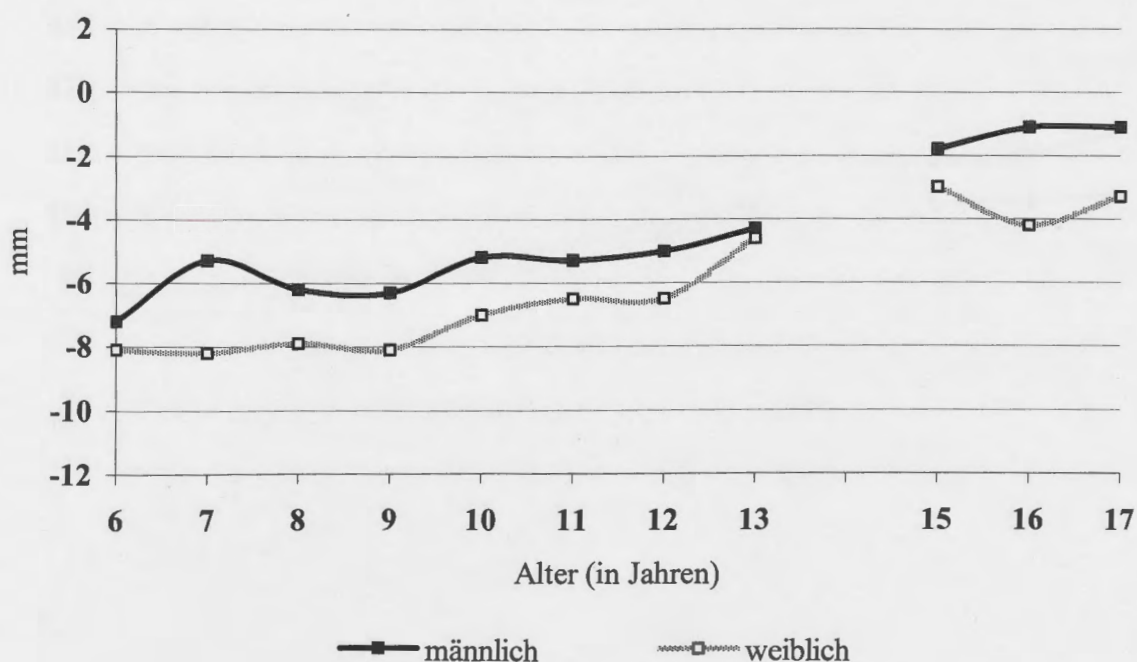


Mandibula A-P Skelettal

Pog – N Vert (mm)

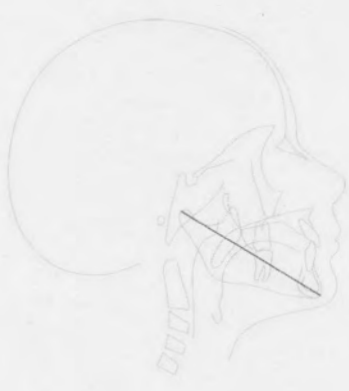
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	-7,2	5,2	-17,0	3,3	14	-8,1	4,5	-18,9	-2,1	0,456
7	14	-5,3	4,4	-16,7	2,2	12	-8,2	4,5	-17,5	-2,4	0,258
8	15	-6,2	4,6	-16,1	3,3	16	-7,9	4,1	-17,7	-2,6	0,224
9	11	-6,3	5,3	-15,5	2,6	13	-8,1	4,4	-18,3	-2,7	0,339
10	16	-5,2	4,9	-13,3	4,2	15	-7,0	4,5	-17,7	-2,1	0,280
11	15	-5,3	4,7	-12,9	4,5	14	-6,5	4,9	-17,0	-0,1	0,438
12	14	-5,0	4,9	-13,3	4,6	11	-6,5	5,2	-17,1	0,1	0,332
13	15	-4,3	4,8	-12,2	4,9	15	-4,6	5,6	-14,2	3,5	0,744
15	14	-1,8	5,5	-11,2	7,2	13	-3,0	4,9	-11,9	4,5	0,520
16	10	-1,1	5,0	-10,0	7,0	8	-4,2	6,5	-13,8	4,4	0,488
17	10	-1,1	5,5	-9,6	6,9	6	-3,3	6,6	-14,0	4,0	0,222

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



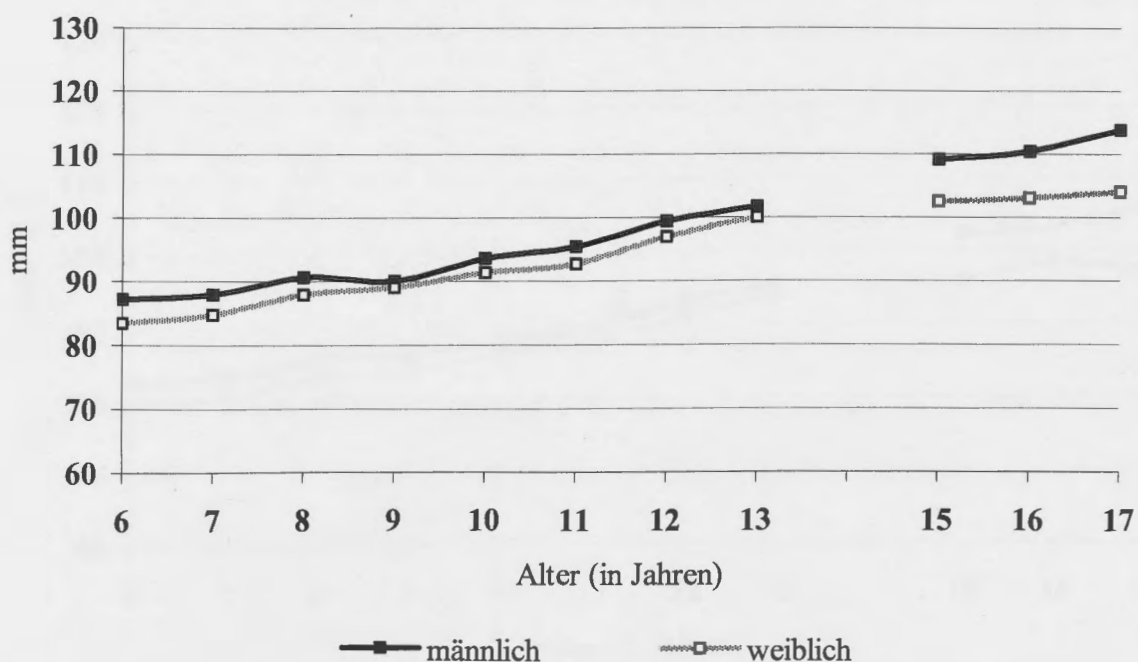
Mandibula

Effektive Unterkieferlänge
Co - Gn (mm)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	87,2	3,4	82,1	93,4	14	83,5	2,8	75,5	86,5	0,045
7	14	87,9	3,7	80,5	93,5	12	84,8	3,0	77,2	88,4	0,106
8	15	90,6	3,9	83,8	96,6	16	87,9	3,1	79,1	92,6	0,052
9	11	90,0	4,3	84,8	97,5	13	89,0	3,5	79,5	94,0	0,088
10	16	93,6	3,9	86,8	98,7	15	91,4	3,7	81,6	96,5	0,106
11	15	95,4	4,3	88,9	103,3	14	92,7	3,7	82,9	96,4	0,075
12	14	99,3	4,5	91,9	105,4	11	96,9	4,6	87,6	103,0	0,137
13	15	101,7	5,0	93,1	109,7	15	100,0	4,3	89,8	107,3	0,154
15	14	109,1	5,5	97,0	117,4	13	102,5	4,0	92,4	108,8	<0,001
16	10	110,4	3,9	104,1	115,2	8	103,0	5,3	92,0	108,4	<0,001
17	10	113,8	4,1	107,9	119,0	6	104,0	6,1	92,4	110,6	<0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



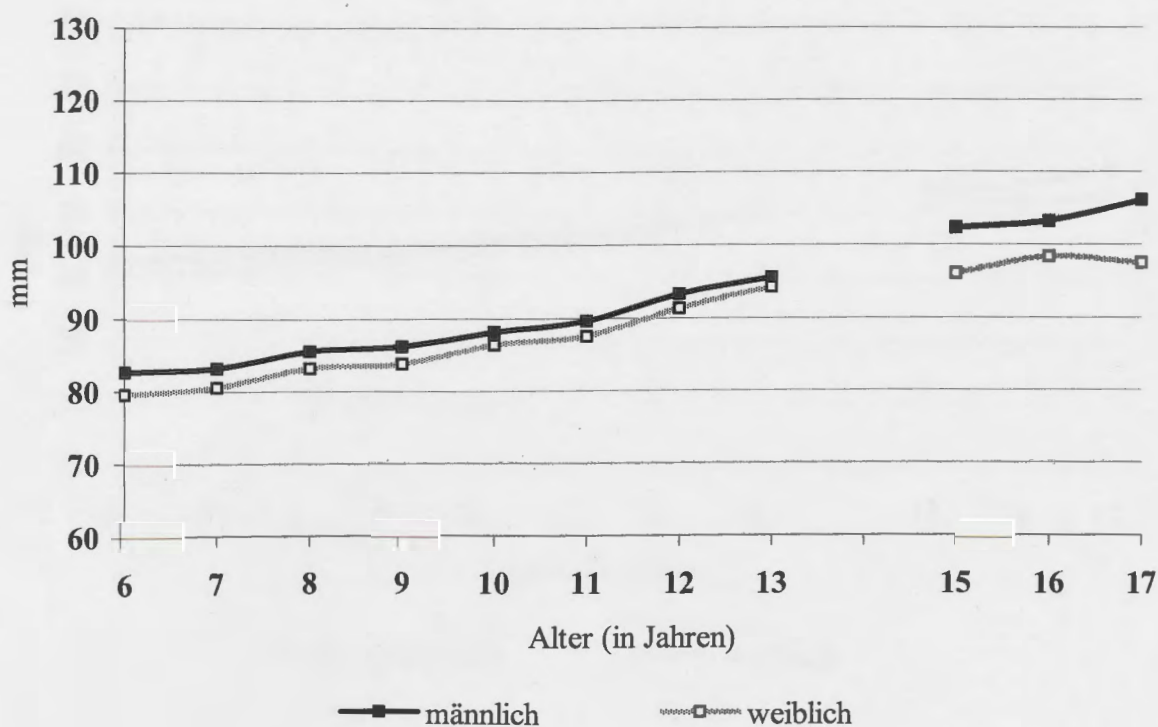
Mandibula

Ar - Gn (mm)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	82,6	3,3	76,6	89,3	14	79,5	3,0	71,6	83,8	0,094
7	14	83,2	3,8	76,6	90,3	12	80,5	3,4	73,6	85,5	0,190
8	15	85,5	3,5	79,5	90,9	16	83,2	3,6	74,9	89,4	0,102
9	11	86,2	4,3	80,4	93,4	13	83,8	3,4	75,8	90,8	0,131
10	16	88,1	4,0	81,3	93,9	15	86,3	3,8	77,4	92,8	0,156
11	15	89,6	4,1	84,1	97,0	14	87,5	3,9	78,3	93,7	0,161
12	14	93,2	4,3	87,4	99,9	11	91,3	4,8	83,2	98,8	0,314
13	15	95,5	4,8	88,9	103,1	15	94,2	4,4	85,1	102,2	0,255
15	14	102,3	5,2	93,3	109,1	13	96,1	4,5	86,8	103,2	0,001
16	10	103,2	4,3	94,3	108,1	8	98,4	5,3	87,1	103,2	<0,001
17	10	106,1	4,1	98,2	111,3	6	97,5	5,9	86,8	103,8	<0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur

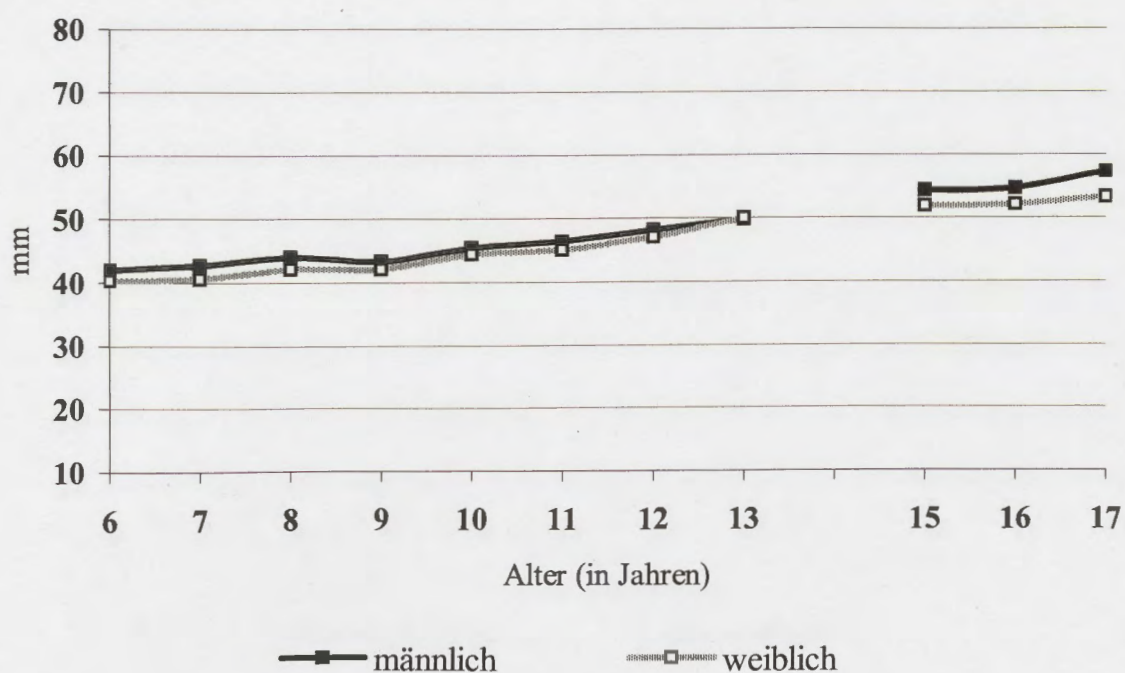


Mandibula

Höhe des Ramus mandibulae
Co - Go (mm)


Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	42,0	2,6	38,4	45,5	14	40,3	2,8	33,4	43,7	0,270
7	14	42,6	2,3	38,7	46,1	12	40,5	3,1	33,6	45,0	0,279
8	15	44,0	3,0	39,9	49,9	16	42,1	3,1	34,1	46,1	0,094
9	11	43,3	1,6	40,7	45,7	13	42,1	3,6	33,5	47,4	0,126
10	16	45,4	2,4	41,4	49,7	15	44,4	3,2	36,7	48,5	0,287
11	15	46,4	2,7	42,5	51,1	14	45,1	3,2	38,1	49,8	0,285
12	14	48,1	2,9	44,0	53,7	11	47,0	3,3	39,8	51,3	0,368
13	15	49,8	3,5	45,4	56,1	15	50,0	2,9	45,1	54,4	0,806
15	14	54,3	3,9	49,1	62,6	13	51,9	3,1	44,5	57,0	0,047
16	10	54,7	3,3	49,3	59,2	8	52,1	2,9	47,8	56,4	0,005
17	10	57,3	4,0	51,3	64,3	6	53,3	3,0	49,2	58,4	<0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



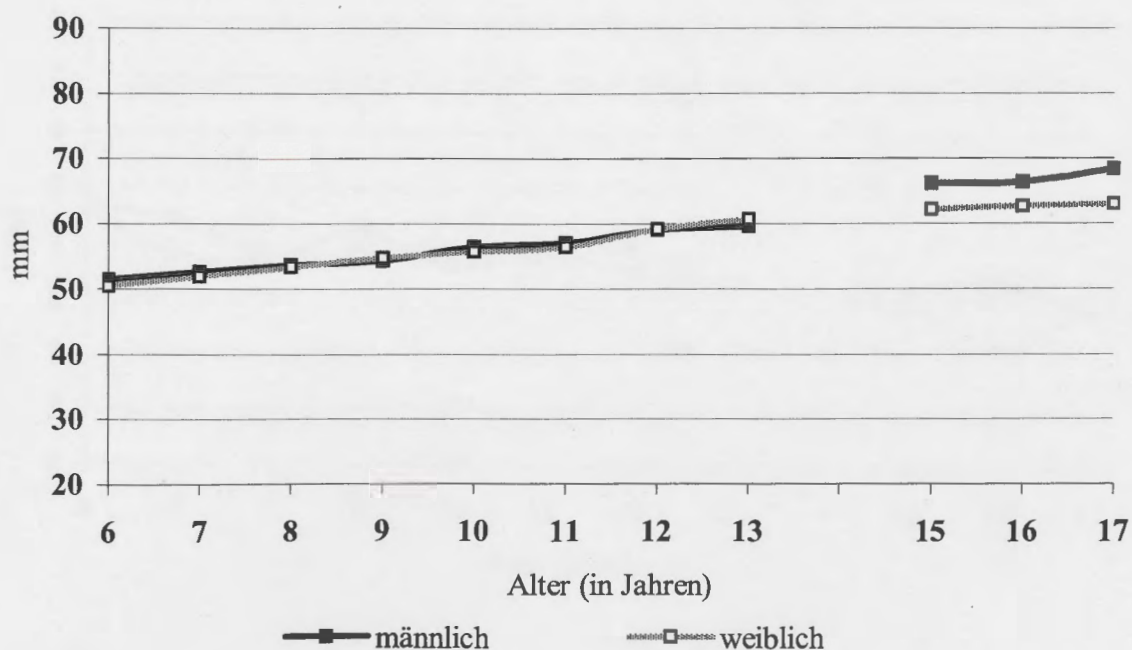
Mandibula

Länge des Corpus mandibulae
Go - Me (mm)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	51,5	3,1	46,6	56,2	14	50,4	2,6	44,1	53,9	0,620
7	14	52,6	3,0	47,4	58,3	12	51,9	3,1	44,2	55,5	0,777
8	15	53,7	3,1	48,6	58,8	16	53,4	2,8	46,2	57,7	0,652
9	11	54,3	3,7	48,3	60,4	13	54,7	3,2	47,0	59,3	0,984
10	16	56,4	3,5	50,8	61,9	15	55,7	3,1	47,1	59,4	0,552
11	15	57,1	3,4	51,4	62,3	14	56,4	3,5	47,6	59,8	0,450
12	14	59,1	3,8	53,2	64,6	11	59,2	4,3	49,7	63,3	0,817
13	15	59,6	5,1	47,7	67,7	15	60,7	3,6	51,3	64,8	0,430
15	14	66,1	4,2	58,0	72,8	13	62,1	4,2	52,4	65,9	0,010
16	10	66,3	2,8	62,2	70,5	8	62,7	5,1	52,0	68,5	0,027
17	10	68,4	3,7	62,9	74,6	6	63,0	5,1	52,9	66,6	0,002

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



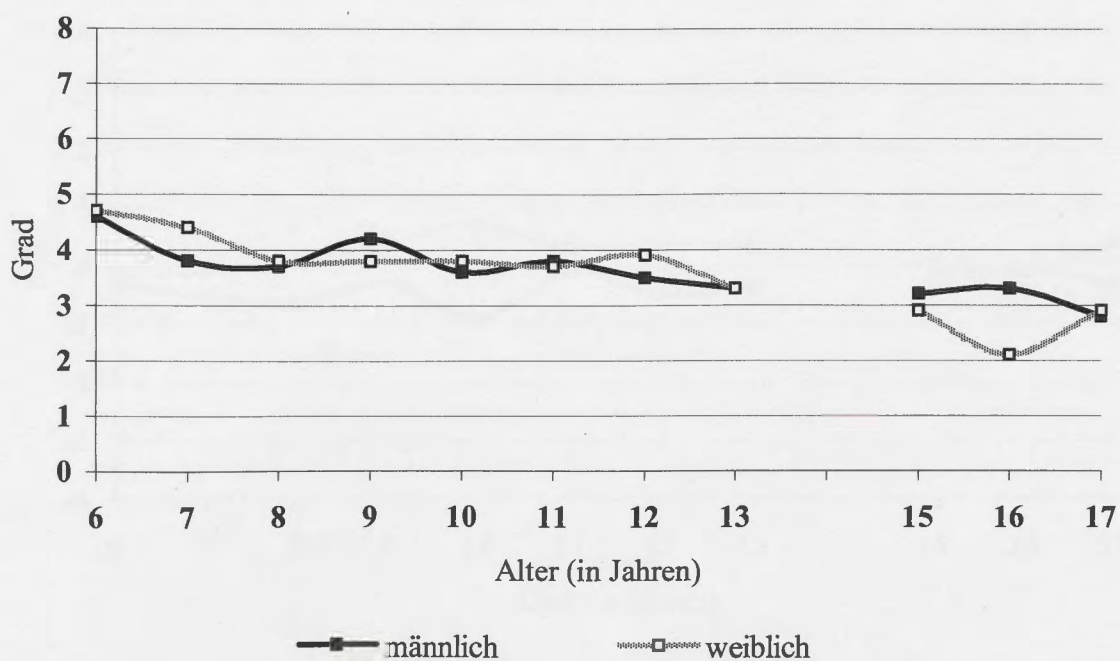
Intermaxillär

ANB (°)



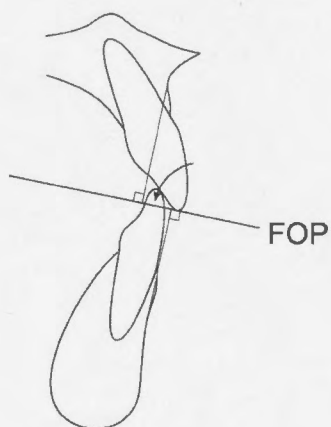
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	4,6	1,6	1,9	7,4	14	4,7	1,8	1,4	7,5	0,489
7	14	3,8	1,5	1,6	7,4	12	4,4	1,4	1,6	5,7	0,557
8	15	3,7	2,0	0,2	8,4	16	3,8	1,8	0,0	5,9	0,817
9	11	4,2	1,5	2,7	7,6	13	3,8	2,0	1,0	7,3	0,997
10	16	3,6	1,6	1,0	6,8	15	3,8	2,1	0,7	6,4	0,676
11	15	3,8	1,6	0,8	6,5	14	3,7	2,0	0,9	6,4	0,926
12	14	3,5	1,8	0,3	7,0	11	3,9	1,8	0,6	6,1	0,874
13	15	3,3	1,9	0,0	7,2	15	3,3	1,9	-0,1	6,0	0,928
15	14	3,2	1,9	0,2	6,8	13	2,9	2,0	-0,4	5,9	0,737
16	10	3,3	1,8	1,4	6,3	8	2,1	2,0	-0,8	5,1	0,807
17	10	2,8	1,2	0,8	5,1	6	2,9	2,0	0,8	5,2	0,418

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



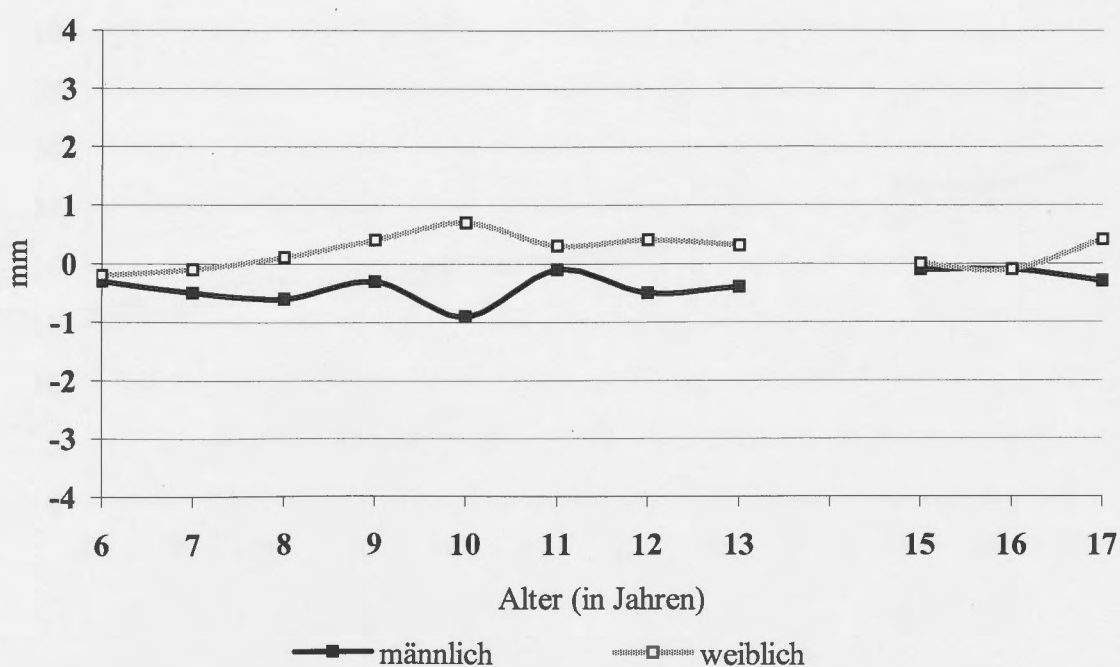
Intermaxillär

Wits (mm)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	-0,3	1,6	-3,8	1,6	14	-0,2	1,6	-1,8	2,9	0,507
7	14	-0,5	1,8	-3,5	3,7	12	-0,1	1,6	-3,0	2,5	0,462
8	15	-0,6	1,1	-2,4	1,6	16	0,1	1,9	-4,0	2,2	0,211
9	11	-0,3	1,4	-1,7	3,1	13	0,4	2,0	-3,8	2,8	0,160
10	16	-0,9	1,3	-3,8	1,2	15	0,7	2,0	-3,6	4,4	0,010
11	15	-0,1	1,0	-1,5	2,0	14	0,3	1,9	-4,1	3,0	0,524
12	14	-0,5	1,1	-3,0	1,3	11	0,4	2,0	-2,9	3,1	0,084
13	15	-0,4	1,4	-3,2	1,6	15	0,3	2,2	-3,6	3,4	0,142
15	14	-0,1	1,2	-2,3	2,4	13	0,0	2,2	-3,1	3,5	0,926
16	10	-0,1	1,1	-2,1	1,2	8	-0,1	2,0	-2,8	2,5	0,647
17	10	-0,3	1,6	-2,5	2,3	6	0,4	3,2	-4,1	4,6	0,355

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur

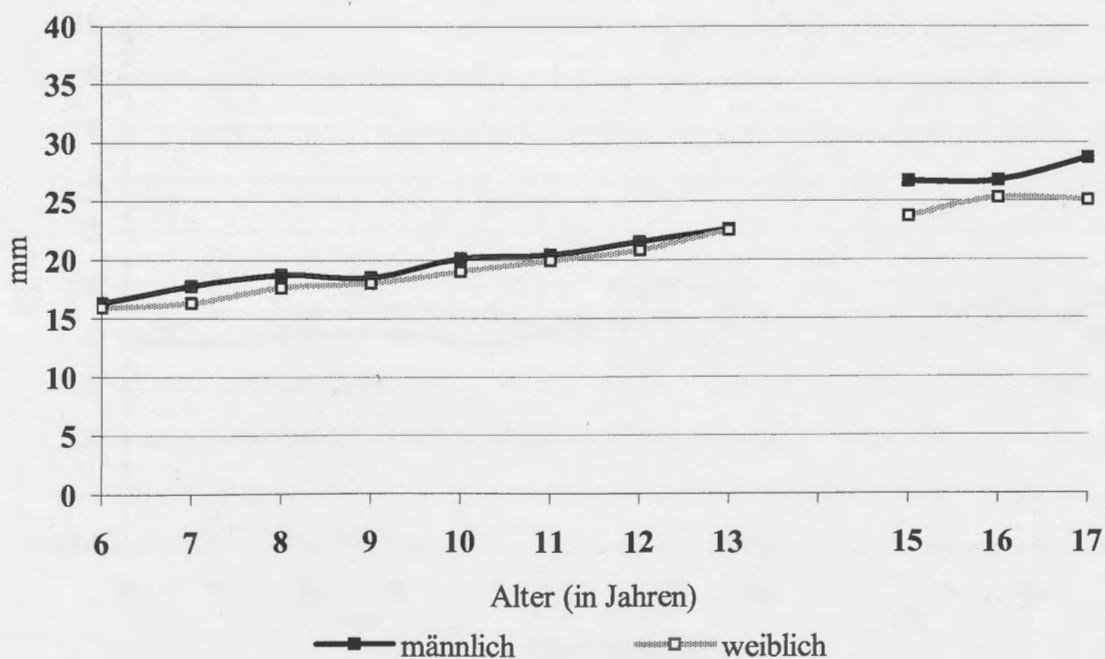


Intermaxillär

Mx/Mn diff (mm)

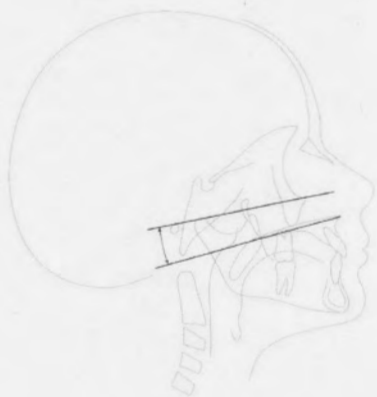
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	16,3	3,1	10,4	20,9	14	15,9	1,7	13,2	18,5	0,304
7	14	17,7	2,7	10,9	20,0	12	16,3	2,6	12,4	20,0	0,524
8	15	18,7	2,9	12,4	23,1	16	17,6	2,7	14,6	23,0	0,259
9	11	18,5	2,7	12,4	22,6	13	18,0	2,5	15,5	21,7	0,322
10	16	20,1	3,0	13,9	25,4	15	19,0	2,9	15,6	24,0	0,237
11	15	20,4	3,4	14,0	27,0	14	19,9	2,8	16,4	25,9	0,454
12	14	21,5	3,8	15,1	28,8	11	20,8	3,4	16,8	28,0	0,746
13	15	22,6	4,0	15,8	30,0	15	22,5	3,1	18,3	29,0	0,729
15	14	26,7	4,3	18,9	33,8	13	23,7	2,9	19,5	28,3	0,053
16	10	26,8	3,4	20,4	31,4	8	25,3	3,1	21,1	30,1	0,041
17	10	28,7	3,2	22,4	33,7	6	25,1	2,6	20,8	27,2	0,002

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



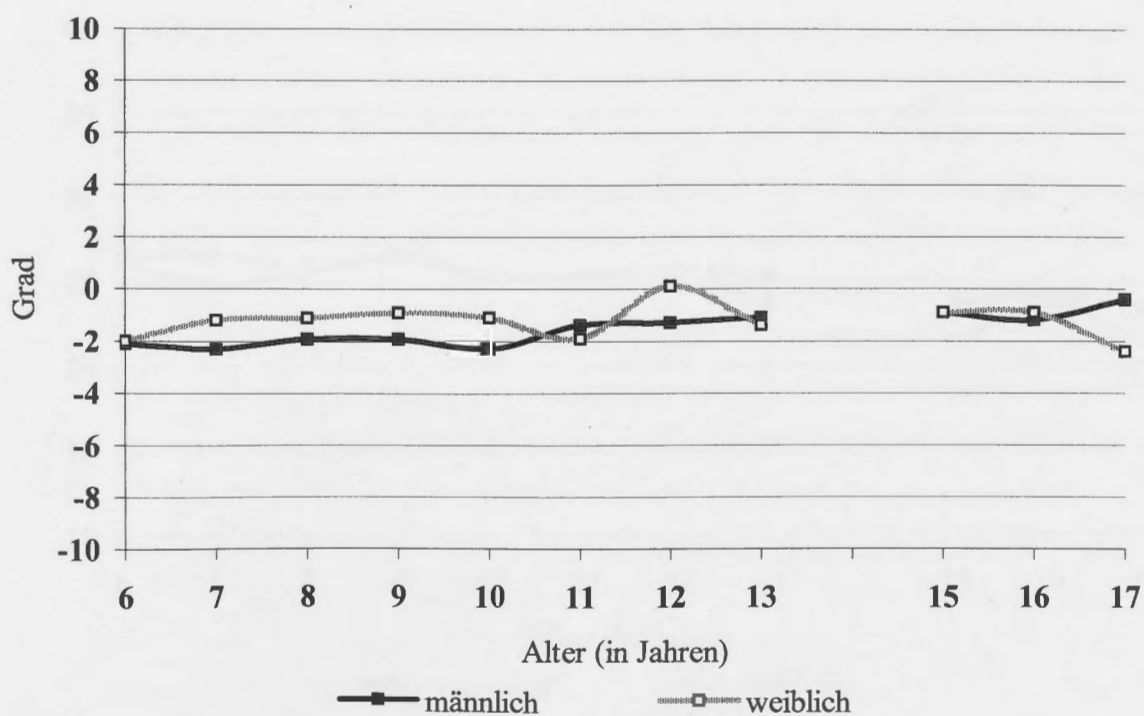
Vertikal Skelettal

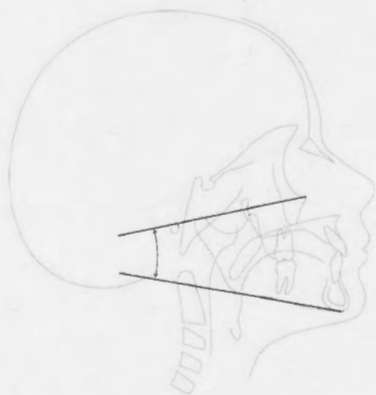
FH – PP (°)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	-2,1	2,9	-6,4	3,0	14	-2,0	3,7	-7,4	5,8	0,809
7	14	-2,3	3,0	-7,4	2,8	12	-1,2	4,2	-7,8	6,3	0,680
8	15	-1,9	3,2	-6,9	3,3	16	-1,1	3,8	-6,4	7,1	0,400
9	11	-1,9	2,9	-7,2	2,5	13	-0,9	3,8	-5,1	6,3	0,615
10	16	-2,3	3,2	-8,2	3,5	15	-1,1	4,1	-6,8	7,3	0,304
11	15	-1,4	2,9	-6,4	3,8	14	-1,9	3,8	-6,1	7,5	0,681
12	14	-1,3	2,8	-6,0	4,2	11	0,1	4,1	-5,1	7,2	0,447
13	15	-1,1	2,7	-4,9	4,4	15	-1,4	4,3	-6,3	7,4	0,960
15	14	-0,9	3,4	-5,0	5,2	13	-0,9	4,3	-5,9	7,9	0,840
16	10	-1,2	2,9	-5,6	4,3	8	-0,9	5,4	-7,2	7,6	0,336
17	10	-0,4	3,4	-5,4	5,3	6	-2,4	4,4	-5,6	6,2	0,916

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



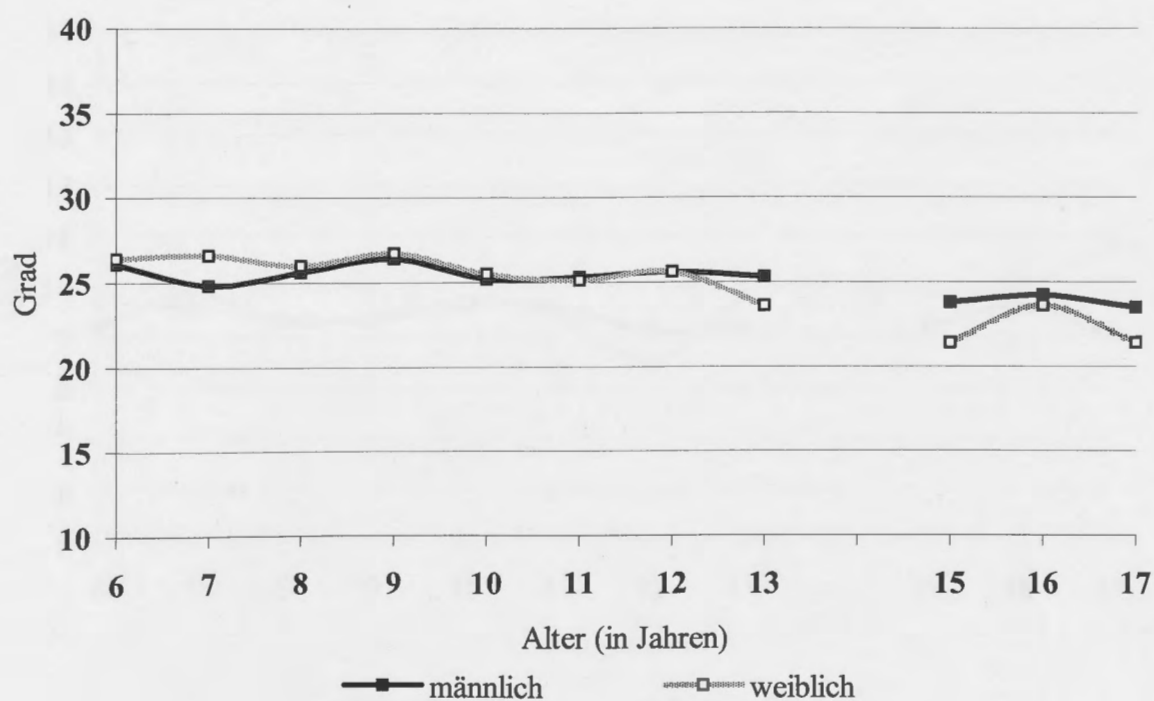


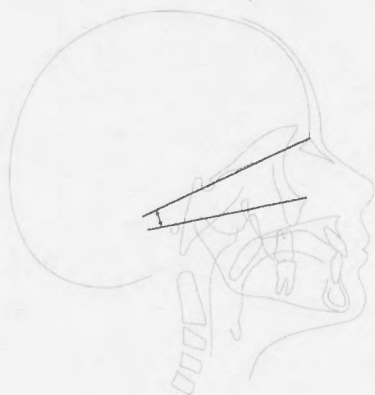
Vertikal Skelettal

FH – MP (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	26,1	4,3	20,2	35,1	14	26,4	3,9	21,9	34,5	0,891
7	14	24,8	4,0	19,5	35,4	12	26,6	4,0	21,8	34,2	0,482
8	15	25,6	4,3	20,3	34,8	16	26,0	3,5	21,6	34,7	0,674
9	11	26,4	4,4	19,7	33,4	13	26,7	3,8	21,4	34,9	0,817
10	16	25,2	4,0	19,0	32,0	15	25,5	4,0	20,7	35,7	0,857
11	15	25,3	4,3	19,0	33,3	14	25,1	4,6	18,5	36,5	0,927
12	14	25,6	4,2	18,2	33,0	11	25,6	4,2	20,0	35,8	0,839
13	15	25,3	4,3	18,2	33,3	15	23,6	4,4	18,0	34,9	0,273
15	14	23,8	3,5	20,1	31,4	13	21,4	3,5	15,3	26,3	0,298
16	10	24,2	3,5	19,9	30,5	8	23,6	5,6	16,8	34,8	0,692
17	10	23,5	3,9	17,8	30,0	6	21,4	5,0	15,0	26,7	0,617

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



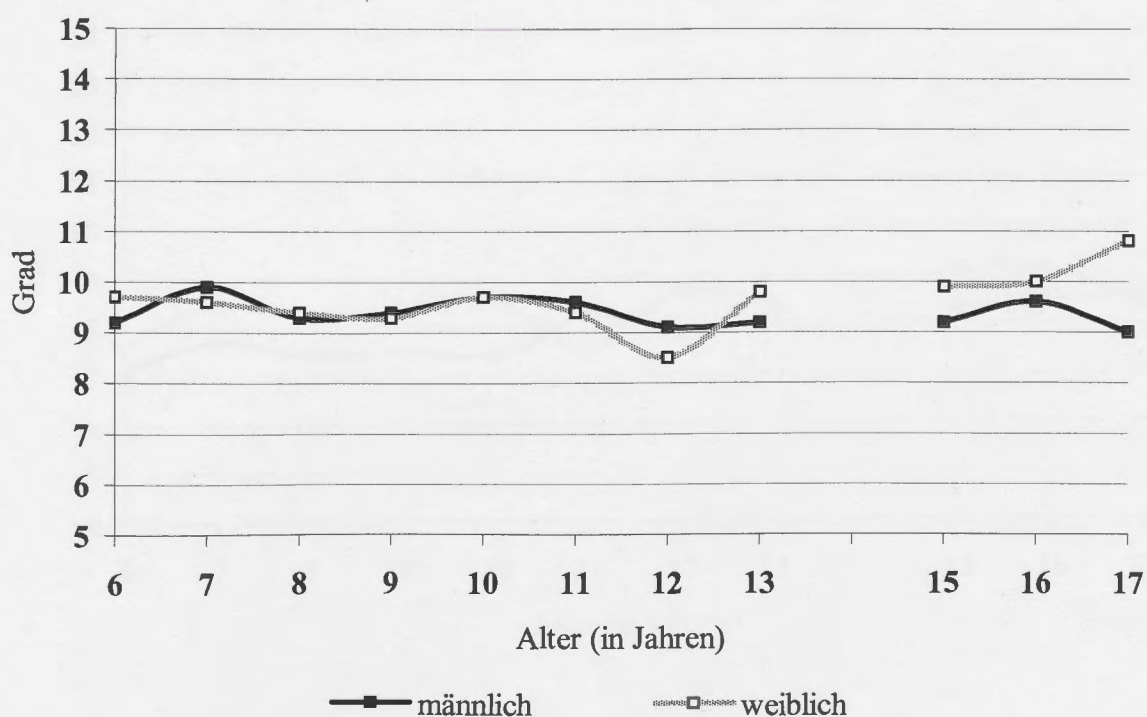


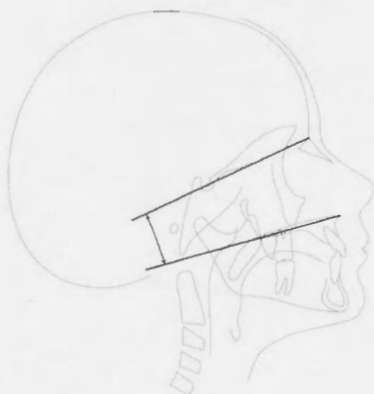
Vertikal Skelettal

SN – FH (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	9,2	2,6	4,2	13,1	14	9,7	1,8	7,3	13,0	0,860
7	14	9,9	3,0	3,8	15,3	12	9,6	1,8	7,1	13,4	0,885
8	15	9,3	3,0	3,5	14,8	16	9,4	1,9	5,8	13,0	0,931
9	11	9,4	3,0	3,3	14,5	13	9,3	2,2	5,8	12,9	0,702
10	16	9,7	2,9	3,9	15,2	15	9,7	2,0	6,6	13,5	1,000
11	15	9,6	2,8	4,9	14,8	14	9,4	2,2	5,9	13,3	0,689
12	14	9,1	2,7	5,1	14,2	11	8,5	1,8	6,5	11,4	0,978
13	15	9,2	2,7	3,8	13,9	15	9,8	2,0	7,2	13,0	0,646
15	14	9,2	2,9	4,9	14,3	13	9,9	2,1	6,2	13,2	0,456
16	10	9,6	2,8	4,8	14,2	8	10,0	2,4	5,6	13,1	0,684
17	10	9,0	2,6	4,7	13,1	6	10,8	2,1	7,8	13,2	0,589

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



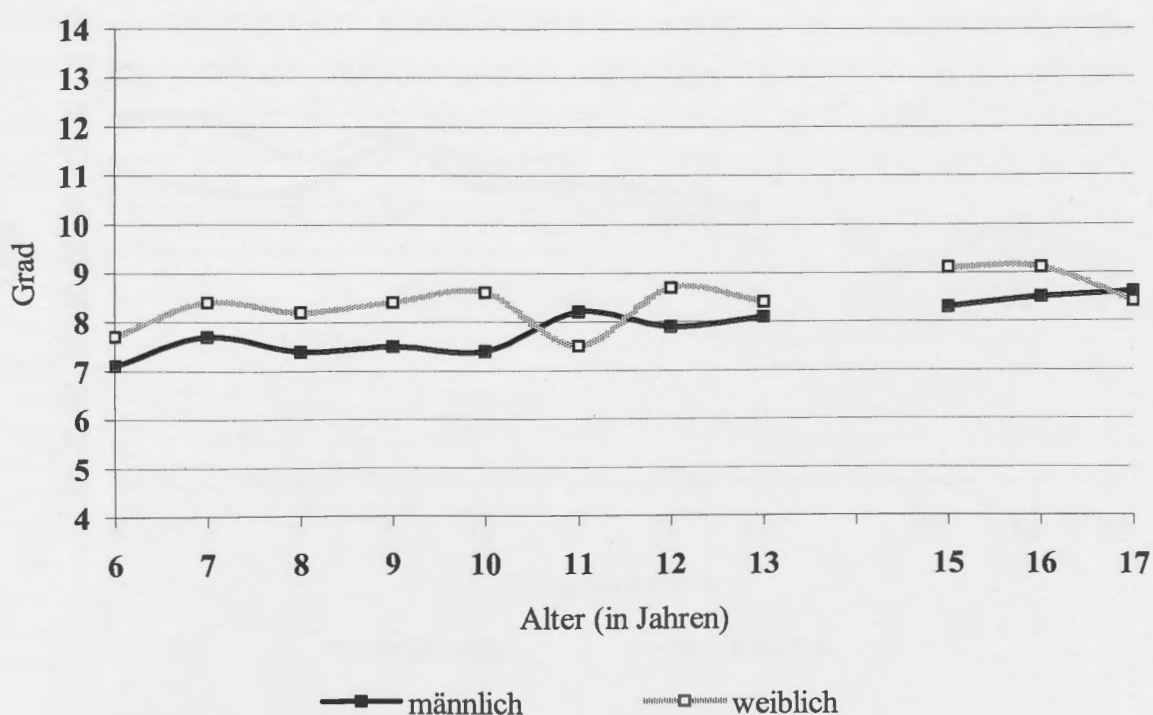


Vertikal Skelettal

SN – PP (°)

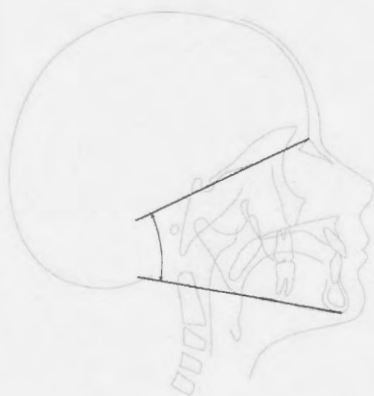
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	7,1	3,2	2,5	15,2	14	7,7	3,2	2,9	14,3	0,885
7	14	7,7	2,7	2,5	13,6	12	8,4	3,7	5,4	16,5	0,744
8	15	7,4	3,1	0,3	11,0	16	8,2	3,7	2,5	17,6	0,402
9	11	7,5	3,6	1,2	12,6	13	8,4	3,6	3,3	16,0	0,771
10	16	7,4	3,1	1,4	10,9	15	8,6	3,6	4,8	17,6	0,281
11	15	8,2	2,4	4,8	13,5	14	7,5	2,8	3,9	13,4	0,897
12	14	7,9	2,6	2,3	12,4	11	8,7	3,7	4,8	16,8	0,439
13	15	8,1	2,6	2,5	12,8	15	8,4	3,9	2,6	18,1	0,788
15	14	8,3	3,1	2,6	14,5	13	9,1	3,8	4,0	18,5	0,729
16	10	8,5	3,7	2,3	13,8	8	9,1	5,0	3,6	18,2	0,473
17	10	8,6	3,5	3,2	14,1	6	8,4	3,2	5,0	14,0	0,761

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



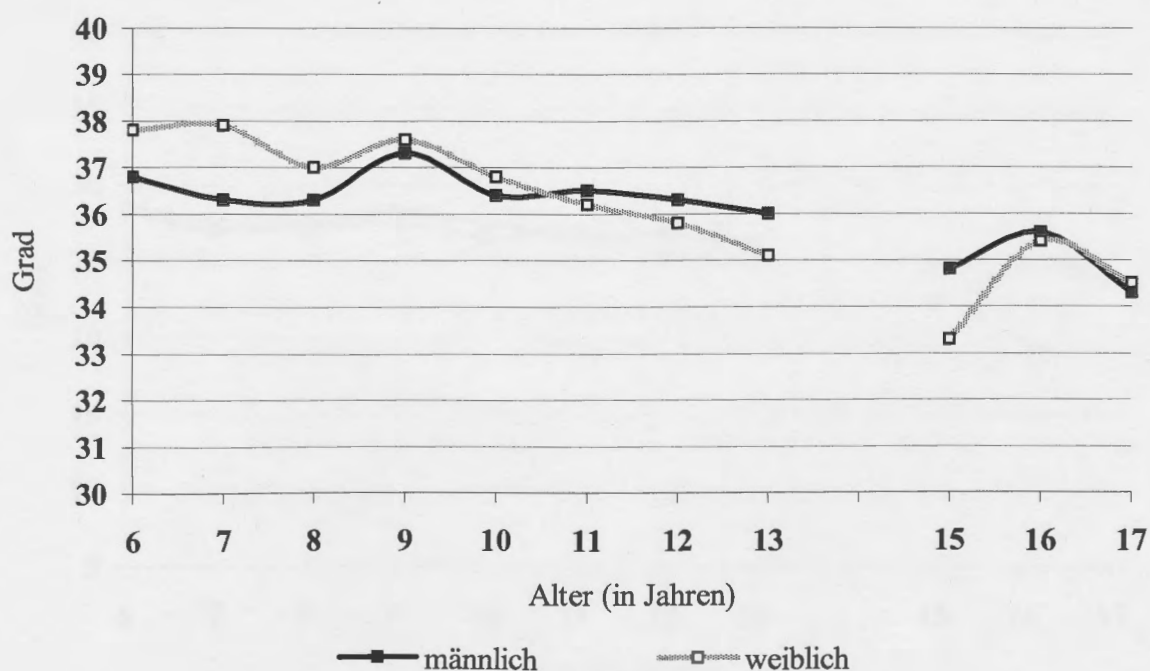
Vertikal Skelettal

SN – MP (°)



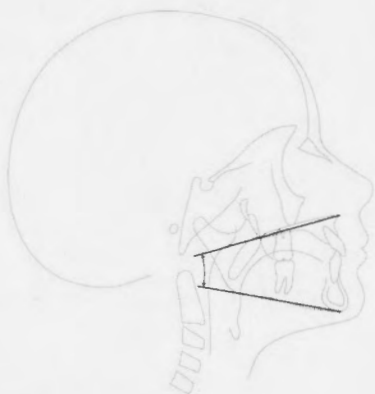
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	36,8	4,7	32,1	48,3	14	37,8	3,5	33,3	43,5	0,918
7	14	36,3	4,8	30,1	47,5	12	37,9	2,9	34,1	42,9	0,474
8	15	36,3	4,6	29,6	44,8	16	37,0	3,2	31,4	43,8	0,645
9	11	37,3	4,6	31,9	45,2	13	37,6	3,1	30,7	42,0	0,883
10	16	36,4	3,8	30,8	42,4	15	36,8	3,5	30,0	43,4	0,790
11	15	36,5	4,3	30,2	44,8	14	36,2	3,8	29,1	44,6	0,773
12	14	36,3	4,3	29,2	42,9	11	35,8	3,9	28,4	44,4	0,999
13	15	36,0	4,7	29,4	43,9	15	35,1	4,1	27,4	43,6	0,493
15	14	34,8	4,5	27,8	42,0	13	33,3	3,0	27,4	40,0	0,633
16	10	35,6	4,4	28,0	41,9	8	35,4	4,6	28,0	43,0	0,864
17	10	34,3	4,8	27,8	41,7	6	34,5	4,1	28,2	40,0	0,918

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



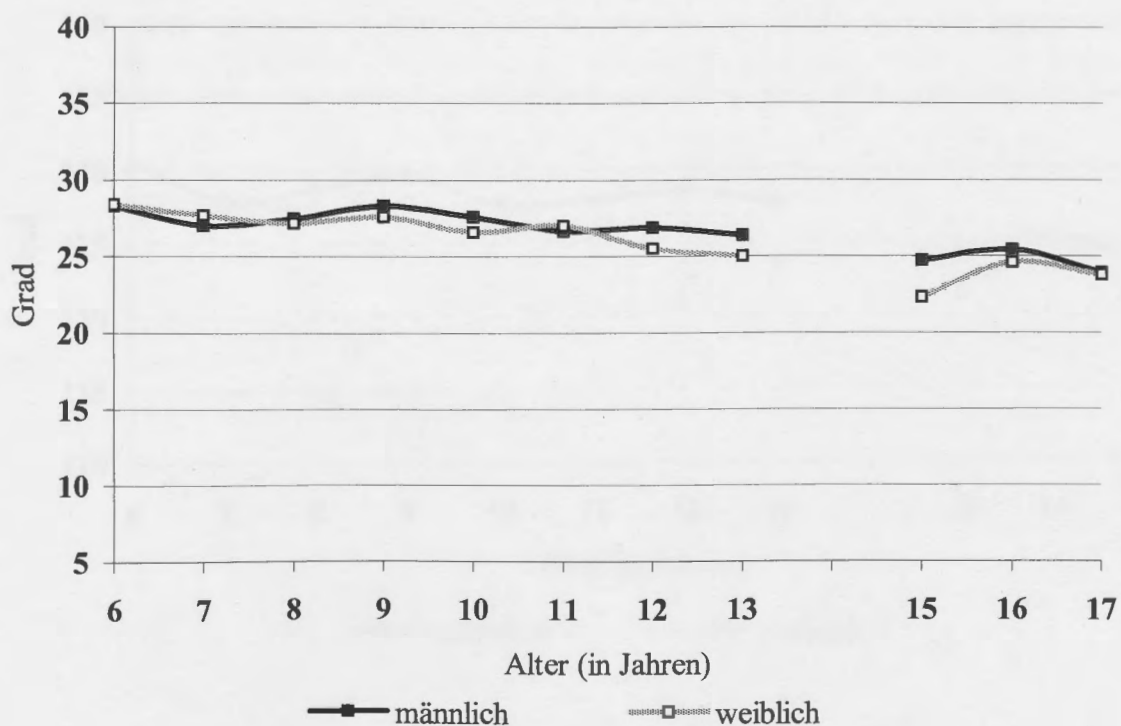
Vertikal Skelettal

PP – MP (°)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	28,3	4,1	20,5	36,5	14	28,4	3,4	21,3	34,6	0,943
7	14	27,0	4,3	19,0	34,2	12	27,7	3,4	20,4	34,0	0,767
8	15	27,5	5,2	19,8	35,4	16	27,2	4,0	16,4	35,3	0,774
9	11	28,3	4,9	20,5	34,6	13	27,6	4,3	17,8	34,1	0,828
10	16	27,6	4,5	20,8	33,9	15	26,6	4,2	16,6	35,5	0,514
11	15	26,7	4,5	19,7	33,7	14	27,0	3,8	22,5	36,4	0,680
12	14	26,9	4,4	18,7	33,9	11	25,5	4,3	19,2	35,6	0,436
13	15	26,4	4,7	18,1	33,9	15	25,0	5,1	14,3	35,7	0,335
15	14	24,7	4,4	16,6	31,8	13	22,3	4,3	12,5	29,1	0,432
16	10	25,4	3,2	19,7	29,6	8	24,6	7,3	12,6	35,4	0,686
17	10	23,9	4,2	16,6	29,6	6	23,8	3,5	20,5	28,4	0,698

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



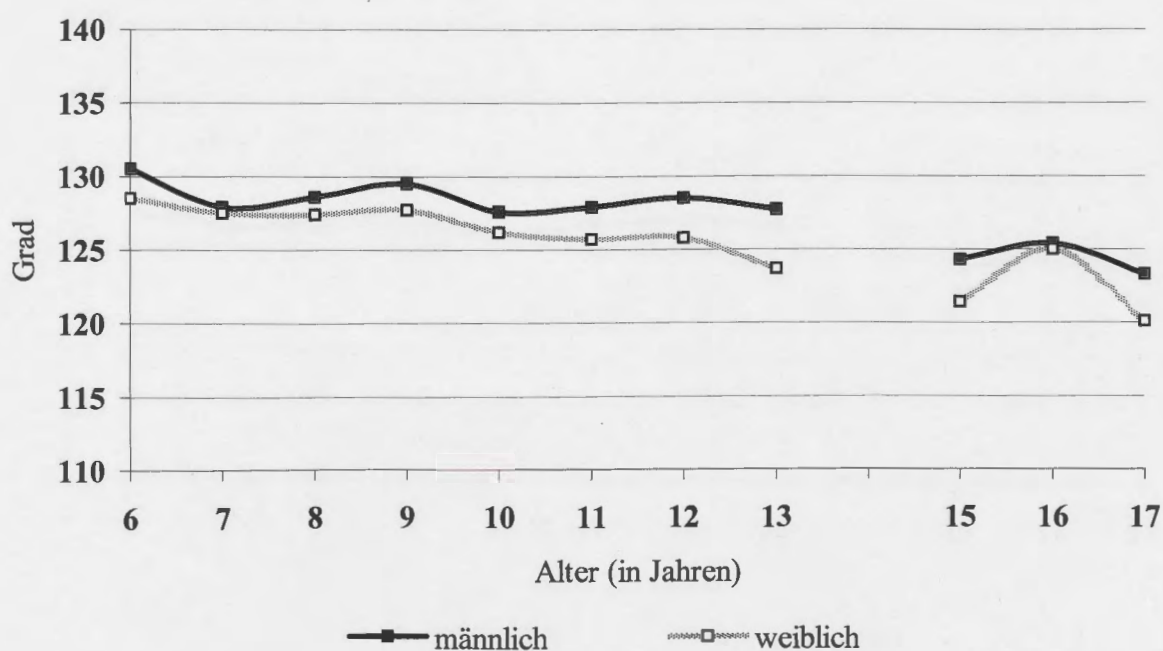


Vertikal Skelettal

ArGoMe (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	130,5	4,9	121,8	140,0	14	128,5	5,6	118,8	137,2	0,435
7	14	127,9	3,3	121,7	135,2	12	127,5	5,9	115,7	138,0	0,501
8	15	128,6	4,7	120,2	138,1	16	127,4	5,8	113,6	138,9	0,644
9	11	129,5	4,0	124,8	137,5	13	127,7	6,0	113,8	137,3	0,586
10	16	127,6	4,3	120,0	137,1	15	126,2	5,8	113,3	136,7	0,479
11	15	127,9	4,4	119,6	136,7	14	125,7	6,3	112,6	137,0	0,342
12	14	128,5	4,6	120,2	137,2	11	125,8	5,6	116,6	137,7	0,124
13	15	127,7	4,7	119,0	137,0	15	123,7	6,2	112,4	137,0	0,083
15	14	124,3	5,1	115,1	133,8	13	121,4	6,2	107,7	128,2	0,178
16	10	125,4	4,1	119,6	133,1	8	125,0	6,1	116,9	136,0	0,642
17	10	123,3	5,3	114,9	131,9	6	120,1	8,6	107,2	128,0	0,362

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



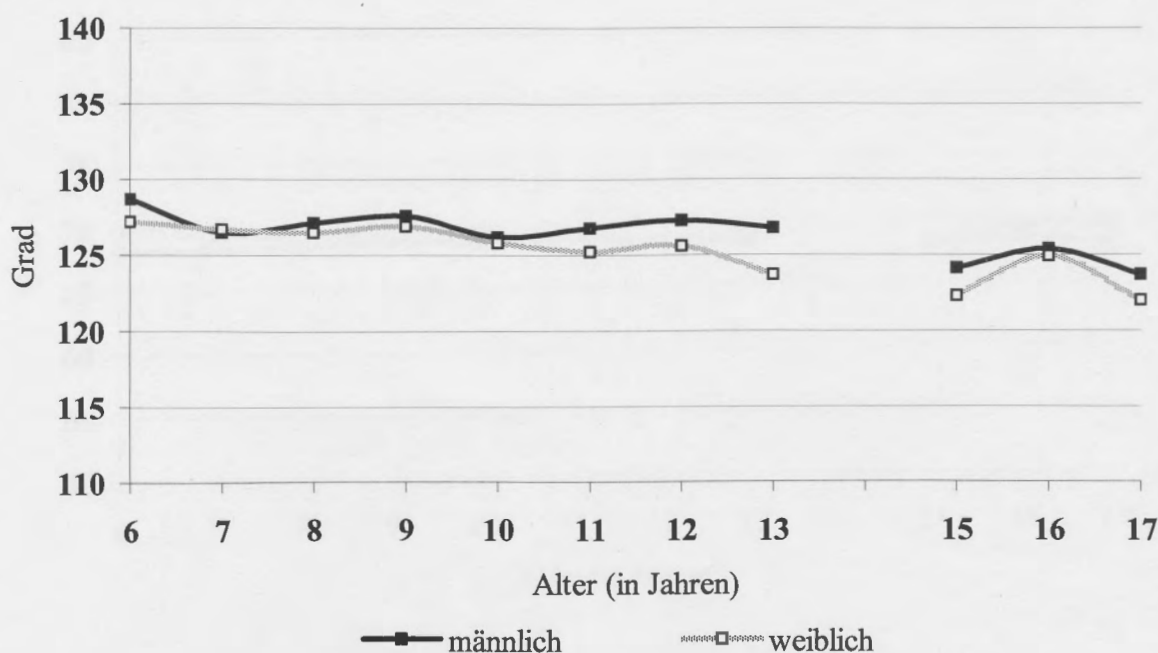
Vertikal Skelettal

CoGoMe (°)



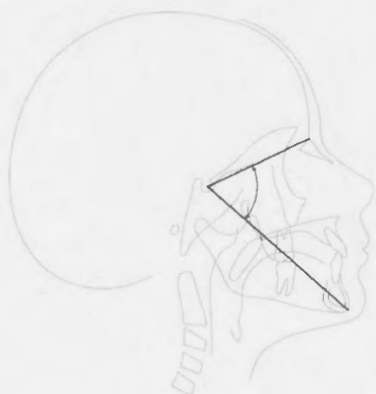
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	128,7	4,7	121,7	137,8	14	127,2	4,9	119,4	134,8	0,456
7	14	126,5	3,2	120,8	133,8	12	126,7	4,6	117,7	134,9	0,729
8	15	127,1	4,1	121,0	135,2	16	126,5	5,0	117,2	135,9	0,842
9	11	127,6	3,8	122,9	134,2	13	126,9	4,8	116,9	134,4	0,845
10	16	126,2	3,8	119,5	134,1	15	125,8	5,1	116,1	135,5	0,835
11	15	126,8	4,0	121,1	134,4	14	125,2	4,9	116,5	134,5	0,414
12	14	127,3	4,1	121,0	134,6	11	125,6	4,8	118,1	135,9	0,234
13	15	126,8	4,0	119,7	133,3	15	123,7	5,1	115,9	134,6	0,107
15	14	124,1	4,1	116,6	131,0		122,3	4,8	113,5	128,4	0,308
16	10	125,4	3,7	119,7	131,8	13	124,9	5,4	117,5	133,9	0,683
17	10	123,7	4,4	115,8	131,2	6	122,0	5,7	114,1	128,5	0,552

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



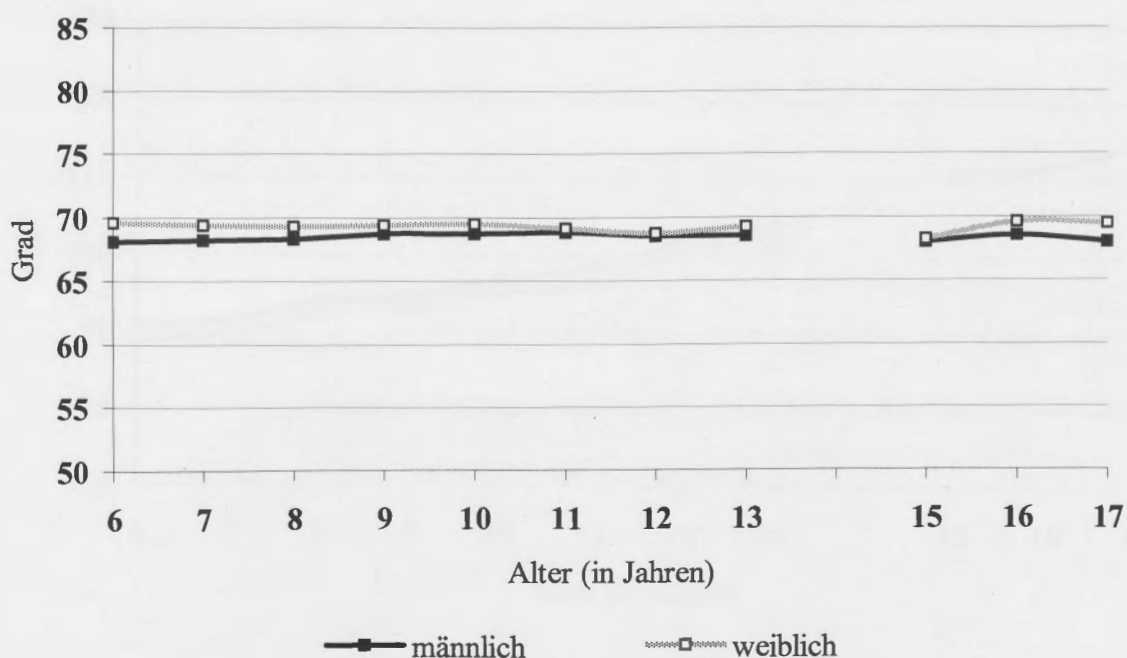
Vertikal Skelettal

NSGn (°)




Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	68,1	3,6	63,8	77,5	14	69,6	3,2	62,1	74,4	0,511
7	14	68,2	3,5	63,5	76,5	12	69,4	2,8	62,7	73,9	0,265
8	15	68,3	3,1	63,0	74,1	16	69,3	2,9	62,9	74,0	0,346
9	11	68,7	3,5	63,6	75,1	13	69,4	3,1	62,9	74,1	0,597
10	16	68,7	2,7	64,0	72,9	15	69,5	2,9	63,6	74,2	0,431
11	15	68,8	2,9	64,4	73,9	14	69,1	3,0	63,6	73,5	0,729
12	14	68,5	2,9	63,8	72,8	11	68,7	2,9	63,7	72,3	0,466
13	15	68,5	3,0	63,2	73,0	15	69,2	2,9	63,0	75,3	0,782
15	14	68,0	3,3	63,0	73,3	13	68,2	2,8	63,3	73,1	0,625
16	10	68,5	3,7	63,0	73,3	8	69,6	2,9	64,2	73,4	0,720
17	10	68,0	3,3	62,9	73,0	6	69,5	3,1	64,4	73,5	0,437

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



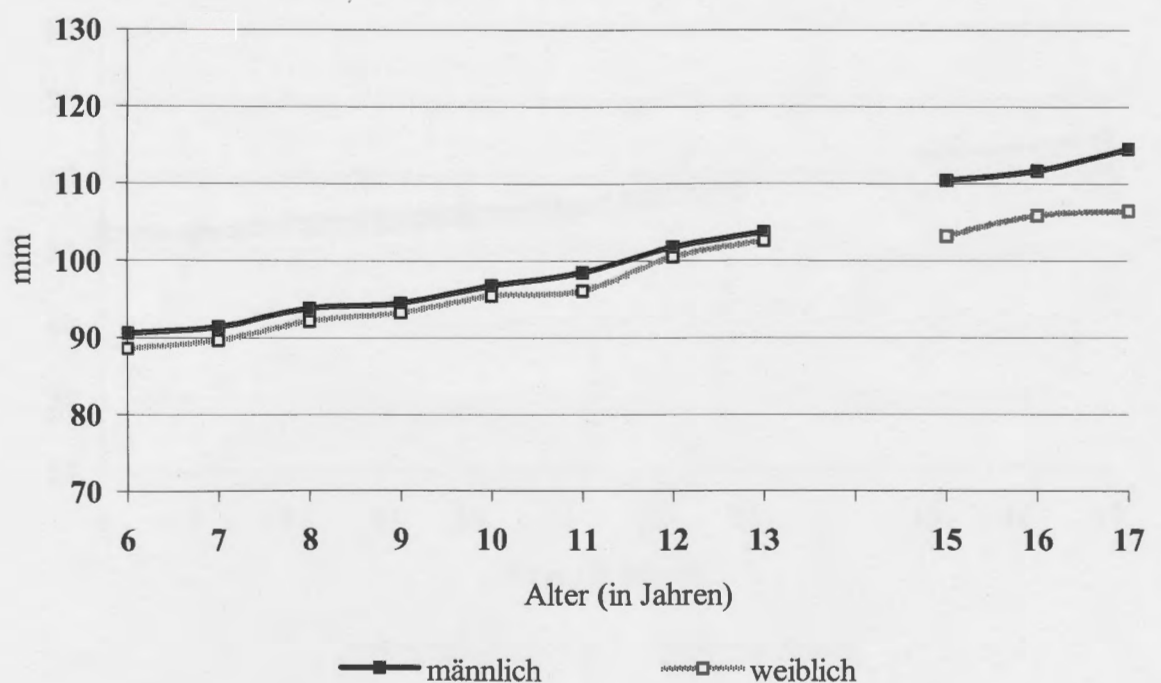
Vertikal Skelettal

Vordere Gesichtshöhe
N – Me (mm)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	90,6	3,3	84,1	95,0	14	88,6	3,4	79,1	92,0	0,213
7	14	91,4	4,1	82,0	95,9	12	89,7	3,5	80,8	94,8	0,506
8	15	93,9	3,9	85,7	98,7	16	92,2	3,5	82,9	98,5	0,244
9	11	94,5	4,4	86,8	101,0	13	93,3	3,2	84,7	97,5	0,241
10	16	96,8	4,2	87,3	102,9	15	95,5	3,3	86,9	101,0	0,333
11	15	98,5	4,8	88,6	104,6	14	96,1	3,9	88,1	103,4	0,133
12	14	101,8	5,6	90,9	110,5	11	100,5	4,6	92,5	108,5	0,527
13	15	103,7	5,6	92,9	113,1	15	102,6	4,2	96,4	111,1	0,282
15	14	110,4	5,3	97,7	118,5	13	103,2	4,7	95,7	112,2	<0,001
16	10	111,7	3,6	108,1	119,0	8	105,9	5,2	98,0	113,3	<0,001
17	10	114,5	3,2	110,2	119,9	6	106,5	5,1	99,8	114,1	<0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



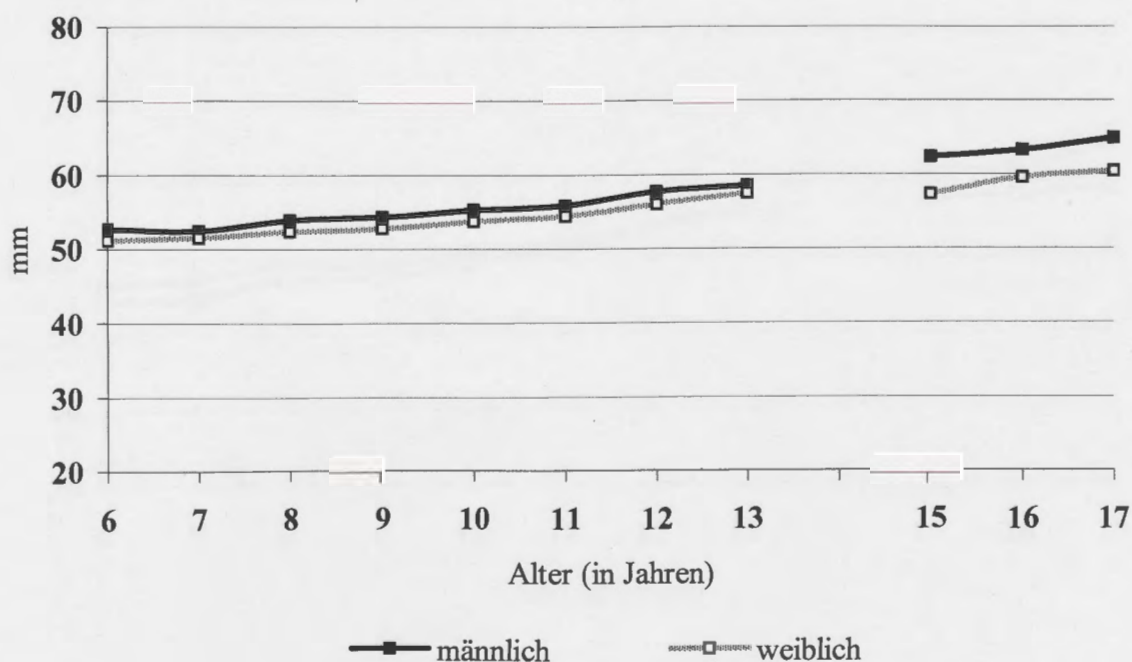


Vertikal Skelettal

Vordere untere Gesichtshöhe
Spa – Me (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	52,7	2,7	47,4	56,3	14	51,1	2,8	43,9	54,4	0,240
7	14	52,4	3,1	45,5	57,0	12	51,5	3,1	44,3	56,0	0,508
8	15	53,9	2,2	47,3	58,1	16	52,3	3,1	45,1	56,2	0,157
9	11	54,3	4,0	48,0	58,4	13	52,8	3,2	46,4	56,3	0,161
10	16	55,3	3,4	47,9	58,8	15	53,7	3,1	47,8	57,6	0,204
11	15	55,8	3,9	48,3	61,5	14	54,4	3,2	48,7	60,2	0,152
12	14	57,7	4,0	49,6	61,4	11	56,0	3,9	50,7	62,3	0,222
13	15	58,5	4,1	49,7	63,6	15	57,5	3,7	52,0	64,4	0,248
15	14	62,3	3,8	52,3	66,3	13	57,3	3,2	52,1	61,6	0,003
16	10	63,3	2,8	58,7	67,1	8	59,5	5,2	52,2	67,5	0,015
17	10	64,9	2,6	60,1	67,7	6	60,4	3,4	55,1	63,2	<0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



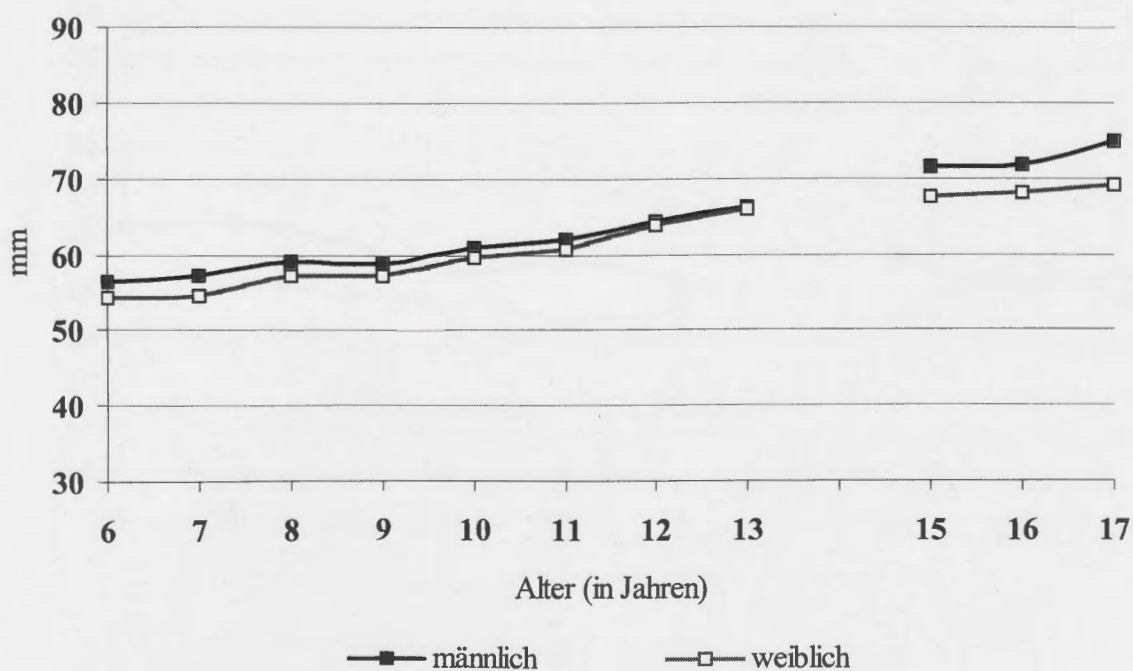


Vertikal Skelettal

Hintere Gesichtshöhe
S – Go (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	56,4	3,2	50,1	60,9	14	54,4	3,2	47,5	58,7	0,285
7	14	57,2	2,8	52,8	62,1	12	54,7	3,2	47,8	59,1	0,267
8	15	59,1	3,6	53,5	67,3	16	57,2	3,4	48,9	63,0	0,141
9	11	58,7	3,0	53,9	63,5	13	57,1	3,1	49,7	61,9	0,175
10	16	60,8	3,1	55,8	66,0	15	59,5	3,4	52,0	64,8	0,298
11	15	61,9	3,3	57,1	68,2	14	60,6	3,6	53,0	65,8	0,333
12	14	64,3	3,9	60,2	72,1	11	63,8	3,9	55,9	68,9	0,486
13	15	66,2	4,6	60,9	76,2	15	65,9	2,9	61,0	71,9	0,520
15	14	71,4	5,1	64,3	82,9	13	67,6	3,0	59,5	70,4	0,011
16	10	71,8	4,3	65,1	78,1	8	68,0	3,5	63,4	75,2	0,003
17	10	74,9	5,2	62,9	73,0	6	69,2	2,4	64,6	71,4	<0,001

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



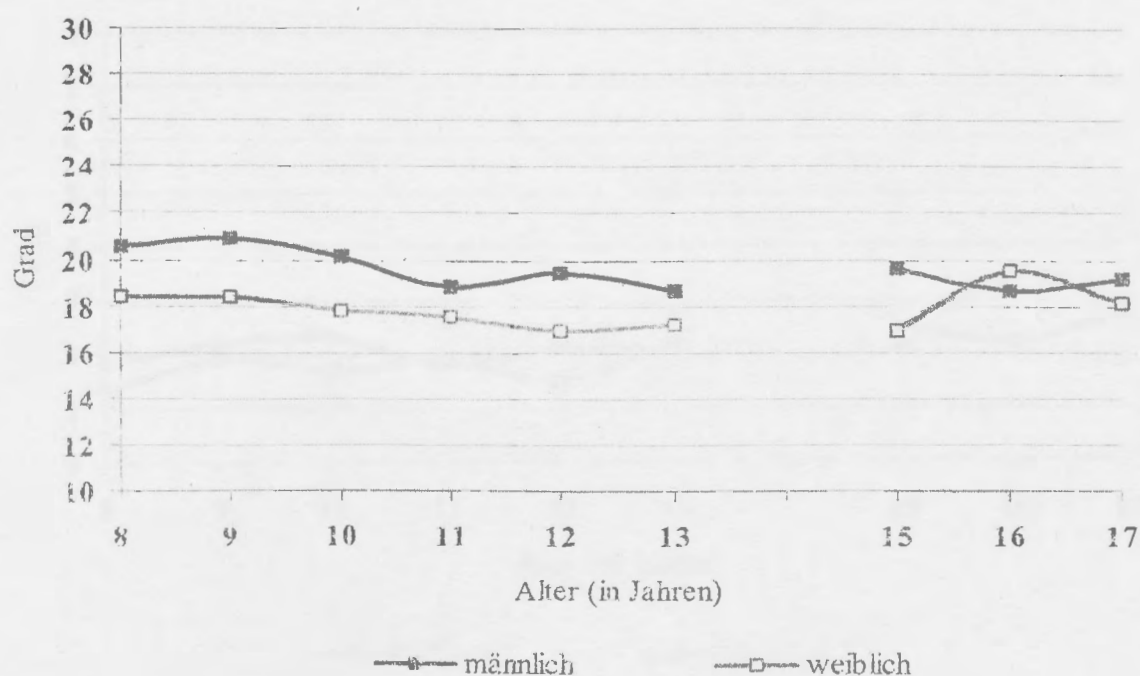
Maxilla Dentoalveolär

OK1 – NA (°)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	20,5	1,1	19,7	21,2	14	14,5	2,3	12,8	16,1	-
7	14	18,9	3,8	15,0	25,7	12	19,0	4,2	13,4	25,8	-
8	15	20,6	3,8	15,9	30,1	16	18,4	5,4	11,8	30,5	0,186
9	11	20,9	3,9	14,7	29,4	13	18,4	3,5	13,4	26,4	0,159
10	16	20,1	4,0	13,7	27,8	15	17,8	4,6	8,4	25,0	0,164
11	15	18,8	5,1	12,0	30,2	14	17,5	4,2	11,4	27,3	0,327
12	14	19,4	5,4	11,4	31,5	11	16,9	5,3	9,7	25,5	0,151
13	15	18,7	6,3	7,8	30,3	15	17,2	5,0	7,4	26,1	0,523
15	14	19,6	5,1	10,7	27,9	13	16,9	5,9	5,7	28,7	0,112
16	10	18,7	3,4	11,8	22,2	8	19,5	5,3	11,4	29,5	0,514
17	10	19,2	3,4	12,9	23,7	6	18,1	4,7	12,1	24,1	0,201

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



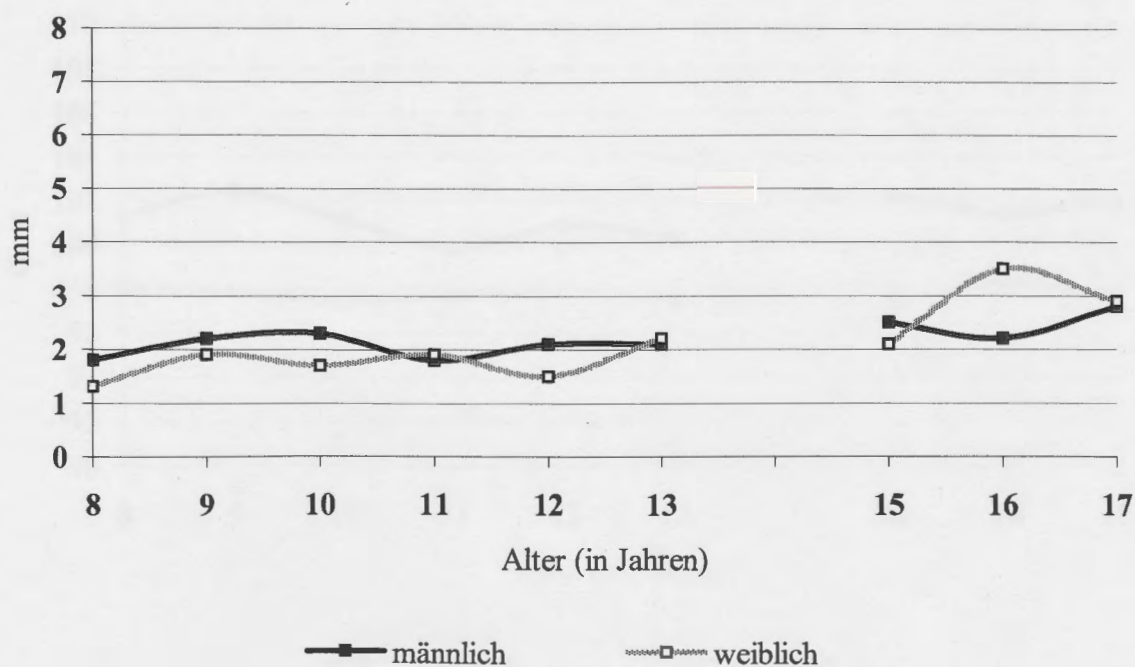


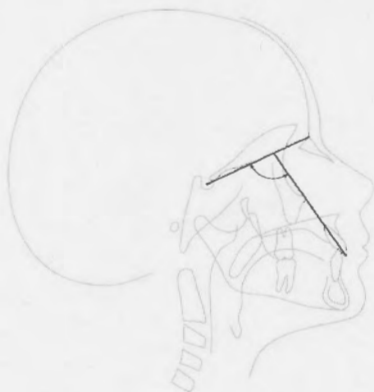
Maxilla Dentoalveolär

OK1 – NA_ (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	1,1	1,3	0,2	2,1	14	-0,7	0,6	-1,1	-0,3	-
7	14	0,6	1,8	-2,0	3,8	12	0,8	0,9	-0,4	2,3	-
8	15	1,8	1,1	0,4	3,8	16	1,3	1,4	-1,2	4,3	0,294
9	11	2,2	1,3	0,5	4,6	13	1,9	1,2	0,0	3,5	0,353
10	16	2,3	1,7	-0,3	4,5	15	1,7	1,4	-0,7	4,2	0,228
11	15	1,8	1,6	-0,6	4,6	14	1,9	1,2	0,0	3,4	0,689
12	14	2,1	1,9	-0,2	5,8	11	1,5	1,3	0,1	3,6	0,294
13	15	2,1	2,2	-1,6	5,2	15	2,2	1,5	-0,1	4,8	0,988
15	14	2,5	2,0	-0,1	5,2	13	2,1	1,8	-0,7	5,4	0,570
16	10	2,2	1,7	-0,1	4,9	8	3,5	1,6	0,8	5,7	0,749
17	10	2,8	1,7	0,6	5,8	6	2,9	1,6	0,9	4,9	0,295

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



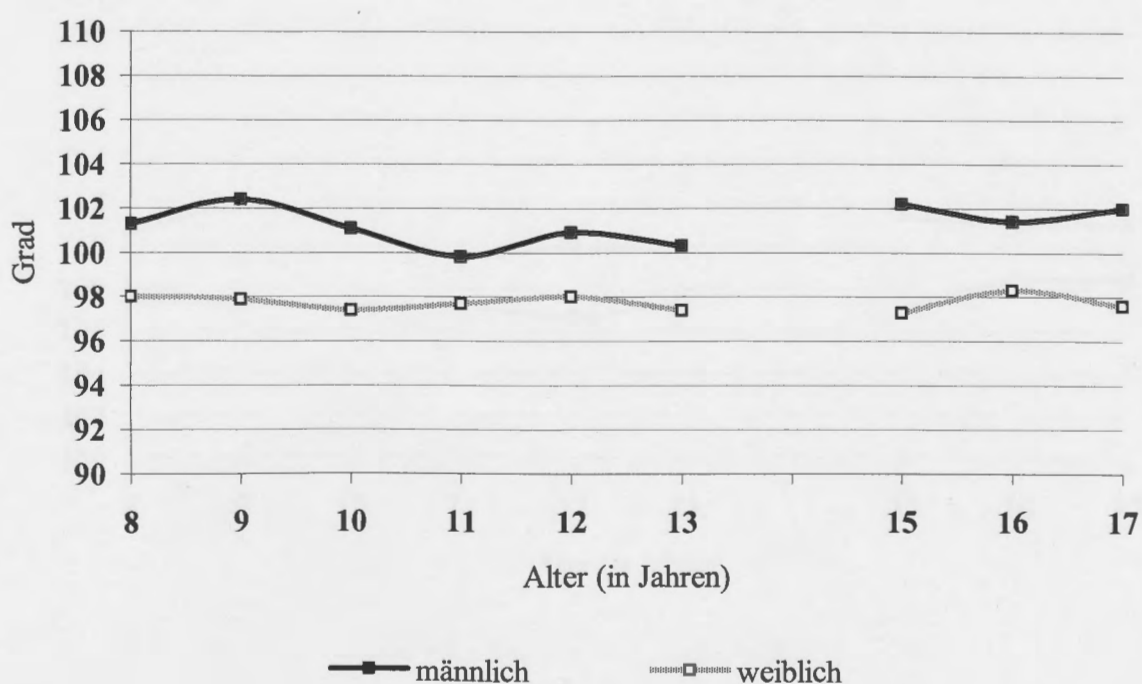


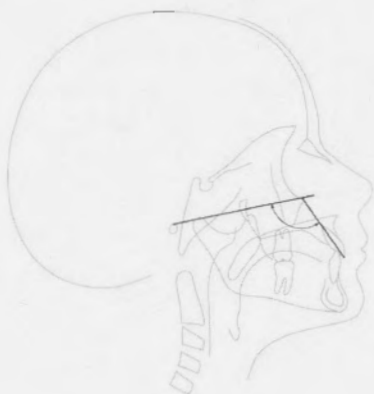
Maxilla Dentoalveolär

OK1 – SN (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	104,2	6,4	99,7	108,7	14	98,4	5,8	94,3	102,5	-
7	14	100,3	4,7	94,8	109,7	12	98,8	4,8	92,7	107,1	-
8	15	101,3	5,1	93,2	109,5	16	98,0	4,9	90,2	111,0	0,055
9	11	102,4	4,3	96,0	109,0	13	97,9	4,3	92,3	107,4	0,053
10	16	101,1	5,2	91,5	109,9	15	97,4	3,8	92,7	105,9	0,052
11	15	99,8	5,9	88,3	110,0	14	97,7	4,3	92,3	108,4	0,171
12	14	100,9	5,8	89,8	110,8	11	98,0	4,7	88,8	105,7	0,039
13	15	100,3	6,4	89,3	110,0	15	97,4	5,2	85,0	105,2	0,162
15	14	102,2	6,2	88,9	109,8	13	97,3	5,5	84,1	104,5	0,012
16	10	101,4	5,7	90,6	109,2	8	98,3	3,4	94,3	104,1	0,139
17	10	102,0	5,5	93,2	108,7	6	97,6	4,3	92,4	104,9	0,042

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



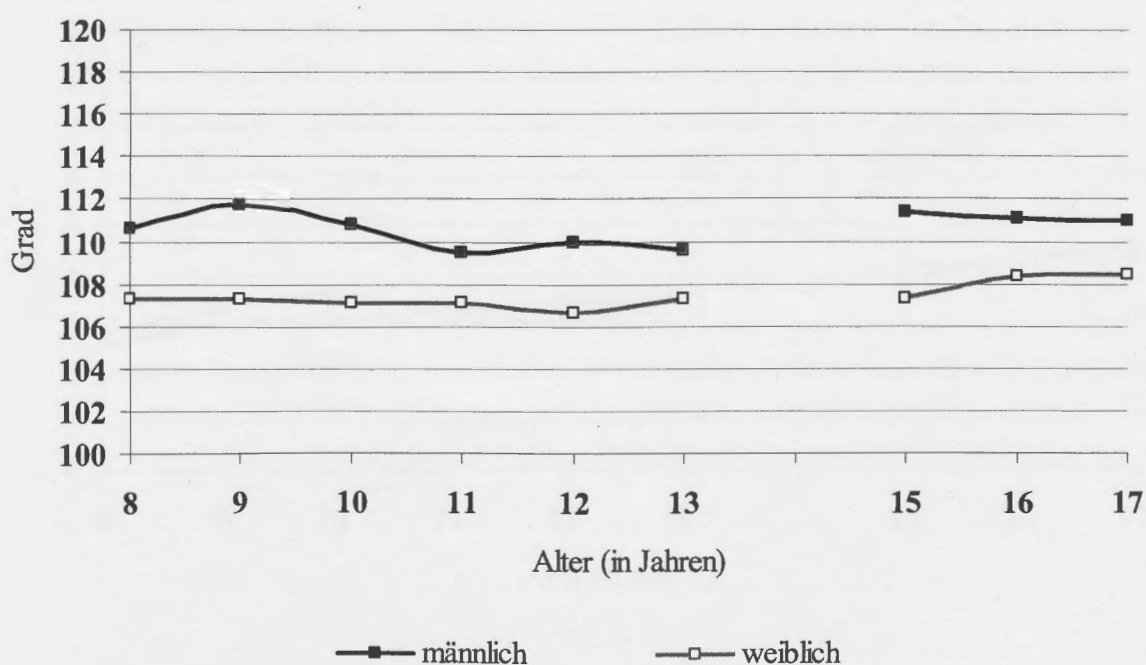


Maxilla Dentoalveolär

OK1 – FH (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	112,5	4,7	109,1	115,8	14	106,9	7,4	101,6	112,1	-
7	14	110,2	3,2	106,4	116,7	12	108,4	4,5	100,8	115,3	-
8	15	110,6	4,9	104,1	118,4	16	107,3	5,1	97,2	119,3	0,046
9	11	111,8	4,2	105,4	117,1	13	107,3	4,0	99,8	114,9	0,037
10	16	110,8	4,9	103,0	116,5	15	107,1	3,6	101,2	113,7	0,044
11	15	109,5	5,9	99,8	118,3	14	107,1	4,1	102,0	116,6	0,117
12	14	110,0	5,8	100,7	119,0	11	106,6	4,7	97,9	116,6	0,035
13	15	109,6	6,4	99,7	117,6	15	107,3	4,8	94,2	115,3	0,232
15	14	111,4	5,9	100,5	117,2	13	107,3	5,5	93,0	116,0	0,026
16	10	111,1	5,0	101,8	116,6	8	108,3	3,4	104,8	115,6	0,182
17	10	111,0	5,4	104,1	118,6	6	108,4	4,4	104,2	116,8	0,071

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



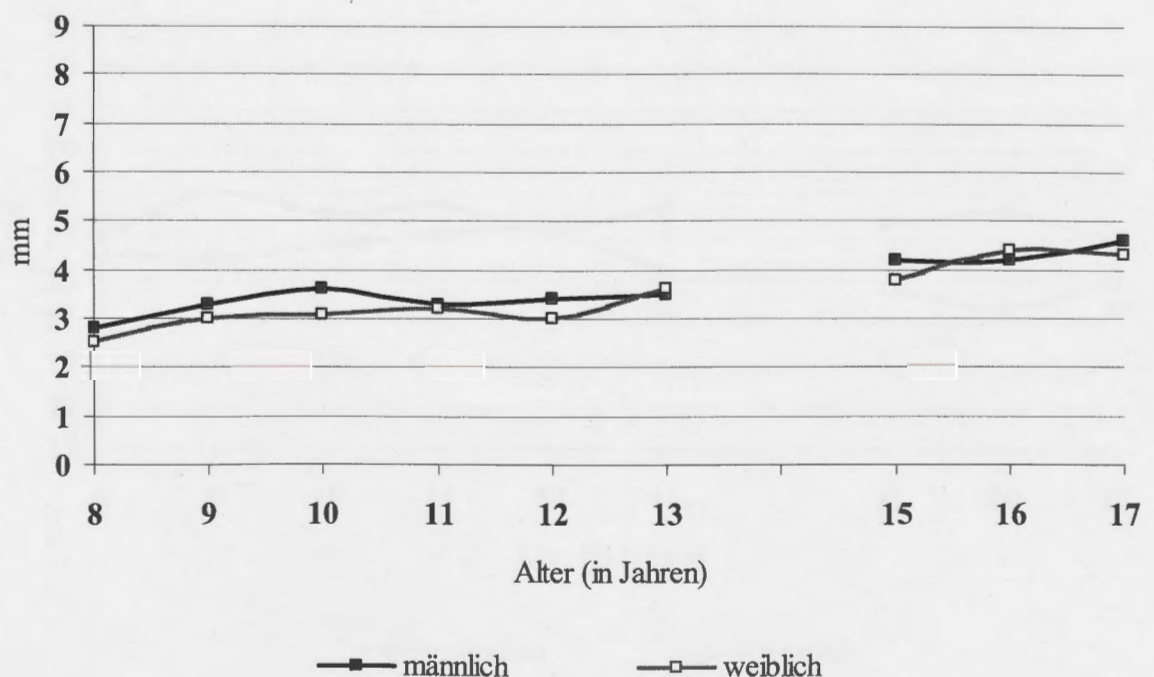


Maxilla Dentoalveolär

OK1 – Pt A Vert (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	2,5	2,5	0,7	4,3	14	1,3	0,1	1,2	1,3	-
7	14	2,0	1,6	-0,5	5,3	12	2,2	1,1	0,8	3,7	-
8	15	2,8	1,3	1,2	5,7	16	2,5	0,8	0,7	3,7	0,320
9	11	3,3	1,2	1,1	5,1	13	3,0	0,9	1,5	4,6	0,290
10	16	3,6	1,5	1,0	5,7	15	3,1	0,6	2,1	3,9	0,133
11	15	3,3	1,2	1,1	5,6	14	3,2	0,8	2,1	4,4	0,479
12	14	3,4	1,4	1,2	6,0	11	3,0	0,8	1,8	4,5	0,234
13	15	3,5	1,5	1,1	6,5	15	3,6	0,8	2,1	4,9	0,904
15	14	4,2	1,6	2,3	7,3	13	3,8	1,1	1,8	5,4	0,320
16	10	4,2	1,5	2,5	7,1	8	4,4	0,8	3,2	5,5	0,772
17	10	4,6	1,9	2,7	7,8	6	4,3	0,6	3,3	4,9	0,145

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



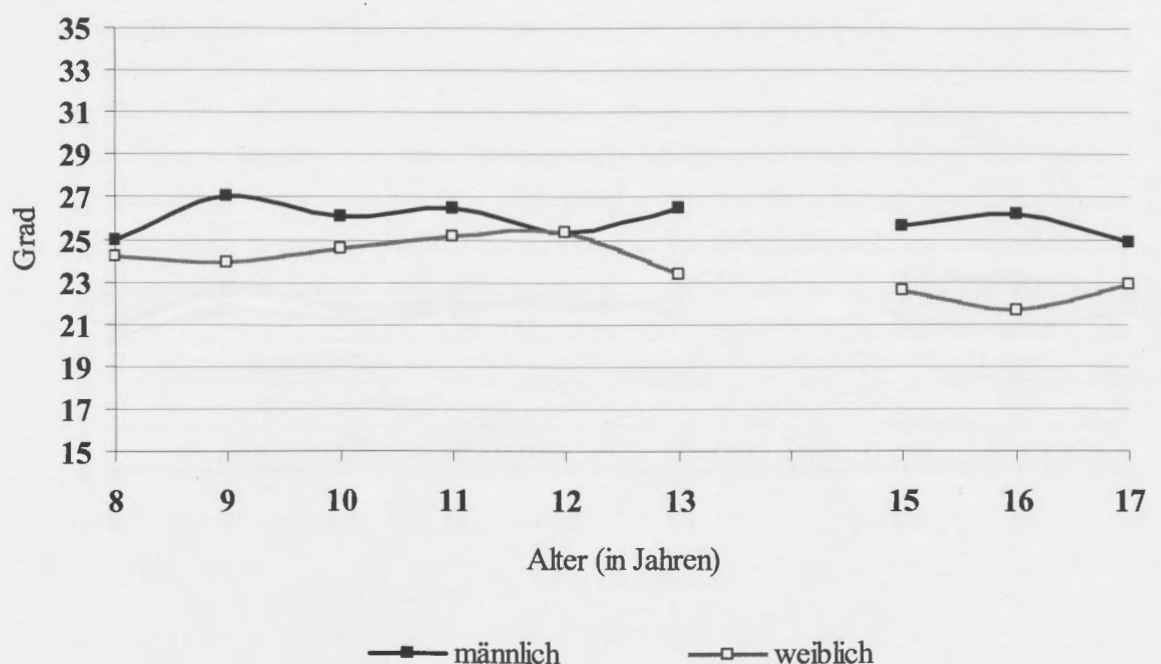


Mandibula Dentoalveolär

UK1 - NB (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	22,4	3,5	19,9	24,8	14	27,5	3,7	24,9	30,1	-
7	14	25,3	4,3	16,4	30,7	12	24,6	6,5	16,5	35,3	-
8	15	25,0	7,1	7,5	35,1	16	24,2	5,3	14,2	34,1	0,700
9	11	27,0	5,0	18,9	35,2	13	23,9	4,0	19,2	32,6	0,225
10	16	26,1	6,6	12,2	36,6	15	24,6	4,8	16,5	33,8	0,509
11	15	26,5	6,3	14,4	36,1	14	25,1	5,4	18,1	34,0	0,457
12	14	25,3	6,6	12,7	38,7	11	25,3	5,5	15,8	32,4	0,513
13	15	26,5	6,7	14,5	38,8	15	23,3	5,8	14,7	33,6	0,115
15	14	25,6	6,8	13,2	36,7	13	22,6	6,7	13,7	36,2	0,237
16	10	26,2	6,6	16,4	37,7	8	21,6	7,5	14,1	35,2	0,247
17	10	24,9	6,2	13,2	36,0	6	22,9	7,2	14,1	34,5	0,374

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



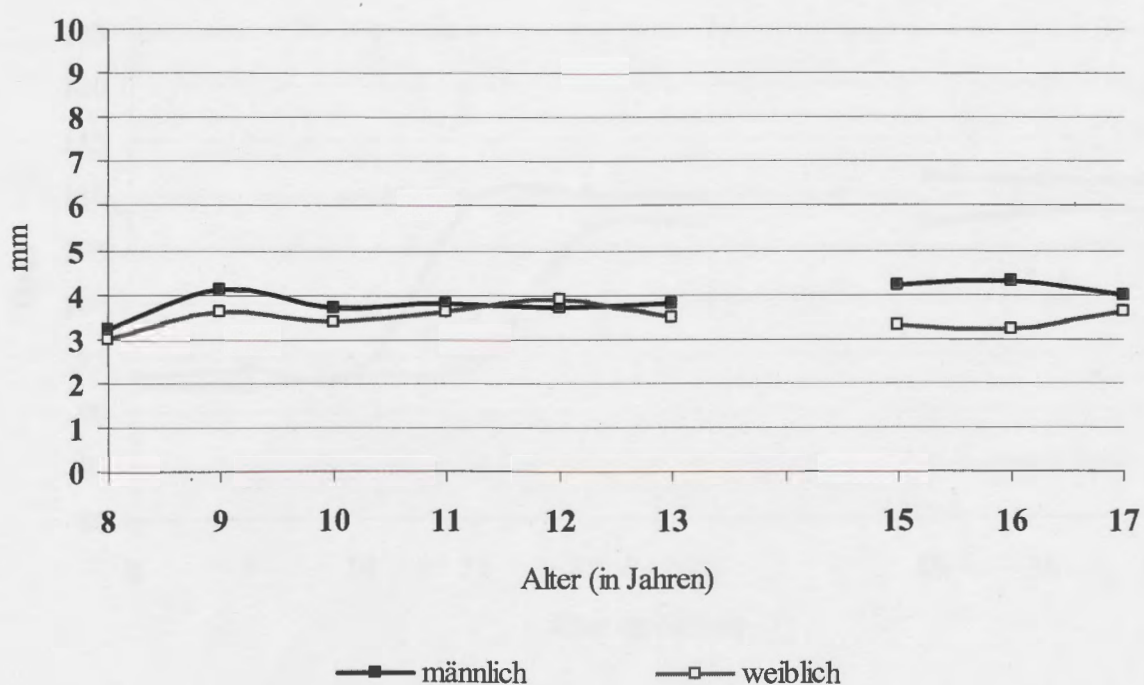


Mandibula Dentoalveolär

UK1 – NB_ (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	2,8	1,7	1,7	4,0	14	4,4	0,3	4,2	4,7	-
7	14	3,1	1,3	1,0	5,3	12	3,1	1,5	1,3	5,0	-
8	15	3,2	2,0	-1,6	6,3	16	3,0	1,4	1,2	5,6	0,679
9	11	4,1	1,5	1,8	6,5	13	3,6	1,6	1,2	7,0	0,528
10	16	3,7	1,8	-0,3	6,0	15	3,4	1,6	1,7	6,8	0,586
11	15	3,8	1,9	-0,3	6,6	14	3,6	1,8	1,8	6,8	0,625
12	14	3,7	1,8	0,2	6,8	11	3,9	1,8	1,9	6,6	0,654
13	15	3,8	1,7	0,8	6,5	15	3,5	1,8	1,4	6,7	0,568
15	14	4,2	2,0	0,7	7,1	13	3,3	1,9	1,1	7,0	0,268
16	10	4,3	1,8	1,4	6,9	8	3,2	2,1	1,1	6,5	0,423
17	10	4,0	1,8	0,7	6,6	6	3,6	2,0	1,5	6,4	0,510

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



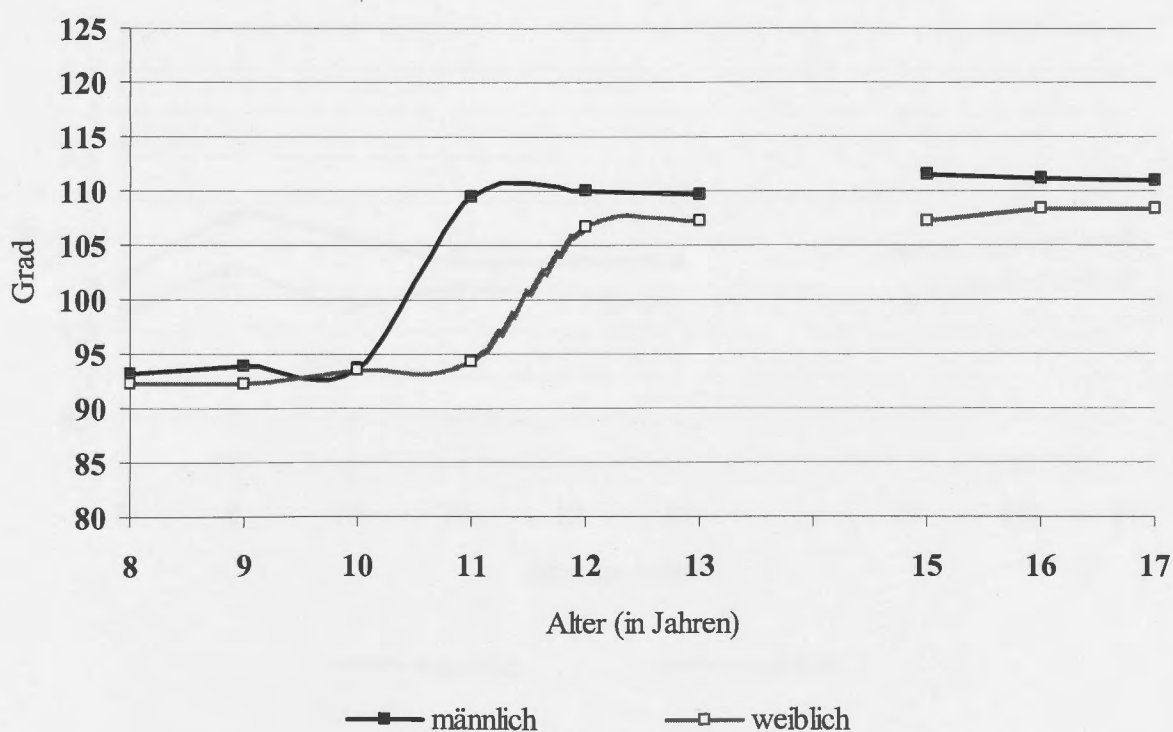


Mandibula Dentoalveolär

UK1 – MP (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	89,6	0,4	89,3	89,8	14	92,0	5,7	88,0	96,0	-
7	14	93,0	6,1	83,5	102,4	12	92,8	6,2	85,5	101,5	-
8	15	93,1	7,1	74,6	106,3	16	92,3	6,4	78,1	102,0	0,736
9	11	93,9	4,7	86,4	104,0	13	92,3	4,2	87,5	98,9	0,525
10	16	93,7	6,3	79,2	104,9	15	93,6	4,1	88,2	102,1	0,889
11	15	109,5	5,9	99,8	118,3	14	94,2	5,2	87,2	105,0	0,829
12	14	110,0	5,8	100,7	119,0	11	106,6	4,7	97,9	116,6	0,811
13	15	109,6	6,4	99,7	117,6	15	107,3	4,8	94,2	115,3	0,707
15	14	111,4	5,9	100,5	117,2	13	107,3	5,5	93,0	116,0	0,995
16	10	111,1	5,0	101,8	116,6	8	108,3	3,4	104,8	115,6	0,613
17	10	111,0	5,4	104,1	118,6	6	108,4	4,4	104,2	116,8	0,992

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



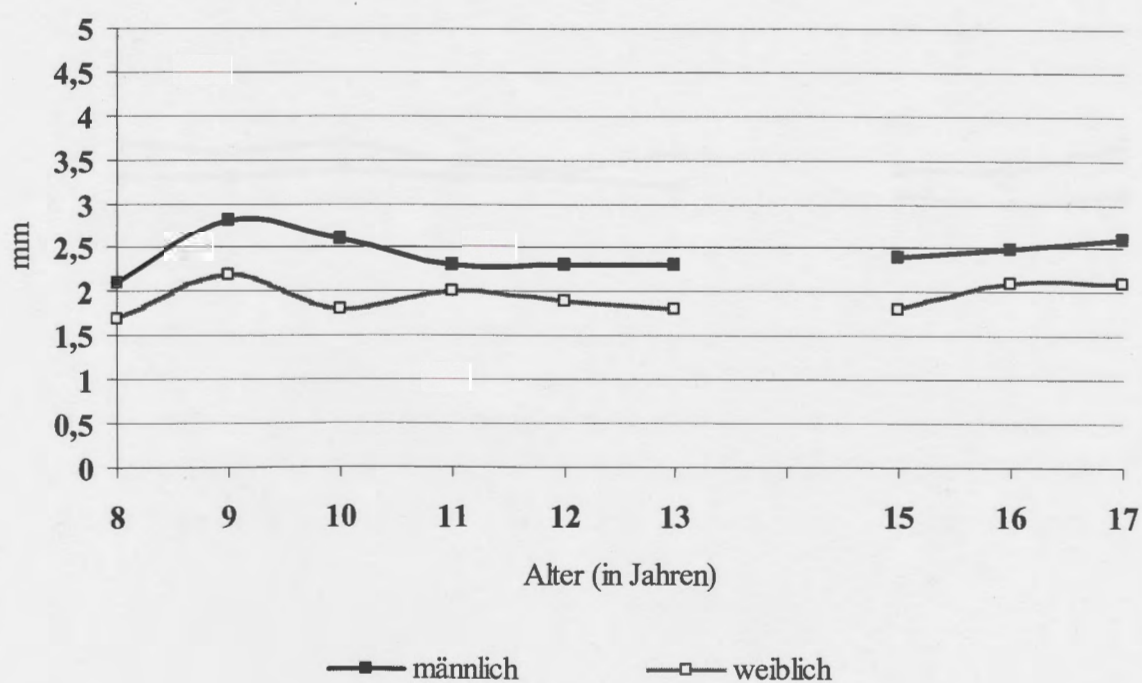


Mandibula Dentoalveolär

UK1 – Pt A Pog (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	1,2	0,9	0,6	1,9	14	2,9	1,2	2,1	3,7	-
7	14	2,0	1,1	0,2	3,5	12	2,0	1,4	0,3	4,8	-
8	15	2,1	1,4	-0,6	4,3	16	1,7	1,3	-0,9	4,9	0,324
9	11	2,8	1,2	0,6	4,5	13	2,2	1,1	0,7	4,8	0,211
10	16	2,6	1,6	-0,9	4,9	15	1,8	1,4	-0,8	4,9	0,174
11	15	2,3	1,5	-0,7	4,9	14	2,0	1,4	0,1	4,8	0,394
12	14	2,3	1,8	-1,1	5,0	11	1,9	1,5	-0,2	4,7	0,232
13	15	2,3	1,6	-0,7	4,9	15	1,8	1,6	-0,7	5,0	0,230
15	14	2,4	1,7	-0,9	5,2	13	1,8	1,8	-0,8	5,7	0,214
16	10	2,5	1,7	-0,8	4,8	8	2,1	1,8	-0,9	4,2	0,473
17	10	2,6	1,9	-0,8	5,1	6	2,1	1,8	-1,4	3,5	0,169

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



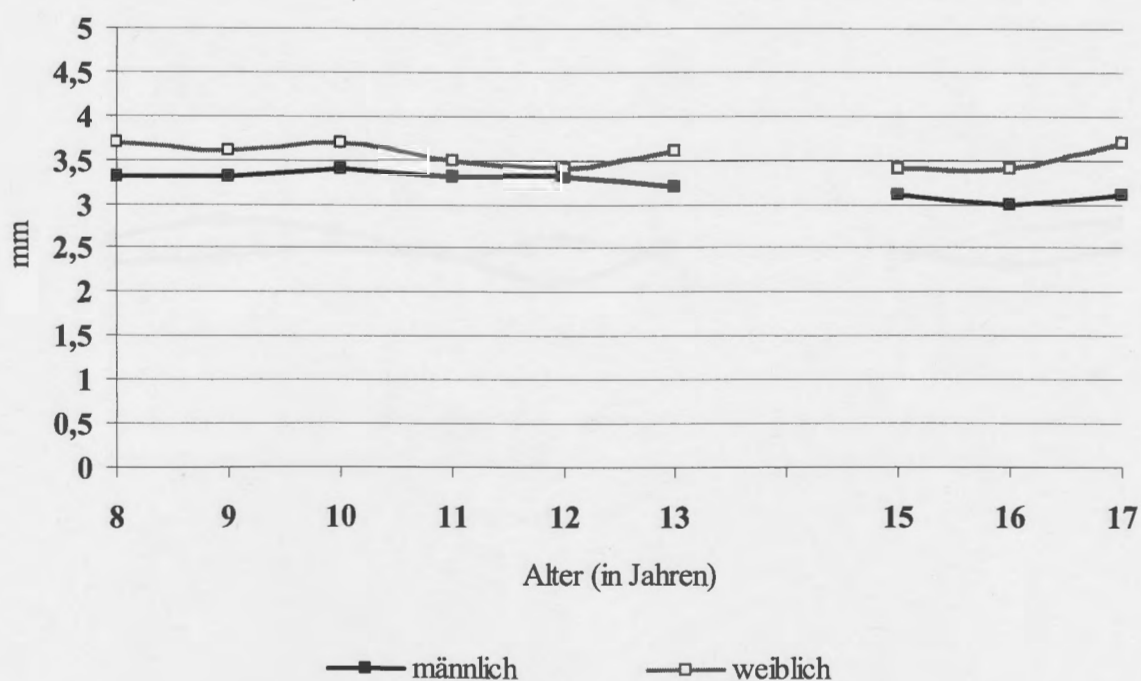


Interdental

OJ Fac (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	3,5	1,6	2,4	4,7	14	2,9	0,5	2,6	3,3	-
7	14	3,0	0,7	2,0	3,9	12	3,4	0,8	2,4	4,9	-
8	15	3,3	0,6	2,4	4,2	16	3,7	0,9	2,0	6,1	0,096
9	11	3,3	0,8	2,1	4,2	13	3,6	0,5	2,8	4,2	0,239
10	16	3,4	0,8	1,8	4,7	15	3,7	0,9	2,1	6,2	0,278
11	15	3,3	0,7	2,1	4,9	14	3,5	0,7	2,7	4,9	0,693
12	14	3,3	0,8	1,9	4,6	11	3,4	0,6	2,6	4,0	0,483
13	15	3,2	0,6	2,1	4,4	15	3,6	0,8	2,5	5,2	0,127
15	14	3,1	0,7	1,6	4,2	13	3,4	0,9	2,5	5,4	0,351
16	10	3,0	0,8	2,0	4,1	8	3,4	0,9	2,2	5,3	0,481
17	10	3,1	1,0	1,2	4,7	6	3,7	0,9	3,1	5,4	0,091

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



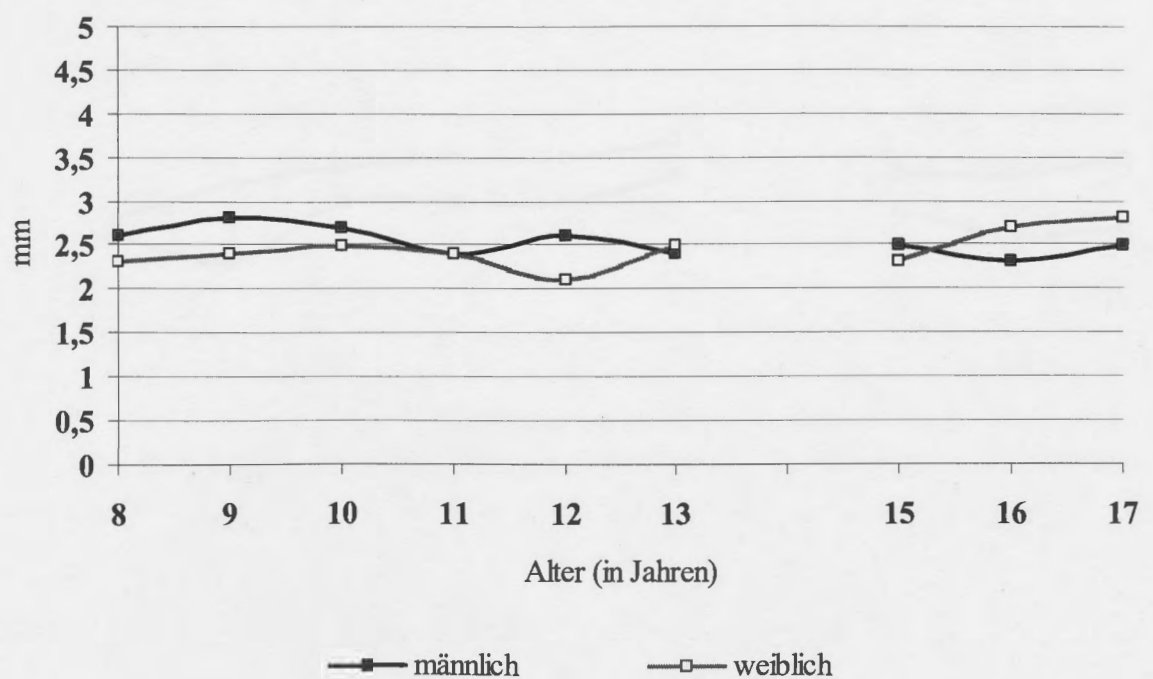


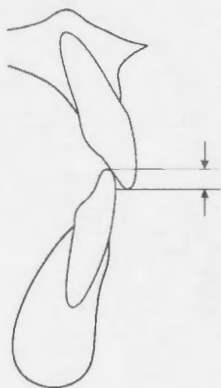
Interdental

OJ Incis (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	3,2	1,5	2,1	4,3	14	2,0	0,6	1,6	2,4	-
7	14	2,3	0,7	1,5	3,6	12	2,2	0,5	1,6	3,1	-
8	15	2,6	0,7	1,3	4,0	16	2,3	1,0	1,2	5,4	0,237
9	11	2,8	0,8	1,4	3,7	13	2,4	0,6	1,5	3,3	0,262
10	16	2,7	0,8	1,3	4,3	15	2,5	0,8	1,5	4,6	0,510
11	15	2,4	0,5	1,6	3,2	14	2,4	0,7	1,3	3,4	0,507
12	14	2,6	0,8	1,1	3,5	11	2,1	0,7	1,3	3,3	0,180
13	15	2,4	0,7	0,9	3,4	15	2,5	0,7	1,6	4,0	0,674
15	14	2,5	0,8	1,0	3,8	13	2,3	0,9	1,2	4,3	0,761
16	10	2,3	0,8	1,0	3,5	8	2,7	0,9	1,4	4,5	0,627
17	10	2,5	0,7	0,8	3,3	6	2,8	1,0	1,7	4,4	0,752

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



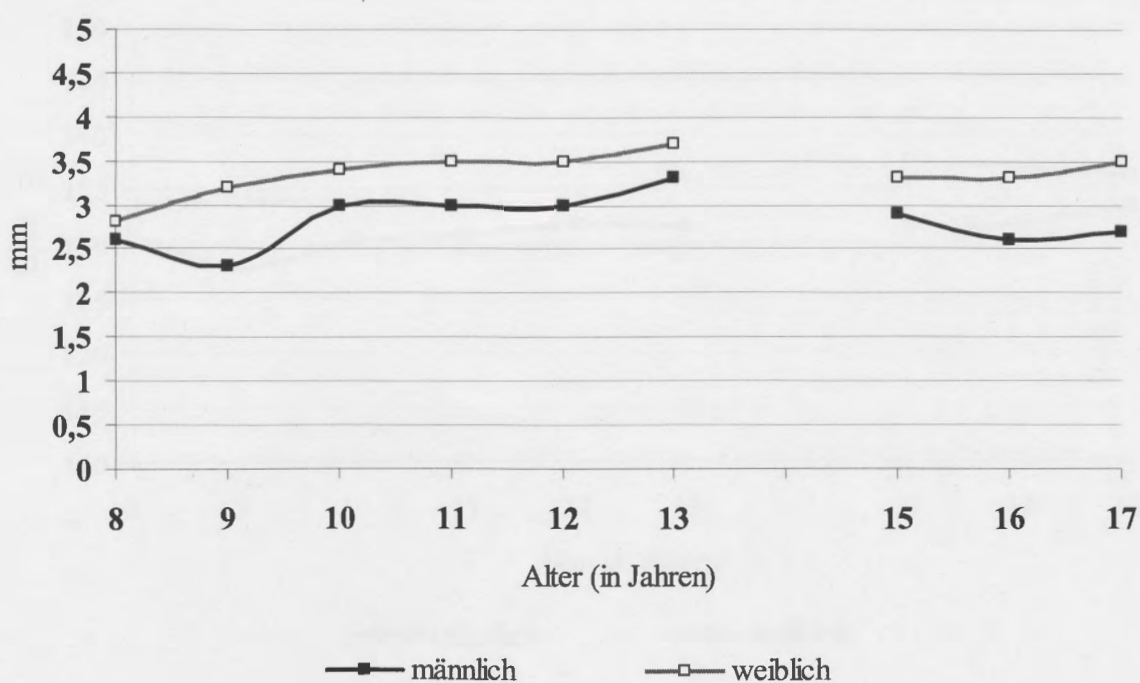


Interdental

OB (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	3,4	1,5	2,3	4,5	14	0,5	3,4	-2,0	2,9	-
7	14	1,8	2,1	-1,9	4,6	12	1,5	1,7	-1,9	4,3	-
8	15	2,6	1,9	-1,4	4,9	16	2,8	1,0	1,0	4,9	0,605
9	11	2,3	1,7	-0,9	4,4	13	3,2	1,2	0,7	5,3	0,243
10	16	3,0	1,5	-0,1	4,8	15	3,4	1,2	1,3	5,1	0,581
11	15	3,0	1,5	0,1	5,2	14	3,5	1,2	1,3	5,4	0,398
12	14	3,0	1,7	0,2	5,5	11	3,5	0,8	2,4	4,6	0,380
13	15	3,3	1,4	0,7	5,2	15	3,7	1,2	2,2	6,3	0,419
15	14	2,9	1,3	0,6	4,7	13	3,3	1,2	1,7	5,2	0,269
16	10	2,6	1,4	0,7	4,3	8	3,3	1,3	1,7	5,7	0,234
17	10	2,7	1,3	0,3	4,4	6	3,5	1,1	2,1	5,3	0,138

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



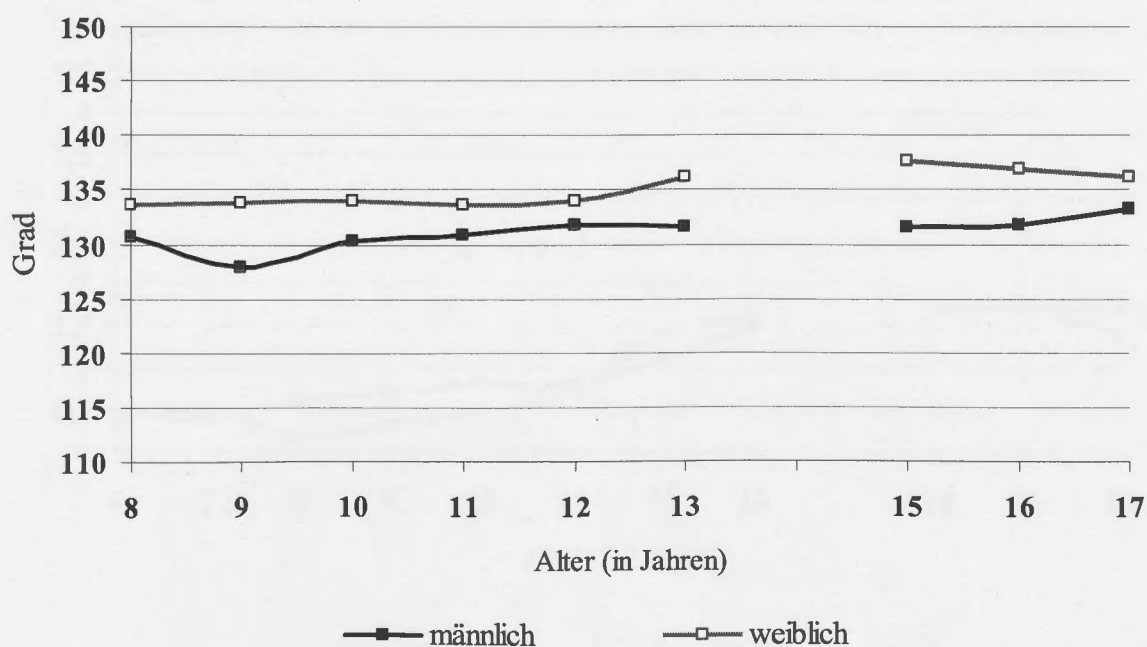


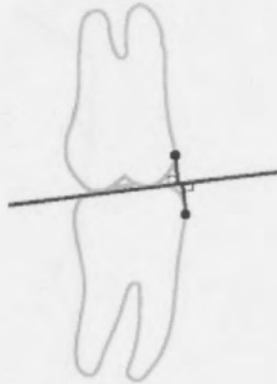
Interdental

OK1 – UK1 (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	132,6	6,4	128,1	137,1	14	131,2	6,7	126,4	135,9	-
7	14	131,4	6,6	122,3	143,6	12	132,1	8,7	120,6	143,8	-
8	15	130,7	10,4	116,0	153,7	16	133,6	4,5	125,1	140,5	0,317
9	11	127,8	7,8	117,7	137,9	13	133,8	4,8	124,1	140,7	0,094
10	16	130,3	9,1	118,0	150,8	15	133,9	6,0	123,4	142,0	0,235
11	15	130,9	10,1	115,0	152,0	14	133,6	6,4	121,7	141,4	0,259
12	14	131,8	9,4	116,8	152,0	11	134,0	7m8	120,7	143,7	0,202
13	15	131,5	10,8	113,5	150,7	15	136,2	8,5	121,4	148,9	0,126
15	14	131,6	10,4	114,3	149,5	13	137,6	9,5	118,5	153,5	0,069
16	10	131,8	9,4	117,7	147,0	8	136,9	10,0	120,6	150,4	0,198
17	10	133,2	8,8	120,1	146,9	6	136,2	8,8	122,0	148,9	0,214

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



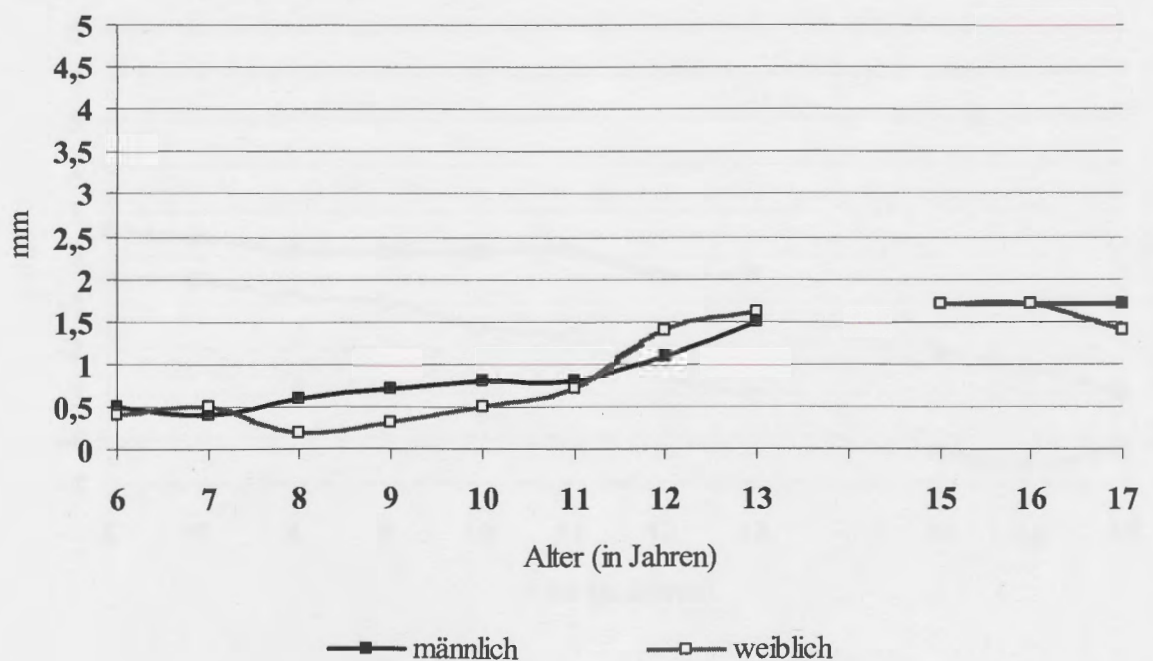


Interdental

OK6 – UK6 (°)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
		\bar{x}	SD	Min	Max		\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	0,5	0,5	-0,1	1,6	14	0,4	0,7	-0,7	2,2	0,806
7	14	0,4	0,7	-0,8	1,4	12	0,5	0,9	-0,7	2,1	0,862
8	15	0,6	0,6	-0,4	1,4	16	0,2	0,8	-1,1	1,6	0,223
9	11	0,7	0,8	-0,2	2,6	13	0,3	0,9	-0,7	1,6	0,215
10	16	0,8	0,8	-0,2	2,4	15	0,5	1,0	-0,9	2,1	0,371
11	15	0,8	0,9	-0,2	3,0	14	0,7	1,2	-0,8	3,3	0,955
12	14	1,1	1,1	-0,3	3,5	11	1,4	1,0	-0,3	3,2	0,410
13	15	1,5	0,9	0,0	3,2	15	1,6	0,9	0,7	4,0	0,556
15	14	1,7	0,6	0,6	2,8	13	1,7	0,9	0,5	3,5	0,902
16	10	1,7	0,8	0,6	2,9	8	1,7	0,6	0,8	2,5	0,657
17	10	1,7	1,1	0,0	3,1	6	1,4	0,4	1,0	2,0	0,684

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



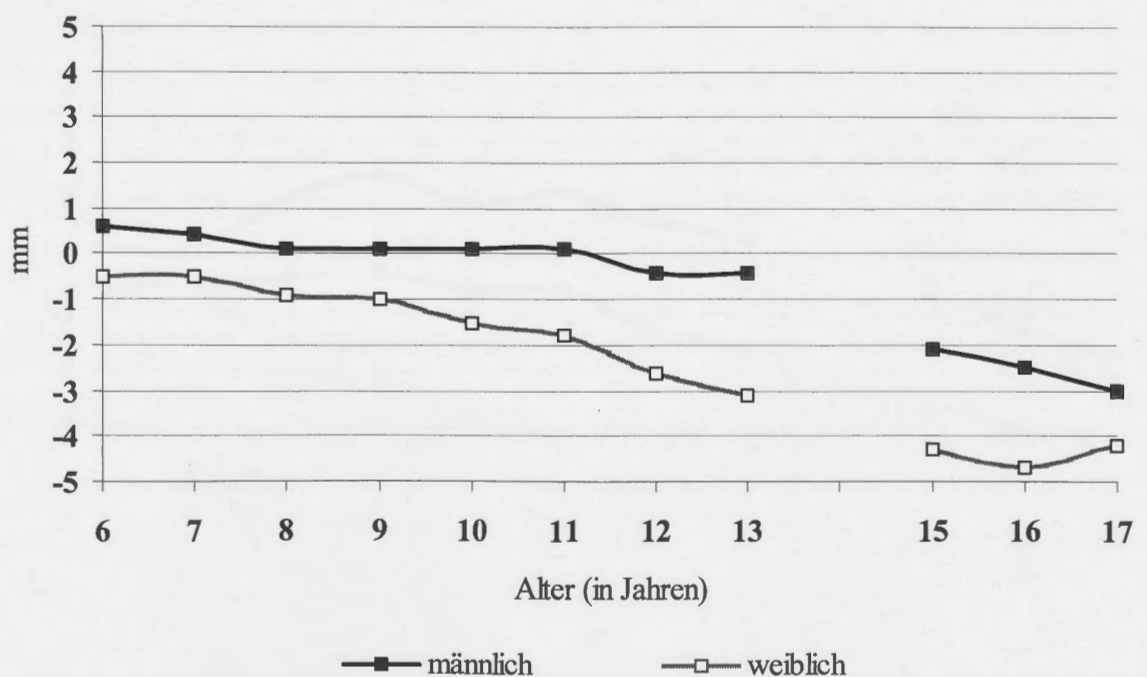
Weichteilanalyse

OL - E (mm)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	0,6	1,0	-0,6	2,5	14	-0,5	1,4	-2,3	2,2	0,080
7	14	0,4	1,4	-1,6	3,8	12	-0,5	1,3	-2,9	1,8	0,068
8	15	0,1	1,8	-2,7	3,7	16	-0,9	1,3	-3,0	1,3	0,078
9	11	0,1	1,6	-2,1	3,6	13	-1,0	1,5	-4,0	0,8	0,068
10	16	0,1	1,4	-1,7	3,1	15	-1,5	1,5	-3,5	0,7	0,009
11	15	0,1	1,2	-1,6	3,1	14	-1,8	1,3	-4,3	0,1	0,001
12	14	-0,4	1,7	-2,9	3,3	11	-2,6	1,3	-4,8	-0,7	<0,001
13	15	-0,4	1,6	-2,7	3,0	15	-3,1	2,0	-7,2	0,1	<0,001
15	14	-2,1	1,9	-4,5	2,2	13	-4,3	1,5	-7,4	-1,4	<0,001
16	10	-2,5	2,0	-5,0	1,4	8	-4,7	2,0	-7,9	-2,0	0,030
17	10	-3,0	2,3	-5,6	1,6	6	-4,2	1,7	-6,4	-1,8	0,026

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur

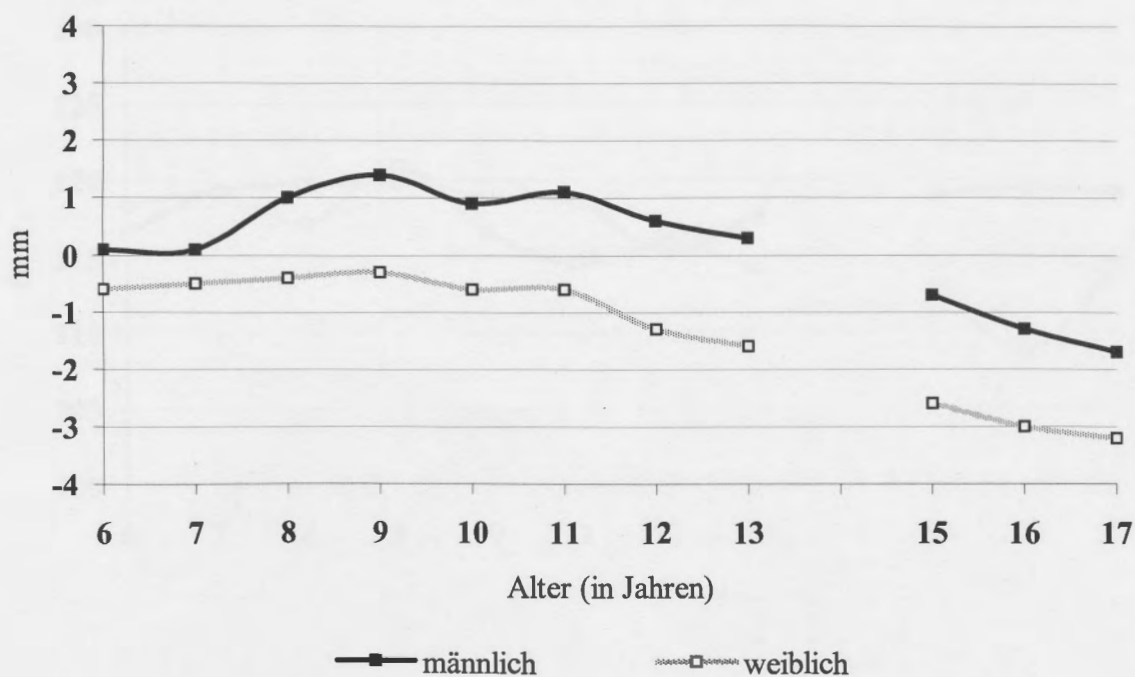


Weichteilanalyse

UL - E (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	0,1	1,4	-2,0	2,5	14	-0,6	1,7	-3,6	3,0	0,477
7	14	0,1	1,7	-3,6	3,0	12	-0,5	1,7	-3,7	2,6	0,227
8	15	1,0	2,3	-2,4	6,2	16	-0,4	1,9	-3,5	3,0	0,048
9	11	1,4	2,0	-1,6	5,8	13	-0,3	1,8	-3,9	2,1	0,039
10	16	0,9	1,8	-2,5	3,6	15	-0,6	1,9	-3,2	2,9	0,046
11	15	1,1	2,0	-1,6	5,4	14	-0,6	1,8	-3,3	2,3	0,015
12	14	0,6	2,1	-2,8	4,6	11	-1,3	1,9	-4,6	2,1	0,006
13	15	0,3	2,3	-3,1	5,5	15	-1,6	2,3	-4,6	2,3	0,008
15	14	-0,7	2,3	-3,8	4,1	13	-2,6	1,5	-4,5	0,7	0,010
16	10	-1,3	2,4	-4,2	2,5	8	-3,0	2,5	-4,9	2,2	0,270
17	10	-1,7	2,5	-4,5	3,1	6	-3,2	1,2	-4,8	-2,1	0,049

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



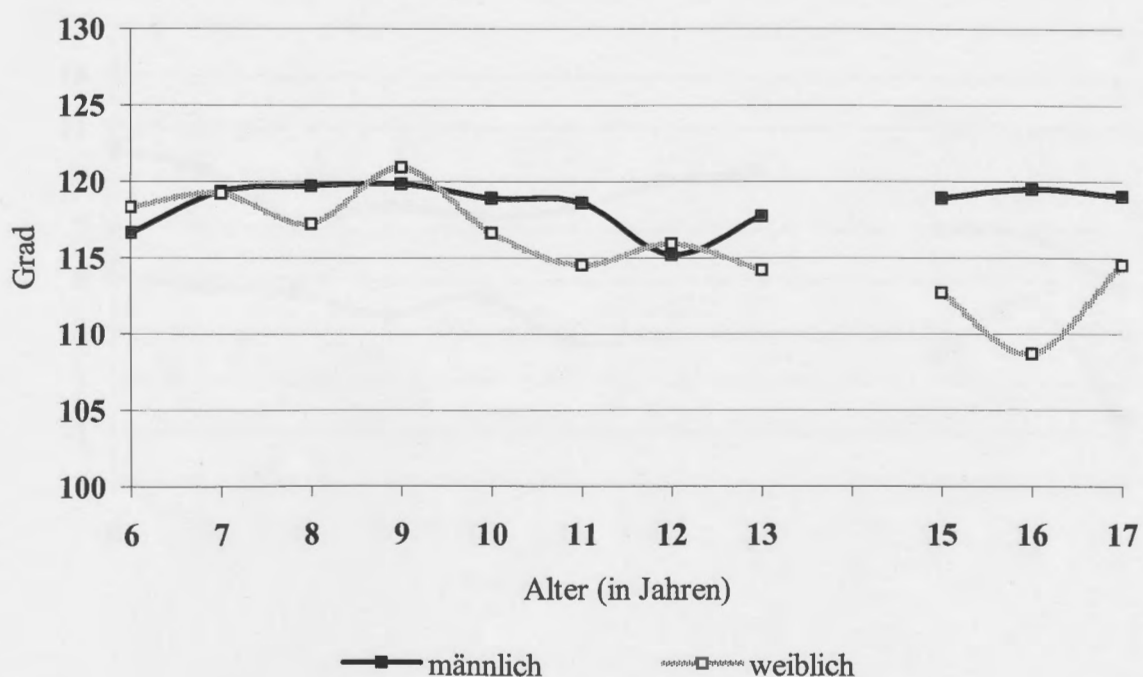
Weichteilanalyse

Nasolab (°)



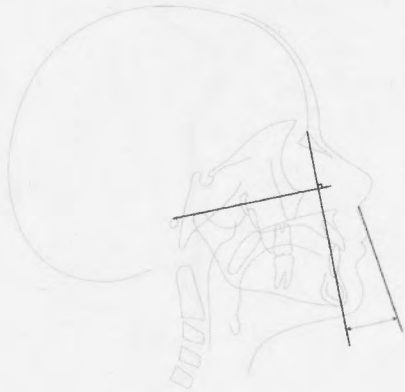
Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	116,6	11,6	96,6	135,2	14	118,3	9,7	96,5	132,4	0,958
7	14	119,3	13,4	96,3	142,6	12	119,2	8,2	100,1	128,1	0,533
8	15	119,7	12,2	99,0	140,0	16	117,2	7,4	104,4	130,2	0,699
9	11	119,8	12,6	100,0	140,3	13	120,9	19,4	97,9	173,3	0,667
10	16	118,9	11,8	103,3	140,7	15	116,6	12,2	93,2	129,2	0,656
11	15	118,6	10,1	99,3	132,6	14	114,5	10,6	92,6	127,1	0,540
12	14	115,2	13,3	93,7	140,2	11	115,9	10,5	89,6	127,0	0,890
13	15	117,7	11,8	93,3	138,0	15	114,2	12,2	89,8	127,7	0,539
15	14	118,9	11,6	97,0	139,5	13	112,7	11,5	86,5	125,7	0,181
16	10	119,5	10,4	103,2	134,7	8	108,7	13,2	85,8	124,4	0,226
17	10	119,0	10,7	97,3	134,9	6	114,5	11,5	92,1	124,5	0,225

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



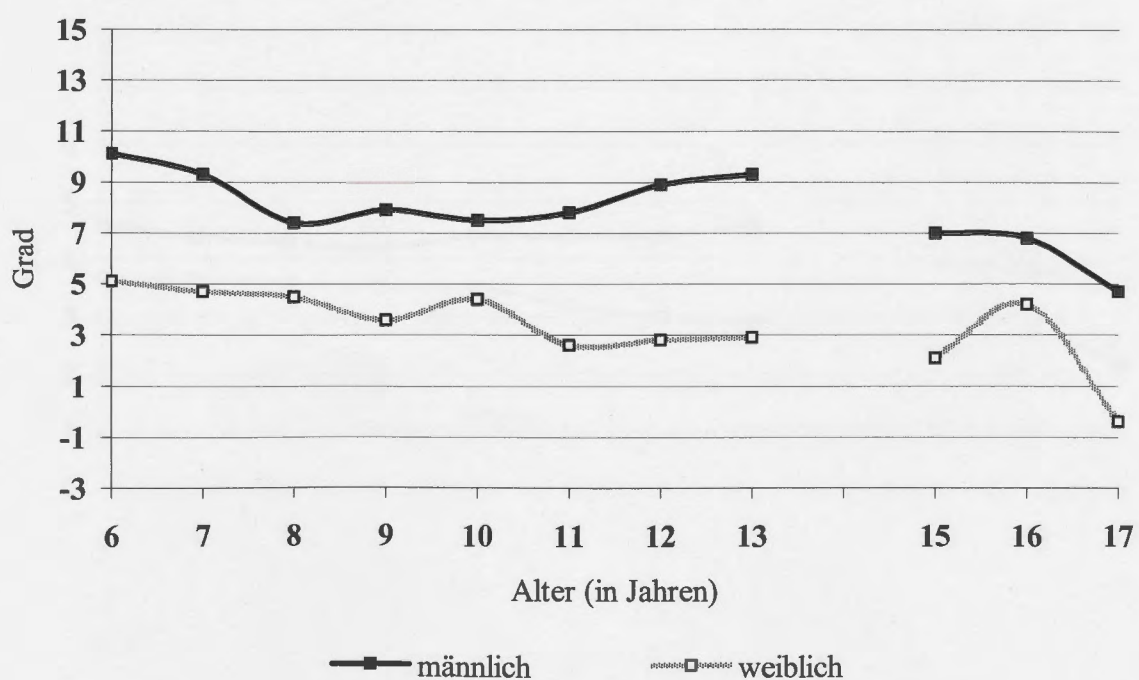
Weichteilanalyse

OL Neig (°)



Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	10,1	6,7	0,8	20,7	14	5,1	6,6	-9,3	15,3	0,078
7	14	9,3	6,9	-5,4	19,0	12	4,7	4,7	-5,7	11,9	0,375
8	15	7,4	6,6	-3,0	16,7	16	4,5	5,5	-8,4	13,9	0,185
9	11	7,9	7,4	-3,5	20,6	13	3,6	5,0	-5,0	14,1	0,067
10	16	7,5	7,1	-5,0	17,4	15	4,4	6,6	-5,8	18,3	0,170
11	15	7,8	6,9	0,0	23,7	14	2,6	7,9	-11,4	18,4	0,018
12	14	8,9	8,8	-3,5	25,4	11	2,8	8,0	-7,1	20,6	0,021
13	15	9,3	7,4	0,4	25,8	15	2,9	6,9	-7,1	17,8	0,011
15	14	7,0	7,1	-3,8	23,8	13	2,1	7,6	-11,2	13,1	0,067
16	10	6,8	8,2	-6,7	21,5	8	4,2	5,7	-3,2	16,1	0,618
17	10	4,7	7,8	-8,4	19,6	6	-0,4	8,9	-12,1	9,2	0,271

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur

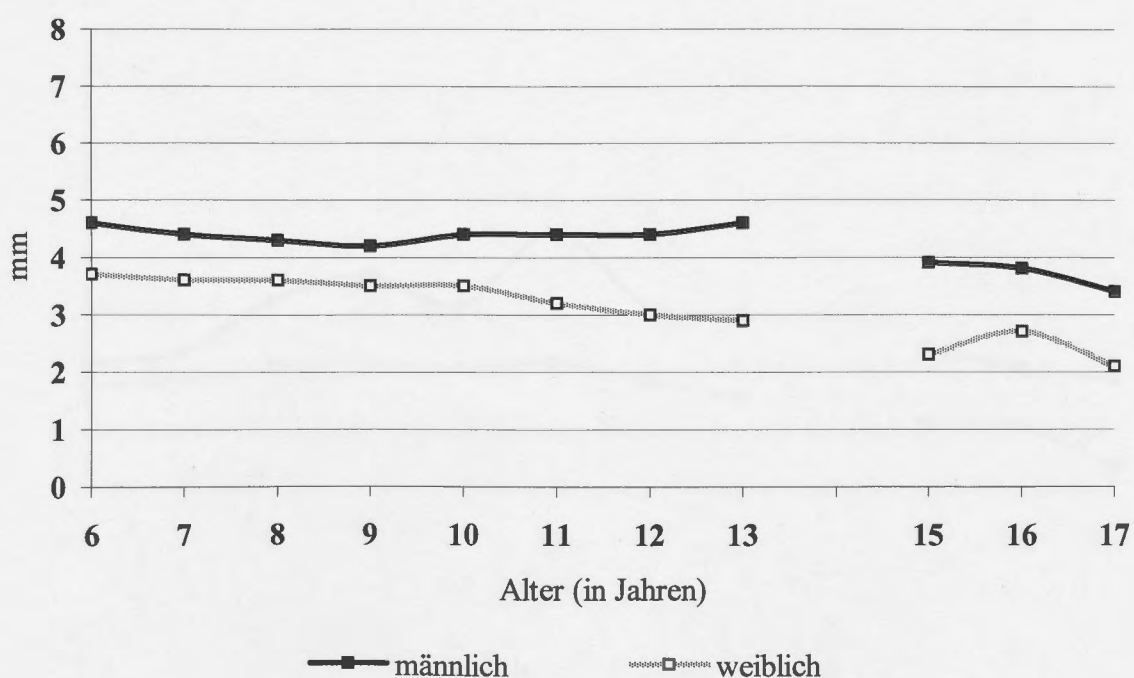


Weichteilanalyse

OL Protr (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	4,6	1,0	3,2	6,8	14	3,7	1,2	2,0	5,6	0,118
7	14	4,4	1,4	2,1	7,6	12	3,6	0,9	2,4	5,2	0,232
8	15	4,3	1,5	2,4	7,3	16	3,6	1,0	2,1	5,8	0,109
9	11	4,2	1,6	2,1	7,7	13	3,5	1,2	1,7	5,5	0,084
10	16	4,4	1,3	1,9	6,9	15	3,5	1,4	1,6	6,5	0,059
11	15	4,4	1,2	2,5	7,6	14	3,2	1,1	1,5	5,9	0,006
12	14	4,4	1,7	1,9	7,9	11	3,0	0,9	1,8	5,1	0,007
13	15	4,6	1,4	2,3	7,8	15	2,9	1,4	1,1	5,2	0,001
15	14	3,9	1,7	1,6	8,2	13	2,3	1,3	0,1	4,3	0,002
16	10	3,8	2,1	0,6	8,0	8	2,7	1,3	1,4	4,9	0,101
17	10	3,4	2,1	0,1	8,1	6	2,1	1,6	-0,2	3,9	0,056

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur

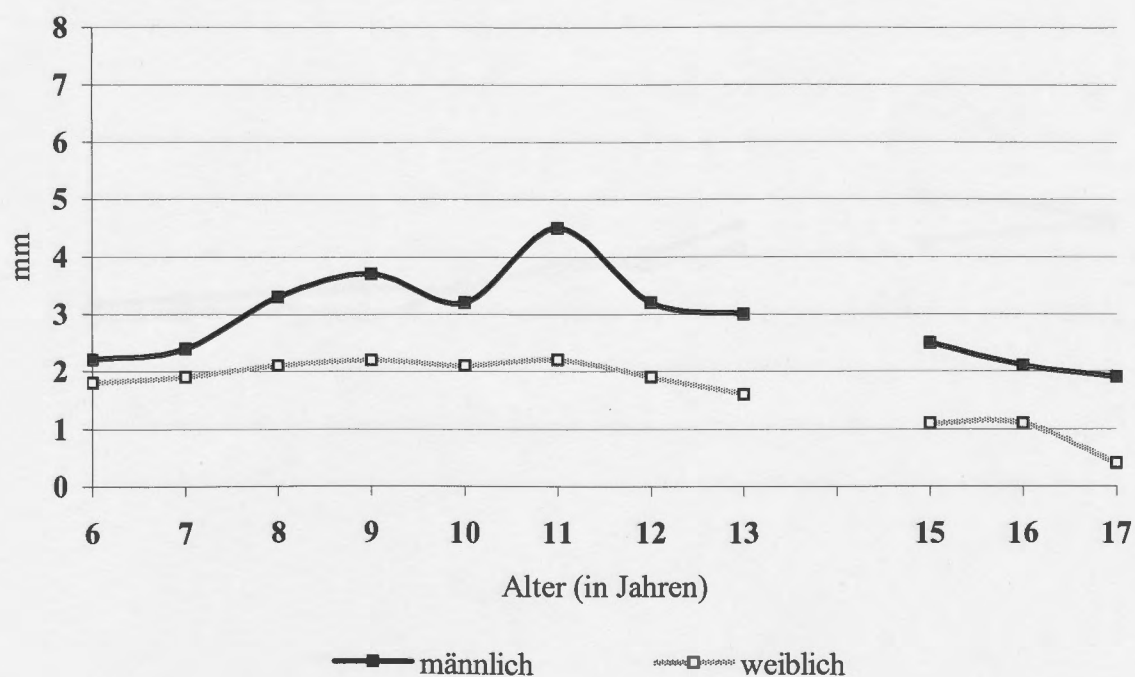


Weichteilanalyse

UL Protr (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	2,2	1,3	0,2	4,5	14	1,8	1,7	-1,4	4,9	0,643
7	14	2,4	1,4	-0,4	4,9	12	1,9	1,6	-1,2	4,9	0,339
8	15	3,3	2,0	0,5	8,2	16	2,1	1,7	-0,8	5,4	0,053
9	11	3,7	1,8	1,2	7,7	13	2,2	1,6	-0,7	4,9	0,032
10	16	3,2	1,4	0,8	5,0	15	2,1	1,8	-0,6	5,2	0,078
11	15	4,5	1,8	1,0	7,3	14	2,2	1,6	-0,2	5,1	0,021
12	14	3,2	1,8	0,8	6,6	11	1,9	1,5	-0,7	4,6	0,020
13	15	3,0	2,1	0,1	7,7	15	1,6	2,1	-0,7	6,2	0,028
15	14	2,5	2,0	-0,5	6,7	13	1,1	1,6	-1,0	4,3	0,029
16	10	2,1	2,0	-0,6	6,0	8	1,1	2,4	-1,1	5,4	0,324
17	10	1,9	2,0	-0,6	5,8	6	0,4	1,4	-1,3	2,3	0,055

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur

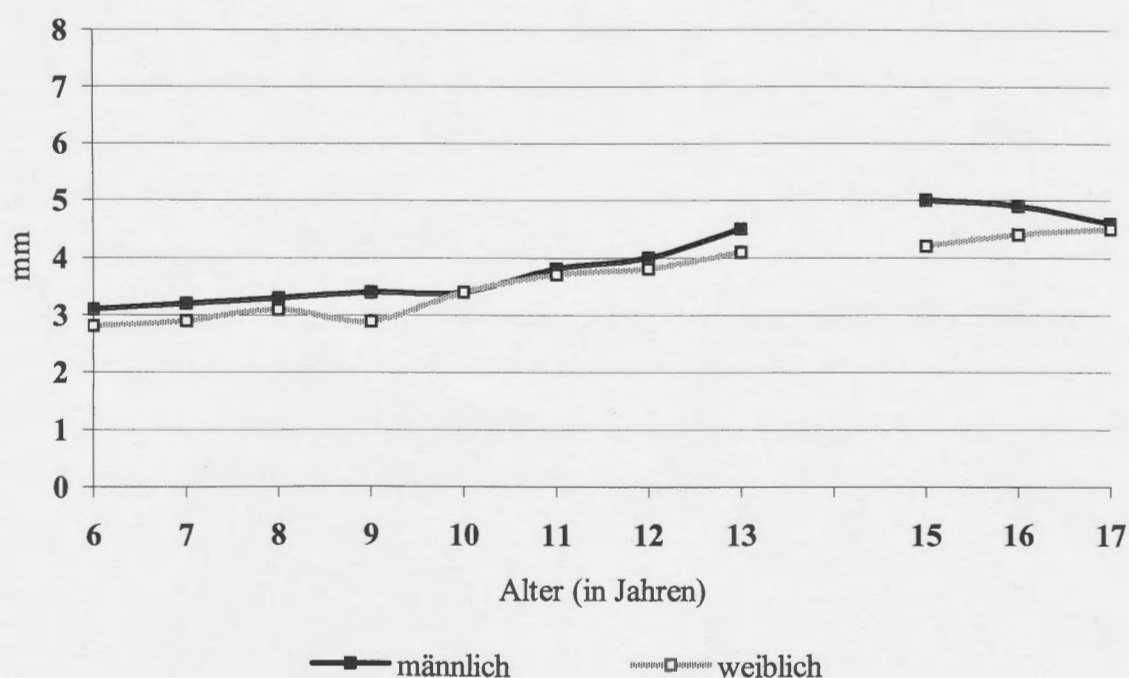


Weichteilanalyse

Mentolab (mm)

Alter	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6	13	3,1	1,2	2,0	6,2	14	2,8	0,7	1,9	4,3	0,752
7	14	3,2	1,3	1,4	6,2	12	2,9	0,6	1,9	3,7	0,886
8	15	3,3	1,0	1,4	5,5	16	3,1	0,8	2,1	4,6	0,557
9	11	3,4	0,7	2,3	4,9	13	2,9	1,0	1,5	4,9	0,204
10	16	3,4	0,9	2,1	5,3	15	3,4	0,9	2,1	4,8	0,811
11	15	3,8	0,6	2,6	4,9	14	3,7	0,8	2,3	5,1	0,710
12	14	4,0	0,9	2,8	6,0	11	3,8	1,3	1,9	5,9	0,674
13	15	4,5	0,6	3,5	5,3	15	4,1	0,9	2,6	5,4	0,346
15	14	5,0	0,9	3,3	6,4	13	4,2	1,0	2,4	5,9	0,028
16	10	4,9	1,0	3,1	6,4	8	4,4	0,8	2,9	5,5	0,101
17	10	4,6	0,8	3,1	5,6	6	4,5	0,8	3,5	5,9	0,319

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit automatisch angepasster Bonferroni-Korrektur



4.2 VERGLEICH DER JÄHRLICHEN UND DER GESAMTWACHSTUMSRATEN FÜR AUSGEWÄHLTE KEPHALOMETRISCHE PARAMETER IN DER MÄNNLICHEN UND DER WEIBLICHEN PROBANDENGRUPPE

GESCHLECHTSSPEZIFISCHER VERGLEICH DER WACHSTUMSRATEN AUSGEWÄHLTER KEPHALOMETRISCHER PARAMETER IN ABHÄNGIGKEIT VOM CHRONOLOGISCHEN ALTER

Jährliche und Gesamtwachstumsraten (mm)							
männlich							
Intervall	Anzahl	S-N		S-Ba		S-Ar	
Jahre	n	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*
7-6	11	0,3	0,151	0,5	0,008	0,4	0,108
8-7	15	1,1	<0,001	0,8	0,006	1,2	0,002
9-8	11	0,4	0,016	1,1	0,006	0,4	0,134
10-9	16	0,1	0,187	1,0	0,007	0,7	0,066
11-10	15	0,6	0,001	0,3	0,280	0,6	0,005
12-11	14	1,8	0,001	1,6	0,001	1,4	0,001
13-12	15	0,4	0,023	0,1	0,477	0,7	0,010
15-14	14	1,2	0,001	0,9	0,006	0,8	0,003
16-15	10	0,4	0,031	0,1	0,824	0,4	0,041
17-16	8	1,3	0,005	0,6	0,213	0,9	0,008
17-6	11	8,5	0,003	7,5	0,003	7,4	0,003

Jährliche und Gesamtwachstumsraten (mm)							
weiblich							
Intervall	Anzahl	S-N		S-Ba		S-Ar	
Jahre	n	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*
7-6	11	0,7	0,002	0,9	0,002	0,4	0,055
8-7	15	1,0	0,001	0,7	0,006	1,2	0,002
9-8	11	0,3	0,013	0,6	0,034	0,6	0,020
10-9	16	0,5	0,006	0,0	0,352	0,3	0,063
11-10	15	0,1	0,134	1,0	0,001	0,5	0,039
12-11	14	2,3	<0,001	1,6	<0,001	1,4	<0,001
13-12	15	0,3	0,010	0,4	0,224	0,1	0,134
15-14	14	0,3	0,069	0,9	0,345	0,3	0,015
16-15	10	0,1	0,401	-0,3	0,919	0,5	0,047
17-16	4	0,7	0,012	1,4	0,093	0,2	0,575
17-6	11	6,4	0,003	5,9	0,003	5,8	0,003

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/11=0,0045$)

Schädelbasis

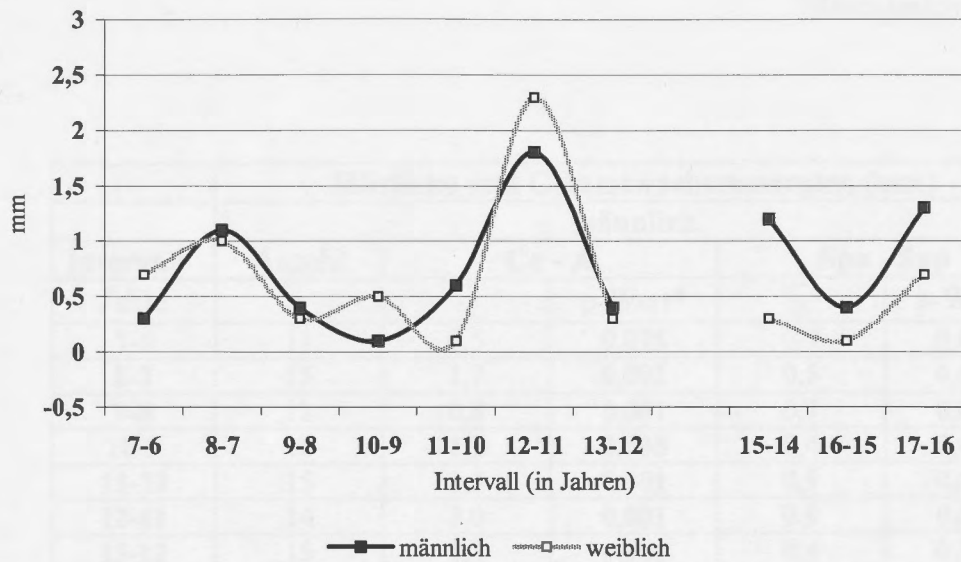
Länge vorderer Schädelbasis (S-N)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	0,3	0,7	-0,8	1,0	11	0,7	0,5	-0,2	1,6	0,519
8-7	13	1,1	0,5	0,2	1,8	12	1,0	0,4	0,5	1,9	0,574
9-8	11	0,4	0,5	-0,1	1,2	13	0,3	0,5	-0,6	1,0	0,955
10-9	11	0,1	0,5	-0,4	1,0	12	0,5	0,7	-0,4	1,7	0,134
11-10	15	0,6	0,5	-0,4	1,4	14	0,1	0,6	-1,0	0,9	0,029
12-11	14	1,8	0,9	0,4	3,9	9	2,3	0,6	1,7	3,3	0,083
13-12	14	0,4	0,6	-0,8	1,2	10	0,3	0,8	-0,8	1,8	0,546
15-14	13	1,2	0,4	0,4	1,6	15	0,3	0,5	-0,3	1,4	<0,001
16-15	10	0,4	0,7	-0,9	1,5	6	0,1	0,8	-1,0	1,0	0,263
17-16	8	1,3	0,4	0,7	1,7	4	0,7	0,4	0,2	1,2	0,073
17-6	11	8,5	1,5	6,4	11,3	11	6,4	1,5	4,1	8,5	0,007

Länge hinterer Schädelbasis (S-Ba)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	0,5	0,6	-0,3	1,3	11	0,9	0,6	-0,6	1,6	0,193
8-7	13	0,8	1,2	-1,5	3,8	12	0,7	1,0	-0,9	2,4	0,939
9-8	11	1,1	0,8	-0,3	2,6	13	0,6	1,0	-1,3	2,3	0,183
10-9	11	1,0	0,8	-0,2	2,2	12	0,0	0,9	-1,4	1,8	0,019
11-10	15	0,3	1,2	-2,4	2,4	14	1,0	1,1	-0,3	3,6	0,123
12-11	14	1,6	1,2	-0,9	3,7	9	1,6	0,5	0,8	2,4	1,000
13-12	14	0,1	1,2	-1,8	2,2	10	0,4	1,3	-1,8	2,4	0,586
15-14	13	0,9	0,9	-0,7	2,2	15	0,9	0,4	-0,6	0,9	0,013
16-15	10	0,1	1,4	-2,2	2,0	6	-0,3	1,6	-1,8	2,5	0,562
17-16	8	0,6	1,1	-0,9	2,2	4	1,4	1,3	-0,3	2,8	0,368
17-6	11	7,5	3,3	2,8	12,2	11	5,9	2,0	3,7	10,9	0,332

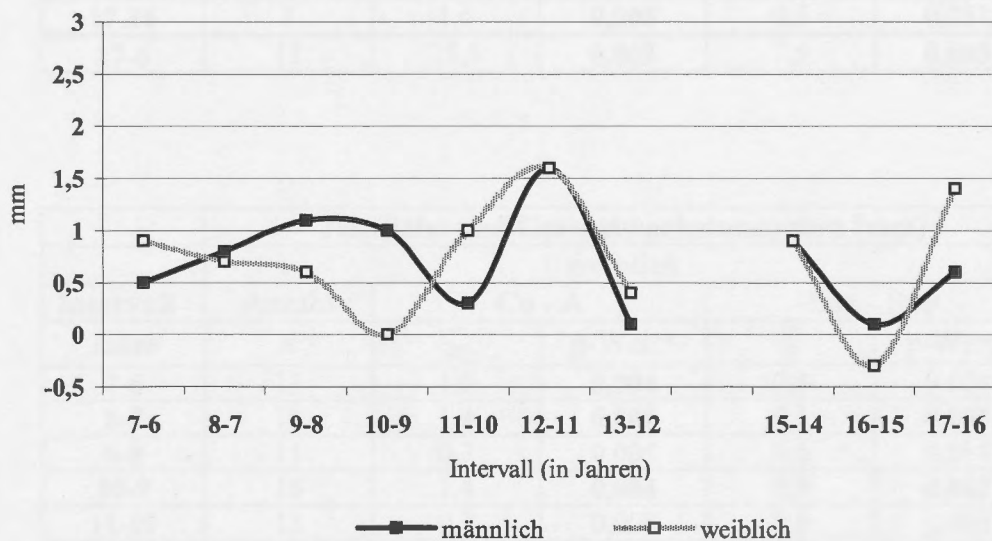
Länge seitlicher Schädelbasis (S-Ba)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	0,4	0,8	-0,7	1,7	11	0,4	0,8	-1,2	1,3	0,748
8-7	13	1,2	1,3	-0,8	4,8	12	1,2	0,9	-0,8	3,0	0,574
9-8	11	0,4	0,7	-0,6	1,3	13	0,6	1,0	-1,5	1,9	0,424
10-9	11	0,7	0,9	-0,8	2,0	12	0,3	0,9	-1,1	2,2	0,235
11-10	15	0,6	0,6	-0,5	1,6	14	0,5	0,9	-1,6	1,6	0,983
12-11	14	1,4	0,7	-0,1	2,8	9	1,4	0,5	0,8	2,2	0,975
13-12	14	0,7	0,9	-1,0	2,7	10	0,1	1,1	-1,2	2,1	0,259
15-14	13	0,8	0,5	-0,4	1,4	15	0,3	0,4	-0,3	1,1	0,017
16-15	10	0,4	0,8	-1,8	1,0	6	0,5	0,6	-0,6	1,1	0,635
17-16	8	0,9	0,8	0,0	2,6	4	0,2	0,9	-0,8	1,4	0,154
17-6	11	7,7	1,8	4,8	10,9	11	5,8	1,5	3,6	8,4	0,047

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/11=0,0045$)

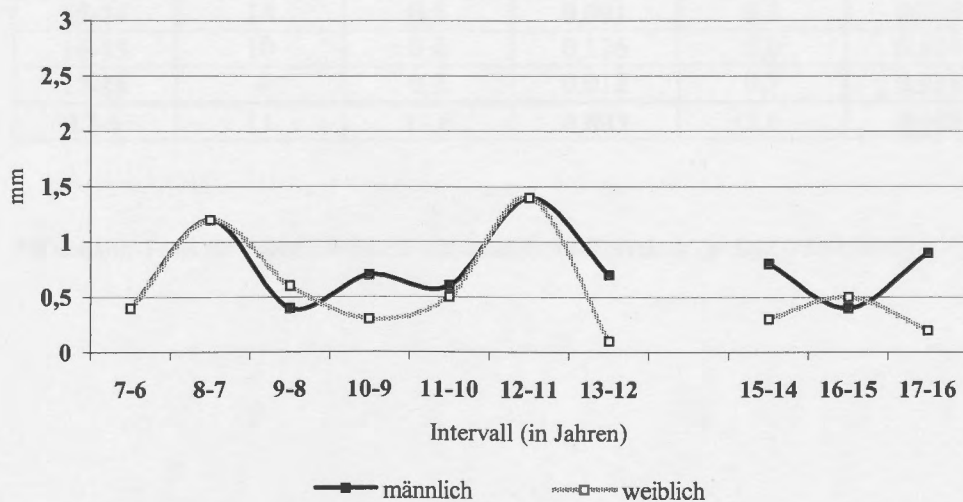
Schädelbasis



Wachstumsraten der Länge der vorderen Schädelbasis (S-N) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsraten der Länge der hinteren Schädelbasis (S-Ba) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsraten der Länge der seitlichen Schädelbasis (S-Ar) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter

Mittelgesicht und Oberkiefer

Jährliche und Gesamtwachstumsraten (mm)					
männlich					
Intervall	Anzahl	Co - A		Spa - Spp	
Jahre	n	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*
7-6	11	0,5	0,075	0,7	0,010
8-7	15	1,7	0,002	0,5	0,005
9-8	11	0,8	0,001	0,7	0,002
10-9	16	1,1	0,005	0,4	0,048
11-10	15	1,5	0,001	0,9	0,002
12-11	14	3,0	0,001	0,9	0,001
13-12	15	1,3	0,001	0,4	0,026
15-14	14	1,6	0,001	0,9	0,002
16-15	10	0,8	0,001	0,2	0,288
17-16	8	1,6	0,005	0,5	0,051
17-6	11	15,3	0,003	7,5	0,003

Jährliche und Gesamtwachstumsraten (mm)					
weiblich					
Intervall	Anzahl	Co - A		Spa - Spp	
Jahre	n	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*
7-6	11	1,0	0,004	0,4	0,024
8-7	15	1,4	0,001	0,5	0,001
9-8	11	0,7	0,005	0,6	0,019
10-9	16	1,4	0,004	0,5	0,002
11-10	15	0,7	0,008	0,6	0,008
12-11	14	2,9	<0,001	0,9	<0,001
13-12	15	1,4	<0,001	0,7	0,001
15-14	14	0,5	0,001	0,2	0,035
16-15	10	0,6	0,126	0,0	0,109
17-16	4	0,7	0,012	0,7	0,018
17-6	11	11,6	0,003	5,6	0,003

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/11=0,0045$)

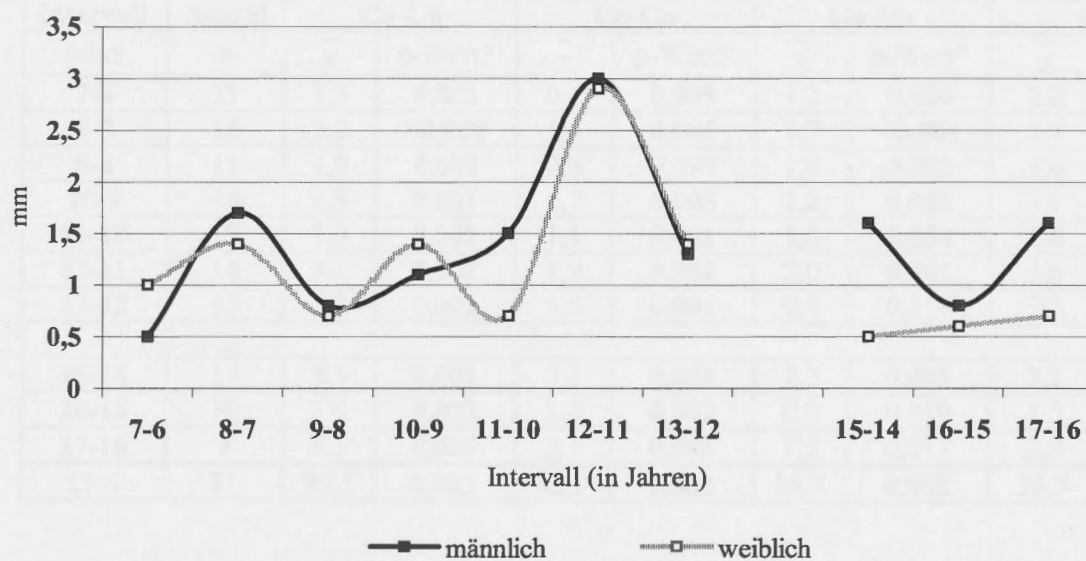
Mittelgesicht und Oberkiefer

Mittelgesichtslänge (Co-A)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	0,5	1,0	-1,3	2,2	11	1,0	1,0	-0,4	2,5	0,171
8-7	13	1,7	1,7	-1,4	6,4	12	1,4	0,8	0,3	3,3	0,611
9-8	11	0,8	0,5	0,0	1,6	13	0,7	0,9	-0,8	1,8	1,000
10-9	11	1,1	0,8	-0,5	2,0	12	1,4	1,4	-2,0	3,5	0,525
11-10	15	1,5	0,8	0,2	2,5	14	0,7	1,0	-1,4	2,3	0,033
12-11	14	3,0	0,9	1,9	4,9	9	2,9	0,8	1,5	3,8	0,877
13-12	14	1,3	1,0	-0,6	3,1	10	1,4	0,9	0,1	2,8	0,709
15-14	13	1,6	0,8	0,2	3,5	15	0,5	0,4	0,0	1,1	<0,001
16-15	10	0,8	1,0	-0,6	2,9	6	0,6	1,4	-1,2	2,6	1,000
17-16	8	1,6	0,9	0,2	3,0	4	0,7	0,3	0,4	1,0	0,154
17-6	11	15,3	2,9	10,3	19,6	11	11,6	1,9	8,0	15,0	0,003

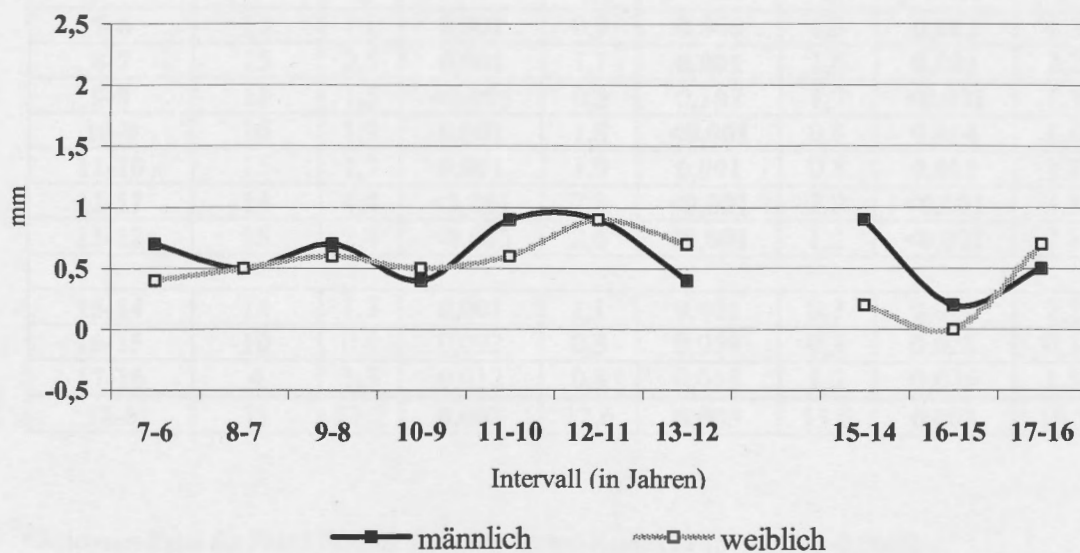
Oberkieferlänge (Spa-Spp)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	0,7	0,8	-0,5	2,1	11	0,4	0,7	-0,7	2,2	0,322
8-7	13	0,5	0,7	-0,4	1,6	12	0,5	0,5	0,2	1,7	0,810
9-8	11	0,7	0,7	-0,4	2,2	13	0,6	0,9	-0,6	2,6	0,569
10-9	11	0,4	0,8	-0,8	2,1	12	0,5	0,6	-0,1	2,0	0,413
11-10	15	0,9	0,8	-0,4	2,4	14	0,6	0,7	-0,4	1,7	0,377
12-11	14	0,9	0,7	0,0	2,4	9	0,9	0,4	0,3	1,5	0,926
13-12	14	0,4	0,8	-0,6	2,3	10	0,7	0,8	-0,3	2,4	0,472
15-14	13	0,9	0,5	-0,1	2,1	15	0,2	0,7	-2,1	0,9	0,001
16-15	10	0,2	0,5	-0,5	1,4	6	0,0	0,3	-0,4	0,4	0,492
17-16	8	0,5	0,7	-0,4	1,5	4	0,7	0,5	0,0	1,3	0,570
17-6	11	7,5	1,5	5,2	9,7	11	5,6	1,5	3,2	8,4	0,004

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/11=0,0045$)

Mittelgesicht und Oberkiefer



Wachstumsraten der Mittelgesichtslänge (Co-A) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsraten der Oberkieferlänge (Spa-Spp) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter

Jährliche und Gesamtwachstumsraten (mm)									
männlich									
Intervall	Anzahl	Co-Gn		Co-Go		Go-Me		Ar-Gn	
Jahre	n	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*
7-6	11	1,3	0,001	0,6	0,003	1,2	0,006	1,2	0,002
8-7	15	3,2	<0,001	1,7	0,001	1,7	<0,001	2,7	<0,001
9-8	11	1,2	0,001	0,3	0,098	1,0	0,006	1,0	0,001
10-9	16	1,8	0,001	1,2	0,003	1,2	0,002	1,6	<0,001
11-10	15	1,9	0,001	1,1	0,001	1,0	0,004	1,6	0,001
12-11	14	4,1	0,001	1,9	0,001	2,0	0,001	3,6	0,001
13-12	15	2,3	0,001	1,5	0,001	0,4	0,016	2,3	0,001
15-14	14	3,3	0,001	2,2	0,001	2,7	0,001	3,1	0,001
16-15	10	1,6	0,002	1,3	0,002	0,9	0,010	1,3	0,008
17-16	8	3,3	0,005	2,1	0,005	1,5	0,017	2,9	0,005
17-6	11	26,3	0,003	15,5	0,003	16,7	0,003	23,7	0,003

Jährliche und Gesamtwachstumsraten (mm)									
weiblich									
Intervall	Anzahl	Co-Gn		Co-Go		Go-Me		Ar-Gn	
Jahre	n	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*	\bar{x}	p-Wert*
7-6	11	1,8	0,001	0,7	0,006	1,3	0,002	1,8	0,001
8-7	15	2,5	0,001	1,1	0,001	1,6	0,001	2,2	0,001
9-8	11	1,5	<0,001	0,3	0,187	1,7	<0,001	1,3	<0,001
10-9	16	1,9	0,001	1,8	<0,001	0,5	0,014	1,6	<0,001
11-10	15	1,7	0,001	1,0	0,001	0,8	0,011	1,7	<0,001
12-11	14	4,4	<0,001	2,3	<0,001	3,0	<0,001	4,3	<0,001
13-12	15	2,4	<0,001	2,6	<0,001	1,2	<0,001	2,1	<0,001
15-14	14	1,3	0,001	1,1	0,001	0,7	0,004	1,2	0,001
16-15	10	0,6	0,093	0,3	0,059	0,9	0,028	0,3	0,051
17-16	4	1,3	0,012	0,8	0,018	1,2	0,036	1,5	0,017
17-6	11	21,2	0,003	12,6	0,003	13,6	0,003	19,1	0,003

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/11=0,0045$)

Effektive Unterkieferl. (Co-Gn)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,3	0,8	0,1	2,4	11	1,8	0,5	0,8	2,4	0,171
8-7	13	3,2	1,4	0,7	5,7	12	2,5	0,6	1,5	3,4	0,247
9-8	11	1,2	0,7	-0,4	2,2	13	1,5	0,8	0,5	2,6	0,531
10-9	11	1,8	1,0	-0,1	3,6	12	1,9	1,2	-1,3	3,5	0,379
11-10	15	1,9	1,0	0,5	4,6	14	1,7	1,1	-0,1	4,0	0,652
12-11	14	4,1	1,1	2,1	5,5	9	4,4	0,7	3,3	5,9	0,688
13-12	14	2,3	1,3	1,0	4,8	10	2,4	1,1	1,2	4,3	0,666
15-14	13	3,3	0,8	2,0	5,0	15	1,3	0,8	-0,2	2,7	<0,001
16-15	10	1,6	1,1	0,1	3,6	6	0,6	1,4	-1,2	2,4	0,313
17-16	8	3,3	0,7	2,4	4,6	4	1,3	0,8	0,4	2,2	0,004
17-6	11	26,3	3,4	20,3	30,8	11	21,2	3,1	16,5	26,9	0,002

Länge des R. mandib. (Co - Go)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	0,6	0,7	-0,1	2,1	11	0,7	0,8	-0,4	1,7	0,748
8-7	13	1,7	1,0	-0,1	3,8	12	1,1	0,9	-0,3	2,5	0,186
9-8	11	0,3	1,0	-1,3	2,2	13	0,3	1,0	-1,3	2,2	0,776
10-9	11	1,2	1,1	-0,7	3,3	12	1,8	0,9	0,5	3,2	0,169
11-10	15	1,1	0,7	-0,2	2,6	14	1,0	0,8	-0,2	2,6	0,880
12-11	14	1,9	0,9	0,5	3,5	9	2,3	0,8	0,8	3,6	0,224
13-12	14	1,5	1,3	0,3	4,5	10	2,6	1,3	0,8	5,0	0,172
15-14	13	2,2	0,6	1,3	3,3	15	1,1	0,4	0,3	1,7	<0,001
16-15	10	1,3	1,2	0,2	4,3	6	0,3	0,7	-0,3	1,5	0,022
17-16	8	2,1	0,8	1,0	3,3	4	0,8	0,7	0,0	1,7	0,028
17-6	11	15,5	2,5	11,8	20,3	11	12,6	1,8	8,9	14,8	0,004

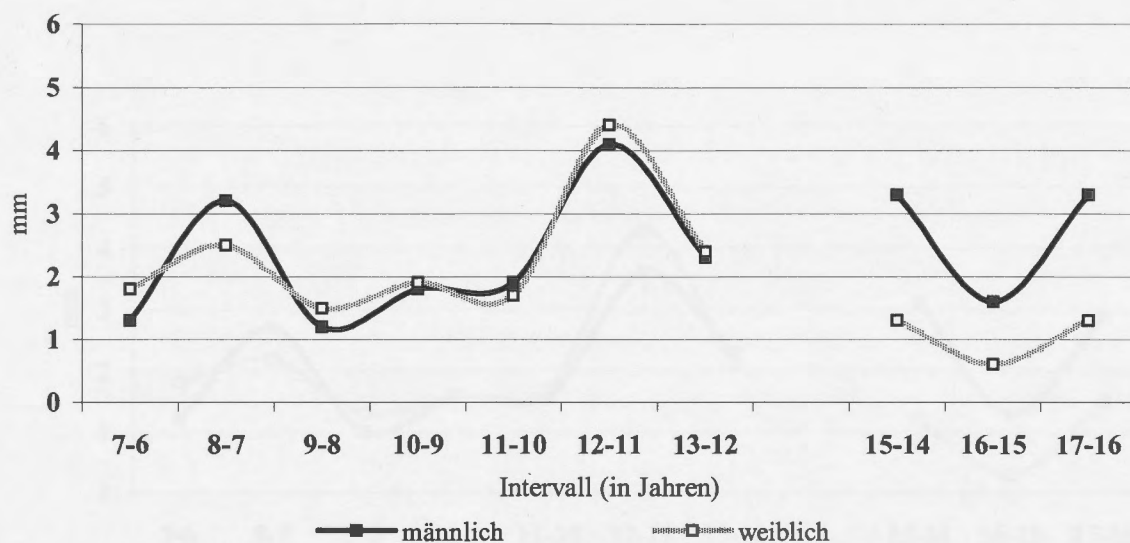
Länge des C. mandib. (Go - Me)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,2	1,1	-0,8	2,8	11	1,3	1,0	-0,8	2,7	0,949
8-7	13	1,7	1,1	0,1	3,6	12	1,6	0,6	0,8	2,5	0,894
9-8	11	1,0	1,7	-1,6	3,9	13	1,7	0,7	0,7	2,8	0,277
10-9	11	1,2	1,7	-1,2	5,0	12	0,5	0,9	-0,7	2,9	0,288
11-10	15	1,0	1,0	-0,7	3,0	14	0,8	1,2	-1,0	2,5	0,715
12-11	14	2,0	0,8	0,5	3,3	9	3,0	0,8	1,5	4,3	0,011
13-12	14	0,4	3,4	-1,9	3,6	10	1,2	0,5	0,2	1,9	0,796
15-14	13	2,7	1,4	1,4	7,0	15	0,7	0,6	-0,5	2,0	<0,001
16-15	10	0,9	0,9	-0,8	2,9	6	0,9	1,3	-0,4	3,2	0,875
17-16	8	1,5	1,4	-1,6	2,6	4	1,2	0,8	0,8	2,3	0,570
17-6	11	16,7	2,2	12,0	20,1	11	13,6	2,5	8,9	17,5	0,007

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/11=0,0045$)

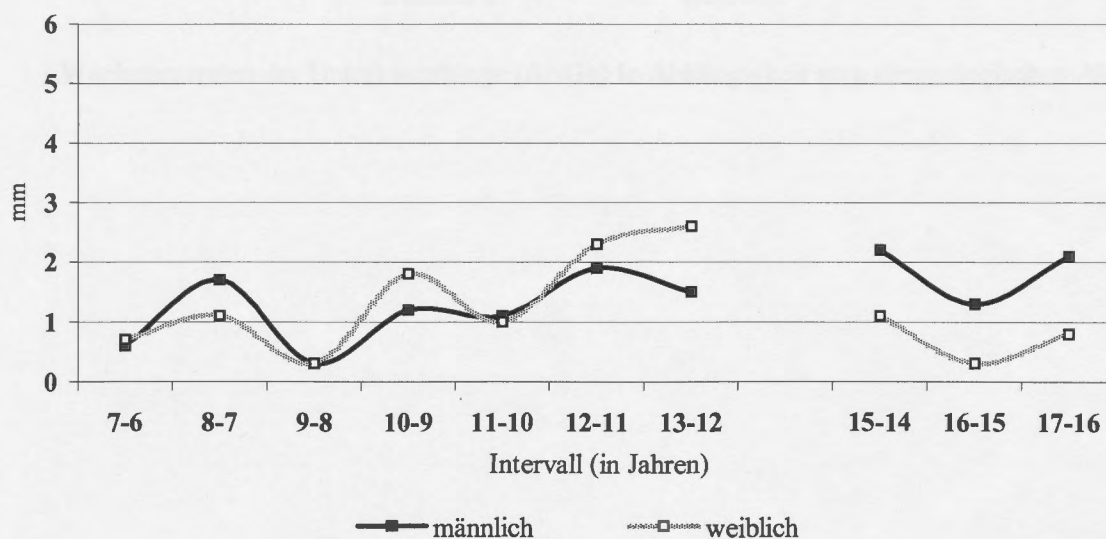
Unterkieferlänge (Ar-Gn)		Wachstumsrate (mm)					Wachstumsrate (mm)				
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,2	1,0	-0,1	3,1	11	1,8	0,7	0,9	3,5	0,101
8-7	13	2,7	1,2	0,6	4,5	12	2,2	0,7	1,2	3,6	0,205
9-8	11	1,0	0,9	-0,6	2,5	13	1,3	0,5	0,5	2,2	0,361
10-9	11	1,6	0,8	0,5	2,8	12	1,6	0,8	0,4	2,9	0,880
11-10	15	1,6	1,2	-0,7	4,1	14	1,7	1,0	0,2	3,6	0,949
12-11	14	3,6	1,1	1,4	6,1	9	4,3	0,8	3,3	5,7	0,124
13-12	14	2,3	1,5	-0,1	5,1	10	2,1	0,9	1,0	3,7	0,977
15-14	13	3,1	0,7	1,7	4,4	15	1,2	0,9	-0,7	2,7	<0,001
16-15	10	1,3	1,3	-0,3	2,7	6	0,3	0,7	-0,8	1,3	0,263
17-16	8	2,9	1,0	1,4	3,9	4	1,5	1,3	-0,3	2,7	0,109
17-6	11	23,7	3,3	18,6	28,4	11	19,1	2,7	15,2	23,3	0,003

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/11=0,0045$)

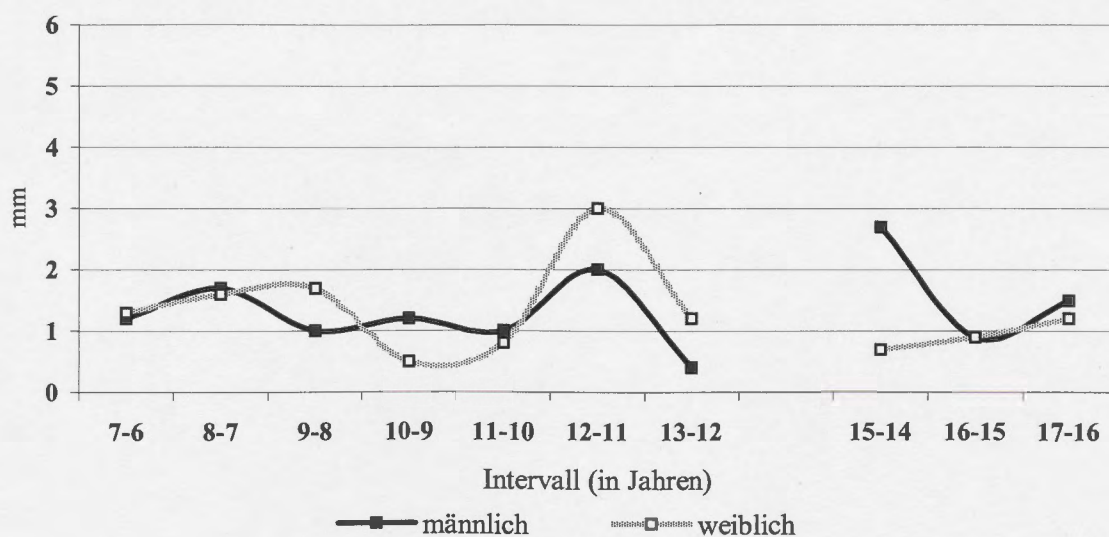
Mandibula



Wachstumsraten der effektiven Unterkieferlänge (Co-Gn) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter

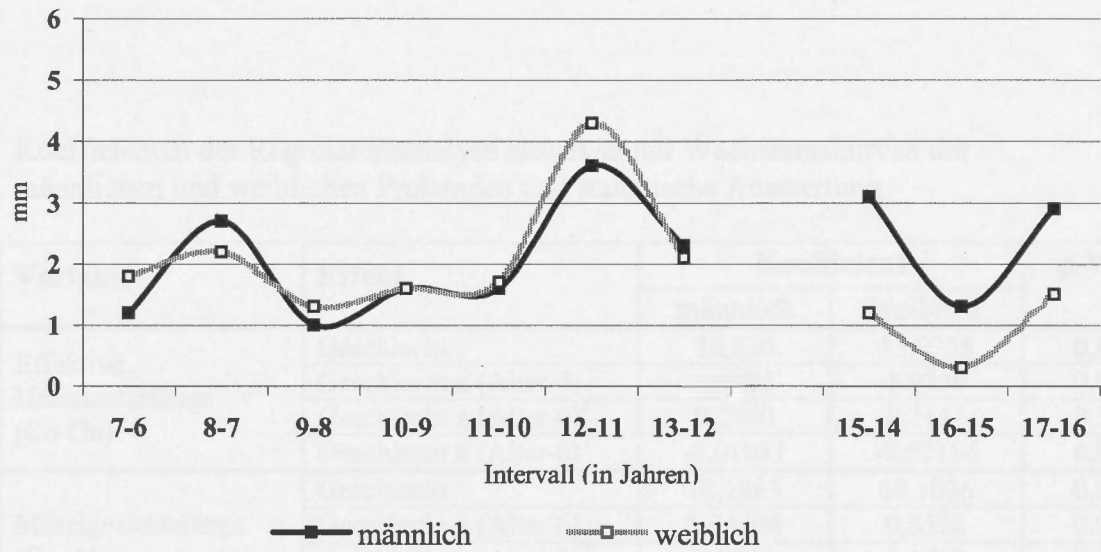


Wachstumsraten des Ramus mandibulae (Co-Go) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsraten des Corpus mandibulae (Go-Me) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter

Mandibula



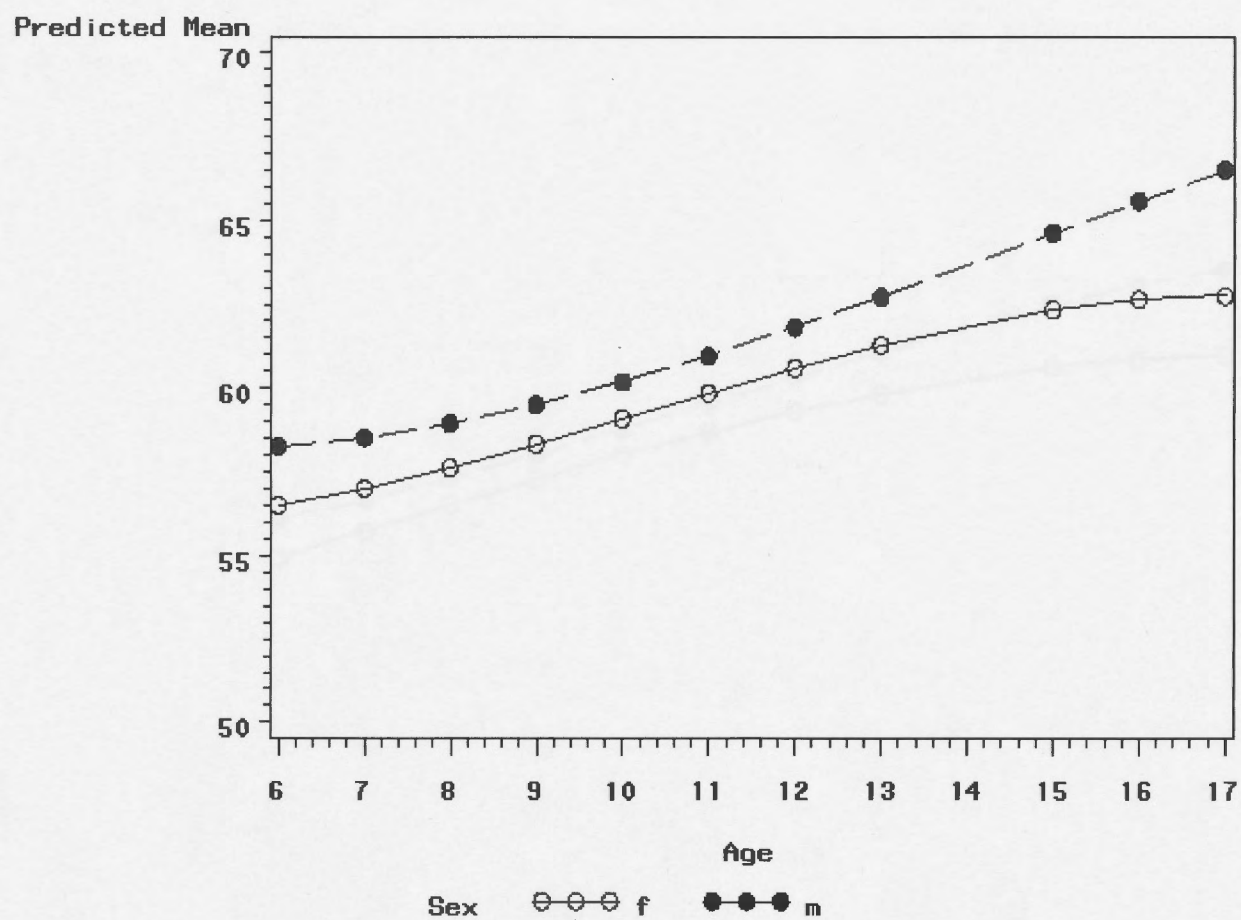
Wachstumsraten der Unterkieferlänge (Ar-Gn) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter

4.3 ERGEBNISSE DER WACHSTUMSKURVENANALYSE SPEZIFISCHER KEPHALOMETRISCHER PARAMETER

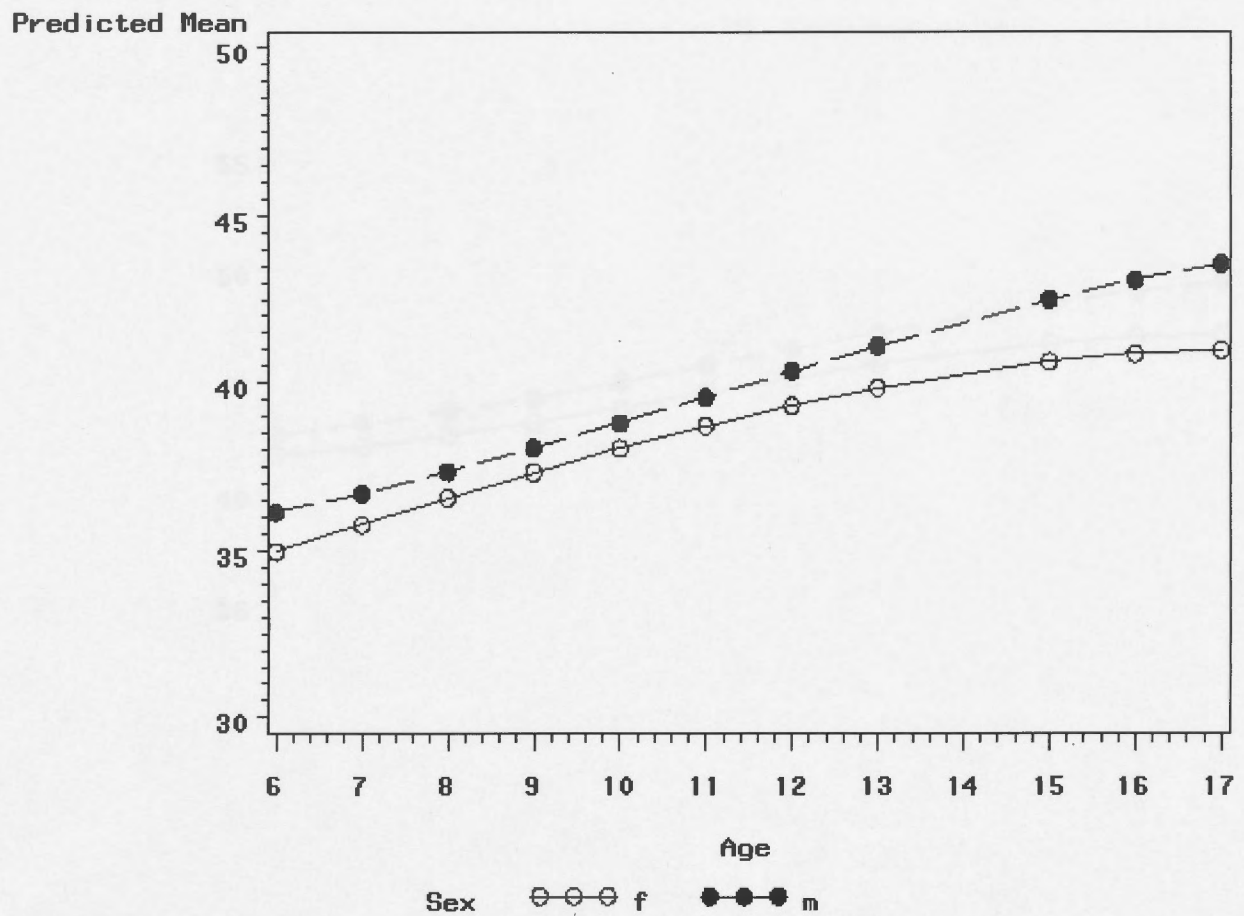
Koeffizienten der Regressionsanalyse ausgewählter Wachstumskurven der männlichen und weiblichen Probanden und statistische Auswertung

Variable	Effekt	Koeffizient		p-Wert
		männlich	weiblich	
Effektive Unterkieferlänge (Co-Gn)	Geschlecht	86,826	83,9358	0,024
	Geschlecht x (Alter-6)	0,9685	1,0530	0,811
	Geschlecht x (Alter-6) ²	0,2460	0,3111	0,398
	Geschlecht x (Alter-6) ³	-0,01081	-0,02186	0,026
Mittelgesichtslänge (Co-A)	Geschlecht	70,1883	68,1036	0,051
	Geschlecht x (Alter-6)	0,04406	0,5556	0,097
	Geschlecht x (Alter-6) ²	0,2840	0,1999	0,207
	Geschlecht x (Alter-6) ³	-0,01568	-0,01431	0,738
Oberkieferlänge (Spa-Spp)	Geschlecht	42,7001	41,769	0,276
	Geschlecht x (Alter-6)	0,3772	0,02995	0,691
	Geschlecht x (Alter-6) ²	0,06831	0,07879	0,807
	Geschlecht x (Alter-6) ³	-0,00416	-0,00553	0,609
Länge vorderer Schädelbasis (S-N)	Geschlecht	58,2861	56,5136	0,023
	Geschlecht x (Alter-6)	0,1672	0,4325	0,176
	Geschlecht x (Alter-6) ²	0,09143	0,0766	0,729
	Geschlecht x (Alter-6) ³	-0,00352	-0,00584	0,386
Länge hinterer Schädelbasis (S-Ba)	Geschlecht	36,1549	34,9701	0,073
	Geschlecht x (Alter-6)	0,5143	0,8202	0,265
	Geschlecht x (Alter-6) ²	-0,05049	-0,00457	0,355
	Geschlecht x (Alter-6) ³	-0,00327	-0,00184	0,699

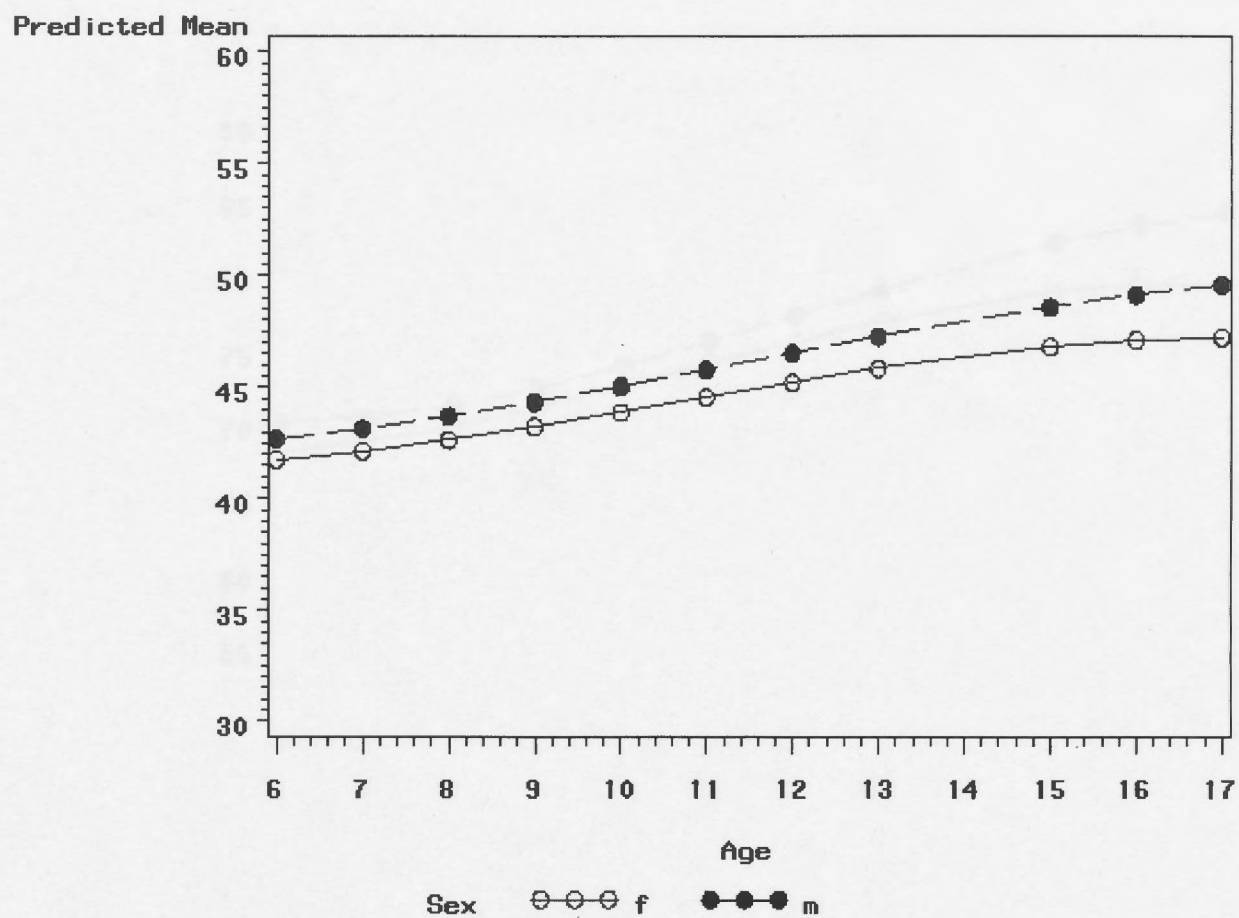
(* p=0,05)



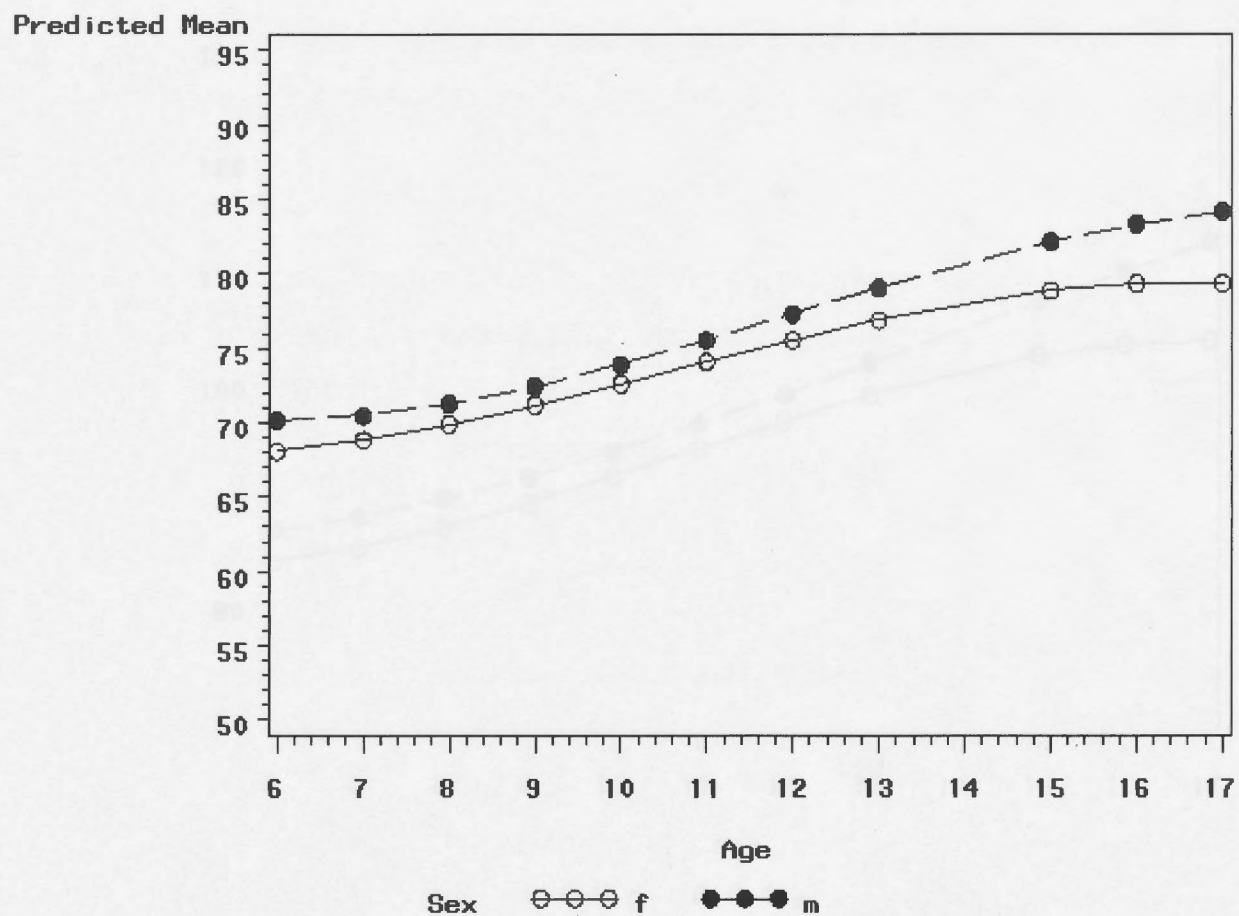
Wachstumsvorhersage für die Länge der vorderen Schädelbasis (S-N) bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung (vorhergesagter Mittelwert in mm)



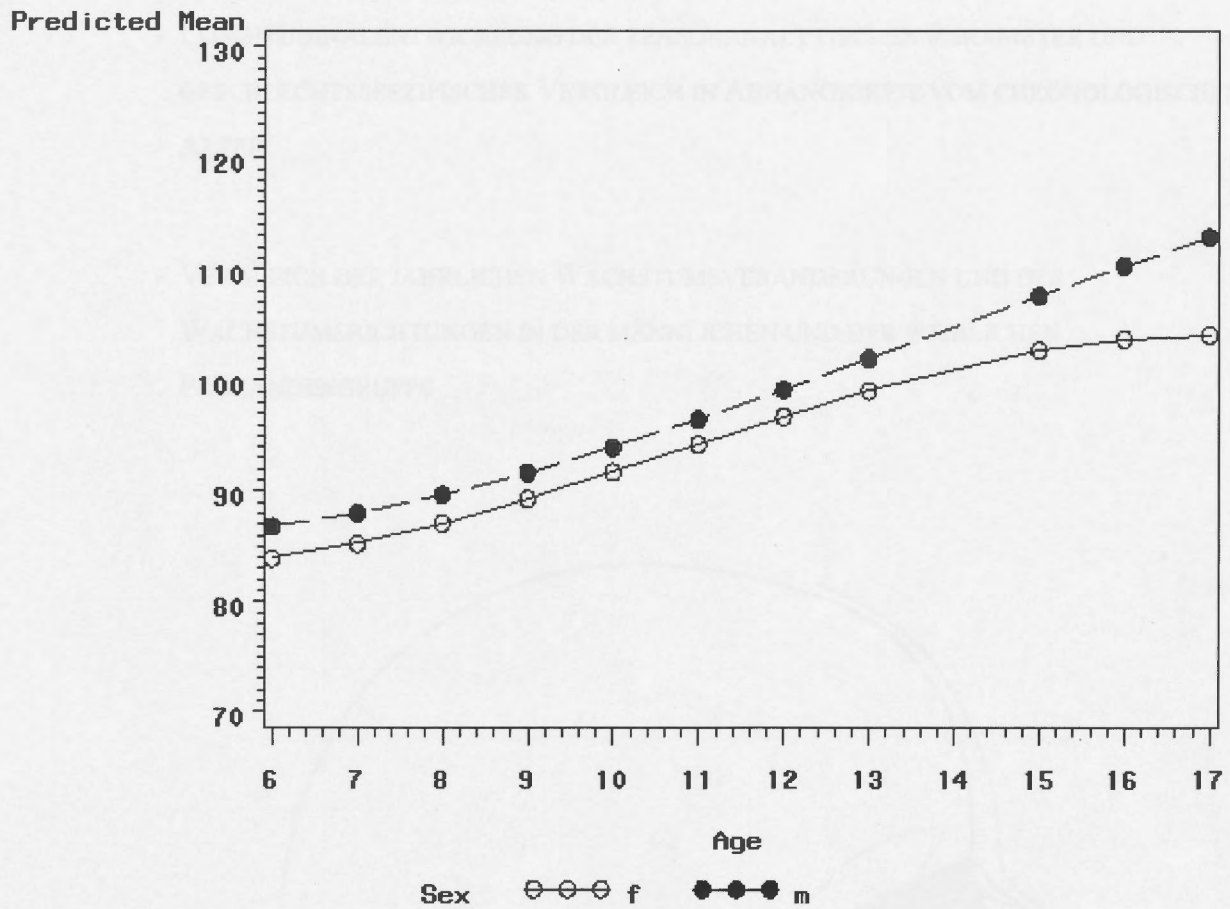
Wachstumsvorhersage für die Länge der vorderen Schädelbasis (S-Ba) bei männlichen und weiblichen Probanden mit regeltechter Gebissentwicklung (vorhergesagter Mittelwert in mm)



Wachstumsvorhersage für die Oberkieferlänge (Spa-Spp) bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung (vorhergesagter Mittelwert in mm)



Wachstumsvorhersage für die Mittelgesichtslänge (Co-A) bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung (vorhergesagter Mittelwert in mm)

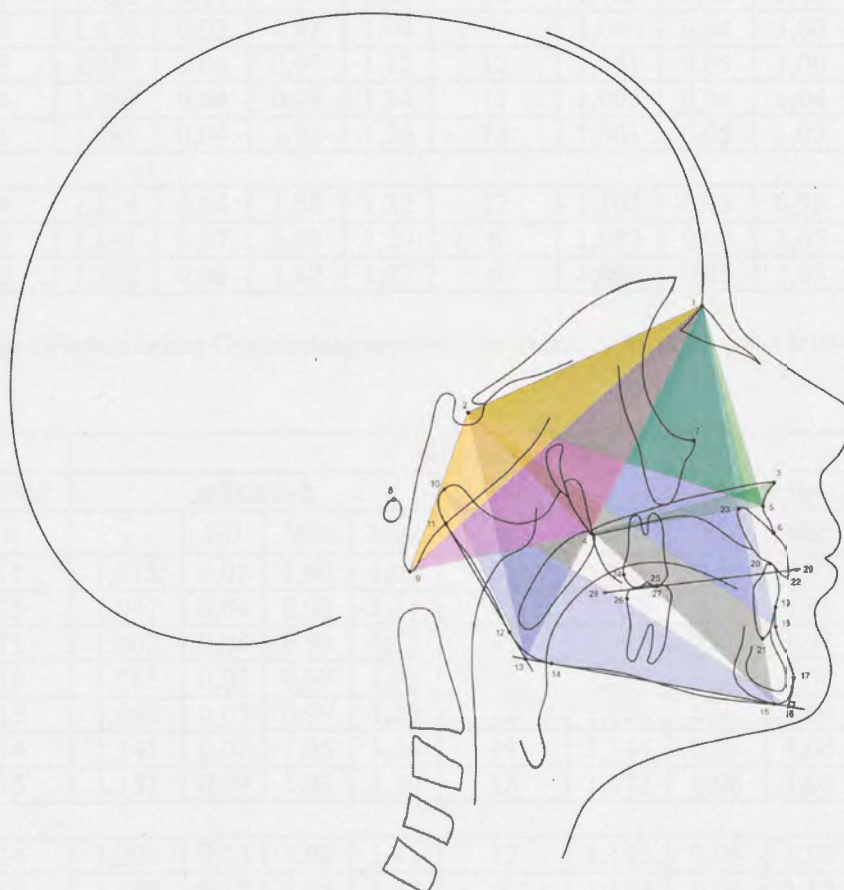


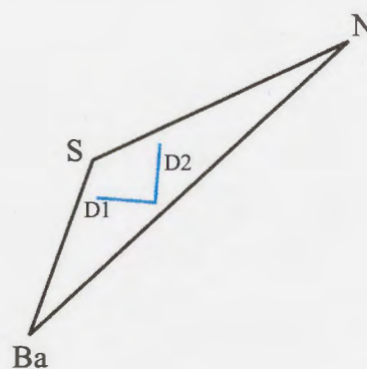
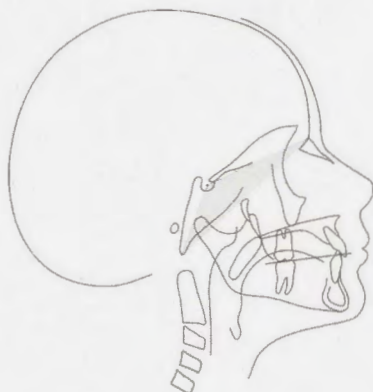
Wachstumsvorhersage für die effektive Unterkieferlänge (Co-Gn) bei männlichen und weiblichen Probanden mit regelrechter Gebissentwicklung (vorhergesagter Mittelwert in mm)

ANHANG 5

ERGEBNISSE DER TENSORANALYSE

- LONGITUDINALENTWICKLUNG DER TENSORANALYTISCHEN PARAMETER UND GESCHLECHTSSPEZIFISCHER VERGLEICH IN ABHÄNGIGKEIT VOM CHRONOLOGISCHEN ALTER
- VERGLEICH DER JÄHRLICHEN WACHSTUMSVERÄNDERUNGEN UND DER WACHSTUMSRICHTUNGEN IN DER MÄNNLICHEN UND DER WEIBLICHEN PROBANDENGRUPPE



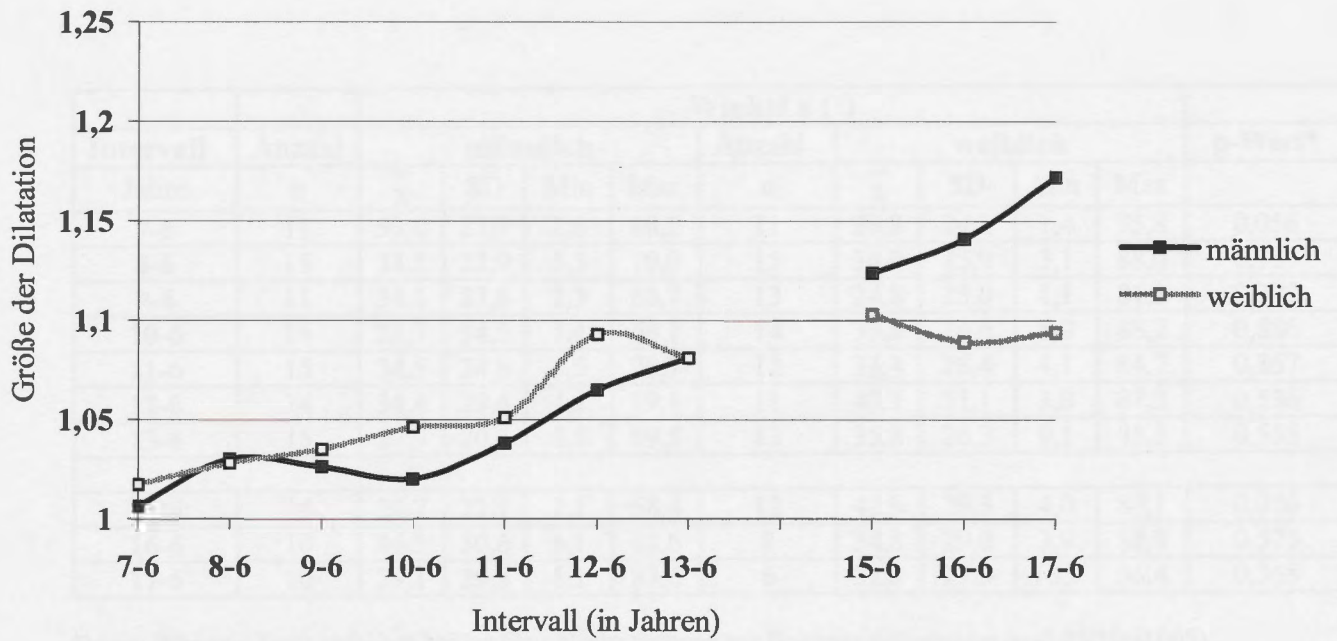
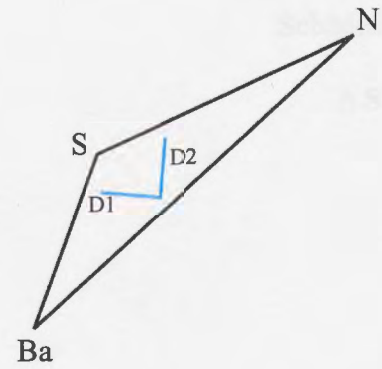


Dilatation D1											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,006	0,03	0,96	1,05	11	1,017	0,02	0,99	1,06	0,365
8-6	15	1,030	0,03	1,00	1,10	15	1,028	0,04	0,95	1,11	0,935
9-6	11	1,026	0,03	0,96	1,09	13	1,035	0,02	1,00	1,08	0,569
10-6	16	1,020	0,02	0,97	1,04	14	1,046	0,04	1,00	1,13	0,038
11-6	15	1,038	0,04	0,97	1,12	12	1,051	0,05	1,00	1,16	0,486
12-6	14	1,065	0,04	0,99	1,14	11	1,093	0,06	1,04	1,21	0,467
13-6	15	1,081	0,04	1,02	1,20	13	1,081	0,05	1,03	1,18	0,786
15-6	14	1,124	0,04	1,06	1,22	12	1,103	0,05	0,98	1,16	0,705
16-6	10	1,141	0,07	1,08	1,29	8	1,089	0,04	1,05	1,18	0,016
17-6	10	1,172	0,05	1,12	1,27	6	1,094	0,03	1,05	1,13	0,001

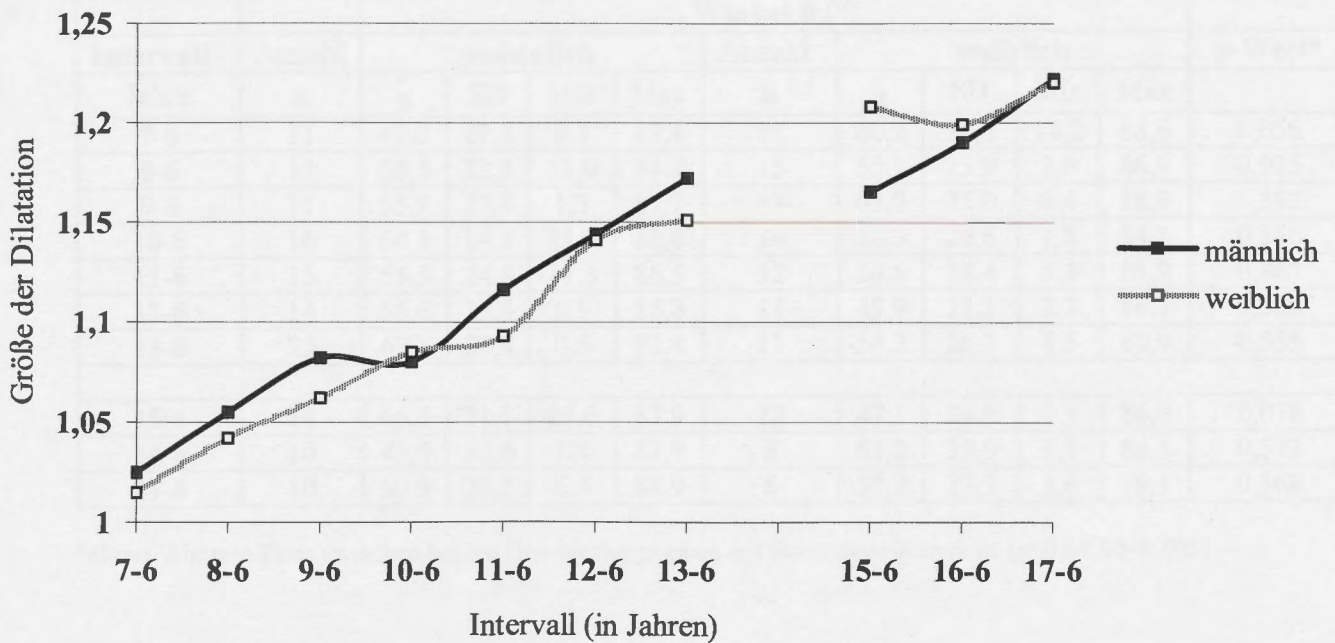
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

Dilatation D2											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,015	0,01	1,00	1,04	11	1,025	0,03	0,97	1,06	0,171
8-6	15	1,042	0,04	0,98	1,11	15	1,055	0,04	1,01	1,13	0,461
9-6	11	1,062	0,04	0,99	1,12	13	1,082	0,05	0,97	1,19	0,252
10-6	16	1,085	0,05	0,99	1,21	14	1,080	0,04	1,00	1,15	0,822
11-6	15	1,093	0,07	0,99	1,23	12	1,116	0,06	1,04	1,21	0,399
12-6	14	1,141	0,07	1,05	1,26	11	1,144	0,07	1,05	1,29	1,000
13-6	15	1,151	0,09	1,03	1,30	13	1,172	0,06	1,08	1,27	0,413
15-6	14	1,208	0,13	1,00	1,41	12	1,165	0,06	1,08	1,27	0,432
16-6	10	1,199	0,12	1,05	1,42	8	1,190	0,06	1,12	1,27	0,897
17-6	10	1,220	0,13	1,06	1,42	6	1,222	0,08	1,12	1,36	0,875

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in sagittaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter

Schädelbasis

 Δ SNBa

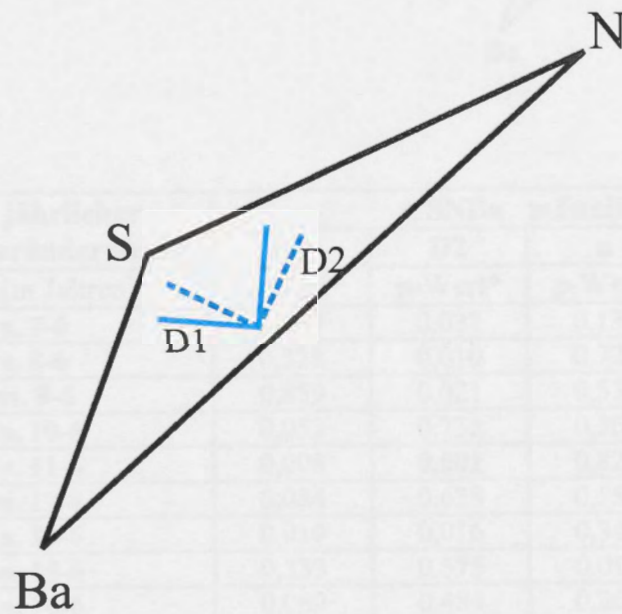
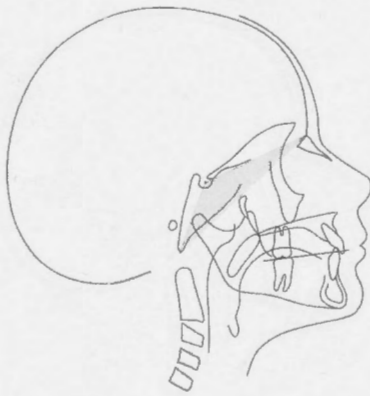
		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	50,0	27,3	2,6	80,2	11	29,8	24,2	1,4	75,8	0,056
8-6	15	33,5	22,9	5,3	79,0	15	34,9	25,9	3,1	88,0	0,935
9-6	11	34,1	27,8	2,3	88,7	13	24,8	25,0	1,1	81,6	0,392
10-6	16	25,7	14,5	7,4	68,1	14	33,5	26,6	5,9	88,2	0,886
11-6	15	34,5	24,8	3,5	78,7	12	33,4	28,4	4,1	84,7	0,867
12-6	14	34,4	29,4	4,2	89,1	11	40,1	31,1	3,9	87,3	0,536
13-6	15	27,9	20,8	8,6	89,5	13	35,8	26,3	9,1	85,5	0,555
15-6	14	23,7	21,1	2,1	68,4	12	42,9	29,3	4,0	89,1	0,076
16-6	10	46,5	30,6	8,1	88,6	8	34,8	29,0	3,9	88,9	0,573
17-6	10	29,1	29,3	1,1	83,6	6	32,8	27,3	10,9	86,4	0,368

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

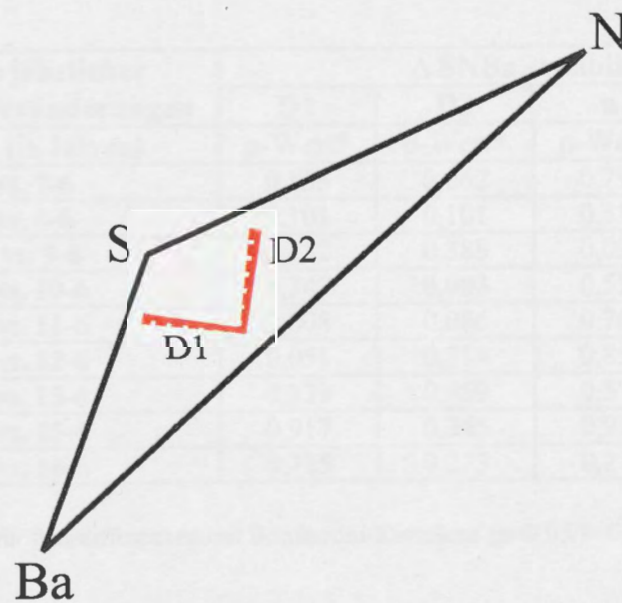
		Winkel β (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	40,0	27,3	9,8	87,4	11	60,2	24,2	14,2	88,6	0,056
8-6	15	56,5	22,9	11,0	84,7	15	55,1	25,9	2,0	86,9	0,935
9-6	11	55,9	27,8	1,3	87,7	13	65,2	25,0	8,4	88,9	0,392
10-6	16	64,3	14,5	21,9	82,6	14	56,5	26,6	1,8	84,1	0,886
11-6	15	55,5	24,8	11,3	86,5	12	56,6	28,4	5,3	85,9	0,867
12-6	14	55,6	29,4	0,9	85,8	11	49,9	31,1	2,7	86,1	0,536
13-6	15	62,1	20,8	0,5	81,4	13	54,3	26,3	4,5	80,9	0,555
15-6	14	66,3	21,1	21,6	87,9	12	47,1	29,6	0,9	86,0	0,076
16-6	10	43,5	30,6	1,4	81,9	8	55,2	29,0	1,1	86,1	0,573
17-6	10	60,9	29,3	6,4	88,9	6	57,2	27,3	3,6	79,1	0,368

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

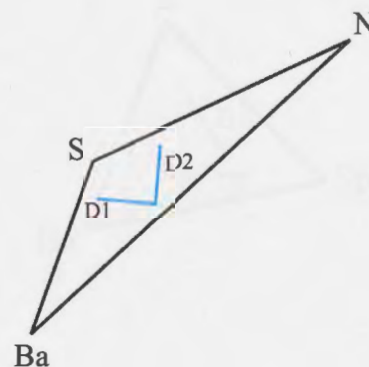
Schädelbasis

 Δ SNBa

Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SNBa bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SNBa bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

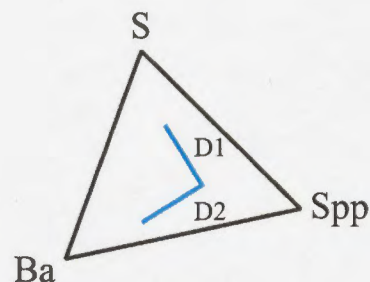
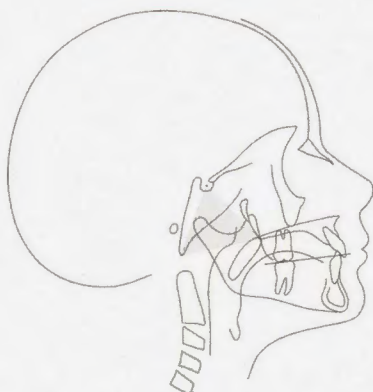


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNBa männlich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,037	0,037	0,139	0,139
9-6 vs. 8-6	0,328	0,010	0,722	0,722
10-6 vs. 9-6	0,859	0,021	0,534	0,534
11-6 vs. 10-6	0,053	0,733	0,363	0,053
12-6 vs. 11-6	0,008	0,001	0,826	0,008
13-6 vs. 12-6	0,084	0,638	0,551	0,551
15-6 vs. 13-6	0,019	0,016	0,345	0,345
16-6 vs. 15-6	0,333	0,575	0,013	0,013
17-6 vs. 16-6	0,069	0,484	0,263	0,263

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNBa weiblich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,155	0,062	0,790	0,790
9-6 vs. 8-6	0,101	0,101	0,311	0,311
10-6 vs. 9-6	0,182	0,388	0,099	0,099
11-6 vs. 10-6	0,347	0,003	0,556	0,556
12-6 vs. 11-6	0,008	0,086	0,767	0,767
13-6 vs. 12-6	0,051	0,314	0,859	0,859
15-6 vs. 13-6	0,139	0,959	0,575	0,575
16-6 vs. 15-6	0,917	0,345	0,917	0,917
17-6 vs. 16-6	0,715	0,273	0,273	0,273

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

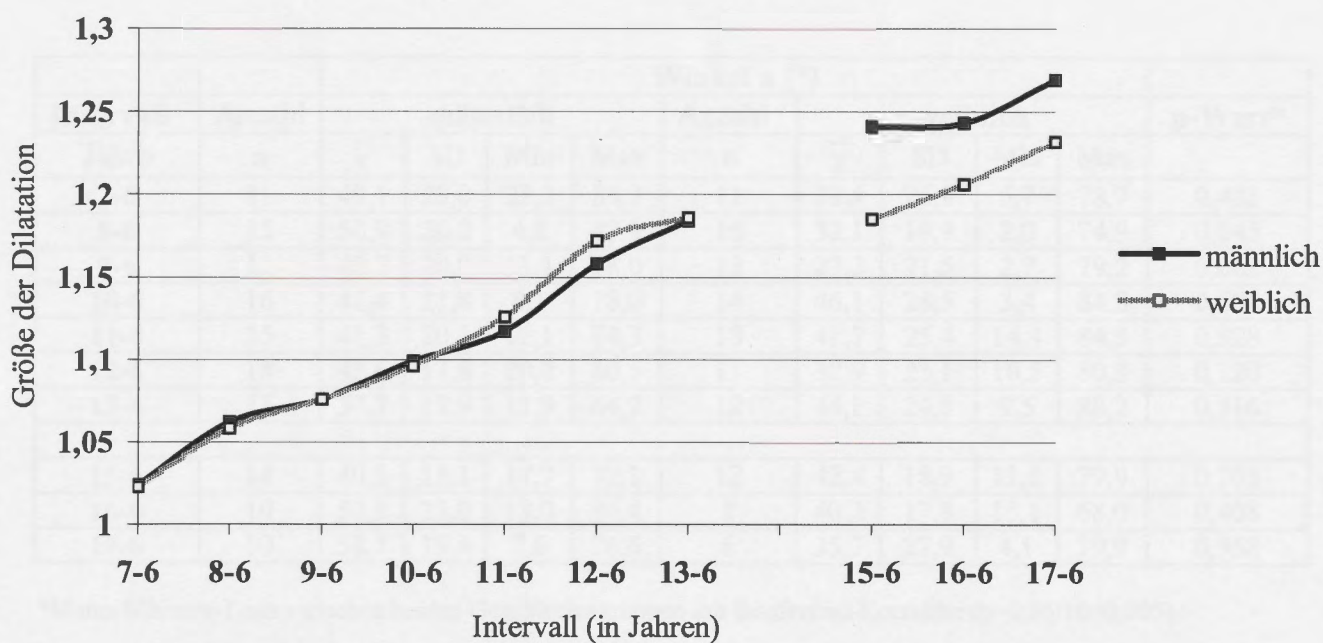
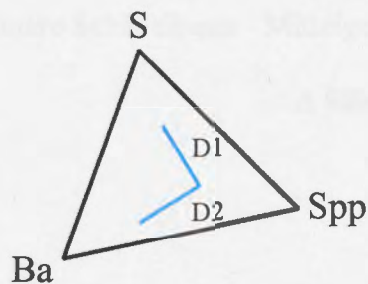
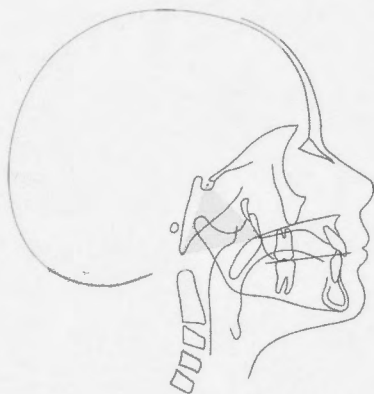


		Dilatation D1									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,024	0,02	0,99	1,05	11	1,023	0,02	0,98	1,05	0,748
8-6	15	1,062	0,03	1,01	1,13	15	1,058	0,03	1,00	1,12	0,486
9-6	11	1,076	0,03	1,01	1,12	13	1,076	0,04	0,99	1,14	0,955
10-6	16	1,099	0,03	1,05	1,18	14	1,096	0,02	1,04	1,14	0,951
11-6	15	1,117	0,03	1,07	1,18	13	1,126	0,04	1,06	1,20	0,339
12-6	14	1,158	0,03	1,10	1,23	11	1,172	0,05	1,07	1,26	0,467
13-6	15	1,184	0,05	1,09	1,26	12	1,186	0,05	1,09	1,26	0,981
15-6	14	1,241	0,06	1,09	1,34	12	1,185	0,05	1,10	1,26	0,017
16-6	10	1,243	0,06	1,10	1,32	8	1,206	0,05	1,14	1,26	0,122
17-6	10	1,269	0,06	1,14	1,37	6	1,232	0,06	1,18	1,32	0,313

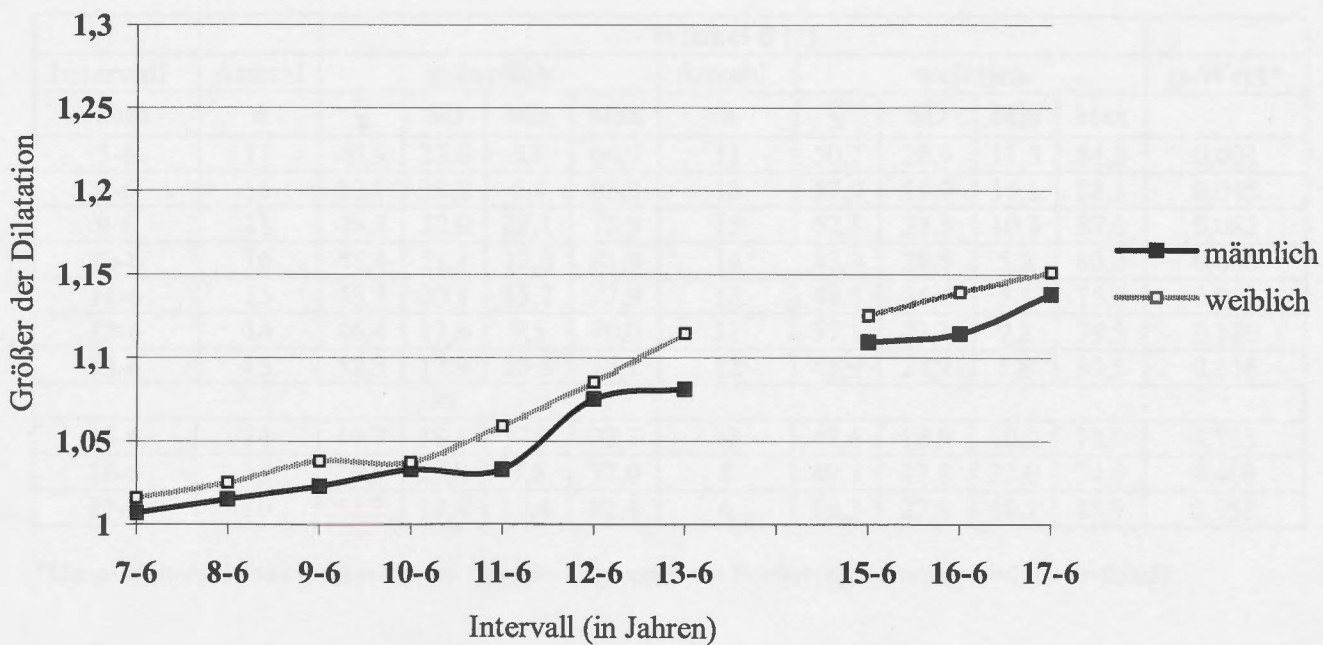
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

		Dilatation D2									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,007	0,02	0,98	1,03	11	1,016	0,03	0,98	1,06	0,519
8-6	15	1,015	0,04	0,92	1,11	15	1,025	0,04	0,97	1,13	0,902
9-6	11	1,023	0,03	0,95	1,08	13	1,038	0,04	0,97	1,11	0,331
10-6	16	1,033	0,04	0,93	1,11	14	1,037	0,04	0,98	1,11	0,790
11-6	15	1,033	0,05	0,95	1,13	13	1,059	0,06	0,98	1,18	0,235
12-6	14	1,075	0,06	0,97	1,19	11	1,085	0,03	1,04	1,13	0,687
13-6	15	1,081	0,05	1,01	1,17	12	1,114	0,03	1,07	1,17	0,053
15-6	14	1,109	0,08	1,00	1,25	12	1,125	0,05	1,04	1,22	0,403
16-6	10	1,114	0,11	1,00	1,37	8	1,139	0,04	1,10	1,19	0,146
17-6	10	1,138	0,10	1,00	1,30	6	1,151	0,05	1,06	1,21	0,562

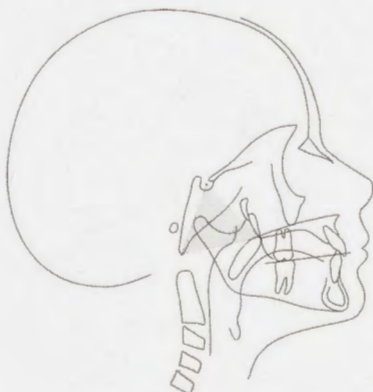
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in sagittaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Hintere Schädelbasis - Mittelgesicht

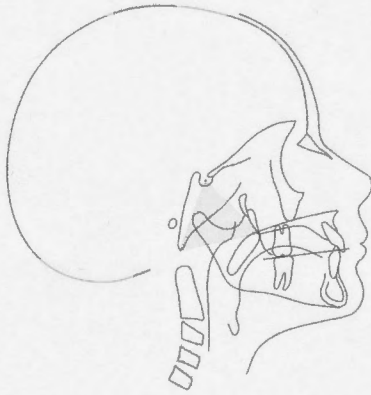
 Δ SBaSpp

		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	49,1	23,0	23,2	84,2	11	39,4	26,9	5,7	78,7	0,401
8-6	15	50,9	26,2	4,8	83,9	15	32,1	19,9	2,0	74,9	0,045
9-6	11	40,7	20,0	11,1	68,0	13	27,2	21,5	2,7	79,2	0,082
10-6	16	41,4	21,8	8,1	78,0	14	46,1	28,5	3,4	84,8	0,608
11-6	15	41,3	20,1	12,1	74,3	13	41,7	25,4	14,4	84,9	0,928
12-6	14	43,6	17,6	20,0	80,5	11	32,9	23,1	10,5	80,8	0,120
13-6	15	37,7	17,9	11,9	64,7	12	44,1	24,8	9,5	88,2	0,516
15-6	14	40,3	18,1	17,7	72,1	12	42,4	18,9	11,0	79,9	0,705
16-6	10	50,5	25,0	13,0	86,4	8	40,2	17,8	15,1	68,0	0,408
17-6	10	38,7	19,4	7,6	76,6	6	35,7	27,9	4,1	79,9	0,958

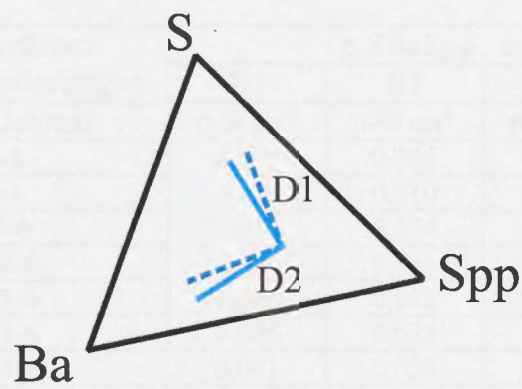
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

		Winkel β (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	40,9	23,0	5,9	66,9	11	50,7	26,9	11,3	84,3	0,401
8-6	15	39,1	26,2	6,1	85,2	15	57,9	19,9	15,1	88,1	0,045
9-6	11	49,3	20,0	22,1	78,9	13	62,8	21,5	10,8	87,3	0,082
10-6	16	48,6	21,8	12,0	81,9	14	43,9	28,5	5,2	86,6	0,608
11-6	15	48,7	20,1	15,7	77,9	13	48,3	25,4	5,1	75,6	0,928
12-6	14	46,4	17,6	9,5	70,0	11	57,1	23,1	9,2	79,5	0,120
13-6	15	52,3	17,9	25,3	78,1	12	45,9	24,7	1,8	80,5	0,516
15-6	14	49,7	18,1	17,9	72,3	12	47,6	18,9	10,2	79,0	0,705
16-6	10	39,5	25,0	3,6	77,0	8	49,8	17,8	22,0	74,9	0,408
17-6	10	51,3	19,4	13,4	82,4	6	54,3	27,9	10,1	85,9	0,958

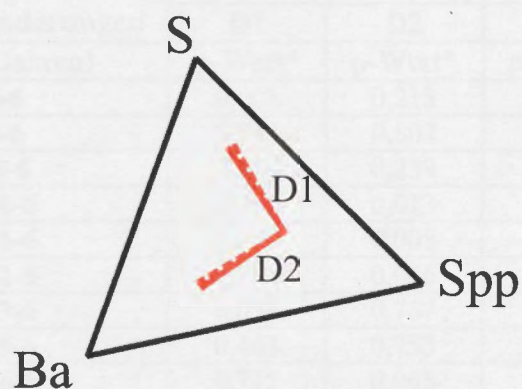
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



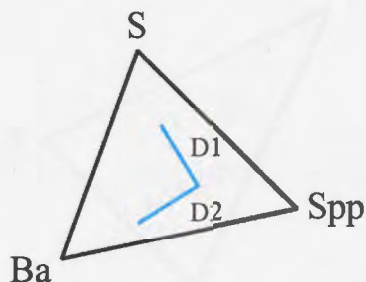
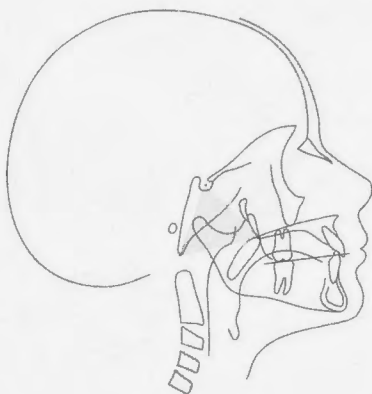
Hintere Schädelbasis - Mittelgesicht

 Δ SBaSpp

Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SBaSpp bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SBaSpp bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

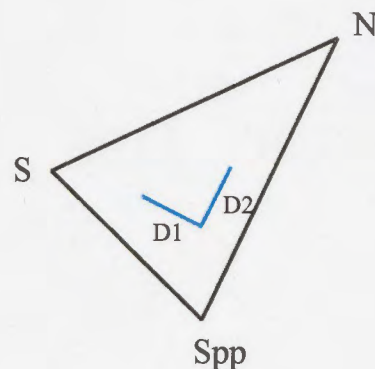


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SBaSpp männlich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,005	0,386	0,721	0,721
9-6 vs. 8-6	0,050	0,010	0,062	0,062
10-6 vs. 9-6	0,013	0,534	0,021	0,021
11-6 vs. 10-6	0,088	0,865	0,256	0,256
12-6 vs. 11-6	0,001	0,002	0,594	0,594
13-6 vs. 12-6	0,005	0,638	0,272	0,272
15-6 vs. 13-6	0,001	0,055	0,345	0,345
16-6 vs. 15-6	0,285	0,646	0,333	0,333
17-6 vs. 16-6	0,025	0,161	0,575	0,575

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SBaSpp weiblich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,008	0,213	0,534	0,534
9-6 vs. 8-6	0,046	0,807	0,311	0,311
10-6 vs. 9-6	0,209	0,239	0,060	0,060
11-6 vs. 10-6	0,005	0,013	0,917	0,917
12-6 vs. 11-6	0,008	0,008	0,260	0,260
13-6 vs. 12-6	0,953	0,066	0,038	0,038
15-6 vs. 13-6	0,051	0,767	0,515	0,515
16-6 vs. 15-6	0,463	0,753	0,753	0,753
17-6 vs. 16-6	0,715	0,068	0,068	0,068

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

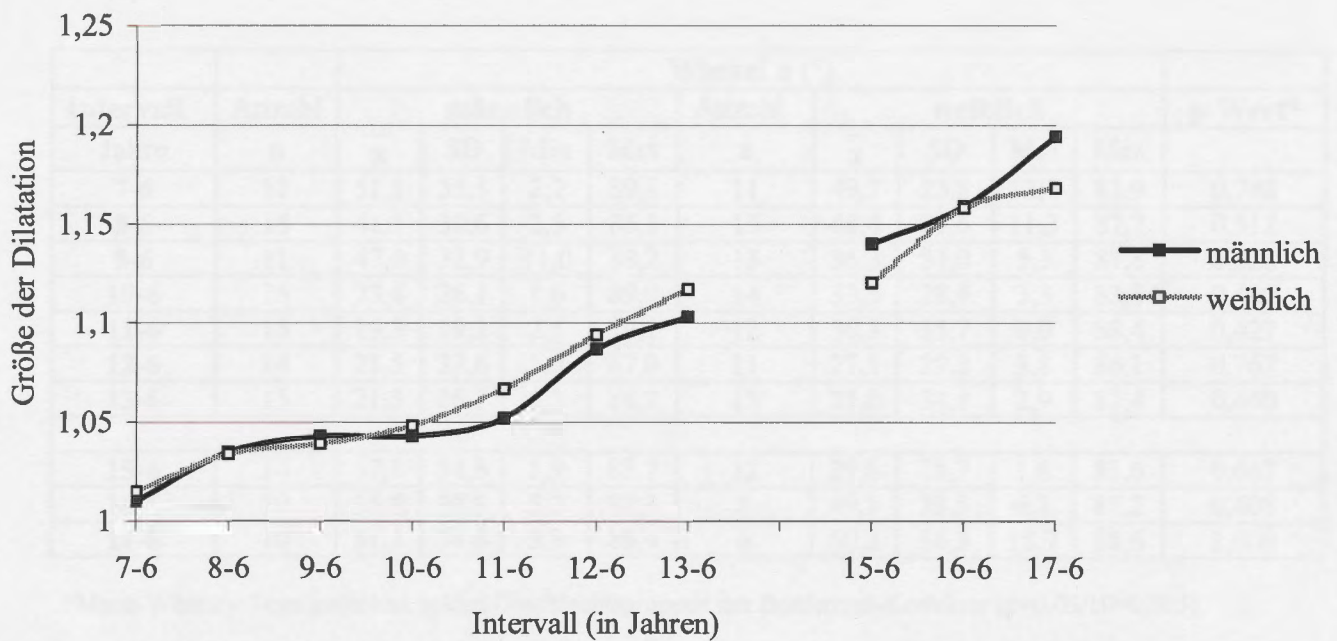
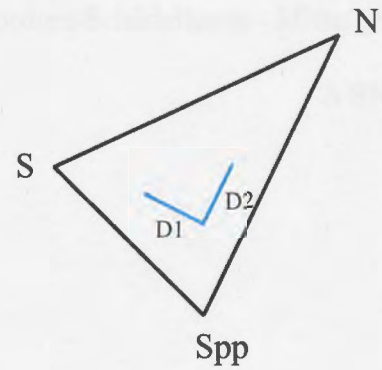


Dilatation D1											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,017	0,02	0,98	1,05	11	1,015	0,02	0,99	1,05	0,847
8-6	15	1,036	0,04	0,99	1,12	15	1,034	0,04	0,98	1,12	1,000
9-6	11	1,048	0,04	0,99	1,13	13	1,039	0,02	1,00	1,09	0,820
10-6	16	1,038	0,04	0,98	1,15	14	1,048	0,03	1,01	1,11	0,166
11-6	15	1,040	0,02	1,01	1,11	12	1,067	0,04	1,01	1,14	0,053
12-6	14	1,082	0,04	1,04	1,16	11	1,094	0,04	1,05	1,18	0,344
13-6	15	1,092	0,04	1,05	1,19	13	1,117	0,07	1,07	1,29	0,294
15-6	14	1,157	0,07	1,07	1,30	12	1,120	0,08	1,07	1,29	0,274
16-6	10	1,161	0,09	1,07	1,32	8	1,158	0,08	1,08	1,28	0,762
17-6	10	1,209	0,10	1,09	1,36	6	1,168	0,09	1,09	1,31	0,562

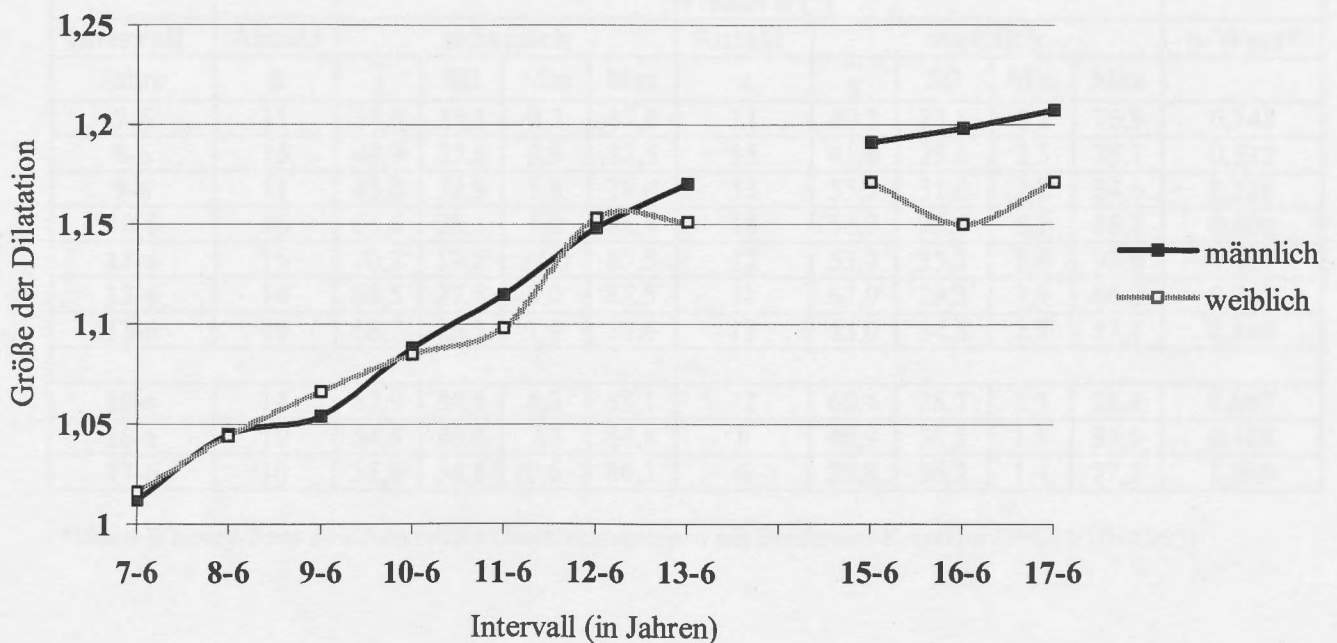
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

Dilatation D2											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,012	0,02	0,98	1,05	11	1,016	0,02	1,00	1,04	0,478
8-6	15	1,045	0,03	1,01	1,10	15	1,044	0,03	1,01	1,13	0,744
9-6	11	1,054	0,03	1,01	1,10	13	1,066	0,03	1,02	1,12	0,459
10-6	16	1,088	0,03	1,02	1,16	14	1,085	0,03	1,04	1,17	0,759
11-6	15	1,115	0,03	1,05	1,15	12	1,098	0,06	1,01	1,23	0,236
12-6	14	1,148	0,05	1,05	1,21	11	1,153	0,06	1,07	1,29	0,851
13-6	15	1,170	0,05	1,06	1,23	13	1,151	0,07	1,07	1,29	0,316
15-6	14	1,191	0,07	1,10	1,29	12	1,171	0,08	1,07	1,29	0,322
16-6	10	1,198	0,06	1,12	1,27	8	1,150	0,08	1,08	1,28	0,237
17-6	10	1,207	0,06	1,12	1,29	6	1,171	0,09	1,09	1,31	0,220

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in sagittal-vertikaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Vordere Schädelbasis - Mittelgesicht

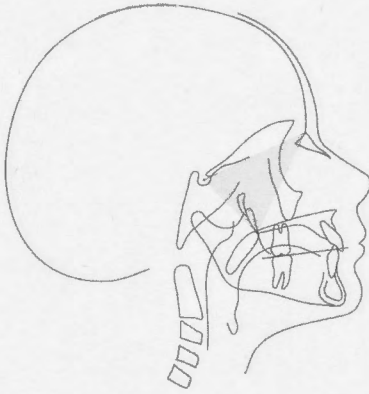
 Δ SNSpp

		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	51,1	35,3	2,2	89,8	11	49,7	23,8	13,1	83,9	0,748
8-6	15	41,1	30,6	2,5	86,1	15	48,4	29,6	11,3	87,7	0,512
9-6	11	47,0	32,9	11,0	88,2	13	36,3	31,0	5,3	87,8	0,228
10-6	16	23,4	26,1	1,6	89,0	14	33,3	28,4	3,3	83,3	0,400
11-6	15	19,3	19,2	2,5	79,1	12	36,3	35,7	0,0	88,4	0,427
12-6	14	21,5	27,6	1,5	87,0	11	27,1	29,2	3,8	86,1	0,767
13-6	15	21,3	26,7	2,3	88,2	13	35,0	34,8	2,9	87,4	0,440
15-6	14	37,1	34,6	1,9	85,7	12	29,6	28,7	1,6	81,6	0,667
16-6	10	35,6	30,8	5,2	82,3	8	49,1	38,5	6,1	88,2	0,408
17-6	10	51,2	34,8	3,9	89,4	6	60,2	36,3	12,7	88,6	1,000

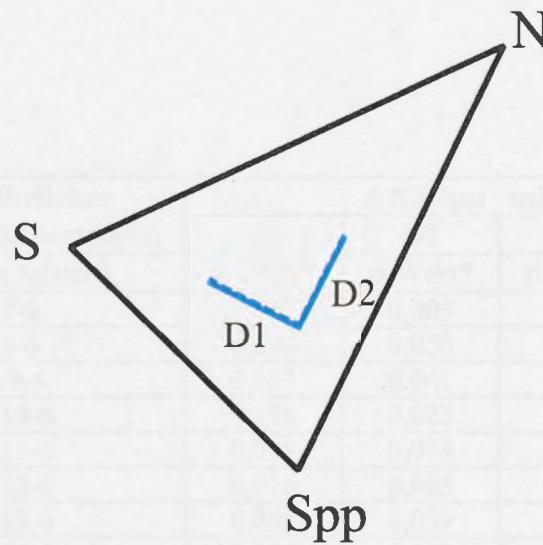
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

		Winkel β (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	38,9	35,3	0,2	87,8	11	40,3	23,8	6,2	76,9	0,748
8-6	15	48,9	30,6	3,9	87,5	15	41,6	29,6	2,3	78,7	0,512
9-6	11	43,0	32,9	1,8	79,0	13	53,7	31,0	2,2	84,6	0,228
10-6	16	66,6	26,1	1,0	88,4	14	56,7	28,4	6,7	86,7	0,400
11-6	15	70,7	19,2	11,0	87,5	12	53,7	35,7	1,6	90,0	0,427
12-6	14	68,5	27,6	3,0	88,5	11	62,9	29,2	3,9	86,2	0,767
13-6	15	68,7	26,7	1,9	87,6	13	55,0	34,8	2,7	87,1	0,440
15-6	14	52,9	34,6	4,3	88,1	12	60,4	28,7	8,3	88,4	0,667
16-6	10	54,4	30,8	7,7	84,8	8	40,9	38,5	1,8	83,9	0,408
17-6	10	38,8	34,8	0,6	86,1	6	29,8	36,3	1,4	77,3	1,000

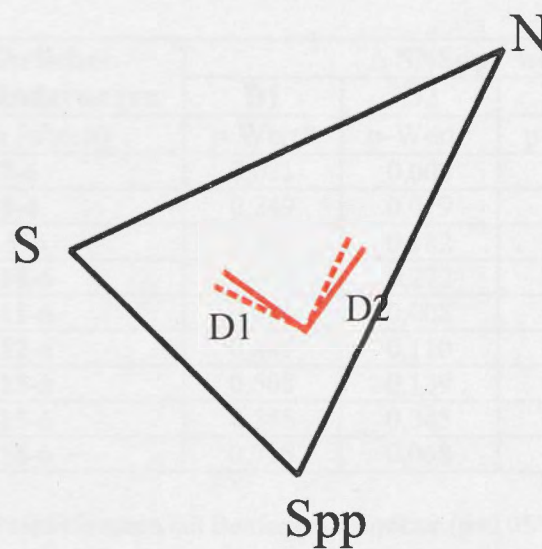
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



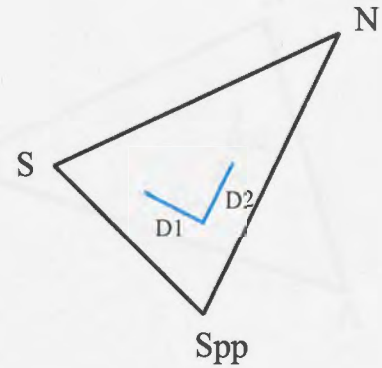
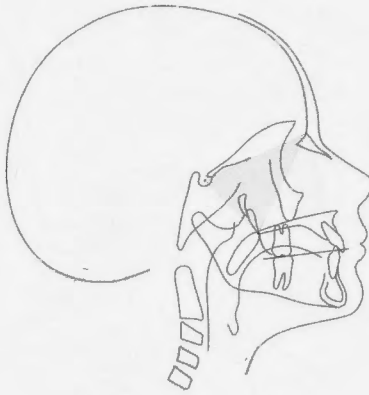
Vordere Schädelbasis - Mittelgesicht

 Δ SNSpp

Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SNSpp bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SNSpp bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

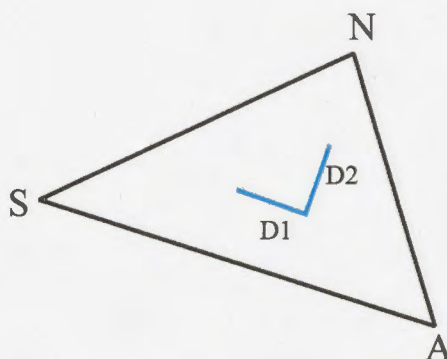
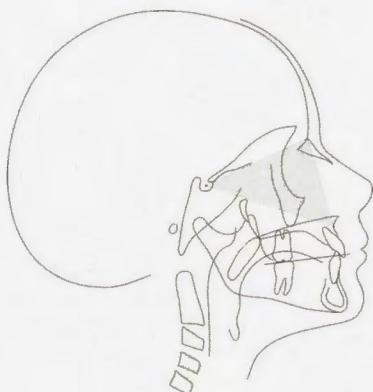


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNSpp männlich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,047	0,005	0,646	0,646
9-6 vs. 8-6	0,286	0,050	0,859	0,859
10-6 vs. 9-6	0,657	0,041	0,248	0,248
11-6 vs. 10-6	0,191	0,023	0,334	0,334
12-6 vs. 11-6	0,008	0,048	0,470	0,470
13-6 vs. 12-6	0,016	0,005	0,925	0,925
15-6 vs. 13-6	0,001	0,039	0,650	0,650
16-6 vs. 15-6	0,139	0,093	0,919	0,878
17-6 vs. 16-6	0,017	0,161	0,484	0,484

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNSpp weiblich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,021	0,008	0,424	0,424
9-6 vs. 8-6	0,249	0,019	0,173	0,173
10-6 vs. 9-6	0,182	0,182	0,308	0,308
11-6 vs. 10-6	0,050	0,272	0,530	0,530
12-6 vs. 11-6	0,066	0,008	0,110	0,110
13-6 vs. 12-6	0,441	0,110	0,214	0,214
15-6 vs. 13-6	0,508	0,139	0,575	0,575
16-6 vs. 15-6	0,345	0,345	0,075	0,075
17-6 vs. 16-6	0,715	0,068	0,715	0,715

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

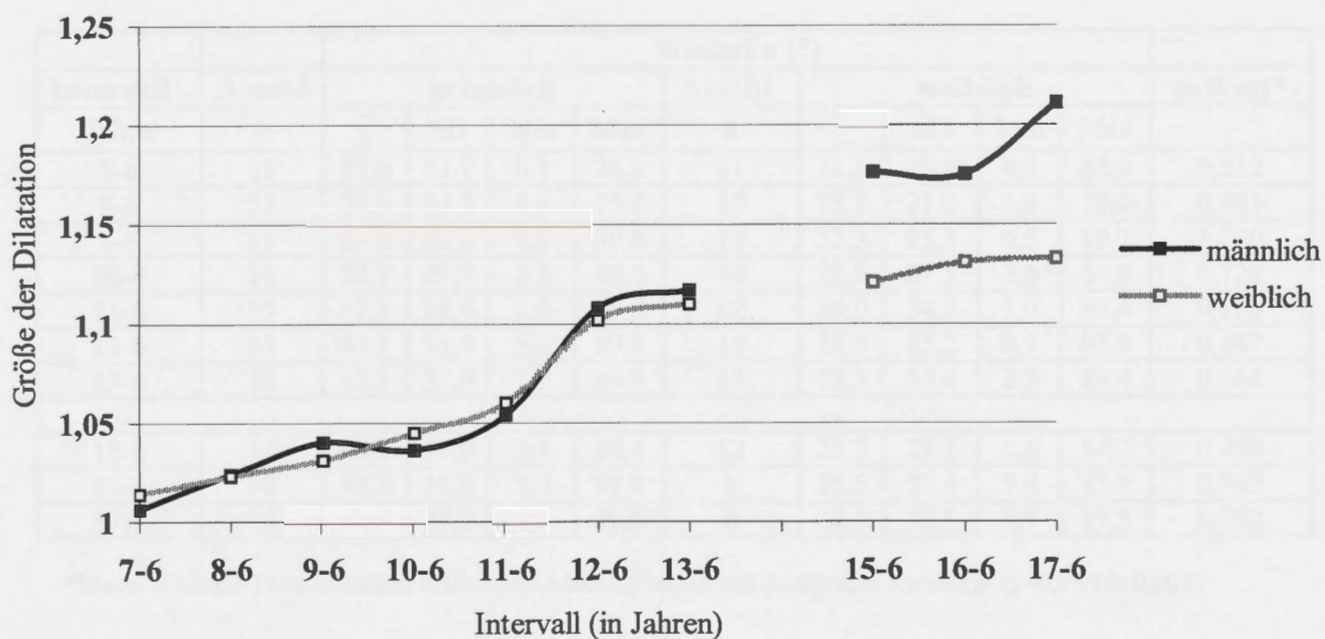
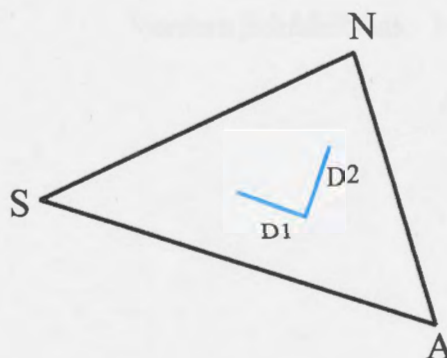


		Dilatation D1									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,006	0,02	0,98	1,03	11	1,014	0,02	0,99	1,04	0,365
8-6	15	1,024	0,01	1,00	1,05	15	1,023	0,01	1,00	1,05	0,902
9-6	11	1,040	0,04	1,01	1,12	13	1,031	0,01	1,00	1,04	0,569
10-6	16	1,036	0,02	1,00	1,08	14	1,045	0,02	1,02	1,08	0,154
11-6	15	1,054	0,04	1,02	1,15	12	1,060	0,03	1,02	1,13	0,126
12-6	14	1,108	0,05	1,04	1,21	11	1,102	0,04	1,05	1,17	1,000
13-6	15	1,117	0,06	1,06	1,24	13	1,110	0,04	1,05	1,19	0,856
15-6	14	1,176	0,07	1,08	1,27	12	1,121	0,03	1,07	1,19	0,046
16-6	10	1,175	0,09	1,08	1,29	8	1,131	0,03	1,08	1,19	0,481
17-6	10	1,211	0,09	1,10	1,33	6	1,133	0,02	1,10	1,17	0,073

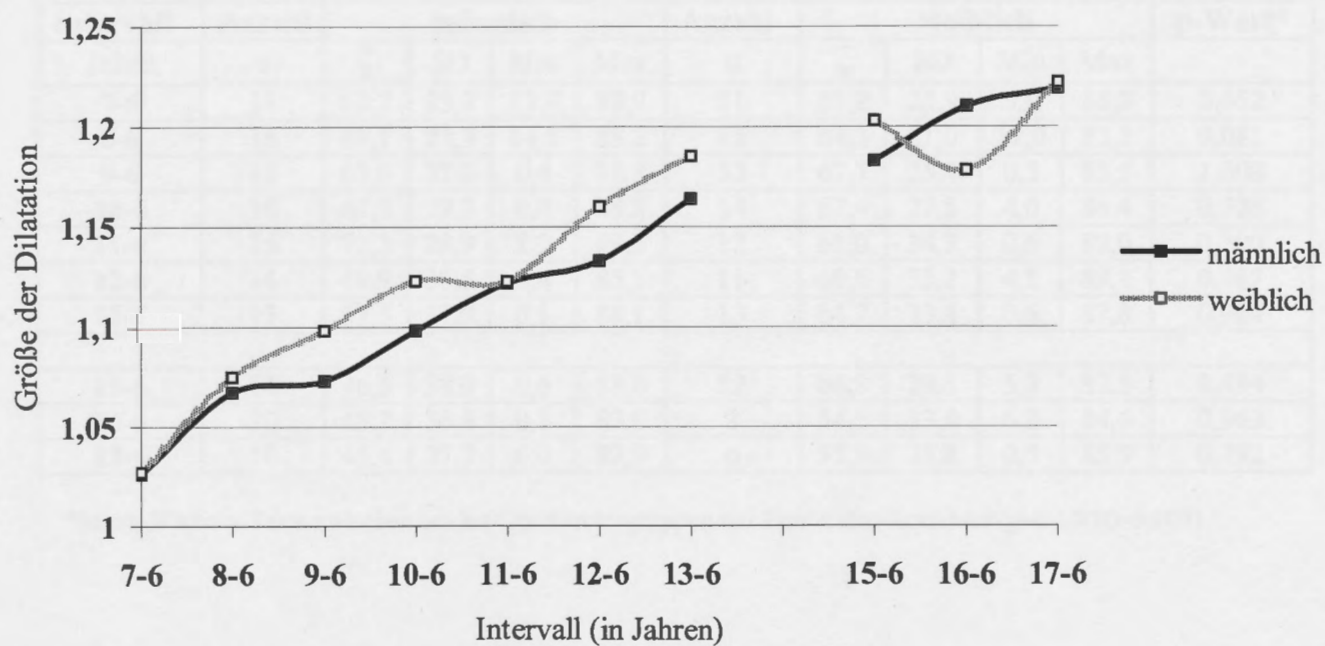
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

		Dilatation D2									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,026	0,03	0,96	1,08	11	1,027	0,03	0,99	1,08	0,898
8-6	15	1,067	0,04	1,01	1,13	15	1,075	0,03	1,01	1,13	0,683
9-6	11	1,073	0,03	1,02	1,12	13	1,098	0,04	1,02	1,16	0,134
10-6	16	1,098	0,05	1,01	1,15	14	1,123	0,05	1,02	1,21	0,179
11-6	15	1,122	0,05	1,02	1,21	12	1,123	0,05	1,02	1,21	0,943
12-6	14	1,133	0,07	1,05	1,22	11	1,160	0,07	1,06	1,29	0,467
13-6	15	1,164	0,07	1,06	1,28	13	1,185	0,08	1,05	1,31	0,496
15-6	14	1,183	0,09	1,10	1,33	12	1,203	0,09	1,04	1,32	0,667
16-6	10	1,210	0,09	1,10	1,32	8	1,178	0,10	1,06	1,32	0,423
17-6	10	1,219	0,09	1,11	1,38	6	1,222	0,10	1,09	1,33	0,958

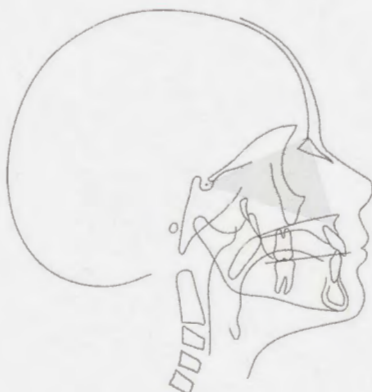
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in sagittal-vertikaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Vordere Schädelbasis - Maxilla

 Δ SNA

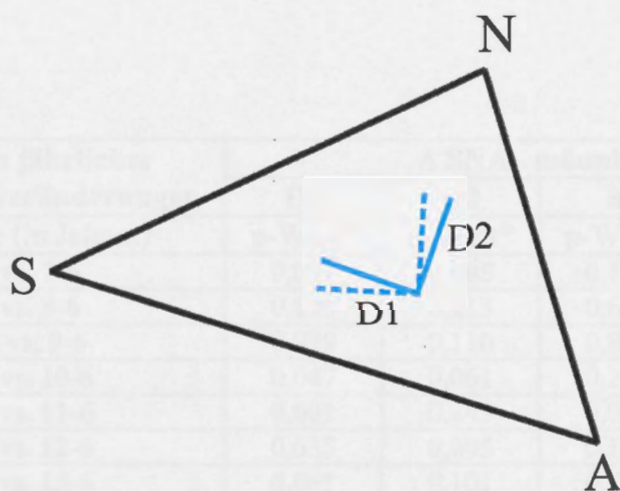
		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	27,8	23,7	0,1	76,1	11	31,8	25,9	4,0	85,0	0,652
8-6	15	20,9	23,3	4,8	75,9	15	25,7	21,0	6,9	78,0	0,081
9-6	11	27,0	32,0	1,3	89,6	13	22,3	25,3	6,5	89,7	1,000
10-6	16	22,7	29,7	1,2	89,6	14	22,6	27,5	3,6	86,0	0,728
11-6	15	17,7	28,9	0,8	88,8	12	29,0	34,3	1,0	89,4	0,200
12-6	14	40,1	38,5	5,0	89,6	11	29,4	35,2	0,9	85,9	0,467
13-6	15	32,5	37,9	1,9	89,9	13	25,3	33,4	2,3	89,4	0,964
15-6	14	43,5	38,0	1,4	89,4	12	25,2	29,1	2,6	84,7	0,494
16-6	10	41,3	38,8	3,0	89,9	8	35,5	33,4	5,4	83,8	0,963
17-6	10	44,6	37,7	2,1	90,0	6	34,3	38,8	4,1	89,5	0,792

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

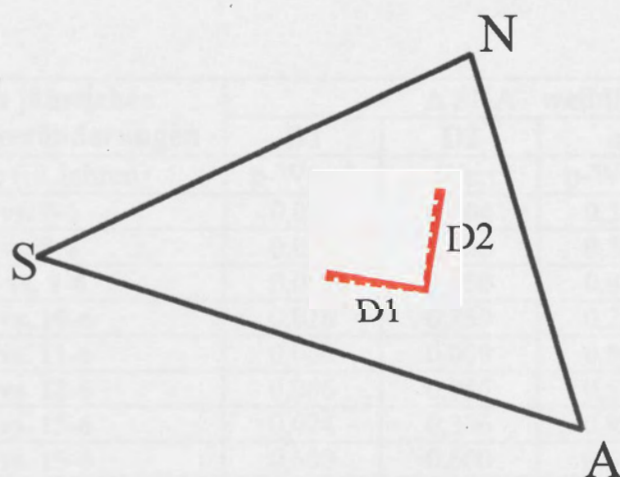
		Winkel β (°)										
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*	
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max		
7-6	11	62,2	23,7	13,9	89,9	11	58,2	25,9	5,0	86,0	0,652	
8-6	15	69,1	23,3	14,1	85,2	15	64,3	21,0	12,0	83,1	0,081	
9-6	11	63,0	32,0	0,4	88,8	13	67,7	25,3	0,3	83,5	1,000	
10-6	16	67,3	29,7	0,4	88,8	14	67,4	27,5	4,0	86,4	0,728	
11-6	15	72,3	28,9	1,2	89,3	12	61,0	34,3	0,6	89,0	0,200	
12-6	14	49,9	38,5	0,4	85,1	11	60,6	35,2	4,1	89,1	0,467	
13-6	15	57,5	37,9	0,1	88,1	13	64,7	33,4	0,6	87,8	0,964	
15-6	14	46,5	38,0	0,6	88,6	12	64,8	29,1	5,3	87,5	0,494	
16-6	10	48,7	38,8	0,1	87,0	8	54,5	33,4	6,2	84,6	0,963	
17-6	10	45,4	37,7	0,0	87,9	6	55,7	38,8	0,5	85,9	0,792	

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

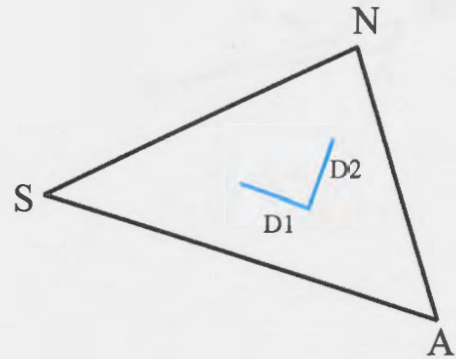
Vordere Schädelbasis - Maxilla

 Δ SNA

Ausrichtung der Dilatationen im Ursprungs-dreieck SNA bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreiecke SNA bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

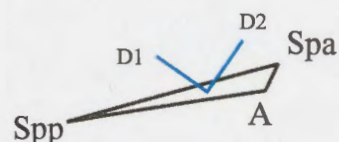
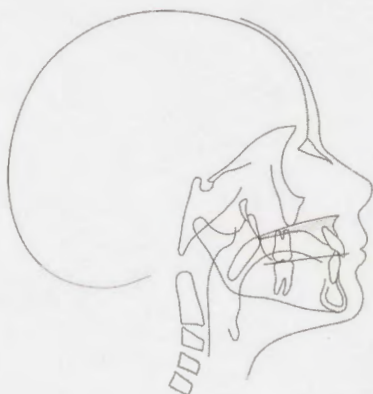


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNA männlich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,007	0,005	0,169	0,169
9-6 vs. 8-6	0,155	0,213	0,657	0,657
10-6 vs. 9-6	0,929	0,110	0,859	0,859
11-6 vs. 10-6	0,047	0,061	0,281	0,281
12-6 vs. 11-6	0,001	0,245	0,096	0,096
13-6 vs. 12-6	0,035	0,005	0,167	0,167
15-6 vs. 13-6	0,001	0,101	0,701	0,701
16-6 vs. 15-6	0,028	0,515	0,173	0,173
17-6 vs. 16-6	0,063	0,237	0,176	0,176

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNA weiblich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,075	0,004	0,374	0,374
9-6 vs. 8-6	0,075	0,055	0,388	0,388
10-6 vs. 9-6	0,012	0,050	0,875	0,875
11-6 vs. 10-6	0,016	0,859	0,213	0,213
12-6 vs. 11-6	0,066	0,008	0,594	0,594
13-6 vs. 12-6	0,086	0,086	0,515	0,515
15-6 vs. 13-6	0,074	0,386	0,959	0,959
16-6 vs. 15-6	0,600	0,600	0,600	0,600
17-6 vs. 16-6	0,068	0,715	0,144	0,144

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

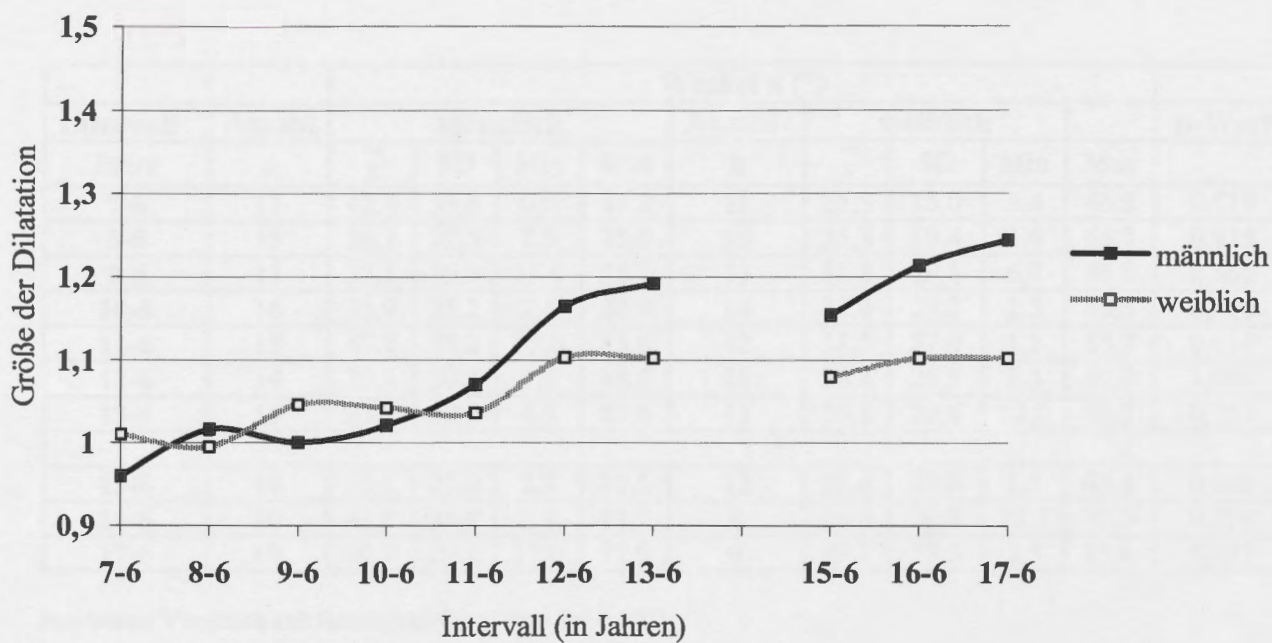
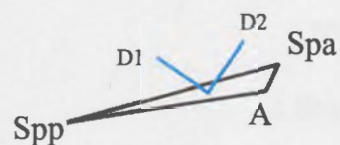


Dilatation D1											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	0,960	0,07	0,84	1,10	11	1,010	0,08	0,93	1,24	0,193
8-6	15	1,016	0,11	0,89	1,37	15	0,995	0,05	0,87	1,05	0,967
9-6	11	1,000	0,56	0,85	1,06	13	1,046	0,22	0,82	1,75	0,865
10-6	16	1,021	0,07	0,87	1,18	14	1,042	0,13	0,76	1,39	0,572
11-6	15	1,070	1,10	0,90	1,30	12	1,036	0,14	0,82	1,43	0,103
12-6	14	1,164	0,22	0,86	1,74	11	1,103	0,15	0,91	1,42	0,259
13-6	15	1,192	0,19	1,02	1,76	13	1,102	0,20	0,67	1,50	0,201
15-6	14	1,154	0,09	1,04	1,30	12	1,079	0,16	0,68	1,36	0,118
16-6	10	1,213	0,12	1,12	1,48	8	1,102	0,14	0,98	1,42	0,004
17-6	10	1,244	0,17	1,09	1,62	6	1,102	0,18	0,67	1,14	0,005

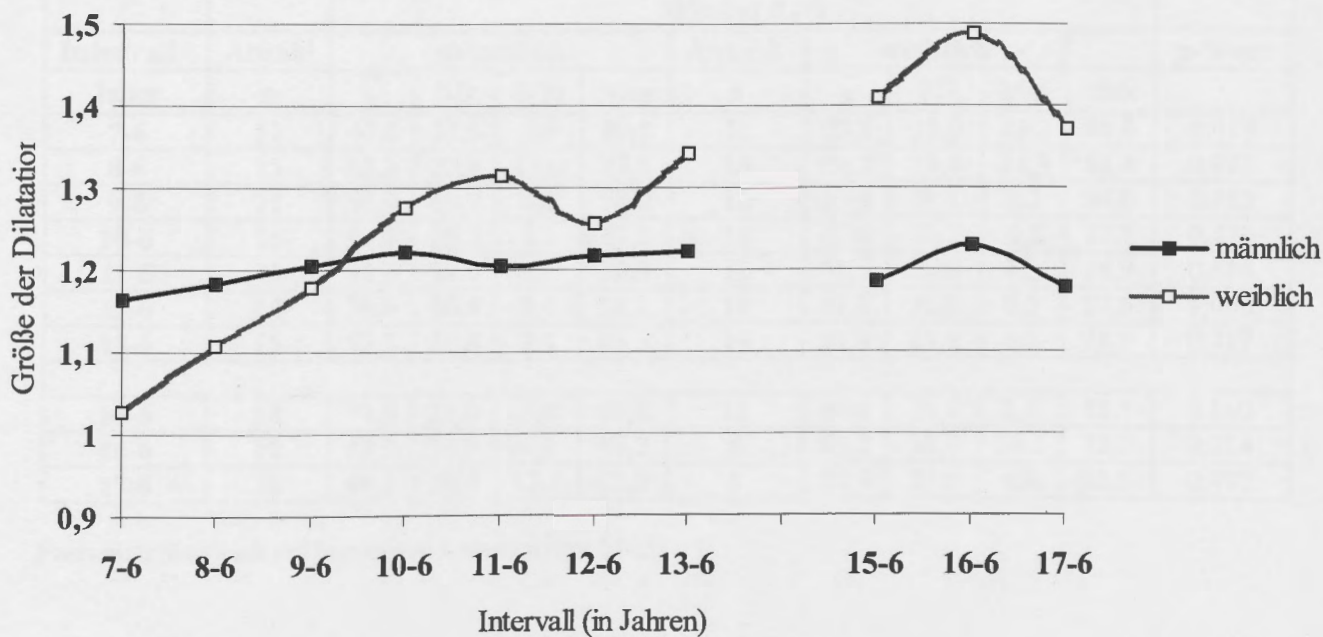
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

Dilatation D2											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,164	0,19	0,90	1,42	11	1,028	0,20	0,76	1,43	0,300
8-6	15	1,182	0,21	0,81	1,58	15	1,108	0,25	0,66	1,49	0,713
9-6	11	1,206	0,18	0,97	1,56	13	1,179	0,26	0,72	1,50	0,910
10-6	16	1,221	0,20	0,95	1,58	14	1,275	0,34	0,69	1,86	0,953
11-6	15	1,204	0,22	0,99	1,77	12	1,314	0,28	0,93	1,88	0,277
12-6	14	1,217	0,24	0,87	1,79	11	1,256	0,30	0,64	1,73	0,585
13-6	15	1,221	0,26	0,92	1,85	13	1,341	0,34	0,81	1,97	0,294
15-6	14	1,186	0,21	0,77	1,64	12	1,409	0,32	0,70	1,90	0,046
16-6	10	1,229	0,23	0,96	1,66	8	1,487	0,44	0,67	2,06	0,083
17-6	10	1,178	0,10	1,06	1,33	6	1,370	0,21	1,14	1,70	0,056

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in sagittal-vertikaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Maxilla

 Δ SppSpaA

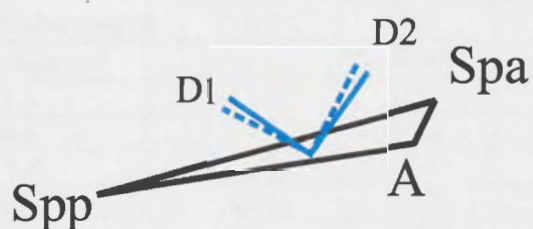
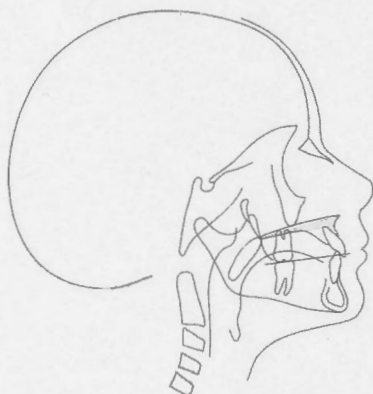
		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	42,4	33,8	0,9	84,2	11	26,5	15,0	3,4	46,8	0,519
8-6	15	26,7	22,5	2,5	75,0	15	25,3	19,4	1,6	65,7	0,935
9-6	11	33,1	19,9	11,8	85,7	13	36,2	29,1	6,0	86,8	0,865
10-6	16	35,9	25,2	2,8	88,9	14	32,4	29,2	2,3	85,5	0,470
11-6	15	47,7	28,0	13,6	85,8	12	38,5	27,0	1,1	85,7	0,614
12-6	14	39,4	30,4	1,8	88,6	11	38,4	26,5	2,3	80,7	1,000
13-6	15	37,5	30,6	4,5	87,6	13	38,1	28,8	12,0	88,7	0,717
15-6	14	35,1	25,0	2,5	86,5	12	25,4	26,9	1,5	83,4	0,160
16-6	10	41,8	26,8	2,8	83,7	8	26,8	20,7	12,3	73,9	0,274
17-6	10	49,9	20,4	17,0	77,9	6	39,1	33,5	3,5	83,6	0,492

Paarweiser Vergleich mit Bonferroni Korrektur[†] ($p=0,005$)

		Winkel β (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	47,6	33,8	5,8	89,1	11	63,5	15,0	43,2	86,6	0,519
8-6	15	63,3	22,5	15,0	87,5	15	64,7	19,4	24,3	88,4	0,935
9-6	11	56,9	19,9	4,2	78,2	13	53,8	29,1	3,2	84,0	0,865
10-6	16	54,1	25,2	1,1	87,2	14	57,6	29,2	4,5	87,7	0,470
11-6	15	42,3	28,0	4,2	76,4	12	51,5	27,0	4,3	88,9	0,614
12-6	14	50,6	30,4	1,4	88,2	11	51,6	26,5	9,3	87,6	1,000
13-6	15	52,5	30,6	2,4	85,5	13	51,9	28,8	1,3	78,0	0,717
15-6	14	54,9	25,0	3,6	87,6	12	64,6	26,9	6,6	88,5	0,160
16-6	10	48,2	26,8	6,3	87,2	8	63,2	20,7	16,1	77,7	0,274
17-6	10	40,1	20,4	12,2	73,0	6	50,9	33,5	6,4	86,5	0,492

Paarweiser Vergleich mit Bonferroni Korrektur[†] ($p=0,005$)

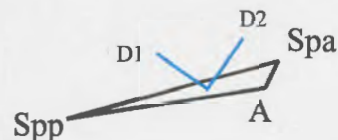
Maxilla

 Δ SppSpaA

Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SppSpaA bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SppSpaA bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

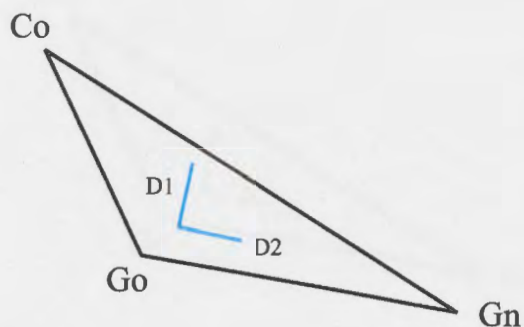


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SppSpaA männlich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,047	0,074	0,059	0,059
9-6 vs. 8-6	0,182	0,091	0,859	0,859
10-6 vs. 9-6	0,328	1,000	0,424	0,424
11-6 vs. 10-6	0,053	0,776	0,460	0,460
12-6 vs. 11-6	0,084	0,975	0,198	0,198
13-6 vs. 12-6	0,158	0,397	0,683	0,683
15-6 vs. 13-6	0,917	0,807	0,507	0,507
16-6 vs. 15-6	0,017	0,139	0,059	0,059
17-6 vs. 16-6	0,674	0,484	0,327	0,327

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SppSpaA weiblich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,328	0,477	0,657	0,657
9-6 vs. 8-6	0,972	0,249	0,152	0,152
10-6 vs. 9-6	0,279	0,249	0,221	0,221
11-6 vs. 10-6	0,937	0,754	0,347	0,347
12-6 vs. 11-6	0,347	0,859	0,110	0,110
13-6 vs. 12-6	0,012	0,575	0,575	0,575
15-6 vs. 13-6	0,959	0,721	0,333	0,333
16-6 vs. 15-6	0,345	0,917	0,075	0,075
17-6 vs. 16-6	0,273	0,465	0,715	0,715

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

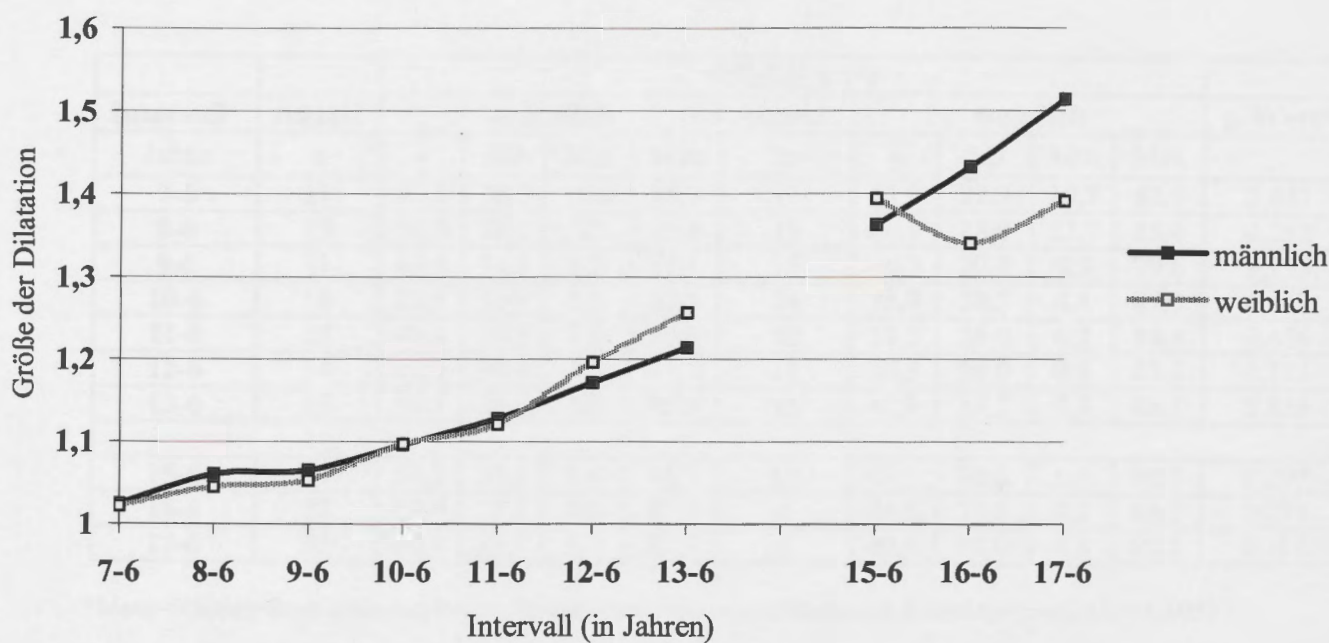
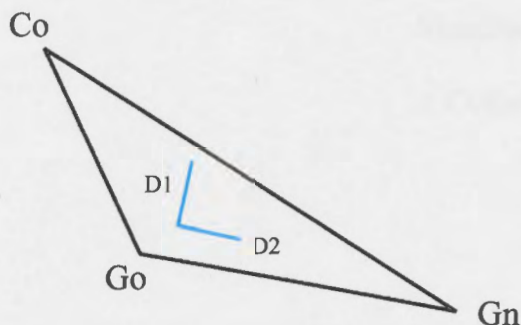


Dilatation D1											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,024	0,02	1,00	1,07	11	1,022	0,03	0,98	1,07	0,949
8-6	15	1,060	0,04	1,01	1,16	15	1,045	0,02	0,99	1,08	0,653
9-6	11	1,065	0,04	1,02	1,17	13	1,053	0,03	0,99	1,09	0,820
10-6	16	1,096	0,05	1,04	1,23	14	1,097	0,04	1,00	1,16	0,448
11-6	15	1,128	0,03	1,08	1,19	12	1,121	0,04	1,04	1,20	0,943
12-6	14	1,171	0,05	1,09	1,25	11	1,196	0,07	1,07	1,29	0,222
13-6	15	1,214	0,07	1,11	1,32	13	1,256	0,09	1,13	1,42	0,142
15-6	14	1,362	0,13	1,16	1,55	12	1,394	0,07	1,26	1,48	0,595
16-6	10	1,432	0,14	1,26	1,65	8	1,340	0,10	1,21	1,52	0,146
17-6	10	1,514	0,13	1,30	1,71	6	1,391	0,10	1,23	1,51	0,093

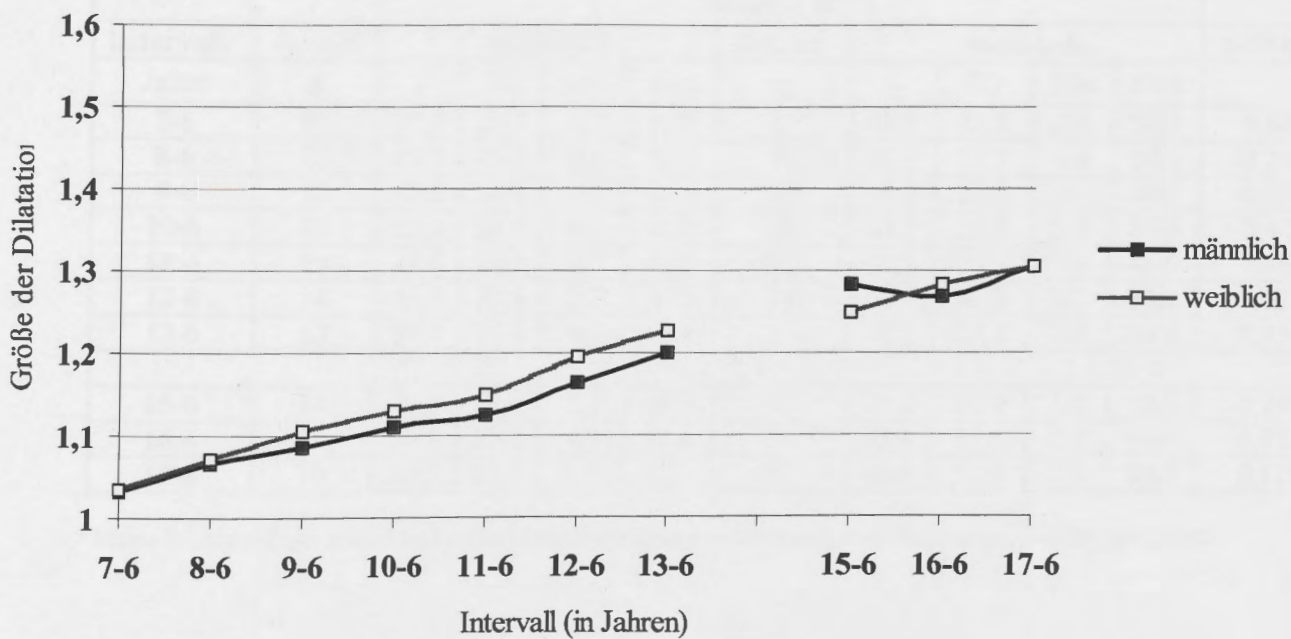
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

Dilatation D2											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,031	0,03	1,00	1,10	11	1,035	0,03	0,99	1,10	0,898
8-6	15	1,067	0,05	1,03	1,20	15	1,070	0,03	1,03	1,14	0,539
9-6	11	1,086	0,05	1,02	1,17	13	1,106	0,05	1,04	1,19	0,303
10-6	16	1,109	0,06	1,03	1,23	14	1,129	0,06	1,05	1,22	0,334
11-6	15	1,125	0,06	1,06	1,25	12	1,148	0,08	1,04	1,26	0,427
12-6	14	1,163	0,06	1,06	1,29	11	1,196	0,07	1,11	1,32	0,403
13-6	15	1,199	0,07	1,14	1,34	13	1,226	0,08	1,14	1,36	0,235
15-6	14	1,283	0,10	1,18	1,53	12	1,249	0,10	1,17	1,47	0,231
16-6	10	1,269	0,06	1,20	1,40	8	1,284	0,11	1,17	1,45	0,965
17-6	10	1,306	0,05	1,24	1,41	6	1,305	0,13	1,19	1,51	0,368

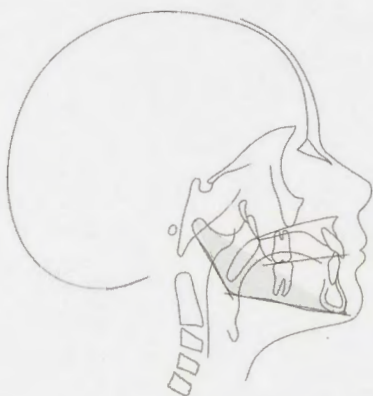
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in sagittaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Mandibula

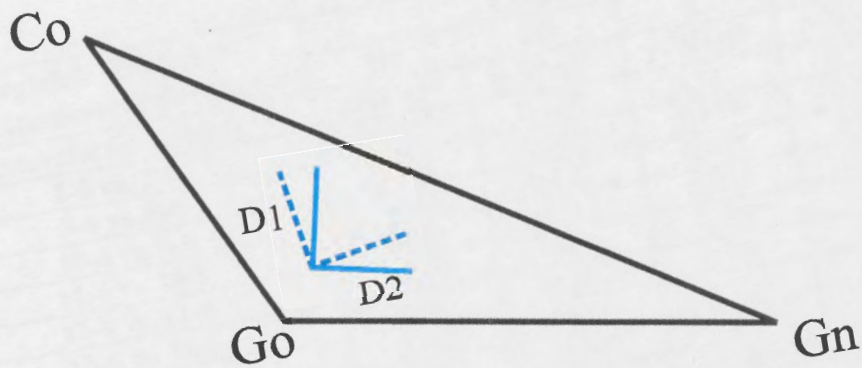
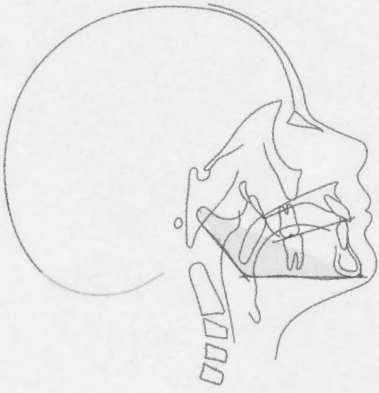
 Δ CoGnGo

		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	48,7	28,3	10,0	88,7	11	51,9	22,2	19,7	87,9	0,847
8-6	15	50,0	28,7	7,5	89,4	15	40,1	18,9	22,7	85,4	0,258
9-6	11	44,5	31,8	1,5	86,1	13	40,3	20,4	9,9	79,6	0,955
10-6	16	28,9	26,9	5,0	83,9	14	36,9	28,3	4,4	87,3	0,448
11-6	15	45,4	29,3	7,0	90,0	12	38,3	26,0	6,2	84,4	0,456
12-6	14	41,3	30,4	5,5	87,7	11	56,5	36,0	0,8	87,3	0,373
13-6	15	50,3	29,4	3,2	85,9	13	47,8	35,2	0,4	88,3	0,856
15-6	14	50,2	35,4	0,8	86,7	12	63,9	30,0	1,4	88,3	0,297
16-6	10	59,9	27,2	9,6	85,1	8	44,6	35,6	0,1	85,3	0,274
17-6	10	70,5	23,5	5,7	85,3	6	49,4	38,0	0,8	82,2	0,118

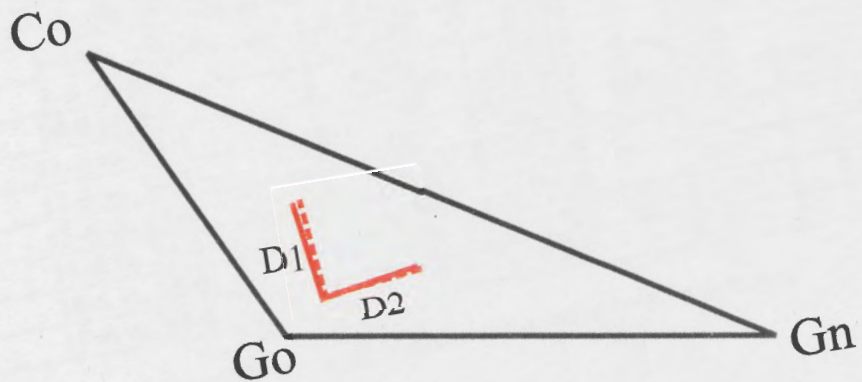
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

		Winkel β (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	41,3	28,3	1,3	80,0	11	38,1	22,2	2,1	70,3	0,847
8-6	15	40,0	28,7	0,6	82,5	15	49,9	18,9	4,6	67,3	0,258
9-6	11	45,5	31,8	3,9	88,5	13	49,7	20,4	10,4	80,1	0,955
10-6	16	61,1	26,9	6,1	85,0	14	53,1	28,3	2,7	85,6	0,448
11-6	15	44,6	29,3	0,0	83,0	12	51,7	26,0	5,6	83,9	0,456
12-6	14	48,7	30,4	2,3	84,5	11	33,5	36,0	2,7	89,2	0,373
13-6	15	39,7	29,4	4,1	86,8	13	42,2	35,2	1,7	89,6	0,856
15-6	14	39,8	35,4	3,3	89,2	12	26,1	30,0	1,7	88,6	0,297
16-6	10	30,1	27,2	4,9	80,4	8	45,4	35,6	4,7	89,9	0,274
17-6	10	19,5	23,5	4,7	84,3	6	40,6	38,0	7,8	89,2	0,118

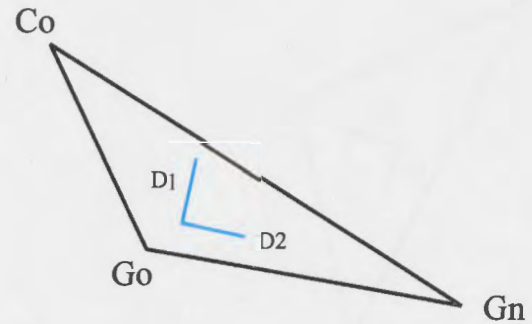
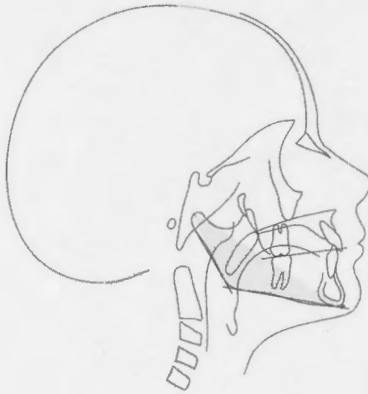
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck CoGnGo bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck CoGnGo bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

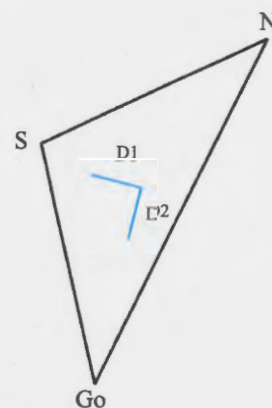


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ CoGnGo männlich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,013	0,047	0,721	0,721
9-6 vs. 8-6	0,722	0,050	0,859	0,859
10-6 vs. 9-6	0,021	0,033	0,075	0,075
11-6 vs. 10-6	0,003	0,112	0,031	0,031
12-6 vs. 11-6	0,008	0,006	0,397	0,397
13-6 vs. 12-6	0,019	0,019	0,594	0,594
15-6 vs. 13-6	0,002	0,016	0,701	0,701
16-6 vs. 15-6	0,007	0,139	0,959	0,959
17-6 vs. 16-6	0,017	0,161	0,263	0,263

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ CoGnGo weiblich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,033	0,003	0,286	0,286
9-6 vs. 8-6	0,463	0,002	0,917	0,917
10-6 vs. 9-6	0,002	0,034	0,937	0,937
11-6 vs. 10-6	0,005	0,034	0,308	0,308
12-6 vs. 11-6	0,008	0,008	0,110	0,110
13-6 vs. 12-6	0,008	0,110	0,767	0,767
15-6 vs. 13-6	0,005	0,646	0,445	0,445
16-6 vs. 15-6	0,917	0,463	0,249	0,249
17-6 vs. 16-6	0,715	0,068	0,465	0,465

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

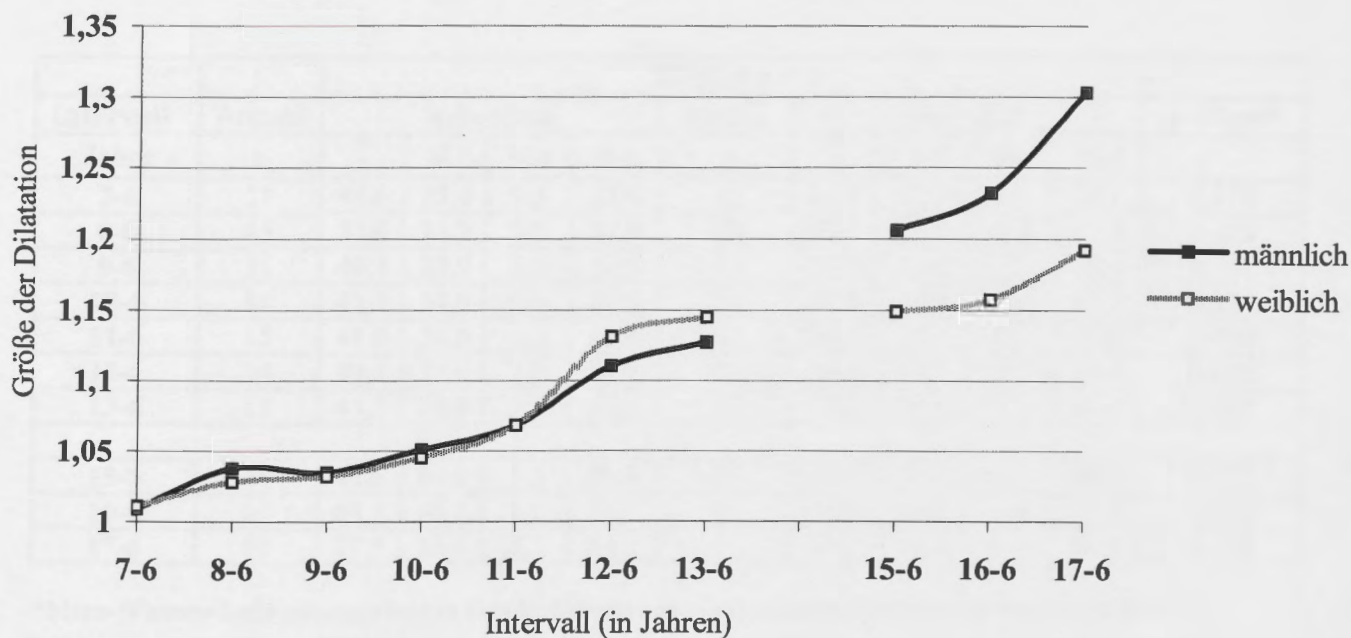
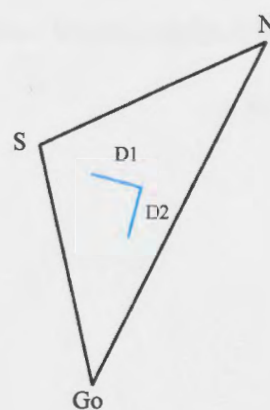
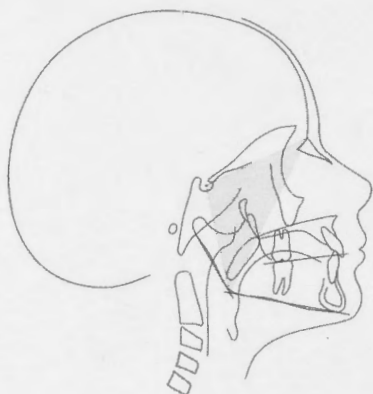


Dilatation D1											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,009	0,02	0,98	1,05	11	1,011	0,03	0,96	1,05	0,606
8-6	15	1,038	0,04	0,99	1,13	15	1,028	0,03	0,95	1,07	0,806
9-6	11	1,035	0,03	0,99	1,08	13	1,032	0,03	0,99	1,09	0,910
10-6	16	1,051	0,04	0,98	1,13	14	1,045	0,04	0,99	1,11	0,822
11-6	15	1,068	0,05	1,01	1,16	12	1,068	0,06	1,01	1,17	1,000
12-6	14	1,110	0,06	1,04	1,21	11	1,131	0,07	1,05	1,24	0,344
13-6	15	1,127	0,07	1,05	1,24	13	1,145	0,09	1,04	1,28	0,856
15-6	14	1,206	0,10	1,08	1,40	12	1,149	0,09	1,05	1,30	0,131
16-6	10	1,232	0,13	1,08	1,41	8	1,157	0,09	1,07	1,31	0,122
17-6	10	1,303	0,13	1,10	1,46	6	1,192	0,12	1,07	1,31	0,022

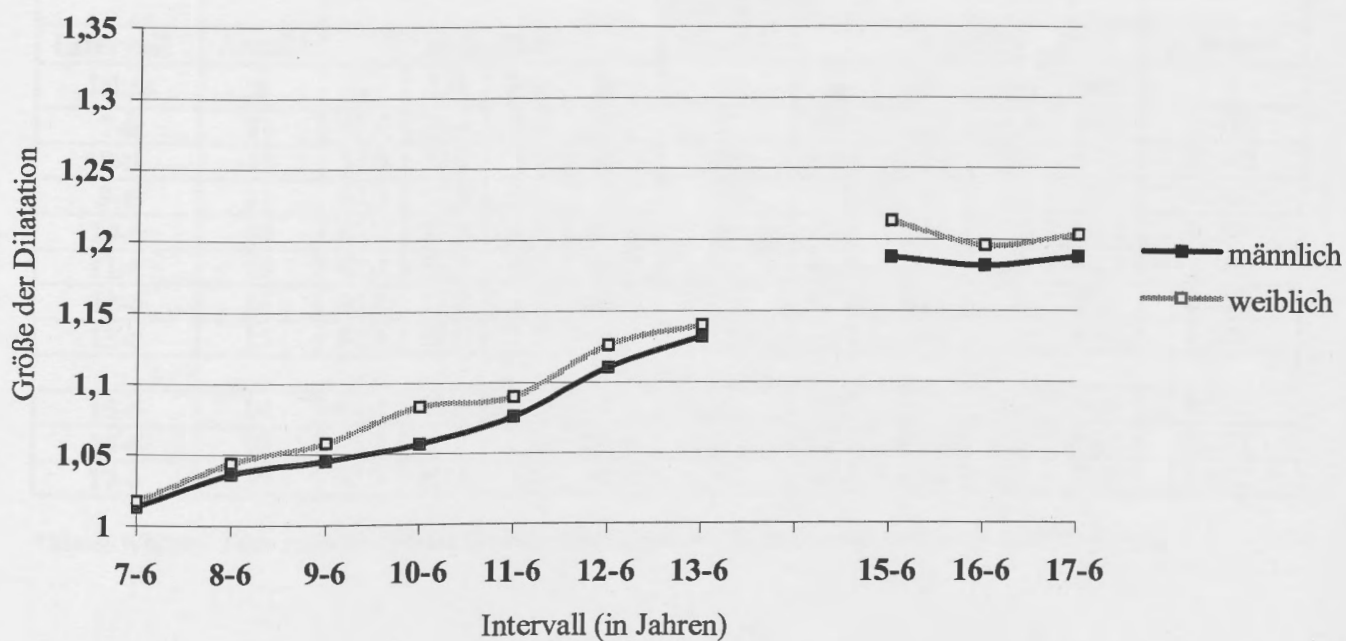
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

Dilatation D2											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,013	0,01	0,98	1,03	11	1,017	0,01	1,00	1,03	0,562
8-6	15	1,036	0,02	1,01	1,09	15	1,044	0,02	1,02	1,07	0,217
9-6	11	1,045	0,02	1,01	1,06	13	1,058	0,02	1,03	1,09	0,167
10-6	16	1,057	0,04	1,01	1,13	14	1,083	0,03	1,03	1,14	0,047
11-6	15	1,076	0,04	1,01	1,16	12	1,090	0,04	1,04	1,15	0,300
12-6	14	1,110	0,05	1,04	1,22	11	1,126	0,05	1,07	1,19	0,501
13-6	15	1,132	0,07	1,06	1,30	13	1,140	0,06	1,07	1,23	0,467
15-6	14	1,188	0,10	1,08	1,43	12	1,213	0,09	1,08	1,31	0,560
16-6	10	1,182	0,08	1,09	1,30	8	1,196	0,10	1,07	1,30	0,897
17-6	10	1,188	0,08	1,11	1,32	6	1,203	0,11	1,10	1,33	0,958

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in sagittaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Hintere Gesichtshöhe - Vordere Schädelbasis

 Δ SGoN

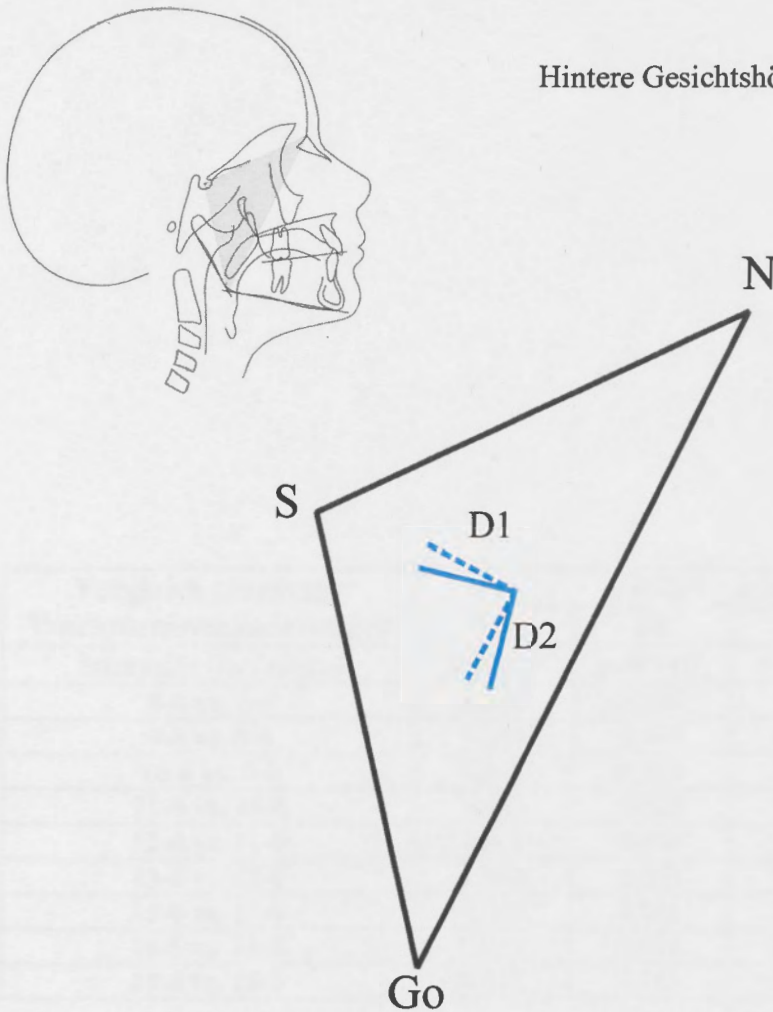
		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl ¹	männlich				Anzahl ¹	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	48,6	25,4	9,5	84,0	11	41,4	22,2	2,5	79,1	0,478
8-6	15	37,6	32,2	0,5	82,9	15	51,6	29,1	2,2	87,6	0,202
9-6	11	45,3	33,9	0,7	82,0	13	54,0	29,1	7,5	88,1	0,361
10-6	16	45,0	37,5	0,6	85,6	14	58,0	30,6	6,0	89,7	0,294
11-6	15	48,0	36,9	1,3	89,1	12	58,6	32,7	0,7	88,0	0,300
12-6	14	49,2	37,0	2,3	88,2	11	49,5	40,7	0,7	89,0	0,890
13-6	15	45,2	39,0	1,1	88,3	13	41,5	39,6	0,2	88,4	1,000
15-6	14	45,6	40,6	3,2	89,8	12	60,9	36,3	5,4	90,0	0,212
16-6	10	44,3	40,7	1,1	88,1	8	57,0	40,8	1,1	88,9	0,203
17-6	10	27,3	36,4	0,1	84,2	6	43,6	44,6	0,4	88,9	0,492

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

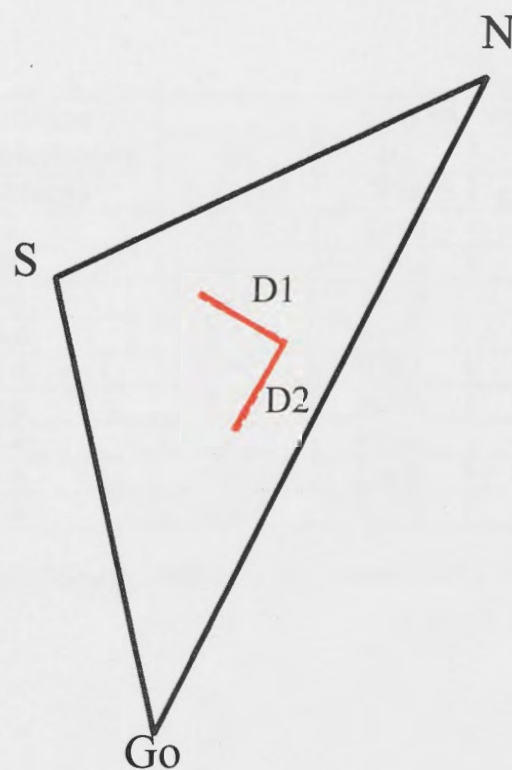
		Winkel β (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	41,4	25,4	6,0	80,5	11	48,6	22,2	10,9	87,6	0,478
8-6	15	52,4	32,2	7,1	89,5	15	38,4	29,1	2,4	87,8	0,202
9-6	11	44,7	33,9	8,0	89,3	13	36,0	29,1	1,9	82,5	0,361
10-6	16	45,0	37,5	4,4	89,4	14	31,9	30,6	0,3	84,0	0,294
11-6	15	42,0	36,9	0,9	88,7	12	31,4	32,7	2,0	89,3	0,300
12-6	14	40,8	37,0	1,8	87,7	11	40,5	40,7	1,0	89,3	0,809
13-6	15	47,8	39,0	1,7	88,9	13	48,5	39,6	1,6	89,8	1,000
15-6	14	44,4	40,6	0,2	86,8	12	29,1	36,3	0,0	84,6	0,212
16-6	10	45,7	40,7	1,9	88,9	8	33,0	40,8	1,1	88,9	0,203
17-6	10	62,7	36,4	5,8	90,0	6	46,4	44,6	1,1	89,6	0,492

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

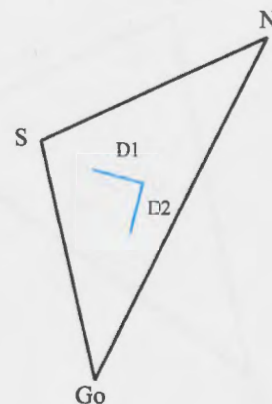
Hintere Gesichtshöhe - Vordere Schädelbasis

 Δ SGoN

Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SGoN bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SGoN bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

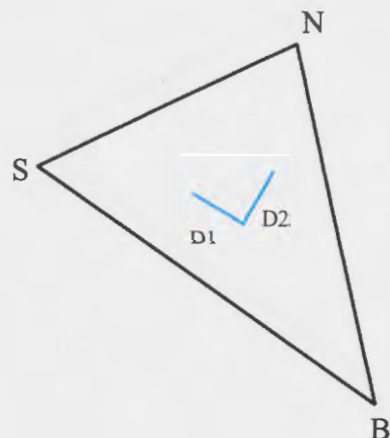


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SGoN männlich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,005	0,007	0,646	0,646
9-6 vs. 8-6	0,534	0,008	0,859	0,859
10-6 vs. 9-6	0,110	0,075	0,213	0,213
11-6 vs. 10-6	0,012	0,020	0,650	0,650
12-6 vs. 11-6	0,002	0,002	0,016	0,016
13-6 vs. 12-6	0,002	0,022	0,245	0,245
15-6 vs. 13-6	0,009	0,001	0,016	0,016
16-6 vs. 15-6	0,037	0,093	0,646	0,646
17-6 vs. 16-6	0,012	0,161	0,093	0,093

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SGoN weiblich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,016	0,004	0,286	0,286
9-6 vs. 8-6	0,552	0,006	0,650	0,650
10-6 vs. 9-6	0,060	0,028	0,875	0,875
11-6 vs. 10-6	0,010	0,071	0,060	0,060
12-6 vs. 11-6	0,008	0,011	0,678	0,678
13-6 vs. 12-6	0,139	0,173	0,678	0,678
15-6 vs. 13-6	0,959	0,022	0,047	0,047
16-6 vs. 15-6	0,917	0,600	0,917	0,917
17-6 vs. 16-6	0,465	0,715	0,144	0,144

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

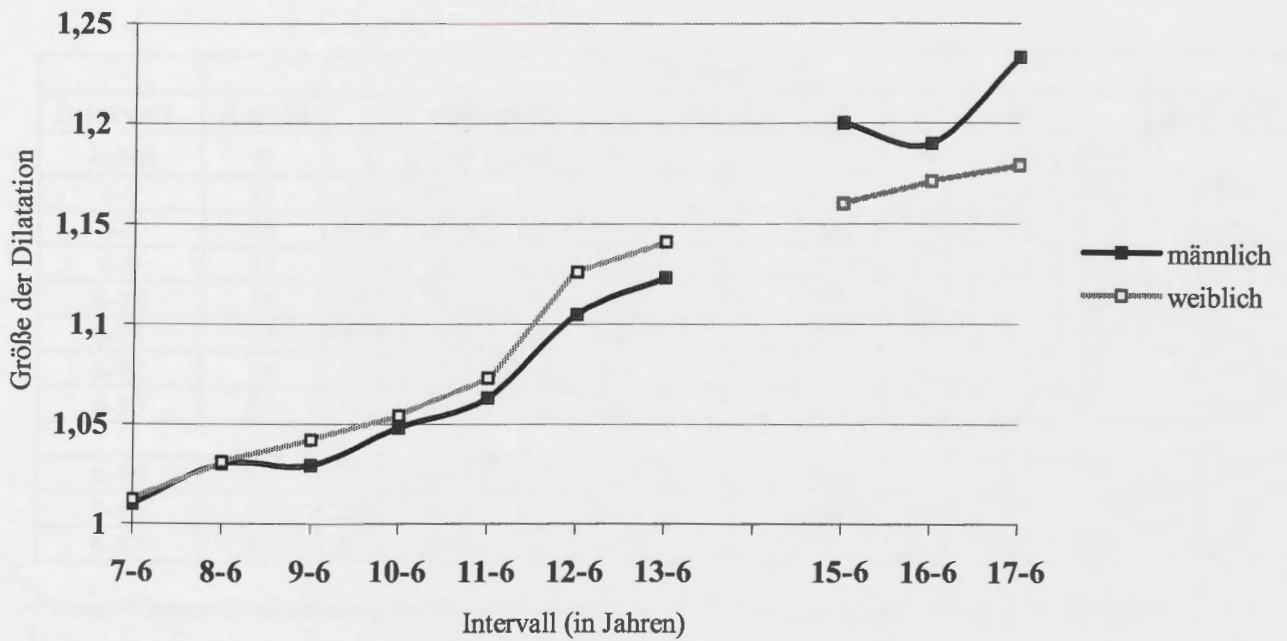
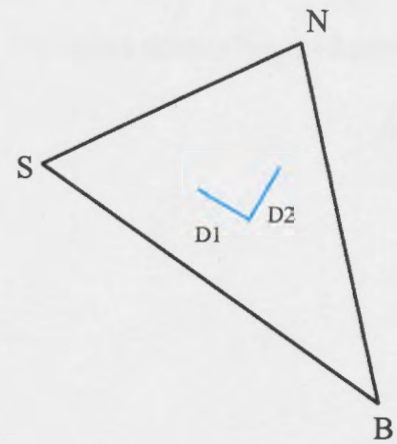


Dilatation D1											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6-7	11	1,010	0,02	0,98	1,05	11	1,012	0,01	0,99	1,05	0,797
6-8	15	1,030	0,02	1,00	1,08	15	1,031	0,02	0,99	1,09	0,806
6-9	11	1,029	0,02	1,01	1,07	13	1,042	0,02	1,02	1,12	0,123
6-10	16	1,048	0,03	1,00	1,11	14	1,054	0,03	1,02	1,13	0,473
6-11	15	1,063	0,03	1,02	1,13	12	1,073	0,03	1,02	1,12	0,300
6-12	14	1,105	0,04	1,05	1,18	11	1,126	0,04	1,05	1,22	0,166
6-13	15	1,123	0,04	1,06	1,19	13	1,141	0,04	1,07	1,21	0,185
6-15	14	1,200	0,04	1,09	1,24	12	1,160	0,05	1,08	1,26	0,046
6-16	10	1,190	0,06	1,09	1,26	8	1,171	0,04	1,12	1,24	0,460
6-17	10	1,233	0,06	1,12	1,30	6	1,179	0,05	1,12	1,24	0,118

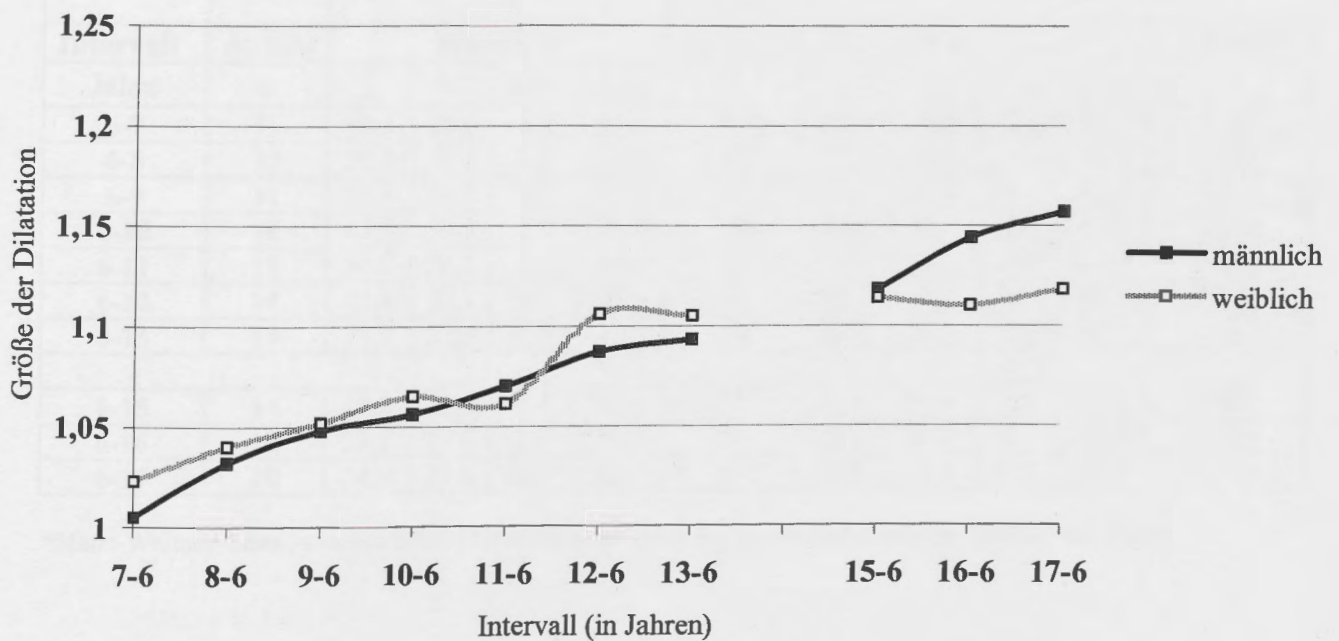
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

Dilatation D2											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6-7	11	1,005	0,04	0,95	1,06	11	1,023	0,03	0,98	1,10	0,438
6-8	15	1,032	0,03	0,98	1,10	15	1,040	0,03	0,97	1,11	0,285
6-9	11	1,048	0,03	1,01	1,10	13	1,052	0,03	1,00	1,10	0,728
6-10	16	1,056	0,04	1,01	1,15	14	1,065	0,04	0,97	1,14	0,334
6-11	15	1,070	0,05	1,02	1,17	12	1,061	0,05	0,98	1,16	0,792
6-12	14	1,087	0,04	1,04	1,16	11	1,106	0,04	1,06	1,21	0,134
6-13	15	1,093	0,04	1,05	1,17	13	1,105	0,05	1,05	1,24	0,586
6-15	14	1,118	0,03	1,08	1,20	12	1,114	0,04	1,05	1,18	0,595
6-16	10	1,144	0,06	1,10	1,24	8	1,110	0,06	1,06	1,25	0,122
6-17	10	1,157	0,05	1,11	1,25	6	1,118	0,03	1,09	1,17	0,073

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in sagittal-vertikaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Vordere Schädelbasis - Mandibula

 Δ SNB

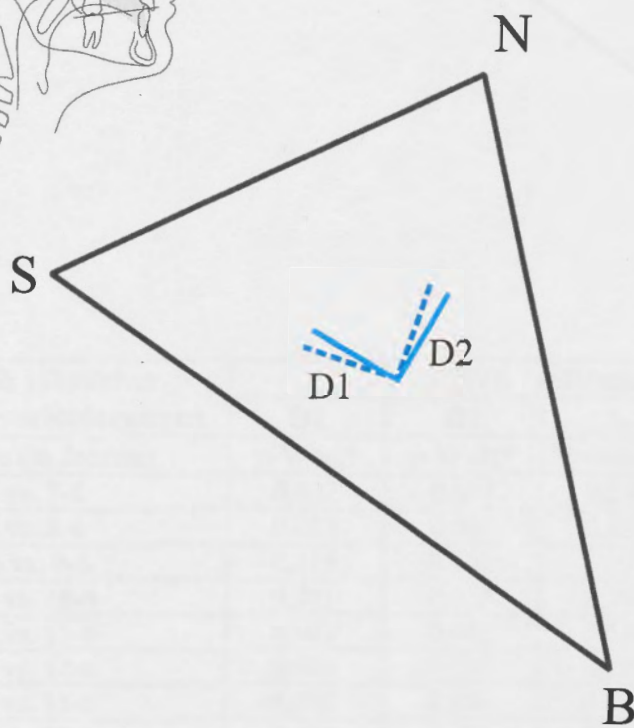
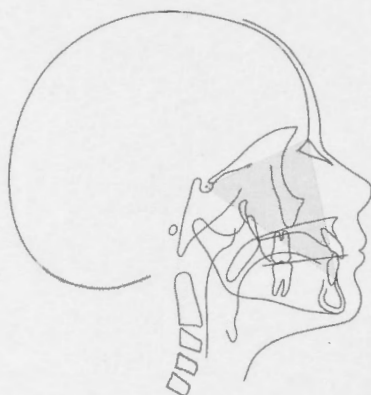
		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6-7	11	43,8	35,6	1,0	89,9	11	37,1	30,6	6,9	89,3	0,847
6-8	15	39,1	30,4	3,3	89,1	15	36,1	29,8	3,8	82,3	0,653
6-9	11	31,5	22,7	3,3	79,5	13	29,6	30,5	2,0	83,3	0,470
6-10	16	47,7	36,2	4,0	88,7	14	32,0	32,1	1,3	85,3	0,208
6-11	15	40,0	36,1	2,8	86,9	12	45,1	33,9	5,1	88,5	0,648
6-12	14	46,2	33,1	6,2	86,0	11	52,0	36,1	0,8	88,0	0,609
6-13	15	52,5	33,4	6,3	90,0	13	53,7	33,7	3,6	87,6	1,000
6-15	14	70,2	22,6	11,0	89,6	12	47,4	32,8	3,8	88,1	0,067
6-16	10	50,3	35,6	0,2	89,1	8	64,4	26,3	7,8	88,4	0,515
6-17	10	55,1	29,4	7,3	89,6	6	65,2	33,9	2,5	89,0	0,562

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

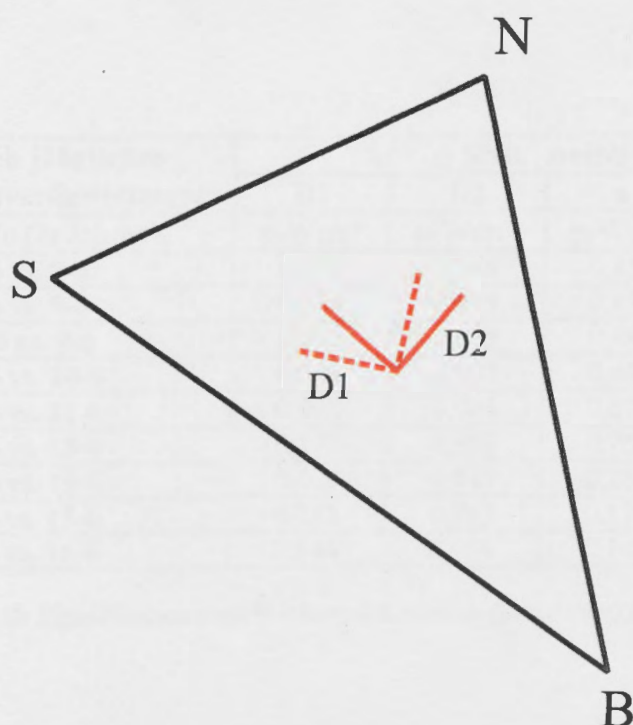
		Winkel β (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
6-7	11	46,2	35,6	0,1	89,0	11	52,9	30,6	0,7	83,1	0,847
6-8	15	50,9	30,4	0,9	86,8	15	53,9	29,8	7,7	86,2	0,653
6-9	11	58,5	22,7	10,5	86,7	13	60,4	30,5	6,7	88,0	0,470
6-10	16	42,3	36,2	1,3	86,0	14	58,0	32,1	4,7	88,7	0,208
6-11	15	50,0	36,1	3,1	87,2	12	44,9	33,9	1,5	84,9	0,648
6-12	14	43,8	33,1	4,0	83,8	11	38,0	36,1	2,0	89,2	0,609
6-13	15	37,5	33,4	0,0	83,7	13	36,3	33,7	2,4	86,4	1,000
6-15	14	19,8	22,6	0,4	79,0	12	42,6	32,8	1,9	86,2	0,067
6-16	10	39,7	35,6	1,0	89,8	8	25,6	26,3	1,7	82,3	0,515
6-17	10	34,9	29,4	0,4	82,8	6	24,8	33,9	1,0	87,5	0,562

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

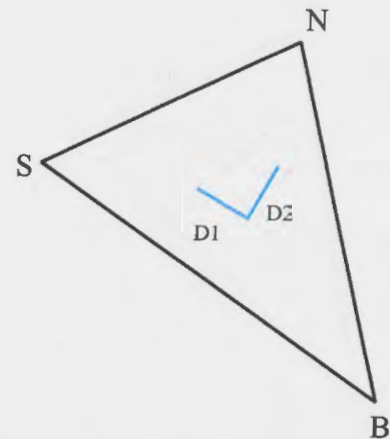
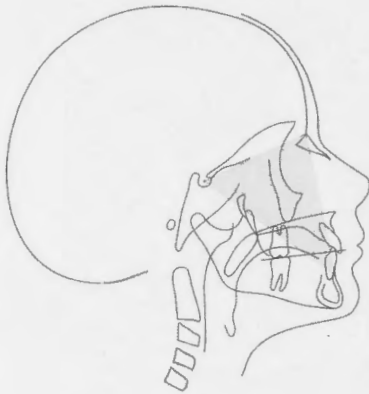
Vordere Schädelbasis - Mandibula

 Δ SNB

Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SNB bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck SNB bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)

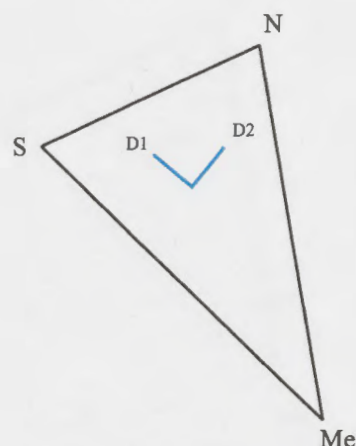


Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNB männlich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,022	0,007	0,241	0,241
9-6 vs. 8-6	0,013	0,008	0,657	0,657
10-6 vs. 9-6	0,015	0,158	0,272	0,272
11-6 vs. 10-6	0,001	0,053	0,733	0,733
12-6 vs. 11-6	0,001	0,041	0,615	0,615
13-6 vs. 12-6	0,001	0,030	0,198	0,198
15-6 vs. 13-6	0,001	0,133	0,422	0,422
16-6 vs. 15-6	0,878	0,139	0,059	0,059
17-6 vs. 16-6	0,012	0,012	0,327	0,327

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNB weiblich			
	D1	D2	a	β
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,075	0,008	0,859	0,859
9-6 vs. 8-6	0,064	0,075	0,152	0,152
10-6 vs. 9-6	0,012	0,695	0,480	0,480
11-6 vs. 10-6	0,006	0,937	0,433	0,433
12-6 vs. 11-6	0,008	0,008	0,678	0,678
13-6 vs. 12-6	0,173	0,859	0,767	0,767
15-6 vs. 13-6	0,009	0,445	0,285	0,285
16-6 vs. 15-6	0,753	0,753	0,173	0,173
17-6 vs. 16-6	0,144	0,068	0,144	0,144

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

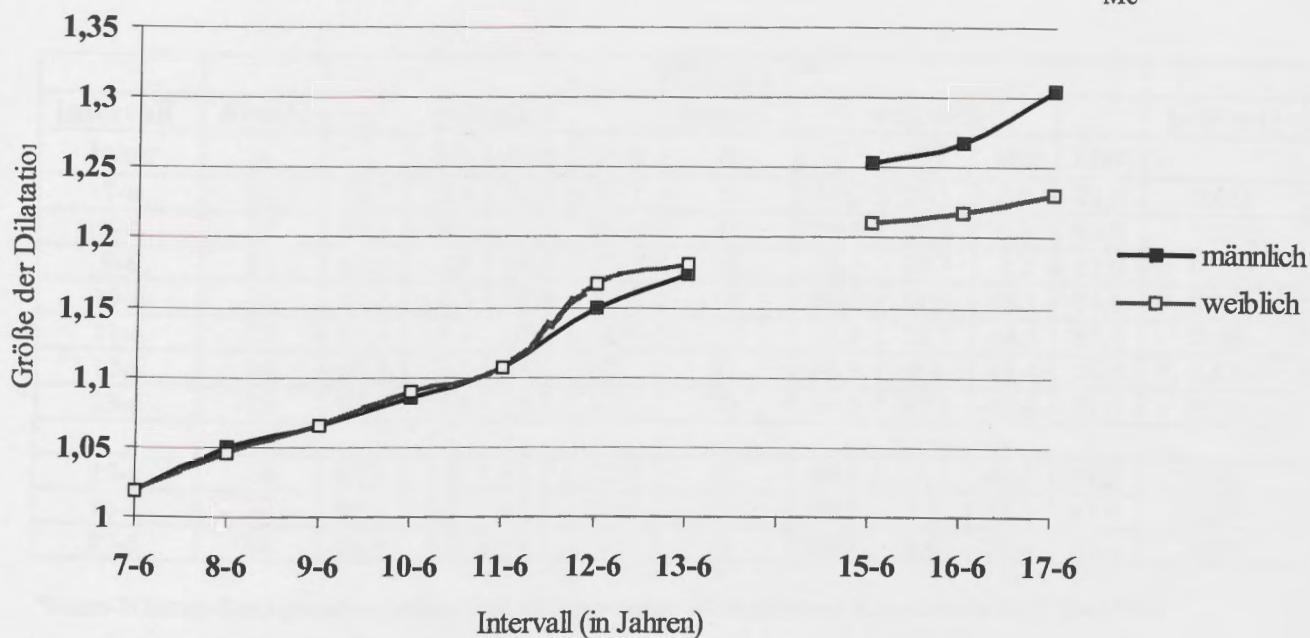
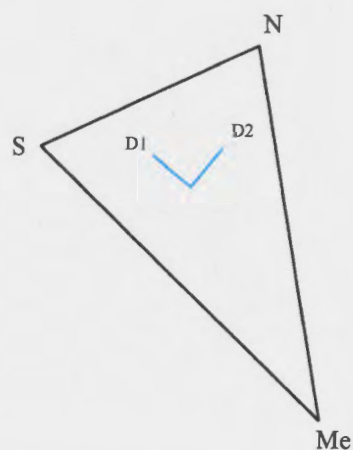


Dilatation D1											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,018	0,01	1,00	1,04	11	1,019	0,02	0,99	1,04	0,797
8-6	15	1,050	0,01	1,03	1,08	15	1,045	0,02	0,99	1,08	0,624
9-6	11	1,065	0,01	1,04	1,09	13	1,065	0,02	1,03	1,10	0,910
10-6	16	1,086	0,02	1,06	1,11	14	1,090	0,02	1,07	1,13	0,697
11-6	15	1,106	0,02	1,08	1,13	12	1,107	0,02	1,08	1,15	0,943
12-6	14	1,150	0,02	1,11	1,19	11	1,166	0,02	1,13	1,21	0,166
13-6	15	1,174	0,03	1,13	1,22	13	1,181	0,03	1,15	1,23	0,618
15-6	14	1,253	0,03	1,20	1,30	12	1,210	0,03	1,16	1,26	0,004
16-6	10	1,267	0,03	1,22	1,32	8	1,218	0,03	1,16	1,26	0,012
17-6	10	1,305	0,04	1,25	1,36	6	1,231	0,04	1,18	1,28	0,016

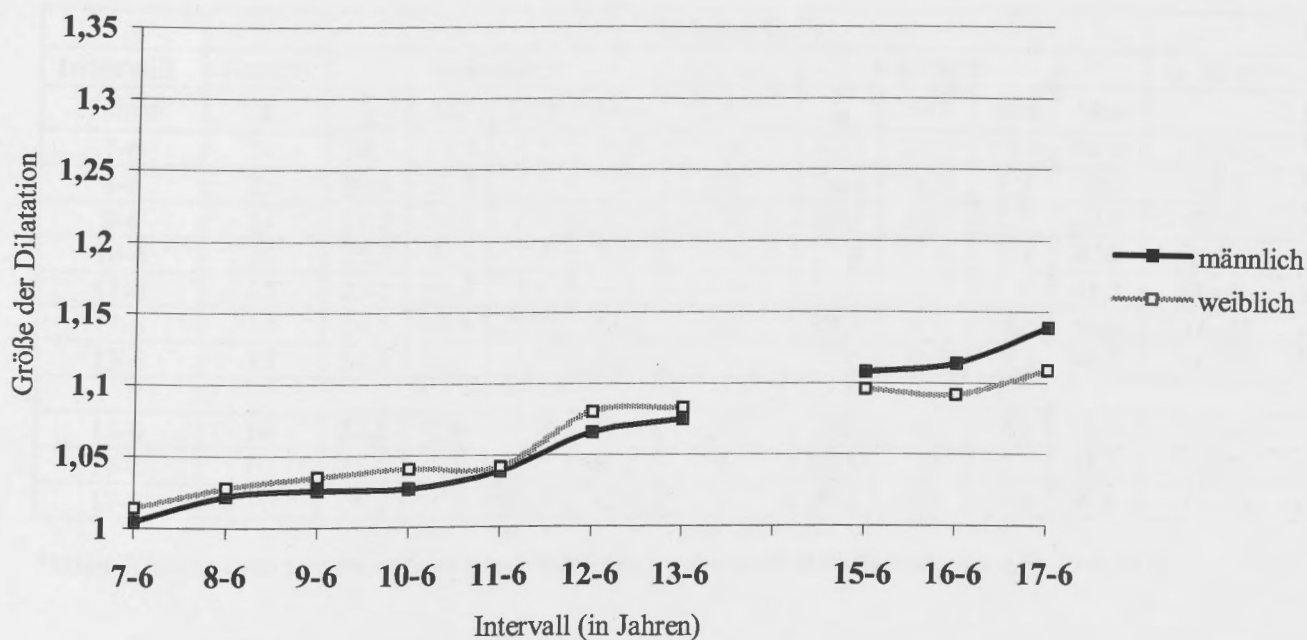
*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

Dilatation D2											
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	1,004	0,01	0,97	1,02	11	1,014	0,01	1,00	1,03	0,193
8-6	15	1,022	0,01	1,00	1,06	15	1,028	0,01	1,01	1,06	0,187
9-6	11	1,026	0,01	1,01	1,05	13	1,035	0,01	1,02	1,06	0,134
10-6	16	1,027	0,01	1,00	1,05	14	1,041	0,01	1,02	1,06	0,012
11-6	15	1,039	0,01	1,02	1,06	12	1,042	0,02	1,02	1,06	0,581
12-6	14	1,066	0,02	1,04	1,10	11	1,080	0,02	1,05	1,11	0,085
13-6	15	1,075	0,02	1,05	1,11	13	1,083	0,03	1,05	1,14	0,363
15-6	14	1,108	0,02	1,08	1,16	12	1,096	0,03	1,05	1,14	0,347
16-6	10	1,114	0,02	1,09	1,14	8	1,092	0,03	1,05	1,13	0,274
17-6	10	1,139	0,02	1,10	1,18	6	1,109	0,02	1,08	1,14	0,031

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)



Wachstumsveränderungen in vertikaler Richtung (D1) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



Wachstumsveränderungen in sagittal-vertikaler Richtung (D2) in Abhängigkeit vom chronologischen Alter



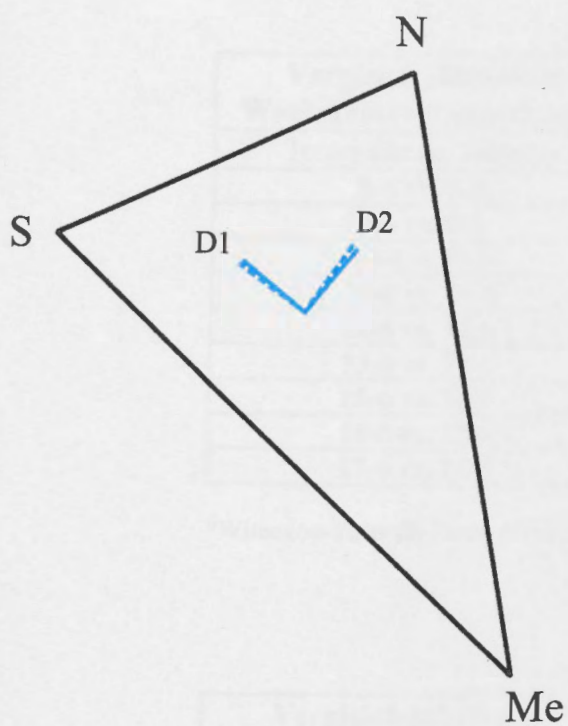
		Winkel a (°)									
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max	
7-6	11	59,7	19,4	15,1	83,7	11	39,7	24,1	3,6	71,6	0,056
8-6	15	59,1	16,8	11,0	84,4	15	53,6	28,8	0,3	88,9	0,870
9-6	11	68,5	10,8	50,2	83,2	13	58,6	20,7	4,2	83,0	0,252
10-6	16	66,2	10,3	53,6	87,1	14	67,0	11,5	48,1	84,6	0,822
11-6	15	66,9	10,4	45,1	86,4	12	63,9	13,7	44,3	85,9	0,456
12-6	14	65,3	10,8	46,6	82,1	11	60,7	9,9	43,4	76,0	0,434
13-6	15	65,6	10,4	46,2	82,3	13	60,5	10,3	43,4	71,0	0,316
15-6	14	62,9	7,0	48,3	72,7	12	60,4	10,1	40,5	72,2	0,705
16-6	10	64,1	7,5	48,2	73,6	8	59,5	7,9	46,3	67,9	0,274
17-6	10	63,9	9,0	49,3	78,1	6	60,9	8,0	50,2	70,4	0,635

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

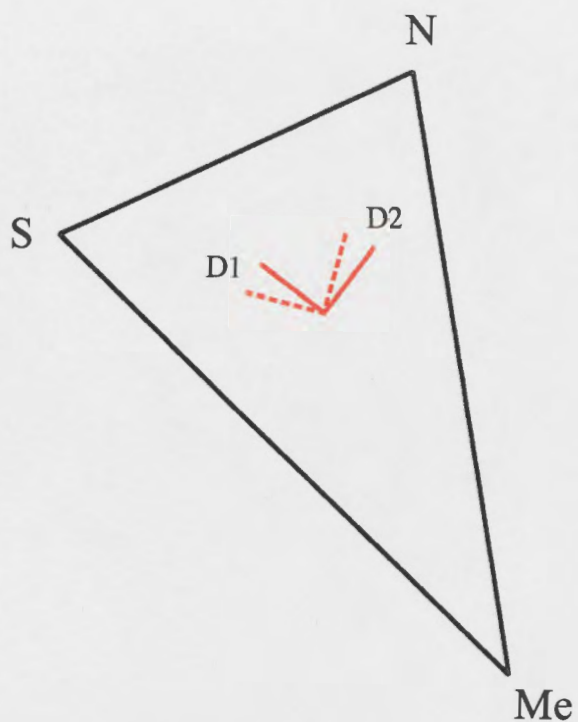
		Winkel β (°)										
Intervall	Anzahl	männlich				Anzahl	weiblich				p-Wert*	
Jahre	n	\bar{x}	SD	Min	Max	n	\bar{x}	SD	Min	Max		
7-6	11	30,3	19,4	6,3	74,9	11	50,3	24,1	18,4	86,4	0,056	
8-6	15	30,9	16,8	5,7	79,0	15	36,4	28,8	1,2	89,7	0,870	
9-6	11	21,5	10,8	6,8	39,8	13	31,4	20,7	7,0	85,8	0,252	
10-6	16	23,8	10,3	3,0	36,4	14	23,0	11,5	5,4	42,0	0,822	
11-6	15	23,1	10,4	3,6	44,9	12	26,1	13,7	4,1	45,7	0,456	
12-6	14	24,7	10,8	7,9	43,4	11	29,3	9,9	14,1	46,6	0,434	
13-6	15	24,8	10,7	7,7	43,8	13	29,5	10,3	19,0	46,7	0,316	
15-6	14	27,1	7,0	17,3	41,7	12	29,6	10,1	17,8	49,5	0,705	
16-6	10	25,6	7,5	16,4	41,8	8	30,5	7,9	22,1	43,7	0,274	
17-6	10	26,2	9,0	11,9	40,8	6	29,2	8,0	19,6	39,8	0,635	

*Mann-Whitney-Tests zwischen beiden Geschlechtsgruppen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/10=0,005$)

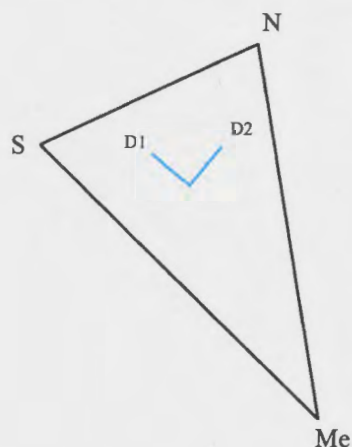
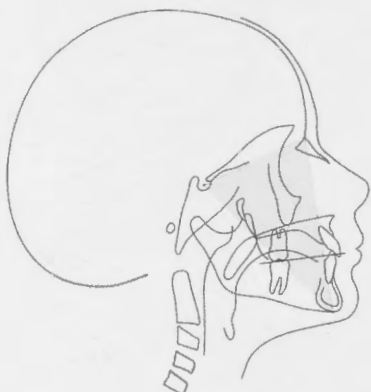
Vordere Gesichtshöhe - Vordere Schädelbasis

 Δ SNMe

Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck NMeS bei den männlichen Probanden mit 7 (blau gestrichelt) und 17 Jahren (blau)



Ausrichtung der Dilatationen im Dreieck NMeS bei den weiblichen Probanden mit 7 (rot gestrichelt) und 17 Jahren (rot)



Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNMe männlich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,005	0,005	0,508	0,508
9-6 vs. 8-6	0,062	0,003	0,021	0,021
10-6 vs. 9-6	0,790	0,003	0,929	0,929
11-6 vs. 10-6	0,002	0,001	0,733	0,733
12-6 vs. 11-6	0,001	0,001	0,397	0,397
13-6 vs. 12-6	0,030	0,001	0,683	0,683
15-6 vs. 13-6	0,001	0,001	0,101	0,101
16-6 vs. 15-6	0,139	0,005	0,799	0,799
17-6 vs. 16-6	0,012	0,012	0,889	0,889

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

Vergleich jährlicher Wachstumsveränderungen	Δ SNMe weiblich			
	D1	D2	a	ß
Intervalle (in Jahren)	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*	p-Wert*
8-6 vs. 7-6	0,016	0,003	0,722	0,722
9-6 vs. 8-6	0,064	0,002	0,917	0,917
10-6 vs. 9-6	0,099	0,002	0,117	0,117
11-6 vs. 10-6	0,875	0,002	0,117	0,117
12-6 vs. 11-6	0,008	0,008	0,214	0,214
13-6 vs. 12-6	0,594	0,008	0,678	0,678
15-6 vs. 13-6	0,333	0,005	0,575	0,575
16-6 vs. 15-6	0,463	0,116	0,345	0,345
17-6 vs. 16-6	0,068	0,144	0,068	0,068

*Wilcoxon-Tests für Paardifferenzen mit Bonferroni-Korrektur ($p=0,05/9=0,0056$)

3. Präsentation

Die Anzeige der analysierten Dreiecke mit den eingezeichneten Dilatationen und die Darstellung der Ergebnisse des gerade ausgewählten Dreieckes sind möglich. Die Abbildung 15 zeigt die Analyse der relativen Wachstumsveränderungen am Beispiel des Dreieckes CoGnGo bei einem 12-jährigen männlichen Patienten mit regelrechtem Gebiss. Zu erkennen ist das ausgewählte Dreieck mit den eingezeichneten Dilatationen D1 und D2. Die Ergebnisse der Tensoranalyse werden auf der linken Seite des Bildschirms angezeigt.



Beispiel für die Anwendung
Probanden mit regelrechter Gebiss
zwischen 6 und 12 Jahren v

Fig 15

bei einem zwölfjährigen männlichen
g. Die relativen Wachstumsveränderungen
Beispieldreieck CoGnGo präsentiert.

4. Datenhaltung

Die Speicherung der Stammdaten
erfolgt in einer lokalen Datenbank.
exportierfähiges Dateiformat (.
statistischer Software (z.B. Mi
grafischen Darstellungen ist im .bnp Format möglich.

en, der Ergebnisdaten und der Punktdaten
hal 2005). Die Ergebnisdaten sind in ein
rtierbar und somit anschließend mit
ce Excel) auswertbar. Der Export der