

Aus der Abteilung für orale Struktur- und Entwicklungsbiologie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Herkömmliche, modifizierte und neue Messmethoden zur kephalometrischen
Untersuchung der pränatalen craniofacialen Morphogenese des Menschen
anhand von bilateralen und frontalen Darstellungen von 3D-Rekonstruktionen
und von Aufhellungspräparaten menschlicher Embryonen und Föten von 19 mm
SSL bis 145 mm SSL

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Agron Gruda
aus Berlin

Gutachter/in: 1. Prof. Dr. R. J. Radlanski
 2. Prof. Dr. Dr. V. Strunz
 3. Prof. Dr. A. M. Schmidt-Westhausen

Datum der Promotion: 19. November 2010

1	Einleitung.....	9
1.1	Einführung	9
1.2	Fragestellung.....	11
2	Literaturübersicht.....	12
2.1	Altersbestimmung.....	12
2.2	Das craniofaciale System.....	14
2.2.1	Die desmale und chondrale Ossifikation.....	14
2.2.2	Entwicklung der craniofacialen Knochen.....	15
2.2.2.1	Branchialskelett, Gesichtsschädel und Gehirnschädel.....	16
2.2.2.1.1	Nasomaxillärer Komplex	16
2.2.2.1.2	Mandibula	17
2.2.2.1.2.1	Meckel-Knorpel	17
2.2.2.1.2.2	Knöcherne Entwicklung der Mandibula	19
2.2.2.1.3	Der Gehirnschädel	20
2.2.2.1.3.1	Desmocranium	20
2.2.2.1.3.2	Chondrocranium	21
2.2.3	Kephalometrie.....	22
2.2.3.1	Kephalometrie am craniofacialen System von Föten.....	23
2.2.3.1.1	Kephalometrie am nasomaxillären Komplex von Föten.....	25
2.2.3.1.2	Kephalometrie an der Mandibula von Föten.....	26
2.2.3.1.3	Kephalometrie am Desmocranium von Föten.....	28
2.2.3.1.4	Kephalometrie am Chondrocranium von Föten.....	29
2.2.3.2	Pränatale Diagnostik von Fehlentwicklungen	31
3	Material und Methode.....	32
3.1	Material	32
3.1.1	3D-Rekonstruktionen.....	32
3.1.2	Aufhellungspräparate.....	33
3.2	Methode	34
3.2.1	Materialpräparation.....	34
3.2.1.1	Aufhellungspräparate.....	34

3.2.1.2	3D-Rekonstruktion.....	34
3.2.2	Vermessung des Materials.....	35
3.2.2.1	Vorarbeiten zu den Vermessungen	38
3.2.2.1.1	Voruntersuchung zur Definition eines lagestabilen Referenzpunktes Oberhalb des Viscerocraniums.....	39
3.2.2.1.2	Festlegung der Bezugsebenen.....	43
3.2.2.1.3	Voruntersuchungen zur Größenvermessung einzelner Knochen	43
3.2.2.1.4	Voruntersuchungen zur Abstandsvermessung benachbarter Knochen.....	46
3.2.2.1.5	Modifikationen bisher beschriebener Verfahren zu den Winkelvermessungen...	47
3.2.2.1.6	Definitionen der Vermessungspunkte und der Vermessungsstrecken	47
3.2.2.1.6.1	Generelle Regeln zu den Bezeichnungen der Messpunkte	47
3.2.2.1.6.2	Vermessungspunkte in der Norma lateralis.....	48
3.2.2.1.6.2.1	Gemeinsame Messpunkte des Os frontale und des Os parietale.....	48
3.2.2.1.6.2.2	Os frontale.....	50
3.2.2.1.6.2.3	Os parietale	51
3.2.2.1.6.2.4	Os nasale	51
3.2.2.1.6.2.5	Os zygomaticum	51
3.2.2.1.6.2.6	Maxilla	51
3.2.2.1.6.2.7	Mandibula	52
3.2.2.1.6.2.8	Atlas	54
3.2.2.1.6.2.9	Os occipitale.....	54
3.2.2.1.6.2.10	Os temporale	55
3.2.2.1.6.2.11	Os sphenoidale	56
3.2.2.1.6.3	Vermessungspunkte in der Norma frontalis.....	57
3.2.2.1.6.3.1	Os frontale.....	57
3.2.2.1.6.3.2	Os parietale	58
3.2.2.1.6.3.3	Os nasale	59
3.2.2.1.6.3.4	Os zygomaticum	59
3.2.2.1.6.3.5	Maxilla	60
3.2.2.1.6.3.6	Mandibula	61
3.2.2.1.6.4	Vermessungsstrecken in der Norma lateralis	62

3.2.2.1.6.4.1	Längenvermessungen	62
3.2.2.1.6.4.2	Größenvermessungen einzelner Knochen.....	63
3.2.2.1.6.4.3	Abstandsvermessungen zwischen den Knochen.....	65
3.2.2.1.6.4.4	Winkelvermessungen	67
3.2.2.1.6.5	Vermessungsstrecken in der Norma frontalis	68
3.2.2.1.6.5.1	Längenvermessungen.....	68
3.2.2.1.6.5.2	Größenvermessungen einzelner Knochen.....	69
3.2.2.1.6.5.3	Abstandsvermessungen zwischen den Knochen.....	72
3.2.2.1.6.5.4	Winkelvermessungen	73
3.3	Limitierende Faktoren zu den Vermessungen.....	74
4	Befunde	75
4.1	Vermessung der 3D-Rekonstruktionen in der Norma lateralis	76
4.1.1	Längenvermessungen.....	76
4.1.2	Größenvermessungen einzelner Knochen.....	79
4.1.3	Abstandsvermessungen zwischen den Knochen.....	85
4.1.4	Winkelvermessungen	86
4.2	Vermessung der 3D-Rekonstruktionen in der Norma frontalis.....	88
4.2.1	Längenvermessungen.....	88
4.2.2	Größenvermessungen einzelner Knochen.....	89
4.2.3	Abstandsvermessungen zwischen den Knochen.....	96
4.2.4	Winkelvermessungen	97
4.3	Vermessung der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis	97
4.3.1	Längenvermessungen.....	97
4.3.2	Größenvermessungen einzelner Knochen.....	116
4.3.3	Abstandsvermessungen zwischen den Knochen.....	142
4.3.4	Winkelvermessungen	152
4.4	Vermessung der Aufhellungspräparate in der Norma frontalis.....	156
4.4.1	Längenvermessungen.....	156
4.4.2	Größenvermessungen einzelner Knochen.....	163
4.4.3	Abstandsvermessungen zwischen den Knochen.....	187

4.4.4	Winkelvermessungen	192
4.5	Tabellarische Zusammenfassungen der Messwerte	198
5	Diskussion.....	211
5.1	Methodenkritik.....	211
5.1.1	Kritik an den Aufhellungspräparaten und den 3D-Rekonstruktionen.....	211
5.1.2	Kritik an den Aufnahmeperspektiven	212
5.1.3	Kritik an der Altersbestimmung.....	213
5.1.4	Kritik am Untersuchungsverfahren.....	214
5.2	Fehleranalyse	214
5.2.1	Fehlerquellen aufgrund anatomischer Gegebenheiten.....	214
5.2.2	Vergleich der Genauigkeit der Vermessungen bei Strecken und Winkeln	215
5.2.3	Ungenauigkeit bei der Identifizierung graziler Strukturen	215
5.3	Diskussion der Befunde und Vergleich mit anderen Arbeiten	216
5.3.1	Gesamtbetrachtung	216
5.3.2	Längenvermessungen.....	218
5.3.3	Größenvermessungen einzelner Knochen.....	218
5.3.4	Abstandsvermessungen zwischen den Knochen.....	219
5.3.5	Winkelvermessungen	220
5.4	Ergebnisse der Untersuchungen.....	221
5.4.1	Sagittale Entwicklung des Gesichts in der Norma lateralis	221
5.4.2	Vertikale Entwicklung des Gesichts in der Norma lateralis.....	225
5.4.3	Transversale und vertikale Entwicklung in der Norma frontalis	228
5.4.4	Entwicklung der Hohlräume und der Konkavitäten.....	229
5.5	Schlussbetrachtung	230
6	Zusammenfassung.....	231
7	Summary	234
8	Literaturverzeichnis	237
9	Danksagung.....	255
10	Lebenslauf.....	256

1 Einleitung

1.1 Einführung

Die pränatale Entwicklung des craniofacialen Systems ist sehr komplex. Die Schädelgesichtsknochen haben die vielgestaltigsten Formen aller Knochen des Körpers. Hinzu kommt noch, dass sie teilweise zu verschiedenen Zeiten unterschiedlich starke Wachstumsaktivitäten aufweisen und räumlichen Verlagerungen unterliegen (Dursy 1869, Ford 1956, Houpt 1970, Kjaer 1989, Radlanski 2003). Zahlreiche Arbeiten, die sich in ihren Aufführungen teilweise auch widersprechen, haben sich mit diesem Thema befasst.

Bis 1970 wurde die Embryologie verstärkt deskriptiv durchgeführt (Amundson 2000). Dieser auf Beobachtung basierende Forschungszweig ist insbesondere durch His (1874), Carey (1920) und Blechschmidt (1948) bekannt geworden. Es wird dabei angestrebt, Differenzierungen, Umbauprozesse, lokale Wachstumsunterschiede und Verlagerungen der Schädelgesichtsknochen zu untersuchen und Dimensionsveränderungen der knöchernen craniofacialen Anteile zueinander zu quantifizieren. Dafür hat sich insbesondere die Kephalemetrie nach Broadbent (1931, 1937) als praktikabel erwiesen. Ab den 1970er Jahren sollten dann zunehmend die Einflüsse der Gene mit berücksichtigt werden. Es konnten so immer mehr beobachtete Entwicklungen durch molekularbiologische Prozesse erklärt werden (Amundson 2000). Radlanski und Renz (2006) haben durch eine dreidimensionale Darstellung des Foramen mentale viel über das Wachstumsverhalten der Mandibula rausgefunden. Es sind nach deren Angaben Rückschlüsse auf das Wachstum angrenzender Gewebe durch solch aufwendige Beobachtungsverfahren möglich (Radlanski und Renz 2006). Diese Forschungsergebnisse zeigen, dass die Aussagekraft der deskriptiven pränatalen Entwicklungsforschung nicht unterschätzt werden darf und wieder verstärkt und mit modernen bildgebenden Verfahren berücksichtigt werden muss.

Die Ergebnisse pränataler craniofacialer Untersuchungen sind insbesondere für die Frühdiagnostik von Fehlentwicklungen und für die Kieferorthopädie von Bedeutung.

Auch diese Arbeit ist eine deskriptive und beruht auf kephalometrischen Vermessungen des craniofacialen Systems von menschlichen Embryonen und Föten des 1. Trimesters. Anlehnend an die Forschungsergebnisse von Berndt (1997) und anderen in der Literaturrecherche aufgeführter Autoren, werden hier neben herkömmlichen auch neue kephalometrische Verfahren angewandt. Bestehendes Wissen soll geprüft und Kontroversen

weiter bereinigt werden. Durch die hier erstmals verwendeten Messverfahren werden auch weiterführende Kenntnisse zur pränatalen craniofacialen Entwicklung angestrebt. Sie sind in Kapitel 3 Material und Methoden als Größen- und Abstandsvermessungen sowie Winkelvermessungen in der Norma frontalis aufgeführt.

Die Entwicklung des craniofacialen Systems wurde bereits von anderen Autoren ausführlich und mit modernsten und auch dreidimensionalen Darstellungsmethoden beschrieben. Demzufolge ist es nicht Ziel dieser Arbeit, eine noch bessere Darbietung der Knochen zu erreichen. Levihn (1967) beschrieb die Problematik, paarig angelegte Knochen bei Röntgenbildern deckungsgleich übereinanderzulegen. Hier werden keine Röntgenbilder verwendet. Ein Kernpunkt dieser Dissertation ist die beidseitige Vermessung der Schädel in der Norma lateralis. Dadurch wird nicht nur das Problem der deckungsgleichen Übereinanderlagerung umgangen, sondern auch ein direkter intraindividueller Symmetrievergleich der rechten zur linken Seite durchgeführt. Auch eine höhere Verifizierbarkeit der Ergebnisse durch eine doppelte Anzahl an Vermessungen ergibt sich dadurch. Dafür eignen sich besonders Aufhellungspräparate, welche zentrale und kontralaterale Strukturen maskieren und periphere gut darstellen. Sie kamen schon des Öfteren bei Tierexperimenten zum Einsatz (Lozanoff und Deptuch 1991, Liu et al. 2008). Am Menschen werden sie jedoch hier erstmalig angewandt.

Durch die Verdeckung zentraler Gewebe konnte auch die Schädelbasis nicht freipräpariert werden. Der S-Punkt der Schädelbasis wird während der Entwicklung und relativ zum gesamten Schädel gesehen als positionsstabil bleibend aufgeführt und ist daher ein wichtiger Referenzpunkt für viele Vermessungen (Broadbent 1937, Brodie 1941, Burdi 1965, Kvinnsland 1971, Anagnostopoulou et al. 1988, Radlanski 1996, Morimoto et al. 2008). Da er im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht ermittelt werden kann, wird demzufolge ein neuer peripher lokalisierter und positionsstabiler Bezugspunkt oberhalb des Viscerocraniums ermittelt. Die Vermessungen an diesen neuen Referenzpunkt sind entsprechend als Modifikationen zu Vermessungen an den S-Punkt anzusehen.

Die frühe Entwicklungsphase wird zusätzlich mit 3D-Rekonstruktionen von Serienschnittpräparaten untersucht. Dies ist nötig, weil die Aufhellungspräparate die zarten Strukturen der gerade erst entstehenden Knochen in der Zeit vor der 10. Schwangerschaftswoche vom verdichteten Mesenchym geringfügig differenziert darstellen.

Die 3D-Rekonstruktionen sind seltenes und aufwendig hergestelltes Material. Sie geben auch grazile und schlecht differenzierte Formen gut wieder und sind daher als ergänzendes Messmaterial besonders gut geeignet.

1.2 Fragestellung

1. Welche für die pränatale Entwicklung relevanten kephalometrischen Untersuchungen gibt es schon, was wurde mit ihnen erreicht und warum sind weitere Studien notwendig?
2. Wie oben beschrieben ist der S-Punkt bei den Aufhellungspräparaten nicht ermittelbar. Lässt sich also ein peripher lokalisierter Referenzpunkt oberhalb des Viscerocraniums ermitteln, mit dem gleichermaßen verifizierbare Vermessungen wie mit dem S-Punkt der Schädelbasis möglich sind?
3. Können die herkömmlichen und modifizierten kephalometrischen Messmethoden bestehendes Wissen zu lokalen Wachstumsunterschieden, Verlagerungen und Dimensionsveränderungen der Schädelgesichtsknochen bestätigen oder widerlegen und zur Bereinigung von Kontroversen beitragen?
4. Können die neuen kephalometrischen Techniken der Größen- und Abstandsvermessungen sowie Winkelvermessungen in der Norma frontalis darüber hinaus weiterführende Kenntnisse zum pränatalen craniofacialen Wachstum ermöglichen?
5. Warum sind weitere kephalometrische Untersuchungen nötig? (Diese Frage wird in Kapitel 5.5 Schlussbetrachtung beantwortet.)

2 Literaturübersicht

2.1 Altersbestimmung

Mithilfe der Scheitel-Steiß-Länge (SSL), auf Englisch: crown-rump length (CRL) (Kobayashi und Inoue 1961), wird das ungefähre Alter der Embryonen und Föten erfasst. Hinrichsen (1990) hatte diesbezüglich eine Tabelle erstellt, welche Durchschnittswerte bezüglich der SSL und der Schwangerschaftswoche (SSW) von Embryonen und Föten wiedergibt. Sadler (2003) gab annähernd Gleiches an, was darlegt, dass ein generelles Wachstumsverhalten Bestand hat. Zur Orientierung soll hier eine Tabelle mit Durchschnittswerten von Alter, Körperlänge (Hinrichsen 1990, Sadler 2003) und Gewicht (Sadler 2003), dargestellt werden.

Alter in Wochen	SSL (CRL) in mm	Gewicht in g
2 - 6	0,01 - 11	<10
7	17	
8	27	
9	50	10 – 45
10	61	
12	87	
14	120	60 – 200
16	140	
18	160	250 – 450
20	190	
22	210	500 – 820
24	230	
26	250	900 – 1300
28	270	
30	280	1400 – 2100
32	300	2200 – 2900
36	340	
38	360	3000 – 3400

Tab. 1: Durchschnittswerte der Körperlänge im entsprechenden Embryonal- und Fetalalter (Hinrichsen 1990, Sadler 2003) sowie des Körpergewichts (Sadler 2003)

Man ist sich darüber einig, dass in der Embryonalperiode ein eher geringes Wachstum vorliegt. Danach folgen eine schnelle Größenzunahme aller Organe und eine dominierende Gewichtszunahme in den letzten beiden Schwangerschaftsmonaten (Toldt 1879, Mall 1910,

Zangemeister 1911, Streeter 1920, Burdi 1965, Sadler 2003). Um den allgemeinen Wachstumsverlauf bildlich darzustellen, wird hier eine Wachstumskurve aufgeführt. An dieser Grafik kann man sich im weiteren Verlauf orientieren, wenn es darum geht, einen schnellen Überblick über die vorliegende durchschnittliche SSW bei entsprechender SSL und umgekehrt zu erhalten. Die Werte dafür stammen aus der Tabelle 1.

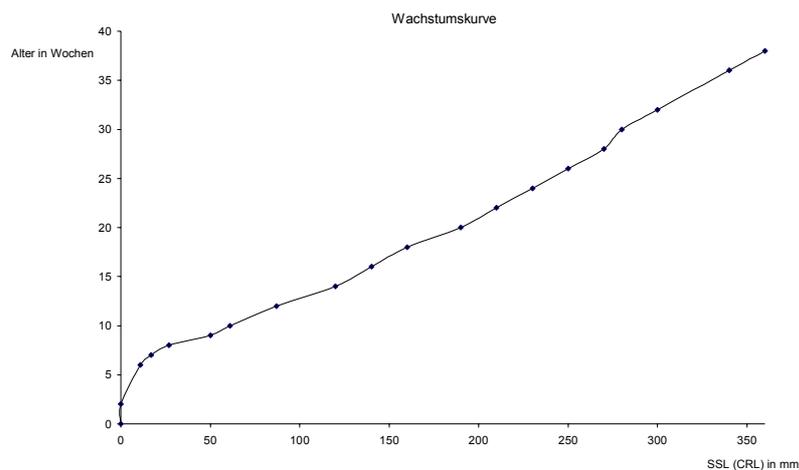


Abb. 1: Wachstumskurve zur Verdeutlichung der pränatalen Wachstumsgeschwindigkeit mit den Werten aus Tabelle 1

Auffällig ist, dass in Abbildung 1 die Kurve ab der 8. SSW abflacht, was eine schnelle Größenzunahme, wie oben aufgeführt, bestätigt. Eine Verlangsamung des Wachstums ab dem dritten Trimenon wie von Toldt (1879), Mall (1910), Zangemeister (1911), Streeter (1920) und Burdi (1965) angegeben, ist aus den Durchschnittswerten von Hinrichsen (1990) und Sadler (2003) nicht eindeutig ableitbar.

In dieser Arbeit werden Vermessungen des dritten bis fünften Schwangerschaftsmonats (SSM) durchgeführt. Im Folgenden machen manche Autoren ihre Angaben in SSL, während andere ein Alter angeben. Um zum besseren Verständnis beides aufzuführen, werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit die Angaben der Autoren oftmals mithilfe der Tabelle 1 und der Abbildung 1 umgerechnet. Die Umrechnungen stellen nur Durchschnittswerte dar und müssen daher kritisch betrachtet werden. Die originalen Angaben sind von den Umrechnungen aus dem Textverlauf differenzierbar.

2.2 Das craniofaciale System

Einigkeit besteht darüber, dass in der Fetalperiode eine relative Verlangsamung des Kopfwachstums, verglichen mit dem des übrigen Körpers, stattfindet. Im dritten SSM nimmt der Kopf etwa die Hälfte der SSL ein. Zu Beginn des fünften SSM's ein Drittel und zum Zeitpunkt der Geburt dann ein Viertel der SSL (Enlow 1990, Hinrichsen 1990, Sperber 1992, Sinowatz et al. 1999).

In den folgenden Kapiteln sollen die Proportionen einzelner Anteile des Schädels sowie die Form- und Lageveränderungen besprochen werden. Die Vermessungen fanden an Knochen statt, deshalb soll hier zunächst ihre Entstehung beschrieben werden.

2.2.1 Die desmale und chondrale Ossifikation

Osteoblasten sind schon vor dem eigentlichen Knochen vorhanden (Enlow 1990). Radlanski et al. (2001) haben unterschiedliche Aktivitätszustände in allen Knochenregionen bei Untersuchungen von menschlichen Präparaten der Mandibula während der Knochenbildung beschrieben. Ruhezone bestehen neben Resorptions- und Appositionsprozessen (Radlanski et al. 2001). In der vorherigen Literatur spricht man eher von Regionen, in denen hauptsächlich einer dieser drei Prozesse stattfindet (Symons 1954, Starck 1975, Sperber 1992).

Dass desmale Knochenanteile etwas eher verknöchern als chondrale, ist bekannt (Arey 1954, Kobayashi und Inoue 1961, Bach und Kjaer 1993). Fell (1956) hatte anhand von knöchernen Gewebekulturen geschlussfolgert, dass die Formgebung der chondral gebildeten Knochen stärker genetisch vorprogrammiert sei als die der desmal aufgelagerten Knochensubstanz. Er erklärte dies damit, dass chondral ossifizierende Knochen schon früh, ohne Beeinflussung von äußeren Geweben, ihre endgültige Form einzunehmen begännen, wohingegen sich der desmal gebildete Knochen einfach auf den äußeren Membranen ablagere (Fell 1956).

Symons (1954) hatte Untersuchungen zu Formveränderungen durchgeführt. Er fand heraus, dass die für die chondrale Ossifikation vorgebildeten Knorpel, im Gegensatz zu den membranös entstehenden periostalen Knochen, mechanischen Einflüssen gegenüber sehr resistent sind. Dies zeigt, dass die knorpelig vorgebildeten Körper bei der chondralen Ossifikation auch als Platzhalter für einen geregelten Entwicklungsablauf wichtig sind. Erst wenn diese durch Knochen ersetzt wurden, konnte Symons (1954) eine mechanische

Beeinflussung von Außen beobachten. Dieses wurde u. a. von Baume (1959, 1961) und von Kjaer (1993) bestätigt. Radlanski und Renz (2006) führten auf, dass die mechanischen Anregungen auch der chondral ossifizierenden Knochen einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Knochenentwicklung beisteuerten.

2.2.2 Entwicklung der craniofacialen Knochen

Die Entwicklung des craniofacialen Systems ist sehr komplex. Es werden Angaben von bis zu 110 Ossifikationszentren gemacht (Levihn 1967, Sperber 1992). Sie bilden ein Mosaik aus einzelnen Komponenten, die sich während des Wachstums in entsprechender Weise und Richtung vergrößern und Verlagerungen im Raum unterliegen.

Auch lassen sich manche Schädelanteile nicht eindeutig voneinander trennen. So wird z. B. die Schädelbasis teilweise von Elementen des Neurocraniums als auch des Splanchnocranium gebildet und der Kauapparat ist sowohl aus Anteilen des Gesichts als auch aus dem Gebiss zusammengesetzt (Hinrichsen 1990).

Man ist sich darüber einig, dass während der Anlage der Knochen, also zwischen der sechsten und 10. SSW, ausgeprägte Form- und Größenveränderungen der Schädelanteile stattfinden (Macklin 1914, Lewis 1920, Müller und O’Rahilly 1956, Diewert 1985). Das Gesicht nimmt beispielsweise von der 7. bis 9. SSW vierfach an Länge zu (Diewert 1985). Eine schlechte Differenzierung der zarten Knochenstrukturen vom Weichgewebe ist ebenfalls charakteristisch. Entsprechend sind verifizierbare Untersuchungen dieser Zeitperiode erschwert.

In der 10. SSW ist die Gesichtsregion dann gut entwickelt. Der Schädel verändert dabei seine Position von einer nach anterior und kaudal geneigten Stellung zu einer gehobenen Kopfposition (Diewert 1985, Hinrichsen 1990, Sadler 2003).

In der Literatur werden bezüglich des hauptsächlichen Beginns der Ossifikationen Angaben von der 6. SSW (Woo 1949) über die 7. SSW (Baume 1961, Kitamura 1989 und Lee et al. 2001) bis zur 8. SSW (Bach und Kjaer 1993) gemacht. Da manche Knochen schon sehr früh und andere erst spät mit der Ossifizierung beginnen, ist eine allgemeine Datierung diesbezüglich schwer. Es muss eher ein Zeitraum angegeben werden, der in etwa die 6. bis 8. SSW erfasst.

Lee et al. (1992) hatten das Wachstumsverhalten der Maxilla beschrieben. Sie beobachteten, dass in der 20. SSW die höchste Aktivität im Zentrum der Knochen vorhanden ist und danach in deren Peripherie mit einhergehender Ruhezone im Zentrum (Lee et al. 1992). Diese zunehmende Marginalisierung der Appositionsbereiche kann als Regel für alle Knochen angesehen werden (Enlow 1990, Sperber 1990, Hinrichsen 1990, Sadler 2003).

Es werden von keinem Autor geschlechtsspezifische Unterschiede im pränatalen cranio-facialen Wachstum aufgeführt.

2.2.2.1 Branchialskelett, Gesichtsschädel und Gehirnschädel

2.2.2.1.1 Nasomaxillärer Komplex

Es besteht in der Literatur Einigkeit darüber, dass die Maxilla zu den ersten Knochen im menschlichen Körper gehört, die mit der Verknöcherung im Bereich des Alveolarfortsatzes beginnen. Sie wird durch direkte desmale Ossifikation eingeleitet (Baume 1961, Starck 1975, Bollobas 1984, Carlson 1984, Diewert 1985, Kjaer 1989, Kitamura 1989).

Carlson (1984), Kitamura (1989) und Kjaer (1993) glaubten den Beginn der desmalen Ossifikation schon in der 6. SSW gesehen zu haben. Baume (1961) und Bollobas (1984) entdeckten die knöcherne Anlage der Maxilla erst in der 7. SSW.

Mall (1906) und Macklin (1914) hatten die Ossifikationszentren des nasomaxillären Komplexes untersucht. Macklin (1914) gab an, dass schon in der Mitte der 8. SSW die zentrale Knochenmasse der Maxilla vorhanden ist. Dies wurde danach auch von anderen Autoren so angegeben (Woo 1949, Burdi 1965, Kjaer 1989, Vacher et al. 2001). Mall (1906) führte weiterhin auf, dass eine Fusion der primären Ossifikationszentren zur trapezförmigen maxillären Grundform gegen Ende der 12. SSW vorliegt, was in der Literatur allgemein betätigt wird. Ishimaru (1984) legte beispielsweise dar, dass die Grundform der Maxilla, die er als pyramidal beschrieb, bei Föten ab einer Scheitel-Steiß-Länge (SSL) von 90 mm, was in etwa der 12. SSW entspricht, gesehen wird.

Vacher et al. (2001) fanden nur ein Ossifikationszentrum bei den Oberkiefern ihrer sechs bis zehn Wochen alten menschlichen Embryonen und Föten. Lee et al. (1992) hatten eine

aufwendige Untersuchung an 120 humanen Oberkiefern der 16. bis 41. SSW röntgenologisch und histologisch untersucht. Sie wollten herausfinden, wie viele Ossifikationszentren der Oberkiefer tatsächlich hat. Zunächst wurden von ihnen nur zwei erkannt. Eine genauere Untersuchung der Röntgenbilder ergab dann, dass die Maxilla sogar vier zu haben scheint, was dann auch von den histologischen Untersuchungen bestätigt wurde.

Das Mittelgesicht besteht aus vielen und komplex aufgebauten Anteilen. Einige Knochen entstehen erst vergleichsweise spät. Die Conchae nasalis, das Os frontale und das Os sphenoidale wurden von Ishimaru (1984) erst bei einer SSL von 160 mm (ca. 18. SSW) beobachtet. Das Os ethmoidale war erst ab 200 mm SSL (ca. 21. SSW), das Os palatinum, Spina nasalis, posterior sogar erst ab 330 mm SSL (ca. 35. SSW) zu sehen (Ishimaru 1984). Diese Entwicklungsreihenfolge der knöchernen Strukturen wurde von Kjaer (1989) bestätigt und als sehr beständig beschrieben. Sie hatte radiologische und histologische Untersuchungen an 104 menschlichen Oberkiefern von Embryonen und Föten durchgeführt. Mit dieser aufwendigen Studie hatte sie bewiesen, dass trotz hoher Komplexität eine ausgemachte Regulation und Organisation der Verknöcherung des nasomaxillären Komplexes stattfindet.

Schon ab der 10. SSW wurden formgebende Resorptionsprozesse um die Zahnanlagen beobachtet (Björk und Skieller 1984). Die hauptsächlichen Resorptionen beginnen jedoch erst in der 14. SSW. Bis dahin wächst die Maxilla eher in allen Richtungen gleichmäßig appositional pyramidal (Björk und Skieller 1984, Enlow 1990, Sperber 1990). Für die pränatale Entwicklung der hier beobachteten Entwicklungsperiode kann eine Beeinflussung durch die Zähne ausgeschlossen werden, da diese noch nicht angelegt sind.

2.2.2.1.2 Mandibula

2.2.2.1.2.1 Meckel-Knorpel

Schon Sappey (1876) hatte dargelegt, dass der Meckel-Knorpel nicht direkt an der Bildung der Mandibula beteiligt ist. Er ist vielmehr eine Leitstruktur. Goret et al. (1984) hatten histomorphologische und mikroradiografische Analysen des Unterkiefers von menschlichen

Embryonen und Föten durchgeführt. Sie fanden heraus, dass die Verknöcherung entlang des Meckel-Knorpels desmal abläuft. Diewert (1985) führte auf, dass in der 9. SSW eine Hülle von intramembranösem Knochen um den ersten Viszeralbogen zu erkennen ist. Sie hatte damit die Aussage von Goret et al. (1984) untermauert. Radlanski et al. (2003) hatten an 3D-Rekonstruktionen von histologischen Serienschnittpräparaten herausgefunden, dass entlang des Meckel-Knorpels selbst kaum Knochenaufbau stattfindet. Diese Ruhezone unterlag teilweise sogar Resorptionsvorgängen. Lediglich der Knochen ober- und unterhalb des Meckel-Knorpels weist nach Radlanski et al. (2003) Appositionsvorgänge auf. Die desmale Ossifikation, wie sie von Goret et al. (1984) und Diewert (1985) beschrieben wird, findet hiernach nicht direkt am Meckel-Knorpel angrenzend, sondern etwas weiter peripher statt. So wird deutlich, dass dieser Knorpel als Leitstruktur für die desmale Ossifikation der Mandibula zu betrachten ist und sich an dem Verknöcherungsprozess selbst nicht beteiligt. Die Aussage von Sappey (1876) konnte danach also bestätigt werden.

Die Bildung des Meckel-Knorpels beginnt im zweiten Schwangerschaftsmonat (SSM) mit noch wenig Knorpelsubstanz. Daher ist er in diesem Entwicklungsabschnitt schwer zu erkennen. Dies ist möglicherweise der Grund dafür, warum die Angaben der Entstehung in der Literatur so variieren. Lewis (1920) führte auf, dass der Meckel-Knorpel erst ab dem 42. Schwangerschaftstag (SST) zu sehen ist. Ähnlich wird es von Rodriguez et al. (1997) beobachtet. Sie hatten lichtmikroskopische Untersuchungen an Embryonen ab 18 mm SSL durchgeführt. Dabei stellten sie fest, dass in der Mittellinie des ventralen Unterkiefers die rechten und linken Anteile des Meckel-Knorpels bei 18 mm SSL, was dem Anfang der 7. Schwangerschaftswoche (SSW) entspricht, vorhanden sind. Diese Beobachtungen schließen jedoch nicht aus, dass der Meckel-Knorpel schon davor existiert. Radlanski et al. (2003) hatten ihn bereits bei einer SSL von 14 mm, also etwa in der 6. SSW, aufgefunden. Lorentowicz et al. (2005) machten Angaben der Entstehung vom 33. bis 36. Schwangerschaftstag (SST). Bei Sperber (1992) wird aufgeführt, dass sich der Meckel-Knorpel etwa am 32. SST, also noch deutlich in der 5. SSW, bildet.

Alle Autoren sind sich darüber einig, dass ab der 8. SSW eindeutig zwei Spangen vorhanden sind, die den rechten und linken Anteil des Meckel-Knorpels darstellen (Lewis 1920, Duskocil 1989, Rodriguez et al. 1997, Lee et al. 2001, Radlanski et al. 2003, Lorentowicz et al. 2005).

Nach der 8. SSW findet eine schnelle Separierung vom Meckel-Knorpel zum sich um ihn herum bildenden Knochen statt (Doskocil 1989, Lee et al. 2001). Zu dieser Zeit ist im dorsalen Bereich der Meckel-Knorpel noch wenig ausgebildet (Kaneta 1961, Kjaer 1975).

Man ist sich weiterhin darüber einig, dass die beiden Anteile des Meckel-Knorpels dorsal in der rechten und linken Paukenhöhle enden. Ab der 16. SSW sind sie perfekt definiert und vollständig vom Knochen umlagert und eingeschlossen. Es folgt schließlich parallel zur Zunahme der knöchernen Substanz der Mandibula etwa im sechsten SSM großteils eine Resorption (Orliaguet et al. 1994, Rodriguez et al. 1997, Bontemps et al. 2001).

Man ist sich aber auch in einigen Punkten bezüglich der Entwicklung des Meckel-Knorpels uneinig. So bestehen unterschiedliche Meinungen bezüglich der Vereinigung mit der Umgebung während des Rückbildungsprozesses. Rodriguez et al. (1997) hatten bei ihren Untersuchungen keine Verschmelzung festgestellt. Lorentowicz et al. (2005) gaben jedoch an, dass sich die Zellen des Meckel-Knorpels mit anderen Zellen im Bereich der Mandibula vermischen.

Bis weit ins 20. Jahrhundert sind viele Autoren noch der Meinung gewesen, dass der Meckel-Knorpel komplett verschwindet (Gegenbauer 1895, Clara 1949, Starck 1975). Die Mehrzahl der aktuelleren Autoren geben dagegen an, dass dorsale Reste dieses Knorpels das Ligamentum sphenomandibulare und sphenomalleolare bilden. Weitere dorsale Reste stellen die Grundlage für den Malleus und den Incus dar (Langmann 1989, Mjör und Fejerskov 1986). Das dritte Gehörknöchelchen, der Stapes, stammt dann ursprünglich vom Reichert-Knorpel ab (Sperber 1992).

2.2.2.1.2.2 Knöcherne Entwicklung der Mandibula

Man ist sich darüber einig, dass die Verknöcherung der Mandibula in der Region des Foramen mentale am Ende der Embryonalperiode beginnt (Mall 1906, Richany et al. 1956, Dixon 1958, Baume 1961, Furstmann 1963, Doskocil 1988, Kitamura 1989, Orliaguet et al. 1994, Caruntu et al. 2001, Radlanski et al. 2002, 2003, 2004). Die meisten Autoren geben an, dass in der 6. SSW die Ossifikation startet. Manche haben den Verknöcherungsbeginn erst in der 7. SSW beobachtet (Wendler et al. 1990, Doskocil 1988).

Einigkeit besteht bezüglich der Verknöcherungsart des Foramen mentale. Es ist bekannt, dass es sowohl desmale als auch enchondrale Ossifikationsbereiche hat (Orliaguet et al. 1994, Rodriguez et al. 1997 und Radlanski et al. 2002, 2003, 2004). Ab der 12. SSW ist das

Foramen mentale als gut definiert zu erkennen (Enlow 1990, Hinrichsen 1990, Bontemps et al. 2001).

Es ist weiterhin bekannt, dass die Symphysis mentalis den Beginn der Ossifikation des Unterkiefers darstellt (Bontemps et al., 2001, Caruntu et al. 2001, Radlanski et al., 2004). Martinez et al. (1997) hatten histomorphologische Analysen von menschlichen Föten der 18. bis 22. SSW durchgeführt. Sie gaben an, dass die Symphysis mentalis durch Faserknorpel gebildet und durch desmalen Knochen umgeben wird. Dies konnte von anderen Autoren bestätigt werden (Bontemps et al., 2001, Caruntu et al. 2001). Weiterhin bekannt ist, dass die Symphysis mentalis erst nach der Geburt verknöchert. Die Angaben variieren jedoch vom zweiten Lebensmonat (Starck 1975) bis zum zweiten Lebensjahr (Kitamura 1989).

Zwischen der 10. und 14. SSW entstehen sekundäre Knorpel, die die Protuberantia mentalis, einen Teil des Processus coronoideus und das Caput mandibulae bilden. Weitere sekundäre Knorpel werden in der Region des aufsteigenden Astes und um den Angulus mandibulae angegeben (Kirsch 1955, Kjaer 1978, Kitamura 1989, Dibbets 1990, Sperber 1992). Über die Herkunft der sekundären Knorpel ist man sich nicht einig. Einige Autoren früherer Zeit glaubten, dass sie vom Meckel-Knorpel abstammen (Fuchs 1909, Bardeen 1910 und Fischer 1929). Gross (1934) gab an, dass die sekundären Knorpel der Symphysis mentalis durch Kieferbewegungen während des Wachstums entstehen. Stark (1965) vermutete, dass sie im Rahmen einer funktionellen Wachstumsanpassung auftauchen, ohne eine Beziehung zum ersten Viszeralbogen zu haben. Es ist bekannt, dass die aus dem sekundären Knorpel der Symphysis mentalis entstehenden Ossicula mentalia endochondral verknöchern und die Kinnprominenz, Protuberantia mentalis ab der zweiten Hälfte der Schwangerschaft formen können (Starck 1975, Wendler et al. 1980, Goret 1982, Orliaguet et al. 1994, Rodriguez et al. 1997).

2.2.2.1.3 Der Gehirnschädel

2.2.2.1.3.1 Desmocranium

An der Gestaltung des Schädeldachs beteiligen sich sieben Deckknochen, die desmal etwa in der 8. Schwangerschaftswoche (SSW) entstehen (Enlow 1990). Die Fontanellen schließen sich etwa im zweiten Lebensjahr. Der Schluss der Nähte des Schädeldachs beginnt etwa ab dem siebten Lebensjahr (Levihn, 1967, Sperber 1992). Nach der Geburt wächst das Gehirn bis ins Erwachsenenalter weiter. Aus diesem Grund ist es nötig, dass die Suturen des Desmocraniums lange unverknöchert bleiben. Während bei Rohen et al. (2002) angegeben wird, dass sie nie vollständig verknöchern, wird von anderen Autoren das 30. Lebensjahr als Verknöcherungszeitpunkt der Suturen des Desmocraniums aufgeführt (Levihn 1967, Sperber 1992).

2.2.2.1.3.2 Chondrocranium

Es ist bekannt, dass die Schädelbasis großteils durch enchondralen Knochen gebildet wird (Lewis 1920). Weiterhin weiß man, dass sie eine wichtige Verbindung zwischen dem Neurocranium und dem Splanchnocranium darstellt. Ihre endokraniale Oberfläche steht in Beziehung zum Gehirn, während die Außenseite mit dem Pharynx, dem Gesicht und der entsprechenden Muskulatur korrespondiert (Sperber 1992, Rohen et al. 2002).

Des Weiteren ist bekannt, dass bei der Bildung des Chondrocraniums die Chorda dorsalis eine wichtige Rolle spielt. Sie trägt zur Bildung des Os occipitale, Pars basilaris, welches später das Foramen magnum begrenzt, bei (Langmann 1989).

Schon Lewis (1920) hatte lateral der Schädelbasis paarig angelegte Ohrkapseln beschrieben, aus deren oberem Rand sich das Os temporale, Pars squamosa bildet. Diesen Knochen und das Os zygomaticum haben Baume (1961) schon in der 7. SSW beobachtet. Merida et al. (1999) und Radlanski et al. (1999) beschrieben deren Entstehung erst in der 8. SSW.

Es ist bekannt, dass die anderen Anteile der Schädelbasis während der 7. bis 9. bzw. bis 10. SSW in der knorpeligen Vorstufe vorliegen (Lewis 1920, Noback und Robertson 1951, Arey 1954, Kobayashi und Inoue 1961, Baume 1961, Diewert 1985, Bach und Kjaer 1993).

Die knorpeligen Prästrukturen bilden die Grundlage für die enchondralen Knochenanteile des Os occipitale, des Os sphenoidale und des Os temporale. Diese Knochen besitzen alle auch membranöse Knochenanteile. Weiterhin gehen aus den Knorpeln das vollständig

enchondral verknöchern die Os ethmoidale und die Concha nasalis inferior hervor (Baume 1961, Sperber 1992).

Kjaer (1993) räumte ein, dass die Knorpel der Schädelbasis auch während der Verknöcherung noch persistieren. Sie dienen als Platzhalter für die korrekte räumliche Entwicklung zum Nasen-Rachen-Raum (Kjaer 1993). Auch in der 20. SSW noch hatte Baume (1961) auf seinen histologischen Präparaten von menschlichen Föten die Knorpel gesehen. Sie umfassen nach seinen Untersuchungen zu dieser Zeit die ganze Schädelbasis und auch das Nasenseptum. Das Os sphenoidale hat fünf (Virapongse und Shapiro 1985) bis neun (Hinrichsen 1990) Ossifikationszentren. Andere Anteile der Schädelbasis haben ebenfalls mehrere davon (Kjaer 1990, Hinrichsen 1990, Sperber 1992). Die Notwendigkeit einer zusätzlichen Regulation der Entwicklung durch lange persistierende knorpelige Prästrukturen als Platzhalter ist demnach nachvollziehbar.

Kjaer (1990) hatte die Schädelbasis radiologisch und histochemisch an 145 menschlichen Embryonen und Föten der ersten Hälfte der Schwangerschaft untersucht. Sie fand heraus, dass die Ossifikationen zeitlich geordnet ablaufen. Zuerst verknöchert das Os occipitale, gefolgt vom Prä- und Postsphenoid (auch Basissphenoid bezeichnet) und schließlich das Os ethmoidale. Baume (1961) und Hinrichsen (1990) bestätigten diese Angaben. Dies zeigt, dass sich Knochen der Schädelbasis nicht nur räumlich durch die lange Persistenz der Knorpel, sondern auch zeitlich geordnet entwickeln.

Die anfänglich voneinander getrennten Knorpelzentren und späteren Ossifikationszentren der Schädelbasis verschmelzen im weiteren Verlauf miteinander. Die Verschmelzungsstellen bilden die Wachstumszentren der Schädelbasis, welche auch als Synchronosen bezeichnet werden (Baume 1961, Sperber 1992).

Die Synchronosis sphenoccipitalis verknöchert erst sehr spät. Es werden Angaben vom 18. bis zum 20. Lebensjahr gemacht (Baume 1961, Hinrichsen 1990). Die späte Ossifizierung dieser Knorpelfuge wird für das Längenwachstum der Schädelbasis als wichtig angesehen (Hinrichsen 1990).

Es ist bekannt, dass sich der Boden der Sella turcica in der 17. bis 18. SSW bildet. Ebenfalls ist bekannt, dass die seitlichen Anteile der Sella in dieser Zeit durch Knochenzentren des Basissphenoids entstehen und dass das Tuberculum sellae als letzte Region erst im dritten Trimenon verknöchert (Baume 1961, Kobayashi und Inoue 1961, Kier 1968, Virapongse und Shapiro 1985, Sperber 1992).

2.2.3 Kephalometrie

Definitionsgemäß ist die Kephalometrie die „Kopfvermessungskunde am Lebenden nach anthropologischen Gesichtspunkten“. In der Kieferorthopädie unterteilt sie sich nach A. M. Schwarz in Kraniometrie und Gnathometrie (Hoffmann-Axthelm 1995).

Dank der Entwicklung der Analysetechnik von Fernröntgenseitenbildern durch Broadbent (1931) wurde die klassische Kephalometrie in die klinische Diagnostik eingeführt. Er hatte röntgenologische Seitenaufnahmen von menschlichen Schädeln angefertigt und entsprechende Referenzpunkte für die nachstehenden Vermessungen definiert. Diese Definitionen werden zum großen Teil noch heute verwendet.

1937 hatte Broadbent dann eine Serie von kephalometrischen Vermessungen an Schädeln von normal wachsenden Kindern veröffentlicht. Dort wird auch das genaue Vorgehen bei der Erstellung der Fernröntgenseitenbilder und die Definition der klassischen Referenzpunkte beschrieben.

Danach sind noch zahlreiche andere Untersuchungen dieser Art mit unterschiedlichen Präparatvorlagen und Techniken durchgeführt worden, sodass bis heute ein Großteil des Wissens auch des pränatalen craniofacialen Wachstums der Analysetechniken von Broadbent (1931, 1937) zu verdanken ist. Im Folgenden werden die Errungenschaften kephalometrischer Untersuchungen speziell zum Thema besprochen.

2.2.3.1 Kephalometrie am craniofacialen System von Föten

Johnston (1974) führte auf, dass keine Zusammenhänge zwischen der Körperlänge und dem Wachstumsverhalten der Schädelgesichtsknochen bestehen. Die meisten Autoren sind jedoch anderer Meinung (Scammon und Calkins 1929, Kobayashi und Inoue 1961, Burdi 1965, Levihn 1967, Haupt 1970, Kvinnsland 1971, Anagnostoupoulou et al. 1988, Trenouth 1984, 1985, Berndt 1997, Morimoto et al. 2008). Von manchen wird sogar eine direkte Abhängigkeit zwischen den vermessenen Strecken des craniofacialen Systems und der Scheitel-Steiß-Länge (SSL) angegeben (Scammon und Calkins 1929, Burdi 1965, 1969 Burdi et al. 1988, Haupt 1970, Anagnostoupoulou et al. 1988). Die SSL wird daher allgemein als Referenzgröße anerkannt und dient auch dieser Arbeit als Bezugsebene.

Mandarim und Urania (1993) hatten das Gewicht craniofacialer Knochen von Föten unterschiedlicher Entwicklungsstadien gewogen und herausgefunden, dass die

Massenzunahme des Unterkiefers größer ist als die des Vomers und des Os palatinum, aber kleiner als die der gesamten Maxilla, des Os zygomaticum und des Os ethmoidale. Dies zeigt, dass eine Korrelation des Wachstums craniofacialer Knochen mit der SSL relativ betrachtet werden muss. Die Knochen können sich zwar konstant zur SSL verlängern, jedoch erlauben diese linearen Vermessungen nicht die Schlussfolgerung, dass sie im gleichen Verhältnis auch an Volumen zunehmen.

Broadbent (1937) war der Auffassung, dass ein proportionales Gesichtswachstum erst nach dem Durchbruch der Zähne im jugendlichen Alter vorliegt. Zahlreiche Untersuchungen legen jedoch dar, dass dies auch schon pränatal der Fall sein muss. Es ist beispielsweise allgemein bekannt, dass ein konstantes Verhältnis der anterioren zur posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung bei Föten besteht (Burdi 1965, Kvinnsland 1971, Berndt 1997, Morimoto et al. 2008). Die Konstanz der Werte vieler Vermessungen zur SSL ist ebenfalls ein Indiz für ein proportionales Gesichtswachstum.

Kvinnsland (1971) und van den Eynde (1992) geben ausgeprägte Umgestaltungen verschiedener Winkel bei kephalometrischen Untersuchungen an. Die meisten Autoren sehen jedoch keine Veränderungen diesbezüglich (Burdi 1965, Johnston 1974, Berndt 1997 und Morimoto et al. 2008). Das spricht zwar für ein konstantes pränatales Wachstum, zu beachten ist jedoch, dass auch wenn die Winkel in den beobachteten Zeiträumen keine Tendenz zur Veränderung zeigen, sie doch eine auffällige Streubreite der Werte in Diagrammdarstellungen haben (Berndt 1997). Umgestaltungen nach Kvinnsland (1971) und van den Eynde (1992) sind also durch die Diskontinuität der Werte nach Berndt (1997) nicht ausgeschlossen.

Broadbent (1937) führte auf, dass das Gesicht postnatal eine Wachstumstendenz nach anterior und kaudal hat. Dies wird stärker noch für die pränatale Entwicklung bestätigt. Daran beteiligt sind nicht nur Wachstumsprozesse, sondern auch eine Frontalverlagerung, insbesondere während des zweiten Trimesters (Schultz 1918, Brodie 1941, Scott 1953, Chatellier et al. 1959, Linder 1960, Baume 1961, Burdi 1965, Levihn 1967, Houpt 1970, Mooney et al. 1989, Berndt 1997, Howe et al. 2004, Kitai et al. 2004, Morimoto et al. 2008). Eine ausgeprägtere sagittale als vertikale und eine vergleichsweise geringe transversale Entwicklung des craniofacialen Systems ante partum wird von all diesen Autoren ebenfalls als gefestigtes Wissen angesehen. Durch eine voranschreitende Rotation nach anterior und kaudal während der fetalen Entwicklung unterliegt das Gesicht zusätzlich einer Zunahme an Länge (Björk 1947, Trenouth 1984, 1985).

Um bestehendes Wissen zu überprüfen und um einen Beitrag zur Bereinigung von Kontroversen zu leisten, werden im Rahmen dieser Arbeit kephalometrische Vermessungen in Anlehnung an frühere Untersuchungen durchgeführt. Es werden auch neue Vermessungen verwendet, die als Größen- und Abstandsvermessungen aufgeführt sind. U. a. sollen sie Aufschluss über die hauptsächliche Vereinigungszeitspanne und der daraus resultierenden Veränderungen und Beeinflussung des Wachstums der Schädelgesichtsknochen durch Suturenbildungen geben. Diese Untersuchungen wurden bisher noch von niemandem durchgeführt. Auch neuartige Winkelvermessungen in der Norma frontalis, wie im Kapitel Material und Methoden aufgeführt, kommen hier erstmals zum Einsatz.

2.2.3.1.1 Kephalexmetrie am nasomaxillären Komplex von Föten

Diewert und Lozanoff (1993) hatten das Wachstumsverhalten der frontalen Region des Schädels in der 5. und 6. Schwangerschaftswoche (SSW) untersucht. Sie beobachteten eine stärkere vertikale Ausbildung des Mittelgesichts, ein Vorwärtstrend im Wachstum der Maxilla und eine relative Trennung des Gehirns vom Gesicht. Diese Merkmale wurden als überwiegende Eigenschaften der craniofacialen Entwicklung während der primären Gaumenhebung aufgeführt (Diewert und Lozanoff 1993).

In der 7. bis 10. SSW, also während der Bildung der Knochen, liegt eine unabhängige Bewegung des palatomaxillären Komplexes vom Mundraum- und Unterkieferkomplex vor. Als wahrscheinliche Ursache dafür sind die Mobilität und das Wachstum der Zunge aufgeführt. Weiterhin ist der Literatur zu entnehmen, dass durch diese Änderung der räumlichen Relation von der Maxilla zur Mandibula die sekundäre Gaumenhebung und der Gaumennahtverschluss begünstigt wird (Diewert 1983, Kjaer 1992, Radlanski et al. 1994).

Es wird ein stabiler Winkel zwischen der anterioren Schädelbasis und dem Nasenboden angegeben, woraus ein zusammenhängender Entwicklungsablauf geschlossen wird (Burdy 1965, Kvinnsland 1971).

Es ist bekannt, dass ein Zusammenhang zwischen der Gaumenhöhe, der Nasenhöhlenhöhe und der Höhe des Obergesichtes besteht. Das Wachstum des Processus alveolaris trägt erheblich dazu bei. Auch das Nasenseptum soll wesentlich daran und auch an der

Entwicklung des Mittelgesichts nach anterior und kaudal beteiligt sein. Insbesondere für das zweite Trimenon gelten diese Angaben (Schultz 1918, Scott 1953, Chatellier et al. 1959, Linder 1960, Baume 1961, Mooney et al. 1989, Howe et al. 2004, Kitai et al. 2004).

Für einen anhaltenden Vorwärtstrend des Mittelgesichtes nach anterior kommt weiterhin die Sutura palatina transversa dadurch, dass sie lange unverknöchert bleibt, infrage (Kvinnslund 1971, Kjaer 1993, Silau 1994, Skrzat et al. 2003). Die Knorpel der Schädelbasis (Scott 1954, 1955, Diewert 1985, Anagnostopoulou et al. 1988, Kjaer 1992, Jeffery 2002, Jeffery und Spoor 2004, Roelfsema et al. 2007) und Differenzen in der Geschwindigkeit des Wachstums regionaler Knochen (Levihn 1967, Johnston 1974, Enlow 1990, Sperber 1992) werden weiterhin in Zusammenhang mit dieser Entwicklung gesehen. Burdi (1969) war andererseits der Meinung, dass die Unterschiede des Höhen- und Längenwachstums des Obergesichtes unabhängig vom knorpeligen bzw. knöchernen Entwicklungsstand zu sehen sind. Im Sperber (1992) ist weiterhin ein Fettpolster für diese Positionsänderungen des Mittelgesichtes als Ursache aufgeführt.

Diewert (1985) legte dar, dass sich die vertikale Ausdehnung des Mund- und Nasenraums von der 7. bis 10. SSW verdoppelt und die transversale verhältnismäßig unverändert bleibt. Die ausgeprägteste Entwicklung des Mittelgesichtes wurde jedoch in der Sagittalebene gesehen (Diewert und Lozanoff 1993).

Den Angaben von Houpt (1970) zufolge nimmt die sagittale Ausdehnung des Oberkiefers im zweiten Trimenon dann 1,5-mal ausgeprägter zu als die vertikale. Eine dominierende Längenentwicklung des nasomaxillären Komplexes auch nach der 10. SSW wird von anderen Autoren bestätigt (Schultz 1918, Brodie 1941, Scott 1953, Chatellier et al. 1959, Linder 1960, Baume 1961, Burdi 1965, Levihn 1967, Houpt 1970, Mooney et al. 1989, Berndt 1997, Howe et al. 2004, Kitai et al. 2004, Morimoto et al. 2008).

Der Literatur ist zu entnehmen, dass der Gaumen ab dem fünften bis sechsten Schwangerschaftsmonat (SSM) genauso breit wie lang ist. Dieses Verhältnis wird danach beibehalten. Vor dieser Zeit ist er länger als breit. Daraus kann ein stärkeres transversales Wachstum in der ersten Hälfte der Schwangerschaft hergeleitet werden. Die größte Wachstumszunahme während des zweiten Trimenons findet vertikal statt. Es wird auch ein lineares sagittales Wachstum des Gaumens proportional zum Wachstum der SSL angegeben (Ishimaru 1984, Kjaer 1992 und Silau et al. 1994).

2.2.3.1.2 Kephalometrie an der Mandibula von Föten

Man ist sich darüber einig, dass in der Zeit vor und nach der Hebung des Gaumens und des sekundären Gaumennahtverschlusses, also während der 7. bis 10. SSW, die Mandibula schnell an Gewicht und Länge zunimmt. Sie stellt sich dann während der 8. bis 10. SSW prognath ein (Retzius 1904, Sicher 1915, Harris 1967, Burdi 1969, Humphrey 1969, Wragg 1970, Shih et al. 1974, Diewert 1974, 1982, 1983, 1985, Trenouth 1985, Radlanski et al. 1994 Bareggi et al. 1995, Kjaer 1997). Alle diese Autoren bestätigen, dass in dieser Zeit der Unterkiefer auch schneller in der Sagittalen wächst als der Oberkiefer.

Radlanski et al. (1994) hatten die durchgemachten Formveränderungen der Mandibula während der 7. bis 10. SSW untersucht. Sie beobachteten eine Änderung von einer breiten V-Form über eine spitze V-Form bis zu einer abgerundeten U-Form. Dies zeigt, dass der Unterkiefer zuerst in der Länge wächst, sodass er spitzer wird und dann ein stärkeres transversales Wachstum der Kinnregion etwa ab der 10. SSW vorliegt, was zu einer U-Form des Unterkiefers führt. Durch diese Visualisierungen der Formveränderungen durch Radlanski et al. (1994) wird verständlich, warum die Mandibula bis zur 10. SSW einer ausgeprägten und danach einer eher geringfügigen sagittalen Entwicklung unterworfen ist.

Nach der 10. SSW ist das sagittale Wachstum der Mandibula also als gering anzusehen. Bareggi et al. (1995) gaben sogar ein weniger ausgeprägtes sagittales Wachstum der Mandibula als das der SSL an. Die meisten Autoren sehen da jedoch keinen Unterschied (Ford 1956, Burdi 1965, 1969, Kvinnsland 1971, Berndt 1997).

Es wird von vielen Forschern aufgeführt, dass während des dritten bis fünften SSM der Oberkiefer durch schnelleres Wachstum seine prognathe Stellung wieder einnimmt (Ford 1956, Burdi 1969, Humphrey 1971, Kvinnsland 1971, Diewert 1983, 1985, Anagnostoupoulou et al. 1988, van den Eynde et al. 1992). Andere Autoren sehen für diesen Zeitraum ein konstantes Lageverhältnis der Kiefer zueinander (Björk 1955, Brodie 1955, Stramrud 1959, Koski 1960, Radlanski et al. 1996, Berndt 1997). Von manchen wird sogar eine stärkere Verlängerung des Unterkiefers angegeben (Mestre 1959, Kobayashi und Inoue 1961). Ford (1956) führte auf, dass zusätzlich eine Frontalverlagerung des Unterkiefers durch ein nach anterior gerichtetes Wachstum des Meckel-Knorpels und später durch das Wachstum der Kondylen zustande kommt. Gleiches wird von Trenouth (1985) angegeben. Er hatte bei seinen Untersuchungen auch herausgefunden, dass der Unterkiefer nach der 9. bzw. 10. SSW einer Bewegung nach posterior und kranial in entgegengesetzter Richtung zur

maxillären Drift unterliegt. Parallel zu dieser Entwicklung hatte Trenouth (1985) auch eine Rotation zuerst nach vertikal und dann wieder nach horizontal angegeben. Birch (1968) ermittelte bei seinen Vermessungen, dass die Symphysis mentalis zwischen der 10. und 27. SSW gleichmäßig nach anterior und kaudal wächst. Diese zusätzlichen Entwicklungstrends der Mandibula erschweren die Angaben bezüglich einer korrekten Beziehung der Kiefer zueinander. Sie könnten mit ein Grund für die unterschiedlichen Angaben der Autoren sein. Eine korrekte Angabe bezüglich der Lagebeziehung der Kiefer ist postnatal durch den Okklusionskontakt möglich (Broadbent 1937). Pränatal gibt es jedoch kein Referenzsystem zur einheitlichen Positionierung. Diese Tatsache kann ferner ein Grund für die unterschiedlichen Angaben sein.

Der Kieferwinkel wurde bei pränatalen Untersuchungen als konstant bei 140° bleibend registriert (Kvinnsland 1971, Berndt 1997, Morimoto et al. 2008) und kann daher für keine Veränderungen der Kieferstellungen verantwortlich gemacht werden. Er liegt postnatal ebenfalls konstant bei 140° (Kahl-Nieke 2001).

Mandarim und Urania (1993) hatten festgestellt, dass bei linearen Vermessungen des Unterkiefers eine deutlich größere Veränderung zustande kommt, als es von der Gewichtsveränderung im Verhältnis zu den anderen Knochen zu vermuten wäre. Dies zeigt, dass der Unterkiefer einer viel stärkeren Streckung als Massenzunahme während der fetalen Entwicklung unterliegt.

Haupt (1970) führte auf, dass der Unterkiefer in der 12. bis 19. SSW gleich stark in vertikaler und sagittaler Richtung wächst. Bareggi et al. (1995) gaben eine höhere Wachstumsrate des aufsteigenden Astes der Mandibula als die der Scheitel-Steiß-Länge (SSL) in der Breite, aber vor allem auch in der Höhe, während der 8. bis 14. SSW an. Bei den anderen linearen Vermessungen der Mandibula hatten sie ein analoges Wachstum zur SSL beobachtet (Bareggi et al. 1995).

2.2.3.1.3 Kephalometrie am Desmocranium von Föten

In dieser Arbeit wird das Desmocranium ebenfalls vermessen. Die meisten Syndrome des craniofacialen System manifestieren sich auch am Desmo- bzw. Neurocranium, welche zu ausgeprägten Veränderungen der Form des Schädeldachs führen können (Kahl-Nieke 2001).

Aufgrund der Tatsache, dass das Neurokranium pränatal eine zwei bis vier Mal höhere Wachstumsrate hat als das Viscerocranium (Enlow 1990, Sadler 2003, Morimoto et al. 2008), können Kenntnisse über das physiologische Wachstum zur frühzeitigen Diagnostik von Fehlbildungen dienen. Kephalometrische Vermessungen an Ultraschallaufnahmen, wie sie schon von Rotten et al. (2002) durchgeführt wurden, könnten in der klinischen Routineuntersuchung dazu beitragen, sie rechtzeitig zu erkennen.

In der Literatur sind kaum kephalometrische Vermessungen der einzelnen Deckknochen des Neurocraniums durchgeführt worden, was ein weiterer Grund dafür ist, dass das Schädeldach in dieser Arbeit untersucht wird.

2.2.3.1.4 Kephalometrie am Chondrocranium von Föten

Die anteriore Schädelbasis wird bei allen Untersuchungen größer als die posteriore Schädelbasis beschrieben (Ford 1956, 1958, Mestre 1959, Burdi 1965, 1969, Levihn 1967, Birch 1968, Houpt 1970, Kvinnsland 1971, Johnston 1974, Anagnostopoulou et al. 1988, Lee et al. 1996, Jeffery 2002, Jeffery und Spoor 2004, Roelfsema et al. 2007). Ford (1956) vermutete, dass aufgrund einer früheren Entwicklung der anterioren Schädelbasis dieser Unterschied zustande kommt, was zusätzlich durch ein schnelles Wachstum des Nasenseptums begünstigt wird. Levihn (1967) führte auf, dass dies auf die größere Aktivität des Knorpelwachstums im anterioren Bereich zurückzuführen sei.

Burdi (1965) gab an, dass die anteriore Schädelbasis eine Länge von 61 % der gesamten Schädelbasis hat. Jeffery (2002) hatten mit MRT-Untersuchungen an menschlichen Föten festgestellt, dass die anteriore Schädelbasis doppelt so schnell wächst wie die posteriore. Des Weiteren führten sie auf, dass der posteriore Anteil der Schädelbasis unproportional stärker an transversaler Ausdehnung im Verhältnis zur sagittalen Ausdehnung zunimmt (Jeffery 2002). Kjaer (1990) und Lee et al. (1996) beschrieben, dass in der gesamten Schädelbasis geringe horizontale Veränderungen im Vergleich zu starken vertikalen Veränderungen stattfinden. Sie erwähnten, dass die vertikale Entwicklung der Schädelbasis wichtig für die vertikale Entwicklung des nasomaxillären Komplexes sei. Dies wird von anderen Autoren, welche die Schädelbasis untersucht haben, bestätigt (Kjaer 1990, Lee et al. 1996). Lee et al. 1996 führten weiterhin auf, dass die Schädelbasis einen enormen Einfluss auf die Entwicklung des Gehirns hat. Trotz all dieser wichtigen Aufgaben ist noch wenig bekannt

über den Einfluss der Schädelbasis auf das Wachstum der vertikalen Ausdehnung des Schädels (Lee et al. 1996).

Die Sella turcica der Schädelbasis ist in der Kephalometrie sehr wichtig, da sie als eine stabil die Position beibehaltende Region während der Entwicklung angesehen wird. Von ihr aus kann man reproduzierbare Vermessungen durchführen. Der Mittelpunkt der Sella turcica (= S-Punkt) diente dabei schon zahlreichen Autoren als hauptsächlichlicher Referenzpunkt für kephalometrische Vermessungen (Broadbent 1937, Brodie 1941, DeCoster 1951, Coben 1955, Mestre 1959, Burdi 1965, Levihn 1967, Kvinnsland 1971, Johnston 1974, Anagnostoupoulou et al. 1988, van den Eynde et al. 1992, Radlanski 1996, 2003, Morimoto et al. 2008). Folglich wurden auch zahlreiche Untersuchungen zur Ermittlung der Lagestabilität der Sella turcica durchgeführt. Diese Studien konzentrierten sich dabei auf die Lageveränderungen der anterioren zur posterioren Schädelbasis (Zuckermann 1955, Baume 1961, Burdi 1965, Jeffery und Spoor 2004, Roelfsema et al. 2007), auf das Wachstum der Sella selbst (Baume 1961, Kobayashi und Inoue 1961, Kier 1968, Virapongse und Shapiro 1985) und auf das Wachstum des angrenzenden Gewebes der Sella (Burdi 1965). Auch die Auswirkungen von pathologischen Veränderungen an der Schädelbasis, wie Lippenspalten (Sherwood et al. 2001, Burdi 1965) und Vergleichsstudien an anencephalen Föten (Radlanski et al. 1996) wurden durchgeführt. Keiner dieser Studien konnte jedoch eindeutig eine fehlende Lagestabilität der Sella turcica aufdecken. Auch wenn einige Autoren ermittelt haben, dass Kiefer- und Gaumenspalten (Kjaer 1990, Sherwood et al. 2001) oder pathologische Veränderungen der Eckzahnregion (Christensen et al. 1993) die Sella turcica als nicht stabil die Position beibehaltend aufdecken könnten, halten die meisten Forscher immer noch ihre Lagestabilität fest und verwenden sie weiterhin als hauptsächlichlichen Referenzpunkt.

Bei den in dieser Arbeit durchgeführten kephalometrischen Vermessungen kann jedoch der S-Punkt nicht verwendet werden, da bei den Aufhellungspräparaten die im Schädelinneren liegenden Knochen, wie die Sella turcica, nicht sichtbar sind. Um trotzdem Vermessungen in Anlehnung an die klassische Kephalometrie machen zu können, wird, wie im Kapitel 3 Material und Methoden beschrieben, ein neuer peripher und oberhalb des Viscerocraniums gelegener Referenzpunkt ermittelt. Die an diesem neuen Referenzpunkt durchgeführten Untersuchungen sind aber notwendig Modifikationen der klassischen kephalometrischen Vermessungen. Vergleiche müssen daher kritisch betrachtet werden.

Auch andere Regionen des Schädels weisen relative Positionsstabilität analog zur Schädelbasis auf. Angle (1906) hat beispielsweise einen Bereich bei den ersten Molaren, Simon und Paul (1922) bei den Eckzähnen, angegeben. Im Rahmen dieser Arbeit wird ebenfalls eine positionsstabile Region des Schädels für einen Referenzpunkt ermittelt, der den S-Punkt für die anstehenden Vermessungen ersetzen soll.

2.2.3.2 Pränatale Diagnostik von Fehlentwicklungen

Böcker und Becker (1965) hatten angegeben, dass die Zahnentstehung selbst keinen Einfluss auf die Entwicklung der Kiefer hat, sondern nur auf die des Zahnfachts. Sie begründen dies damit, dass die Entwicklung dentaler und knöcherner Strukturen zu unterschiedlichen Zeiten stattfindet. Dies wird von anderen Autoren bestritten. So zeigen die Studien von Endo et al. (2007) und Ben-Bassat und Brin (2009) beispielsweise, dass Oligodontien nicht nur zu Abweichungen von dentoalveolären Orthognathien, sondern auch zu ausgeprägteren skelettalen Fehlentwicklungen führen. Zumindest muss aber für die hier beobachtete Periode der pränatalen Entwicklung eine Beeinflussung durch die Zähne ausgeschlossen werden, da diese noch nicht angelegt sind.

Zumeist manifestieren sich Fehlentwicklungen jedoch trotzdem ante partum, auch wenn Zähne nicht die Ursache dafür sind. Ein wichtiger Aufgabenbereich der Embryologie ist daher die Ermöglichung einer frühzeitigen Diagnostik pathologischer Veränderungen, um gegebenenfalls in Zukunft rechtzeitig intervenieren zu können. Dabei sind vorrangig genetische Erkrankungen zu nennen, welche als Syndrome bekannt sind und zu ausgeprägten craniofacialen Deformierungen führen können.

Mithilfe der Kephalemetrie ist es ggf. möglich, Syndrome früher zu erkennen. In diesem Zusammenhang soll insbesondere die Studie von Rotten et al. (2002) erwähnt werden. Sie haben gesunde Föten und solche mit bekannten Syndromen untersucht. Intrauterinen Ultraschallaufnahmen folgten dabei kephalometrische Vermessungen (Rotten et al. 2002). Ihre Ergebnisse können für die klinische Diagnostik zur frühzeitigen Erkennung von Fehlentwicklungen verwendet werden.

Als besonders sensible Entwicklungsphase wird die 8. bis 10. SSW angegeben, da sich zu dieser Zeit viele Anteile des craniofacialen Systems bilden und einem ausgeprägten Wachstumsschub unterliegen (Baume 1961, Burdi 1965). Diese Kenntnis ist für klinische Untersuchungen ebenfalls wichtig.

3 Material und Methode

3.1 Material

Dieser Untersuchung liegen 14 Aufhellungspräparate von embryonalen und fötalen Köpfen zugrunde. Sie haben eine Scheitel-Steiß-Länge (SSL) von 35 mm bis 150 mm, was der 8. bis 21. Schwangerschaftswoche (SSW) entspricht. Bei den jungen Exemplaren der Aufhellungspräparate sind die zarten Strukturen der Knochen schwer zu erkennen. Dreidimensionale computergestützt hergestellte Rekonstruktionen von Serienschnittpräparaten können auch zarte Knochenstrukturen gut darstellen und sind daher für ergänzende Vermessungen gut geeignet. Zum Vergleich wurden daher zusätzlich sieben 3D-Rekonstruktionen von Embryonen und jungen Föten hergestellt. Sie haben eine SSL von 19 mm bis 53 mm, was der 6. bis 9. SSW entspricht.

Die Aufhellungspräparate stammen aus der Universität of Turku, dental school. Die verantwortliche Kooperationspartnerin ist Frau. K. Heikinheimo. Die 3D-Rekonstruktionen stammen aus dem Institut für Struktur- und Entwicklungsbiologie der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin.

Bei allen Embryonen und Föten handelt es sich um spontanen und legalen Aborten. Die Köpfe weisen keine äußerlich sichtbaren Anzeichen für pathologische Veränderungen auf. Die Lage der Mandibulae wurden nach den Aborten in ihren vorliegenden Positionen belassen.

3.1.1 3D-Rekonstruktionen

Es standen sieben 3D-Rekonstruktionen als Bilderserien zur Verfügung. Die Messungen wurden in der Norma lateralis – die Seite mit der Kopfwendung nach links – und in der Norma frontalis – die rechte Hälfte des Schädels– durchgeführt.

	Katalognummer	Größe (SSL)	Ansicht
1	CHR 220687	19 mm SSL	frontal/links
2	ADE 160787	20 mm SSL	frontal/links
3	EMM 150787	22 mm SSL	frontal/links
4	PIP 161189	31 mm SSL	frontal/links
5	DOR 100785	37 mm SSL	frontal/links
6	KAR 200789	45 mm SSL	frontal/links
7	HAN 040389	53 mm SSL	Frontal

Tab. 2: Liste der embryonalen und fetalen Präparate der 3D-Rekonstruktionen.

3.1.2 Aufhellungspräparate

Es wurden 14 Aufhellungspräparate fotografiert. Die Abbildungen liegen je Präparat in der Norma lateralis zweimal (einmal von rechts und einmal von links fotografiert) und in der Norma frontalis einmal vor.

	Katalognummer	Größe (SSL) und Alter (SSW)	Ansicht
1	T543	35 mm SSL, 8. SSW	frontal/rechts/links
2	T237	28 mm SSL, 9. SSW	*/rechts/links
3	T101	60 mm SSL, 12. SSW	frontal/rechts/links
4	T86	64 mm SSL, 11. SSW	frontal/rechts/links
5	T120	68 mm SSL, 12. SSW	frontal/rechts/links
6	T163	77 mm SSL, 13. SSW	frontal/rechts/links
7	T116	83 mm SSL, 14. SSW	frontal/rechts/links
8	T225	83 mm SSL, 15. SSW	frontal/rechts/links
9	T140	97 mm SSL, 15. SSW	frontal/rechts/links
10	T485	110 mm SSL, 16. SSW	frontal/rechts/links
11	T221	117 mm SSL, 16. SSW	frontal/rechts/links
12	T126	120 mm SSL, 16. SSW	frontal/rechts/links

13	T516	150 mm SSL, 19. SSW	frontal/rechts/links
14	T482	145 mm SSL, 21. SSW	frontal/rechts/nicht verfügbar

Tab. 3: Liste der embryonalen und fetalen Abbildungen der Aufhellungspräparate.

*Die Knochenstrukturen waren nicht vom Weichgewebe zu unterscheiden, sodass hier keine Vermessungen durchgeführt werden konnten.

3.2 Methode

3.2.1 Materialpräparation

3.2.1.1 Aufhellungspräparate

Aufhellungspräparate sind transparente makroskopische Präparate. Die Aufhellung geschieht durch eine Bleichung mit Wasserstoffperoxid. Der Effekt der Transparenz beruht auf der Angleichung der Brechzahl der Aufbewahrungslösung Glycerin mit der des Präparates. Nach der Bleichung werden die Präparate in einer Alkoholreihe entwässert und kommen dann in eine Aufhellungsflüssigkeit. Diese stellt eine Mischung aus Wintergrünöl und Benzylbenzoat dar und ist je nach Alter des Embryos bzw. des Fötus unterschiedlich zusammengesetzt. Die Differenzierung der Knochen geschieht durch Färbung und dadurch, dass man die Knochen nicht entkalkt. Das Verfahren wird auch Spalteholzmethod nach Werner Spalteholz (1914), so behandelte Präparate auch Spalteholzpräparate genannt (Romeis 1989).

3.2.1.2 3D-Rekonstruktionen

Zur Herstellung der 3D-Rekonstruktionen wurden die Köpfe zunächst in Bouinscher Lösung (5 % Eisessig, 24 % Formalin (37-prozentig), 71 % gesättigter Pikrinsäure) fixiert. Danach wurden sie in mehreren Schritten in alkoholischer Lösung zur Entwässerung überführt (Romeis 1989). Die Konzentration des Alkohols steigt dabei mit jedem Entwässerungsschritt an. Als Nächstes werden histologische Schnittserien von zehn µm Schnittdicke hergestellt,

mit HE (Hämatoxylin-Eosin) gefärbt und fotografiert. Durch digitale Zusammenführung und unter Beachtung einer gleichen Ausrichtung entstehen dreidimensionale virtuelle Abbildungen der Präparate. Zur korrekten Überlagerung der digitalen Bilder dienen bekannte Referenzstrukturen wie Augen, Knorpel oder Gesichtskonturen (Gaunt und Gaunt 1978, Radlanski und Jäger 1990).

3.2.2 Vermessung des Materials

Die Vermessungen sind an einem Flachbildmonitor mit 40 cm Bildschirmdiagonale angefertigt worden, Die Grafikkarte RADEON 9250 und das Programm AxioVision LE Rel. 4.4 kamen dafür zum Einsatz. Am Monitor wurde Verzerrungsfreiheit durch eine Rastereinteilung des Bildschirms und Probevermessungen gleicher Objekte an unterschiedlichen Positionen im Raster nachgewiesen.

Zum besseren Verständnis der unten wiedergegebenen Definitionen der Punkte und Strecken werden hier fünf Abbildungen des Aufhellungspräparates T225 aufgeführt. Zwei von ihnen wurden mit der Blickrichtung nach rechts und drei frontal aufgenommen. Aufgrund der hohen Anzahl der verwendeten Referenzpunkte ist eine wiederholte Aufführung derselben Abbildungen angebracht (siehe Abb. 2 bis 6). So können die Punkte auf mehrere Fotografien verteilt werden, was der Übersichtlichkeit dient. Weiterhin wurden in den Abbildungen einige Linien eingezeichnet, welche ebenfalls der Orientierung dienen.

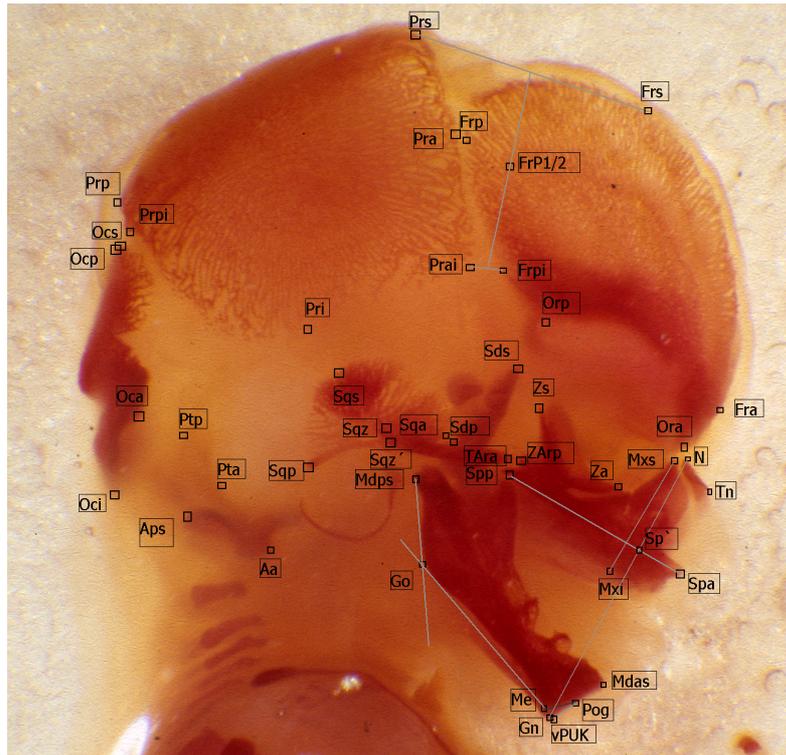


Abb. 2: Fotografie des Präparates 107 T225 in der Ansicht von rechts mit eingefügten Punkten und einigen Linien für die Kephalometrie. Die Originallänge des unteren Bildrandes entspricht 35,5 mm.

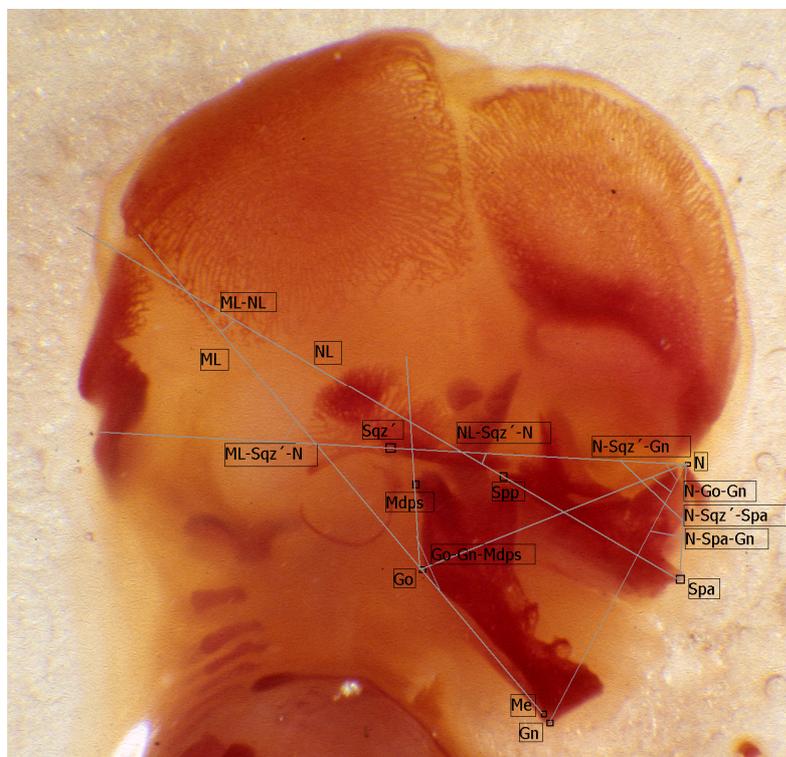


Abb. 3: Fotografie des Präparates 107 T225 in der Ansicht von rechts mit weiteren eingefügten Punkten und einigen Linien für die Kephalometrie. Die Originallänge des unteren Bildrandes entspricht 35,5 mm.

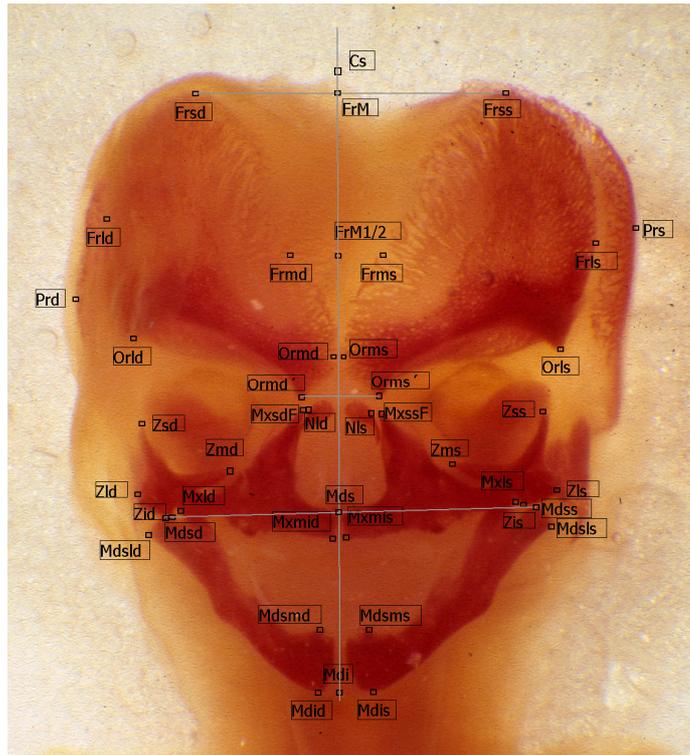


Abb. 4: Fotografie des Präparates 105 T225 in der Ansicht frontal mit eingefügten Punkten und einigen Linien für die Kephalometrie. Die Originallänge des unteren Bildrandes entspricht 32 mm.

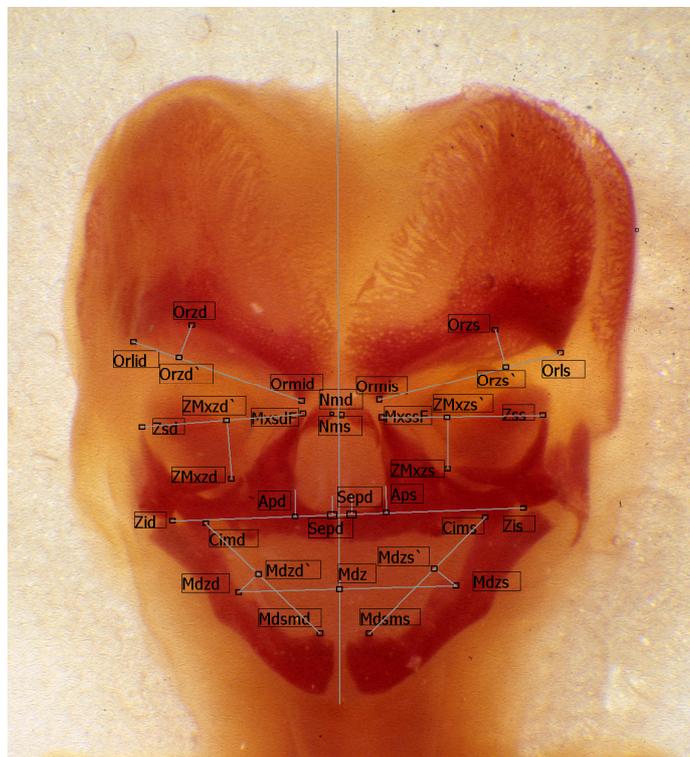


Abb. 5: Fotografie des Präparates 105 T225 in der Ansicht frontal mit eingefügten Punkten und einigen Linien für die Kephalometrie. Die Originallänge des unteren Bildrandes entspricht 32 mm.

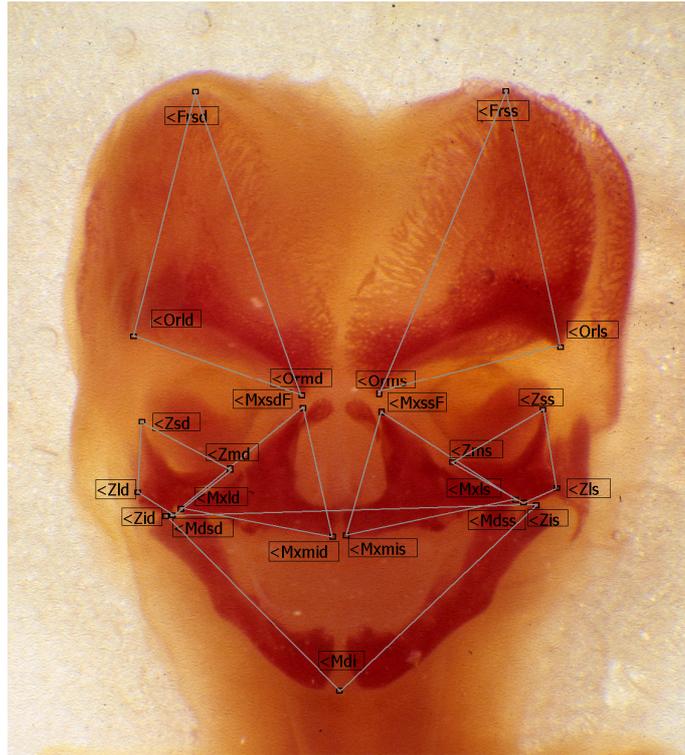


Abb. 6: Fotografie des Präparates 105 T225 in der Ansicht frontal mit weiteren eingefügten Punkten und einigen Linien für die Kephalometrie. Die Originallänge des unteren Bildrandes entspricht 32 mm.

3.2.2.1 Vorarbeiten zu den Vermessungen

Bevor die Definitionen aufgeführt werden können, müssen alle hier erstmalig verwendeten Punkte, Strecken und Winkel für die modifizierten und neuen kephalometrischen Vermessungen auf ihre Validität hin überprüft werden.

3.2.2.1.1 Voruntersuchung zur Definition eines lagestabilen Referenzpunktes oberhalb des Viscerocraniums

Die zentral gelegene Schädelbasis ist auf den Aufhellungspräparaten nicht zu erkennen. Vermessungen am Mittelpunkt der Sella turcica (= S-Punkt), welcher sich als ein praktischer Bezugspunkt für viele kephalometrische Vermessungen seit Broadbent (1937) erwiesen hat, waren nicht möglich. Aufgrund dessen musste ein anderer, lateral lokalisierter Bezugspunkt oberhalb des Viscerocraniums ermittelt werden.

Bei Betrachtung der Bilder ist zu erkennen, dass die zentrale Region des Os temporale, Pars squamosa und der Schnittpunkt des Os sphenoidale mit dem Os temporale, Arcus zygomaticus die geringsten Veränderungen über die unterschiedlichen Stadien der Entwicklung hinweg aufweisen. Nur diese Bereiche kommen für genauere Untersuchungen infrage. Die dort positionierten Punkte haben die entsprechenden Bezeichnungen Sqz und Sdp (Sqz = Os temporale, Pars squamosa, zentral; Sdp = Os sphenoidale, posterior; genaue Definitionen siehe Kapitel 3.2.2.1.6.2 Vermessungspunkte in der Norma lateralis).

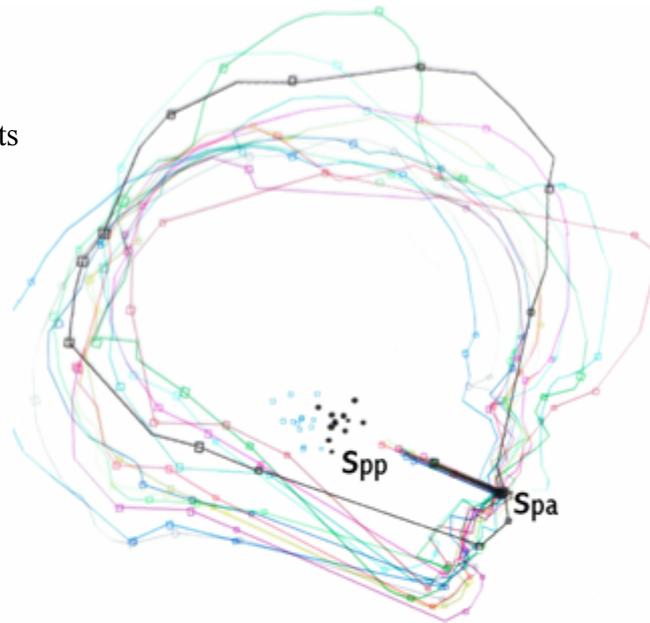
Zur genauen Charakterisierung dieser beiden Punkte waren mehrere Schritte nötig. Das Programm Paint von Microsoft (Hauptsitz in Seattle), welches seit Windows 95 zum Zubehör von Windows gehört, war zur digitalen Bearbeitung dafür ausreichend. Mit diesem Programm wurden die Umrisse der lateralen Aufnahmen der Aufhellungspräparate und die Strecken Spa-Spp (Spina nasalis, anterior-Spina nasalis, posterior; Definition: siehe Kapitel 3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis) in den Bildern eingezeichnet. Durch Spa-Spp geht die Nasallinie, welche hier die Referenzebene darstellt. Auch die Punkte Sqz und Sdp konnten so digital eingefügt werden. Diese Durchzeichnungen wurden folgend auf weißen Hintergrund übertragen. Alle jeweils rechten bzw. linken Bilder konnten danach über die Nasallinie, welche auch Spinaebene genannt wird, und dem Punkt Spa gelegt werden.

Die Schädel nehmen mit zunehmendem Entwicklungsstand an Größe zu. Würde man sie in Originalgröße übereinanderlegen, käme es zu einer breiten Streuung der Punkte. Um die relative Lage der Punkte Sqz und Sdp zu erfassen, mussten die Bilder der Präparate daher vorher auf eine einheitliche Größe gebracht werden.

Die Squama temporalis und das Os zygomaticum, Arcus zygomaticus sind paarig angelegte Knochen. Das heißt, dass die Punkte Sqz und Sdp auch je Präparat zweimal vorliegen. Zum Ausgleich von etwaigen Fehlern der Aufnahmen bezüglich der Orthoradialität und entwicklungsbedingter Seitenunterschiede war eine Angleichung der rechten mit der linken Seite nötig. Dabei wurde jeweils ein Bild der Seitenaufnahmen einer Serie in der horizontalen Ebene gespiegelt und über das andere Bild dieser Serie entlang der Nasallinie und des Punktes Spa digital überlagert. Danach konnte eine Strecke von einem Sqz-Punkt zum anderen Sqz-Punkt sowie von einem Sdp-Punkt zum anderen gezeichnet werden. Die entsprechenden Mittelpunkte dieser Strecken sind nun die seitenausgeglichenen neuen Punkte mit den jeweiligen Bezeichnungen Sqz' und Sdp'. Diese neuen Punkte wurden in beiden Bildern einer Serie digital eingefügt. Das in der horizontalen Ebene gespiegelte Bild konnte danach wieder in die Ausgangsposition gedreht werden. Auf diese Weise ist mit allen Bildern der Aufhellungspräparate verfahren worden. Danach war es möglich, die Zeichnungen der

entsprechenden Seite über die Nasallinie und den Punkt Spa digital übereinanderzulegen. So entstand ein Cluster von den beiden Punkten Sqz' und Sdp', welche zur Unterscheidung in jeweils unterschiedlichen Farben vorliegen (siehe Abb. 7 und Abb. 8).

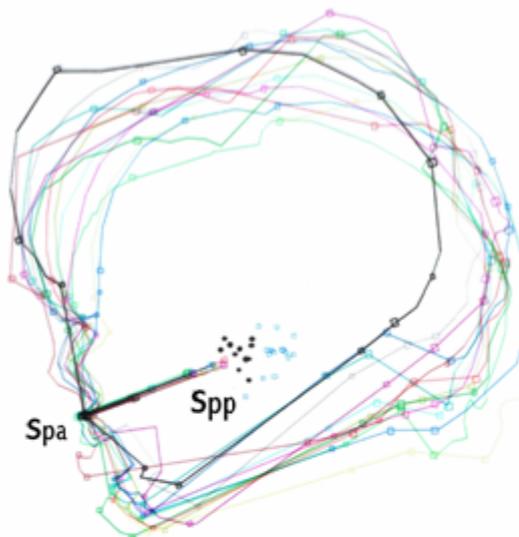
Norma lateralis
Blickrichtung nach rechts



• = Sdp'

• = Sqz'

Norma lateralis
Blickrichtung nach links



• = Sdp'

• = Sqz'

Abb. 7, 8: Darstellung der Streuungsfelder (Cluster) der Punkte Sqz' und Sdp' bei den Durchzeichnungen der Fotografien der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis, mit der Blickrichtung nach rechts und nach links, bei angeglicherter Größe der Schädel und Überlagerung über die Spinaebene bzw. die Nasallinie sowie die Punkte Spa

Die Größe der Cluster ist bei beiden Punkten unter 15 % der maximalen sagittalen und transversalen Ausdehnung der Schädel, was als gering anzusehen ist. Außerdem liegen die meisten Punkte bei den Streuungsfeldern eher zentrisch lokalisiert, wie in den Abbildungen 7 und 8 zu erkennen ist. Dies spricht zusätzlich für die Lagestabilität beider Punkte.

Die Punkte Sqz' und Sdp' sind, wie oben beschrieben, aus den entsprechenden Punkten Sqz und Sdp entstanden. Die oben beim Seitenausgleich ermittelten Stecken von einem Sqz-Punkt zum anderen bzw. von einem Sdp-Punkt zum nächsten sind für die Verwertbarkeit der neuen Punkte Sqz' bzw. Sdp' von großer Bedeutung. Sie sind ein Maß für den Grad der Deckungsgleichheit der entsprechenden Regionen dieser paarig angelegten Knochen und letztendlich auch ein Maß für die Lagestabilität der angezeigten Basispunkte Sqz' oder Sdp'.

Die Untersuchung dieser Strecken zeigte, dass die meisten Abweichungen um oder unter 5 % der oben erwähnten maximalen sagittalen und transversalen Ausdehnungen der Schädel liegen. Man muss aber eine größere Toleranzschwelle zulassen, da auch die sehr gut orthoradial aufgenommenen Bilder im freien Vergleich einen Unterschied der Positionen der Punkte haben. Es wurden daher bei der Ermittlung dieser beiden Punkte Abweichungen bis zu 10 % von der durchschnittlichen Gesamtbreite und Gesamthöhe des Schädels toleriert.

Bei dem Punkt Sqz kam es nur beim Präparat T482 zu einer Abweichung von mehr als 10 %, wohingegen bei den Punkten Sdp gleich drei Präparate (T485, T221 und T482) mit einer größeren Abweichung als 10 % vorlagen. Außerdem konnte der Punkt Sdp bei einigen jüngeren Föten nicht erkannt werden (bei den Präparaten T543, T237 und T86). Bei den älteren Föten ist der Punkt Sdp nicht so eindeutig zu lokalisieren wie der Punkt Sqz. Des Weiteren sind die Cluster des Punktes Sqz' augenscheinlich dichter als die des Punktes Sdp' (siehe Abb. 1 und Abb. 2) und damit insgesamt genauer. Der Punkt Sqz' wird folglich bevorzugt und damit als Basispunkt für die Vermessungen verwendet.

Eine Ausnahme stellt die Präparatserie T482 dar, sie überschreitet die 10%-Toleranzschwelle des Punktes Sqz' deutlich. Der Abstand von einem Sqz-Punkt zum anderen ist bei dieser Serie sehr groß, er liegt etwa bei 14 % der Gesamtausmaße des Schädels. Die Vermessungen mit dem Punkt Sqz' werden bei diesem Präparat nicht durchgeführt. Bei den Tabellen im Kapitel 4.5 Tabellarische Zusammenfassungen der Werte der Vermessungen stehen an den entsprechenden Stellen keine Werte.

Bei den 3D-Rekonstruktionen lag nur eine Gesichtshälfte vor. Folglich konnte der Punkt Sqz' nicht ermittelt werden. Entsprechende Vermessungen wurden weggelassen.

Da der Punkt Sqz' hier erstmals zum Einsatz kommt und eine andere Position als der S-Punkt hat, können die am Punkt Sqz' durchgeführten Vermessungen nicht direkt mit anderen Arbeiten verglichen werden. Sie sind daher als Modifikationen zu den herkömmlichen kephalometrischen Vermessungen nach Broadbent (1937) anzusehen.

3.2.2.1.2 Festlegung der Bezugsebenen

Als Bezugsebene für die Norma frontalis wurde die Mediansagittalebene gewählt. Sie geht entlang der Stirn-, Nasen- und Kinnregion und kann folglich dreifach auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden. Tangenten im 90°-Winkel zur Mediansagittalebene verlaufen bei allen Präparaten entlang der Bipupillarlinie, was zusätzlich zeigt, dass diese Bezugsebene gut gewählt ist.

In der herkömmlichen Kephalemtrie ist die vordere Schädelbasis (S-N = Sella-Nasion) die Bezugsebene in der Norma lateralis (Kahl-Nieke 2001). In dieser Arbeit wird der oben ermittelte Basispunkt Sqz' für eine neue Bezugsebene Sqz'-N verwendet. Die Vermessungen an Sqz'-N sind als Modifikationen zu den herkömmlichen kephalometrischen Vermessungen nach Broadbent (1937) an der Bezugsebene S-N zu betrachten.

3.2.2.1.3 Voruntersuchungen zur Größenvermessung einzelner Knochen

Für die Größenvermessungen wurden die einzelnen craniofacialen Knochen in der möglichst größten Ausdehnung in horizontaler und vertikaler Ebene, also zweimal je Knochen, vermessen. Bei den Frontalaufnahmen ist die richtige Positionierung der dafür benötigten Punkte mithilfe der Mediansagittalebene immer möglich. Bei den Seitenaufnahmen kann keine bereits bestehende Bezugsebene zu richtigen Größenvermessungen beim Os parietale, Os occipitale und beim Os frontale führen. Es musste eine andere Methode zur Ermittlung der richtigen Punkte entwickelt werden.

Für das Os parietale und das Os occipitale wurden zunächst die am weitesten voneinander gelegenen Positionen entlang der horizontalen und vertikalen Kurvaturen der Knochen ermittelt und dort entsprechende Punkte platziert. Diagonale Vermessungen mussten vermieden werden, da diese zu falschen Größenangaben führen. Um das zu realisieren, musste vom am weitesten kranial gelegenen Punkt eine parallele Tangente entlang des gemittelten

gemeinsamen kranialen und kaudalen knöchernen Verlaufes zum am weitesten kaudal gelegenen Punkt gezogen werden. Diese beiden Tangenten werden dann miteinander verbunden. Die daraus resultierende Strecke bildet die maximale vertikale Ausdehnung des Knochens. Die maximale horizontale Ausdehnung wird auf gleiche Weise ermittelt. Zum besseren Verständnis dieses Vorgehens wird hier eine Zeichnung aufgeführt. Es sind unter Anwendung der Software Paint dafür die Umrisse des Os parietale des Präparates T225 rechts mit den verwendeten Punkten und Strecken gezeichnet worden (siehe Kapitel 3.2.2.1.6.2 Vermessungspunkte in der Norma lateralis und 3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis).

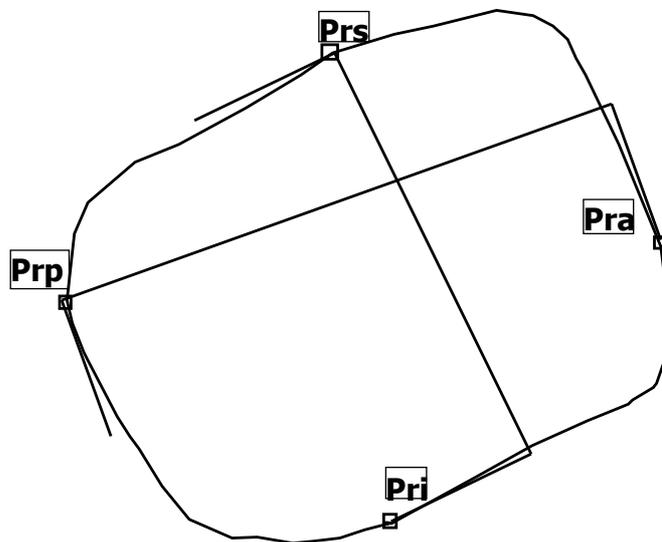


Abb. 9: Hier werden die Umrisse des Os parietale des Präparates T225 rechts dargestellt – mit für die Vermessungen verwendeten Punkten und Strecken zur bildlichen Darstellung des Vorgehens bei der Ermittlung der maximalen vertikalen und horizontalen Dimensionen. Vom Punkt Pri aus wird eine gemittelte Strecke entlang der kaudalen und kranialen Kurvatur gezogen. Von dieser Strecke wird ein Lot auf den Punkt Prs gefällt. Die dabei entstehende neue Strecke bildet die maximale vertikale Ausdehnung dieses Knochens. In der Horizontalebene wird auf gleiche Weise verfahren. Die Punkte Prs und Pri sowie Pra und Prp bilden die Strecken Prs-Pri und Pra-Prp (siehe Kapitel 3.2.2.1.6.2 Vermessungspunkte in der Norma lateralis und 3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis).

Aufgrund der konkaven Form des Os frontale, Pars orbitalis, haben sich zwei kaudale Punkte ergeben (Ora und Orp, Definition: siehe Kapitel 3.2.2.1.6.2 Vermessungspunkte in der Norma lateralis), von denen keines zur vertikalen Größenvermessung des Os frontale geeignet ist. Für den am weitesten kranial gelegenen Punkt wurde eine parallele Tangente der Strecke Fra-Prp (Definitionen: siehe 3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis) kranial an den Os

frontale gelegt und der Schnittpunkt eingezeichnet. Probevermessungen haben ergeben, dass mit dieser Methode der am weitesten kranial gelegene Punkt des Os frontale am besten ermittelt werden kann.

Da die Positionierung eines kaudalen Punktes an der konvexen Orbita nicht möglich ist, wurde die oben beschriebene Vorgehensweise zur Ermittlung der Vertikaldimension modifiziert. Es findet primär eine Orientierung an der kranialen Krümmung und des Punktes Ora unter gleichzeitiger Berücksichtigung des kaudalen Knochenverlaufs statt. Die entsprechende Strecke zur Ermittlung der Vertikaldimension heißt Frs-Ora (siehe Kapitel 3.2.2.1.6.2 Vermessungspunkte in der Norma lateralis und 3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis). Zum besseren Verständnis wird hier eine Zeichnung angebracht. Die Umriss des Os frontale sind vom Präparat T225 rechts. Verwendet wurde dafür das Programm Paint (siehe Abb. 10).

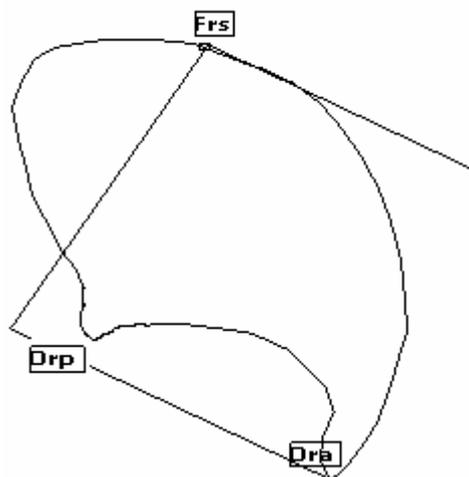


Abb. 10: Hier werden die Umriss des Os frontale des Präparates 107 T225 rechts zur bildlichen Darstellung des Vorgehens bei der Ermittlung der vertikalen Dimension dargestellt. Es wird eine parallele Tangente, die sich hauptsächlich an den Verlauf der kranialen Krümmung und dem Punkt Ora orientiert, aber auch den kaudalen Verlauf berücksichtigt, an die Punkte Frs und Ora gelegt. Die Verbindung dieser beiden Tangenten bildet die Strecke Frs-Ora, welche die vertikale Ausdehnung des Os frontale von lateral darstellt (siehe Kapitel 3.2.2.1.6.2 Vermessungspunkte in der Norma lateralis und 3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis).

Das hier gewählte Vorgehen ist die einzige Methode, die bei allen Präparaten eine vertikale Größenmessung in der Norma lateralis sinnvoll macht. Ein eindeutigeres definiertes Verfahren ist hier nicht möglich. Die Ergebnisse dieser Vermessungen müssen also kritisch betrachtet werden.

3.2.2.1.4 Voruntersuchungen zur Abstandsvermessung benachbarter Knochen

Das Ziel bei den Abstandsmessungen ist es, mehr über das Wachstums- und Driftverhalten der knöchernen Schädelanteile zu erfahren. Es wird der kürzeste Weg eines Knochens zum nächsten eingezeichnet. Da die Knochen in verschiedenen Funktionszusammenhängen zu oftmals mehreren benachbarten Knochen stehen, können sie bei jeweiligen Abstandsmessungen mehrere Punkte haben. Die Punkte der Abstandsmessungen sind also keine Fixpunkte. Sie sind vielmehr nach dem kleinsten Abstand zur äußeren Kontur der jeweiligen benachbarten Knochen definiert. Um dieses Vorgehen zu verdeutlichen, wird hier eine Zeichnung aufgeführt. Verwendet wurde wieder das Programm Paint und das Präparat T516 frontal (siehe Abb. 11). Die verwendeten Punkte sind im Kapitel 3.2.2.1.6.3 Vermessungspunkte in der Norma frontalis und die entsprechenden Strecken im Kapitel 3.2.2.1.6.5 Vermessungsstrecken in der Norma frontalis definiert.

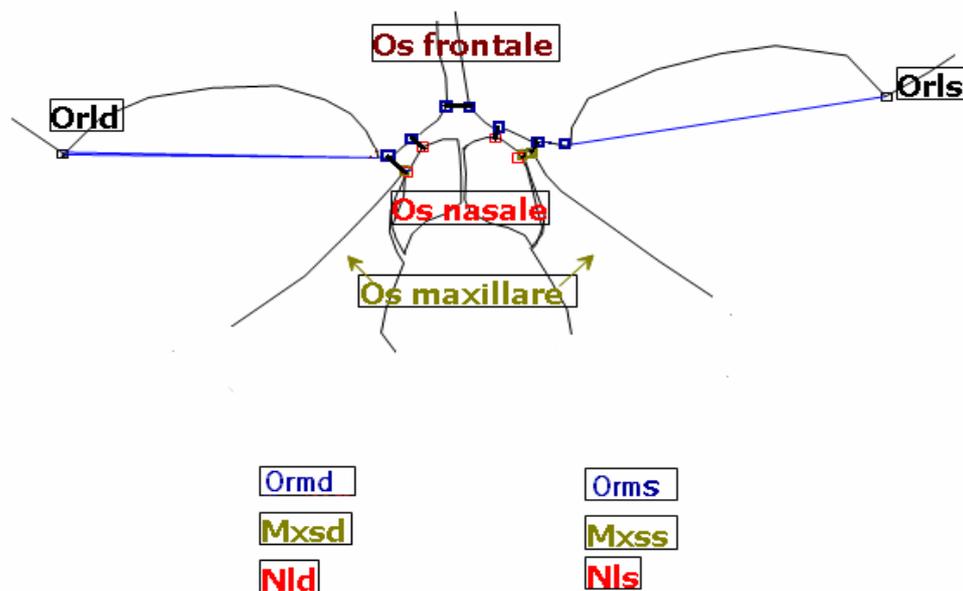


Abb. 11: Dargestellt wird hier eine Durchzeichnung der Kurvaturen des Os frontale, Os nasale und der Maxilla des Präparates T516 frontal. Die Punkte Ormd, Orms, Mxsd, Mxss und Nld, Nls sind mit jeweils unterschiedlichen Farben eingezeichnet. Dem Bild ist zu entnehmen, dass für die Punkte Ormd, Orms je Seite drei verschiedene Positionen, für den Punkt Mxss zwei und für die Punkte Nld, Nls je Seite ebenfalls zwei verschiedene Positionen entlang der Kurvaturen der Knochen für die minimale Abstandsmessung zum jeweils benachbarten Knochen nötig sind. Die verwendeten Punkte sind im Kapitel 3.2.2.1.6.3 Vermessungspunkte in der Norma frontalis und die entsprechenden Strecken im Kapitel 3.2.2.1.6.5 Vermessungsstrecken in der Norma frontalis definiert.

Dieses Vorgehen ermöglicht es, ohne eine übermäßig große Anzahl neu definierter Punkte die tatsächlich kürzesten Strecken zu erfassen und damit eine korrekte Abstandsvermessung zu gewährleisten.

Im weiter fortgeschrittenen Alter der Föten fusionieren die Knochen zunehmend und bilden die Suturen. Es hat sich herausgestellt, dass die Suturen eine Eigenbreite von 0,2 bis maximal 1 mm haben. Um Verwechslungen bei Abstandsvermessungen auszuschließen, werden die entsprechenden Knochenbereiche als fusioniert betrachtet. Der Zeitpunkt der Suturenbildung wird festgehalten und der Messwert null in den Tabellen eingetragen (siehe Kapitel 4.5 Tabellarische Zusammenfassungen der Werte der Vermessungen).

3.2.2.1.5 Modifikationen bisher beschriebener Verfahren zu den Winkelvermessungen

Für die Winkelvermessungen in der Norma lateralis wird der neue Basispunkt Sqz' verwendet. Entsprechende Winkelvermessungen sind wie die entsprechenden Längenvermessungen als Modifikationen zur herkömmlichen Kephalometrie nach Broadbent (1937) zu betrachten.

In der Norma frontalis werden zusätzlich Winkelvermessungen einzelner Knochen durchgeführt. Im Kapitel 3.2.2.1.6.5.4 Winkelvermessungen werden sie dann näher erläutert.

3.2.2.1.6 Definitionen der Vermessungspunkte und der Vermessungsstrecken

3.2.2.1.6.1 Generelle Regeln zu den Bezeichnungen der Messpunkte

Um die große Anzahl verwendeter Punkte bei den Vermessungen besser einordnen und unterscheiden zu können, werden einige generelle Regeln für die Punktbezeichnungen vorangestellt:

Der Anfangsbuchstabe des zu vermessenden Knochens wird in Großschrift bei der Punktbezeichnung angegeben. Sollte diese Bezeichnung Verwechslungen möglich machen, wie es bei der Maxilla und der Mandibula der Fall ist, wird zusätzlich ein weiterer Buchstabe

in der Punktbezeichnung mit aufgeführt. In diesem Fall wäre es dann Mx für die Maxilla und Md für die Mandibula. Als Nächstes wird die Positionsbezeichnung angegeben. Diese werden durch Kleinbuchstaben abgekürzt: s = superior, i = inferior, a = anterior, p = posterior, m = medial, l = lateral und z = zentral. Wenn ein Teil eines Knochens eine eigene Bezeichnung hat, wie das Os temporale, Pars orbitalis, dann wird dieser nicht mit der Abkürzung des Hauptknochens, sondern mit der des Knochenunterteils, also mit Or, benannt. Bei den Frontaufnahmen ist zusätzlich eine Differenzierung der rechten zur linken Seite nötig. Die Seitenbezeichnung wird ganz am Ende der Punktbezeichnung aufgeführt und mit d für dexter und s für sinister abgekürzt. Diese endständige Benennung der Seite macht trotz gleicher Schreibweise eine Verwechslung mit den Ortsangaben unmöglich. So wird z. B. s für superior niemals am Ende der Punktbezeichnungen in der Norma frontalis stehen und ist daher nicht mit s für sinister zu verwechseln.

Bekannte Punkte aus der Kephalometrie werden, wenn möglich, nicht neu benannt. Aufgrund der großen Anzahl der Referenzmarkierungen ist es jedoch zuweilen angebracht, eine andere Bezeichnung der Lokalisationen vorzunehmen. (z. B.: Mdid, -s = Mandibula, inferior, dexter bzw. sinister, statt Mad, -s = Mandibula, dexter bzw. sinister; wie von Berndt 1997 aufgeführt).

3.2.2.1.6.2 Vermessungspunkte in der Norma lateralis

3.2.2.1.6.2.1 Gemeinsame Messpunkte des Os frontale und des Os parietale

FrPr1/2, Frp, Pra

Die Mittelpunkte der Strecken Frs-Prs und Frpi-Prai (Definitionen der Punkte: siehe unten, Definitionen der Strecken: siehe Kapitel 3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis) werden miteinander verbunden. Die Mitte dieser Strecke bildet den Punkt FrPr1/2.

Es wird nun eine parallele Tangente zur Strecke Frs-Prs an die Strecke Frpi-Prai gelegt. Dabei entsteht ein Winkel zwischen diesen beiden Tangenten. Als Nächstes wird eine dritte Tangente, welche jeweils den gleichen Winkel zu diesen beiden Tangenten hat und FrPr-Ebene Bezeichnung wird, an den Punkt FrPr1/2 gelegt.

Bei einigen Präparaten ist kein Abstand zwischen den Punkten Prai und Frpi mehr vorhanden.

Da bei diesen Präparaten kein gemittelter Winkel zum Erhalt der FrPr-Ebene genommen werden kann, wird dort stattdessen eine Parallele zur Strecke Frs-Prs verwendet. Mithilfe der FrPr-Ebene lassen sich die Punkte Frp und Pra eintragen. Zum besseren Verständnis der verwendeten Methode wird eine Zeichnung an einem fiktiven Präparat mit der Blickrichtung nach rechts herangezogen. Verwendet wurde dafür das Programm Paint von Microsoft (Hauptsitz in Seattle), welches seit Windows 95 zum Zubehör von Windows gehört.

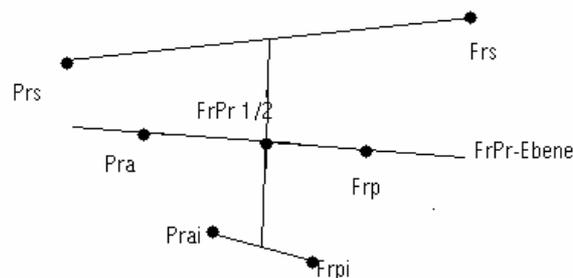


Abb. 12: Zeichnung an einem fiktiven Präparat mit der Blickrichtung nach rechts zur Verdeutlichung des Vorgehens bei der Ermittlung der Punkte Frp und Pra

Mit dieser Methode ist es möglich, sowohl für die Vermessung der Breite des Os frontale und des Os parietale als auch für die Vermessung des Abstandes zwischen den beiden Knochen auf mittlerer Höhe dieselben Messpunkte (Frp und Pra) zu verwenden.

3.2.2.1.6.2.2 Os frontale

Frs

Os frontale, superior: der am weitesten kranial gelegene Punkt des Os frontale.

Frpi

Os frontale, posterior, inferior: der am weitesten posterior, inferior gelegene Punkt des Os frontale.

Fra

Os frontale, anterior: der am weitesten anterior gelegene Punkt des Os frontale.

Orp

Os frontale, Pars orbitalis, posterior: der am weitesten posterior gelegene Punkt des Os frontale, Pars orbitalis.

Ora

Os frontale, Pars orbitalis, anterior: der am weitesten anterior gelegene Punkt des Os frontale, Pars orbitalis.

Orz

Os frontale, Pars orbitalis, zentral: der tiefste Punkt der konkaven Wölbung der Orbita.

Orz'

Vom Punkt Orz aus wird ein Lot auf die Verbindungslinie von Ora und Orp gefällt. Der Schnittpunkt dieser beiden Strecken bildet den Punkt Orz'.

3.2.2.1.6.2.3 Os parietale

Prs

Os parietale, superior: der am weitesten superior gelegene Punkt des Os parietale.

Prpi

Os parietale, posterior, inferior: der am weitesten posterior, inferior gelegene Punkt des Os parietale.

Prai

Os parietale, anterior, inferior: der am weitesten, anterior, inferior gelegene Punkt des Os parietale.

Pri

Os parietale, inferior: der am weitesten inferior gelegene Punkt des Os parietale.

Prp

Os parietale, posterior: der am weitesten posterior gelegene Punkt des Os parietale.

3.2.2.1.6.2.4 Os nasale

N

Nasion (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): der am weitesten kranial gelegene Punkt des Os nasale.

Tn

Tip of nasal bone (übernommener Punkt, Berndt 1997): Der am weitesten kaudal gelegene Punkt des Os nasale.

3.2.2.1.6.2.5 Os zygomaticum

ZArp

Os zygomaticum, Arcus zygomaticus, posterior: Der am weitesten posterior gelegene Punkt des Os zygomaticum. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Zs

Os zygomaticum, superior: der am weitesten superior gelegene Punkt des Os zygomaticum. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Za

Os zygomaticum, anterior: der am weitesten anterior gelegene Punkt des Os zygomaticum. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

3.2.2.1.6.2.6 Maxilla

Mxs

Maxilla, superior: der am weitesten superior gelegene Punkt der Maxilla.

Mxi

Maxilla, inferior: der am weitesten inferior gelegene Punkt der Maxilla.

Der Punkt Mxi ist ein konstruierter Punkt und entsteht, indem man vom Punkt Mxs in einem rechten Winkel zur Nasallinie eine Linie bis zum tiefsten Punkt der Maxilla zieht. Falls dieser nicht auf der gezogenen Linie liegt, wird eine parallele Tangente zur Nasallinie am tatsächlich tiefsten Punkt gelegt. An der Stelle, an der diese parallele Tangente die vom Punkt Mxs im rechten Winkel zur Nasallinie gezogene Linie berührt, befindet sich der Punkt Mxi.

Spa

Spina nasalis, anterior (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): der am weitesten anterior gelegene Punkt der Maxilla.

Spp

Spina nasalis, posterior (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): der am weitesten posterior gelegene Punkt des Os palatinum.

Er ist der am weitesten distal gelegene Punkt des knöchernen Nasenbodens und bildet bei weiter entwickelten Föten und postnatal einen Schnittpunkt zwischen dem Nasenboden und dem kaudalen Ausläufer der Fossa pterygopalatina (Hoffmann-Axthelm 1995). In frühen fetalen Stadien lässt sich die distale knöcherne Begrenzung des Nasenbodens direkt erkennen.

Sp'

Die Strecke N-Gn (Definitionen: siehe unten) bildet einen Schnittpunkt mit der Nasallinie bzw. Spinaebene, welcher als Sp' bezeichnet wird (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988).

3.2.2.1.6.2.7 Mandibula

Mdas

Mandibula, anterior, superior: der am weitesten anterior, superior gelegene Punkt der Mandibula.

Pog

Pogonion (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): der am weitesten ventral gelegene Punkt des knöchernen Kinns der Mandibula.

Me

Menton (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): der am weitesten kaudal gelegene Punkt der Unterkiefersymphyse.

Gn

Gnathion (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): der am weitesten kaudal gelegene Punkt der Unterkiefersymphyse. Zur genauen Positionierung wird eine Linie von Me zu Pog gezogen und ein Lot von dieser Linie auf die äußerste Kinnkurvatur gefällt, wo dann Gnathion lokalisiert ist.

Mdps

Mandibula, posterior, superior: der am weitesten posterior, superior gelegene Punkt der Mandibula.

Er liegt im Bereich des dorsalen aufsteigenden Astes und nicht in der Mediansagittalebene. Der Punkt Mdps wird bei einem späten Entwicklungsstand zum Punkt Ar (Ar = Articulare, ein übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988). Dieser ist definitionsgemäß ein Schnittpunkt zwischen dem hinteren Rand des Ramus ascendens des Unterkiefers und dem äußeren Rand der Schädelbasis (Hasund 1973, Ricketts 1988). Da diese Überschneidung bei den verwendeten Embryonen und jungen Föten noch nicht vorliegt, wird der am weitesten posterior und superior gelegene Punkt der Mandibula direkt ermittelt und entsprechend nach der Lokalisation bezeichnet.

Go

Gonion (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): ein konstruierter Punkt. Man legt zunächst eine Tangente an den Unterrand der Mandibula, die entlang der unteren Kurvatur des Corpus mandibulae und anterior durch den Punkt Me verläuft. Die Linie durch diese beiden Punkte wird auch Mandibularebene bezeichnet. Die zweite Tangente wird an den Hinterrand des aufsteigenden Astes der Mandibula gelegt und verläuft durch den Punkt Mdps. Die Überschneidung dieser beiden Tangenten bildet den Punkt Go (Hasund 1973, Ricketts 1988). Er liegt außerhalb der knöchernen Mandibula.

vPUK

vPUK ist der vordere Bezugspunkt zur Bestimmung der Unterkieferlänge (nach A. M. Schwarz). Es wird ein Lot vom Punkt Pog auf die Mandibularebene gefällt. Die Schnittstelle

mit der Mandibularebene bildet diesen Punkt (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988).

3.2.2.1.6.2.8 Atlas

Aa

Atlas, Arcus, anterior (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten anterior gelegenen Punkt des Atlas.

Aps

Atlas, posterior, superior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten posterior, superior gelegenen Punkt des Atlas.

3.2.2.1.6.2.9 Os occipitale

Ocp

Os occipitale, posterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten posterior gelegenen Punkt des Os occipitale.

Oci

Os occipitale, inferior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten inferior gelegenen Punkt des Os occipitale.

Oca

Os occipitale, anterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten anterior gelegenen Punkt des Os occipitale.

Ocs

Os occipitale, superior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten superior gelegenen Punkt des Os occipitale.

3.2.2.1.6.2.10 Os temporale

TAra

Os temporale, Arcus zygomaticus, anterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten anterior gelegenen Punkt des Os temporale, Processus zygomaticus. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Sqz

Os temporale, Pars squamosa, zentral: Dieser Punkt bezeichnet den zentralen Punkt des Os temporale, Pars squamosa. Er liegt im Bereich, wo sich die Gleitbahnen der Knochen schneiden (Blehschmidt 1960). Der Punkt Sqz befindet sich außerhalb der Mediansagittalebene.

Sqz'

Die Lokalisationen dieses Punktes wurde in Kapitel 3.2.2.1.1 Voruntersuchung zur Definition eines lagestabilen Referenzpunktes oberhalb des Viscerocraniums besprochen.

Sqp

Os temporale, Pars squamosa, posterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten posterior gelegenen Punkt des Os temporale, Pars squamosa. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Sqs

Os temporale, Pars squamosa, superior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten superior gelegenen Punkt des Os temporale, Pars squamosa. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Sqa

Os temporale, Pars squamosa, anterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten anterior gelegenen Punkt des Os temporale, Pars squamosa. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Pta

Os temporale, Pars petrosa, anterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten anterior gelegenen Punkt des Os temporale, Pars petrosa. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Ptp

Os temporale, Pars petrosa, posterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten posterior gelegenen Punkt des Os temporale, Pars petrosa. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

3.2.2.1.6.2.11 Os sphenoidale

Sda

Os sphenoidale, anterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten anterior gelegenen Punkt des Os sphenoidale. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Sdp

Os sphenoidale, posterior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten posterior gelegenen Punkt des Os sphenoidale. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Sdps

Os sphenoidale, posterior, superior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten posterior, superior gelegenen Punkt des Os sphenoidale. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Sdas

Os sphenoidale, anterior, superior: Dieser Punkt bezeichnet den am weitesten anterior, superior gelegenen Punkt des Os sphenoidale. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

Sds

Os sphenoidale, superior: Bei jüngeren Föten verläuft das Os sphenoidale nach kranial spitz zu, sodass die beiden Punkte Sdps und Sdas nicht zu lokalisieren sind. Bei diesen Präparaten wird stattdessen der Punkt Sds verwendet. Er liegt außerhalb der Mediansagittalebene.

3.2.2.1.6.3 Vermessungspunkte in der Norma frontalis

Cs

Cranium, superior (übernommener Punkt, Hasund 1973, Ricketts 1988): Es wird eine Tangente im 90°-Winkel zur Mediansagittalebene an den am weitesten superior gelegenen Punkten der Ossa parietalia gelegt. Diese bilden gleichzeitig auch die kranialsten Punkte des Schädels. Der Schnittpunkt mit der Mediansagittalebene bildet den Punkt Cs.

3.2.2.1.6.3.1 Os frontale

Fr_sd bzw. Fr_ss

Os frontale, superior, dexter bzw. sinister: die am weitesten superior gelegenen Punkte der rechten und linken Hälfte des Os frontale. Es wird eine Tangente im 90°-Winkel zur Mediansagittalebene kranial an den Ossa frontalia gelegt, um die genaue Position dieser beiden Punkte zu bestimmen.

FrM

Os frontale, median. Die Verbindungslinie zwischen den Punkten Fr_sd und Fr_ss bildet einen Schnittpunkt mit der Mediansagittalebene. Dort liegt der Punkt FrM. Um median von medial unterscheiden zu können, wird median mit einem Großbuchstaben abgekürzt.

FrM $\frac{1}{2}$

Os frontale, median $\frac{1}{2}$: Dieser Punkt liegt auf der Mediansagittalebene, welcher auf halber Strecke vom Punkt FrM zum Schnittpunkt der Verbindungslinie Or_md-Or_ms (Definition: siehe unten) mit der Mediansagittalebene liegt.

Fr_md bzw. Fr_ms

Os frontale, medial, dexter bzw. sinister. Es wird auf dem Punkt FrM $\frac{1}{2}$ eine im 90°-Winkel zur Mediansagittalebene gezogene Tangente gelegt. Der Schnittpunkt dieser Tangente mit den Innenkonturen der beiden Hälften des Os frontale bildet die Punkte Fr_md und Fr_ms.

Fr_ld bzw. Fr_ls

Os frontale, lateral, dexter bzw. sinister. Es wird eine parallele Tangente zur Mediansagittalebene an den lateralen Außenkonturen der Ossa frontalia gelegt. Die Schnittstellen mit den Knochen bilden die Punkte Frld und Frls.

Orld bzw. Orls

Os frontale, Pars orbitalis, lateral, dexter bzw. sinister: die am weitesten lateral gelegenen Punkte der beiden Orbitahälften.

Ormd bzw. Orms

Os frontale, Pars orbitalis, medial, dexter bzw. sinister: die am weitesten medial gelegenen Punkte der Orbitae.

Ormd' bzw. Orms'

Diese beiden Punkte unterscheiden sich von den Punkten Ormd und Orms dadurch, dass sie genau definierte Fixpunkte sind. Sie fallen aus den allgemeingültigen Regeln der Abstandsvermessung, wie in Kapitel 3.2.2.1.4 Voruntersuchungen zur Abstandsvermessung benachbarter Knochen besprochen, heraus. Mit ihnen sind die medial lokalisierten spitz zulaufenden Regionen der konkaven Orbitae gemeint.

Orzd bzw. Orzs

Os frontale, Pars orbitalis, zentral, dexter bzw. sinister: die tiefsten Punkte der konkaven Wölbungen der Orbitae.

Orzd' bzw. Orzs'

Es wird ein Lot von den Punkten Orzd und Orzs aus auf die Strecken Orld-Ormd und Orls-Orms gefällt (Definitionen: siehe 3.2.2.1.6.5 Vermessungsstrecken in der Norma frontalis). Die Schnittpunkte werden als Orzd' und Orzs' bezeichnet.

3.2.2.1.6.3.2 Os parietale

Prd bzw. Prs

Os parietale, dexter bzw. sinister: Es werden parallele Tangenten zur Mediansagittalebene an den lateralen Knochenkonturen der Ossa parietalia gelegt. Die äußersten Schnittstellen mit den Knochen bilden die Punkte Prd und Prs.

3.2.2.1.6.3.3 Os nasale

Nmd bzw. Nms

Os nasale, medial, dexter bzw. sinister: die am weitesten medial gelegenen Punkte der paarig angelegten Hälften des Os nasale.

Nld bzw. Nls

Os nasale, lateral, dexter bzw. sinister: die am weitesten lateral gelegenen Punkte der Ossa nasalia.

Sepd bzw. Seps

Septum nasale, dexter bzw. sinister. Das sind zwei konstruierte Punkte zur Beschreibung der Breite des Nasenseptums. Von der breitesten Stelle des Nasenseptums aus wird rechts und links ein Lot auf die Strecke Zid-Zis gefällt (Definition der Punkte Zid und Zis: siehe 3.2.2.1.6.3.4 Os zygomaticum; die Strecke Zid-Zis ist eine Hilfstangente, wird hier nicht vermessen und daher nicht gesondert definiert). Dort sind die Punkte Sepd und Seps lokalisiert (übernommene Punkte, Berndt 1997).

Apd bzw. Aps

Apertura piriformis, dexter bzw. sinister. Zwei konstruierte Punkte zur Beschreibung der Breite der Apertura piriformis. Von der breitesten Stelle der lateralen Begrenzung der rechten und linken Apertura piriformis wird ein Lot auf die Strecke Zid-Zis gefällt. Dort sind die Punkte Apd und Aps lokalisiert (übernommene Punkte, Berndt 1997).

3.2.2.1.6.3.4 Os zygomaticum

Zsd bzw. Zss

Os zygomaticum, superior, dexter bzw. sinister: die am weitesten superior gelegenen Punkte des rechten und linken Os zygomaticum.

Zld bzw. Zls

Os zygomaticum, lateral, dexter bzw. sinister: die am weitesten lateral gelegenen Punkte der Ossa zygomatica.

Zmd bzw. Zms

Os zygomaticum, medial, dexter bzw. sinister: die am weitesten medial gelegenen Punkte der Ossa zygomatica.

Zid bzw. Zis

Os zygomaticum, inferior, dexter bzw. sinister: die am weitesten inferior gelegenen Punkte der Ossa zygomatica.

ZMxzd bzw. ZMxzs

Os zygomaticum, Maxilla, zentral, dexter bzw. sinister: die tiefsten Punkte der gemeinsamen Wölbungen der Ossa zygomatica und der Maxillae.

ZMxzd` bzw. ZMxzs`

Es wird ein Lot von den Punkten ZMxzd bzw. ZMxzs aus auf die Strecken Zsd-Mxsd bzw. Zss-Mxss gefällt (Definition: siehe 3.2.2.1.6.5 Vermessungsstrecken in der Norma frontalis). Die Schnittstellen bilden jeweils die Punkte ZMxzd` bzw. ZMxzs`.

3.2.2.1.6.3.5 Maxilla

Mxsd bzw. Mxss

Maxilla, superior, dexter bzw. sinister: die am weitesten superior gelegenen Punkte der rechten und linken Maxilla.

Mxld bzw. Mxls

Maxilla, lateral, dexter bzw. sinister: die am weitesten lateral gelegenen Punkte der Maxillae.

Mxmd bzw. Mxms

Maxilla, medial, dexter bzw. sinister: die am weitesten medial gelegenen Punkte der Maxillae.

3.2.2.1.6.3.6 Mandibula

Mdsd bzw. Mdss

Mandibula, superior, dexter bzw. sinister: die am weitesten superior gelegenen Punkte der beiden Mandibularhälften.

Mds

Mandibula, superior: Der Schnittpunkt der Verbindungslinie Mdsd-Mdss mit der Mediansagittalebene bildet den Punkt Mds.

Cimd bzw. Cims

Mandibula, Processus coronoideus, medial, dexter bzw. sinister: die am weitesten medial gelegenen Punkte des jeweils rechten und linken Processus coronoideus.

Mdid bzw. Mdis

Mandibula, inferior, dexter bzw. sinister: die am weitesten kaudal gelegenen Punkte der Mandibulae. Eine Tangente im rechten Winkel zur Mediansagittalebene dient zur genauen Positionierung dieser beiden Punkte.

Mdi

Mandibula, inferior: Mdid und Mdis sind die am weitesten kaudal gelegenen Punkte in der Norma frontalis. An ihnen wird eine Tangente im 90°-Winkel zur Mediansagittalebene gelegt. Den Schnittpunkt mit der Mediansagittalebene bildet der Punkt Mdi, der den tiefsten Punkt der Mandibula und gleichzeitig auch des gesamten Schädels in der Norma frontalis darstellt.

Mdsmd bzw. Mdsms

Mandibula, superior, medial, dexter bzw. sinister: die am weitesten kranial gelegenen, an die Mediansagittalebene angrenzenden Punkte des sich entwickelnden Pars alveolaris der Mandibula. Eine Tangente im rechten Winkel zur Mediansagittalebene dient zur Findung dieser beiden Punkte.

Mdzd bzw. Mdzs

Mandibula, zentral, dexter bzw. sinister: die tiefsten Punkte der inneren Wölbungen der Mandibularspangen.

Mdzd` bzw. Mdzs`

Es wird ein Lot von Mdzd bzw. Mdzs auf die Strecke Cimd-Mdsmd bzw. Cims-Mdsms gefällt (Definition: siehe 3.2.2.1.6.5 Vermessungsstrecken in der Norma frontalis). Die Schnittstellen bilden die Punkte Mdzd` bzw. Mdzs`.

Mdz

Mandibula, zentral: Es wird vom Punkt Mdzd zum Punkt Mdzs eine Linie gezogen, den Schnittpunkt mit der Mediansagittalebene bildet der Punkt Mdz.

3.2.2.1.6.4 Vermessungsstrecken in der Norma lateralis

3.2.2.1.6.4.1 Längenvermessungen

Ocp-Fra

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Schädels vom am weitesten dorsal gelegenen Punkt des Schädels aus zum kranialen Kopfdrittel.

Ocp-Spa

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Schädels vom am weitesten dorsal gelegenen Punkt des Schädels aus zum medialen Kopfdrittel.

Ocp-Gn

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Schädels vom am weitesten dorsal gelegenen Punkt des Schädels aus zum kaudalen Kopfdrittel.

Sqz'-N

Ausdruck für die sagittale Ausdehnung des Obergesichtes vom Basispunkt Sqz' aus zur Nasenwurzel.

Sqz'-Spa

Ausdruck für die sagittale Ausdehnung des Mittelgesichtes vom Basispunkt Sqz' aus zur am weitesten anterior gelegenen Begrenzung der Maxilla.

Sqz'-Gn

Ausdruck für die diagonale Ausdehnung des Gesichtes vom Basispunkt Sqz' aus zum Unterkiefer.

Sqz'-Ocp

Ausdruck für die sagittale Ausdehnung des mittleren Kopfdrittels nach dorsal vom Basispunkt Sqz' aus zum am weitesten dorsal gelegenen Punkt des Schädels.

Sqz'-Go

Ausdruck für die posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung.

N-Gn

Ausdruck für die anteriore, vertikale Gesichtsausdehnung (übernommene Strecke, Hasund 1973, Ricketts 1988).

N-Sp'

Ausdruck für die kraniale, anteriore, vertikale Gesichtsausdehnung (übernommene Strecke, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Sp'-Gn

Ausdruck für die kaudale, anteriore, vertikale Gesichtsausdehnung (übernommene Strecke, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Fra-Prp

Ausdruck für die maximale gemeinsame sagittale Ausdehnung des Os frontale und des Os parietale.

3.2.2.1.6.4.2 Größenvermessungen einzelner Knochen

Spa-Spp (NL, Spinaebene)

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Oberkiefers. Durch die Punkte Spa-Spp verläuft die Nasallinie (NL), welche auch als Spinaebene bezeichnet wird (übernommene Strecke, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Mxs-Mxi

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung der Maxilla.

vPUK-Go (ML)

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Corpus mandibulae nach A. M. Schwarz. Durch diese Punkte verläuft die Mandibularlinie (ML) (übernommene Strecke, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Mdas-vPUK'

Ausdruck für die vertikale Ausdehnung des knöchernen Kinns. Es wird ein Lot vom Punkt Mdas zur Tangente, die durch Me-Go verläuft, gefällt. Bei der Schneidung mit dieser Tangente entsteht ein neuer Punkt, der zumeist auf dem Punkt vPUK oder ganz in der Nähe liegt. Daher erhält dieser neue Punkt die Bezeichnung vPUK'.

Go-Mdps

Ausdruck der distalen, vertikalen Ausdehnung des Ramus ascendens der Mandibula.

Fra-Frp

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Os frontale.

Frs-Ora

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung des Os frontale.

Pra-Prp

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Os parietale.

Prs-Pri

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung des Os parietale.

N-Tn

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung des Os nasale (übernommene Strecke, Hasund 1973, Ricketts 1988).

ZArp-Za

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Os zygomaticum.

Zs-ZArp

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung des Os zygomaticum.

Ocs-Oci

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung des Os occipitale.

Aa-Aps

Ausdruck für die größte sagittale Ausdehnung des Atlas (übernommene Strecke, Berndt 1997).

Sqz-Sqa, Sqz-Sqs, Sqz-Sqp

Ausdruck für die Ausdehnung des Os temporale, Pars squamosa vom zentralen Punkt Sqz aus nach anterior, superior und posterior.

Pta-Ptp

Ausdruck für die maximale sagittale Ausdehnung des Os temporale, Pars petrosa.

3.2.2.9.3 Abstandsvermessungen zwischen den Knochen

Tn-Spa

Ausdruck für die vertikale Ausdehnung der Apertura piriformis (übernommene Strecke, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Fra-N

Ausdruck für die Verschiebung der größten sagittalen Ausdehnung nach kranial (übernommene Strecke, Berndt 1997).

Frpi-Prai

Ausdruck der kleinsten kaudal gelegenen Distanz zwischen dem Os frontale und dem Os parietale.

Frp-Pra

Ausdruck der Distanz zwischen dem Os frontale und dem Os parietale entlang der FrPr-Ebene.

Orp-Sds bzw. Orp-Sdsa

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os frontale und dem Os sphenoidale.

Prai-Sds bzw. Prai-Sdsp

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os parietale und dem Os sphenoidale.

Orp-Zs

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os frontale, Pars orbitalis und dem Os zygomaticum.

Pri-Sqs

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os parietale und dem Os temporale, Pars squamosa.

Prpi-Ocs

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os parietale und dem Os occipitale.

Go-Aa

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Gonion und dem Atlas (übernommene Strecke, Berndt 1997).

Aps-Oci

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Atlas und dem Os occipitale.

Oca-Sqp

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os occipitale und dem Os temporale, Pars squamosa.

Oca-Ptp

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os occipitale und dem Os temporale, Pars petrosa.

Sqp-Pta

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os temporale, Pars squamosa und dem Os temporale, Pars petrosa.

TAra-ZArp

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os temporale, Arcus zygomaticus und dem Os zygomaticum, Arcus zygomaticus.

Sqa-Sdp

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen dem Os temporale, Pars squamosa und dem Os sphenoidale.

3.2.2.1.6.4.4 Winkelvermessungen

Bei den Winkelbezeichnungen wird der Punkt, von dem die beiden Strecken zur Winkelvermessung ausgehen, vorangestellt, gefolgt von den beiden anderen Punkten.

N-Sqz'-Spa

Winkelausdruck der sagittalen Position des Oberkiefers zur Strecke Sqz'-N.

N-Sqz'-Gn

Winkelausdruck der sagittalen Position des Unterkiefers zur Strecke Sqz'-N.

N-Spa-Gn

Winkelausdruck der sagittalen Lagebezeichnung der Kiefer zueinander.

N-Go-Gn

Ausdruck der Neigung und Länge des Corpus mandibulae.

ML-NL

Ausdruck der Lagebezeichnung des Oberkiefers zum Unterkiefer (übernommener Winkel, Hasund 1973, Ricketts 1988).

ML-Sqz'-N

Ausdruck der Neigung des Unterkiefers zur Strecke Sqz'-N.

NL-Sqz'-N

Ausdruck der Neigung des Oberkiefers zur Strecke Sqz'-N.

Go-Me-Mdps

Ausdruck des Unterkieferwinkels.

3.2.2.1.6.5 Vermessungsstrecken in der Norma frontalis

3.2.2.1.6.5.1 Längenvermessungen

Cs-Mdi

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung des Schädels.

Prd-Prs

Ausdruck für die maximale transversale Ausdehnung des Obergesichts.

Zld-Zls

Ausdruck für die maximale transversale Ausdehnung des Mittelgesichts.

Sol

Es wird eine Linie durch die Punkte Orzd und Orzs gezogen. Diese Linie heißt Sol und dient der Abgrenzung des oberen Drittels des Schädels zum mittleren (übernommene Tangente, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Cs-Sol

Der Abstand des Punktes Cs zur Linie Sol ist ein Ausdruck für die vertikale Ausdehnung des oberen Drittels des Schädels (übernommene Tangente, Hasund 1973, Ricketts 1988).

ZZL

Diese Linie geht durch die beiden Punkte Zid und Zis. Sie grenzt das Mittelgesicht vom unteren Gesichtsdrittel ab (übernommene Linie, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Sol-ZZL

Der Abstand der Linie Sol zur Linie ZZL ist ein Ausdruck für die vertikale Ausdehnung des mittleren Schädeldrittels (übernommene Tangente, Hasund 1973, Ricketts 1988).

SL

SL ist eine im rechten Winkel zur Mediansagittalebene und durch den Punkt Mdi verlaufende Tangente (übernommene Tangente, Hasund 1973, Ricketts 1988).

ZZL-SL

Der Abstand der Linie ZZL zur Linie SL ist ein Ausdruck für die vertikale Ausdehnung des unteren Schädelanteils (übernommene Tangente, Hasund 1973, Ricketts 1988).

Ormd'-Orms'

Ausdruck für den inneren Orbitaabstand durch die Fixpunkte Ormd' und Orms'.

Orld-Orls

Ausdruck für die größte transversale Ausdehnung der Orbita.

3.2.2.1.6.5.2 Größenvermessungen einzelner Knochen

Sepd-Seps

Ausdruck für die maximale transversale Ausdehnung des Nasenseptums (übernommene Strecke, Berndt 1997).

Apd-Aps

Ausdruck für die maximale transversale Ausdehnung der Nasenhöhle (übernommene Strecke, Berndt 1997).

Nld-Nls

Ausdruck für die maximale transversale Ausdehnung des Os nasale.

Zld-Zmd bzw. Zls-Zms

Ausdruck für die maximalen transversalen Ausdehnungen der Ossa zygomatica.

Zsd-Zid bzw. Zss-Zis

Ausdruck für die maximalen vertikalen Ausdehnungen der Ossa zygomatica.

Mxsd-Mxmd bzw. Mxss-Mxms

Ausdruck für die maximalen vertikalen Ausdehnungen der Maxillae.

Mxsd-Mxld bzw. Mxss-Mxls

Ausdruck für die maximalen diagonalen Ausdehnungen der Maxillae.

Mxld-Mxmd bzw. Mxls-Mxms

Ausdruck für die maximalen transversalen Ausdehnungen der Maxillae.

Mxld-Mxls

Ausdruck für die gesamte maximale transversale Ausdehnung der gesamten Maxilla.

Mds-Mdi

Ausdruck der maximalen vertikalen Ausdehnung der Mandibula entlang der Mediansagittalebene.

Mdsld-Mdsls

Ausdruck der maximalen transversalen Ausdehnung der Mandibula.

Mdzd-Mdzs

Ausdruck des größten Abstandes der inneren Krümmung der beiden Mandibularhälften

zueinander.

Mdzd-Mdz bzw. Mdzs-Mdz

Ausdruck der größten Abstände der inneren Kurvaturen der Mandibulae zur Mediansagittalebene.

Mdsmd-Mdid bzw. Mdsms-Mdis

Ausdruck für die maximale vertikale Ausdehnung des Kinns.

Mdsd-Mdid bzw. Mdss-Mdis

Ausdruck der maximalen Längen der Mandibulae.

Cimd-Mdsmd bzw. Cims-Mdsms

Ausdruck der Ausdehnungen der inneren Wölbungen der Mandibulae.

Frlid-Frls

Ausdruck für die gesamte transversale Ausdehnung des Os frontale.

Frlid-Frmd bzw. Frls-Frms

Ausdruck für die transversalen Ausdehnungen der Ossa frontalia.

Orld-Ormd bzw. Orls-Orms

Ausdruck der transversalen Ausdehnungen der Orbitae.

Frzd-Ormd bzw. Frss-Orms

Ausdruck für die maximalen diagonalen Ausdehnungen der Ossa frontalia nach medial.

Frzd-Orld bzw. Frss-Orls

Ausdruck für die maximalen diagonalen Ausdehnungen der Ossa frontalia nach lateral.

Orzd-Orzd` bzw. Orzs-Orzs`

Linearer Ausdruck der Ausprägungen der Wölbungen der Orbitae.

Zsd-Mxsd bzw. Zss-Mxss

Ausdruck der maximalen Distanzen der gemeinsamen Wölbungen der Ossa zygomatica und der Maxillae.

ZMxzd-ZMxzd' bzw. ZMxzs-ZMxzs'

Linearer Ausdruck der Ausprägungen der gemeinsamen Wölbungen der Ossa zygomatica und der Maxillae.

Mdzd-Mdzd' bzw. Mdzs-Mdzs'

Linearer Ausdruck der Ausprägungen der Wölbungen der inneren Kurvaturen der Mandibulae.

3.2.2.1.6.5.3 Abstandsvermessungen zwischen den Knochen

Frmd-Frms

Ausdruck der Distanz zwischen den Ossa frontalia entlang einer Linie durch den Punkt FrM1/2, die im 90°-Winkel zur Mediansagittalebene verläuft.

Ormd-Orms

Ausdruck für die kleinste Distanz der rechten zur linken Orbita.

Ormd-Mxsd bzw. Orms-Mxss

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen den Orbitae und den Maxillae.

Ormd-Nld bzw. Orms-Nls

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen den Orbitae und den Ossa nasalia.

Mxsd-Nld bzw. Mxss-Nls

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen den Maxillae und den Ossa nasalia.

Nmd-Nms

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen den beiden Hälften des Os Nasale.

Mxmd-Mxms

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen den Maxillae, welche kaudal lokalisiert ist.

Zid-Mxld bzw. Zis-Mxls

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen den Ossa zygomatica und den Maxillae.

Zld-Mdsld bzw. Zls-Mdsls

Ausdruck der kleinsten Distanz zwischen den Ossa zygomatica und den Mandibulae.

3.2.2.1.6.5.4 Winkelvermessungen

Bei diesen Winkelvermessungen werden dieselben Punkte wie bei den linearen Größenvermessungen der Knochen verwendet. Zur Unterscheidung der Punkte von den Winkeln erhalten sie das Vorzeichen: <.

Die Punkte der jeweiligen Knochen werden miteinander verbunden, sodass Drei- oder Vierecke entstehen. Es können nun die inneren Winkel dieser geometrischen Figuren genommen werden.

Diese Winkel erlauben eine Aussage über die bevorzugte Wachstumsrichtung der entsprechenden Knochen. Ein kleiner werdender Winkel deutet darauf hin, dass der entsprechende Knochen bevorzugt in die Richtung dieses Punktes wächst, wohingegen ein größer werdender Winkel einen Hinweis auf geringeres Wachstum in diese Richtung während der Entwicklung gibt. Bei eher gleich bleibendem Winkel lässt sich die Aussage treffen, dass die Knochen entsprechend gleichmäßig in alle Richtungen wachsen.

Durch die Größenvermessungen der Knochen kann ausgesagt werden, ob der jeweilige Knochen eher breiter oder höher wird, jedoch nicht, an welchem Ende vermehrt Knochen angebaut wird. Dies wird durch diese neuartigen Winkelvermessungen möglich.

<Ormd, <Orld, <Frzd bzw. <Orms, <Orls, <Frss

Die Punkte Ormd, Orld, Frzd der rechten Seite und Orms, Orls, Frss der linken Seite des Schädels werden jeweils miteinander verbunden. Es entstehen zwei Dreiecke, welche insgesamt sechs Innenwinkel haben.

<Zmd, <Zsd, <Zld, <Zid bzw. <Zms, <Zss, <Zls, <Zid

Die Punkte Zmd, Zsd, Zld, Zid und Zms, Zss, Zls, Zis werden jeweils miteinander verbunden. Es entstehen zwei Vierecke, welche insgesamt acht Innenwinkel haben.

<Mxmd, <Mxld, <Mxsd bzw. <Mxms, <Mxls, <Mxss

Die Punkte Mxmd, Mxld, Mxsd und Mxms, Mxls, Mxss werden jeweils miteinander verbunden. Es entstehen zwei Dreiecke, welche insgesamt sechs Innenwinkel haben.

<Mdi, <Mdsd, <Mdss

Die Punkte Mdi, Mdsd und Mdss werden miteinander verbunden und bilden zusammen ein Dreieck, welches drei Innenwinkel hat.

3.3 Limitierende Faktoren zu den Vermessungen

Bis zu 60 mm SSL sind die Knochenkonturen der Aufhellungspräparate schwer zu erkennen. Dies trifft für die Präparate T543, T237 und T101 zu (siehe 3.1.2 Aufhellungspräparate). Durch Farb-, Helligkeits- und Kontrastveränderungen (Vorgehen nach Jäger et al. 1989) der Fotografien der ersten drei Aufhellungspräparate konnten die Referenzpunkte dann meist doch positioniert werden. Das Präparat 111 T237 frontal musste danach ganz weggelassen werden, weil eine verifizierbare Positionierung der Punkte nicht möglich war. In der 6. bis 9. Schwangerschaftswoche, bis etwa 60 mm Scheitel-Steiß-Länge, bilden sich die meisten Knochen. Dies schränkt das Spektrum der Messdaten ein.

Die Vermessungen an den 3D-Rekonstruktionen werden hauptsächlich an der Mandibula und der Maxilla durchgeführt. Es liegen auch nur sieben Präparate der 3D-Rekonstruktionen vor. Um statistische Repräsentanz zu erlangen, ist jedoch eine größere Anzahl von Vermessungen nötig¹. Die geringe statistische Repräsentanz der 3D-Rekonstruktionen wird auf einem unteren Level von vier Vermessungen je Vermessungskomplex toleriert. Da oftmals sogar weniger als vier Vermessungen möglich sind und folglich nicht analysiert werden, verringert sich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Daten weiter. Die 3D-Rekonstruktionen sind lediglich ergänzendes Messmaterial zu den Embryonen und jungen Föten der

¹ Nach Rücksprache mit PD Dr. Dr. Hopfenmüller: Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Medizinischen Fakultät Charité – Campus Benjamin Franklin

Aufhellungspräparate. Die geringe statistische Repräsentanz weniger Daten kann folglich toleriert werden.

Einige Vermessungen in der Norma lateralis bei den Aufhellungspräparaten mussten weggelassen werden, da sie durch eine ungenaue Aufnahmeperspektive zu falschen Ergebnissen führen würden. Dies kommt bei den Präparaten: 146 T221 rechts, 147 T221 links, 134 T126 rechts (bei den Vermessungen: Ora-Orp und Zs-Mxs), 143 T516 rechts, 138 T482 rechts (bei den Vermessungen: Ora-Orp, Zs-Mxs, Ci-Mdas und vPuk-Go) und 139 T482 links (bei den Vermessungen: Sqz'-N, Frs-Ora und Pri-Prs) vor. An den entsprechenden Stellen der tabellarischen Auflistung der Vermessungen in Kapitel 4 werden keine Werte eingetragen und folglich nicht mitbewertet. Die hier in den Klammern angegebenen Strecken wurden oben erläutert.

Auch bei anderen Präparaten mussten einige Vermessungen ausgelassen werden. Das Os temporale, Pars petrosa ist bei den Präparaten 114 T101 links, 122 T163 rechts, 106 T225 links, 154 T485 rechts, 155 T485 links, 135 T126 links und 139 T482 links nicht zu erkennen. Die entsprechenden Vermessungen der Strecken Oca-Ptp (Os occipitale, anterior-Os temporale, Pars petrosa, posterior) und Sqp-Pta (Os temporale, Pars squamosa, posterior-Os temporale, Pars petrosa, anterior) können folglich nicht durchgeführt werden und nicht in die Bewertungen miteinfließen. In den Tabellen werden an diesen Positionen keine Werte eingetragen.

Im Kapitel 3.2.2.1.1 Voruntersuchung zur Definition eines lagestabilen Referenzpunktes oberhalb des Viscerocraniums wurde festgelegt, dass Vermessungen am neu ermittelten Basispunkt Sqz' am Aufhellungspräparat T482 nicht verifizierbar durchgeführt werden können. Diese werden hier daher ebenfalls weggelassen.

Insgesamt verringert sich das Spektrum der zur Verfügung stehenden Daten bei den Aufhellungspräparaten geringfügig, sodass die Ausfälle der Messwerte tolerierbar sind.

4 Befunde

Der in den Tabellen aufgeführte Determinationskoeffizient R^2 , auch Bestimmtheitsmaß genannt, ist bei der Darstellung der Konstanz der Werte wichtig. Definitionsgemäß ist R^2 ein Maß der Statistik für den Anteil der erklärten Varianz eines Zusammenhangs. Beträgt es für zwei Variablen X und Y $R^2 = 0,5$, dann heißt dies, dass die Hälfte (50 %) der Streuung von Y durch lineare Abhängigkeit von X erklärt werden kann (Müller et al. 2005).

Bei den Quotientendarstellungen wurde auf das Einzeichnen des Kurvenverlaufs verzichtet, da dort lediglich Informationen über den in Prozent angegebenen Wertebereich sowie über die Streubreite und die Entwicklungstendenz der Punkte, nicht aber über den genauen Kurvenverlauf für die Befundung von Belang sind.

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass die 3D-Rekonstruktionen als ergänzende Vermessungen zu den Embryonen und jungen Föten der Aufhellungspräparate fungieren. Die statistische Aussagekraft der Befunde ist als gering anzusehen.

4.1 Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen in der Norma lateralis

4.1.1 Längenvermessungen

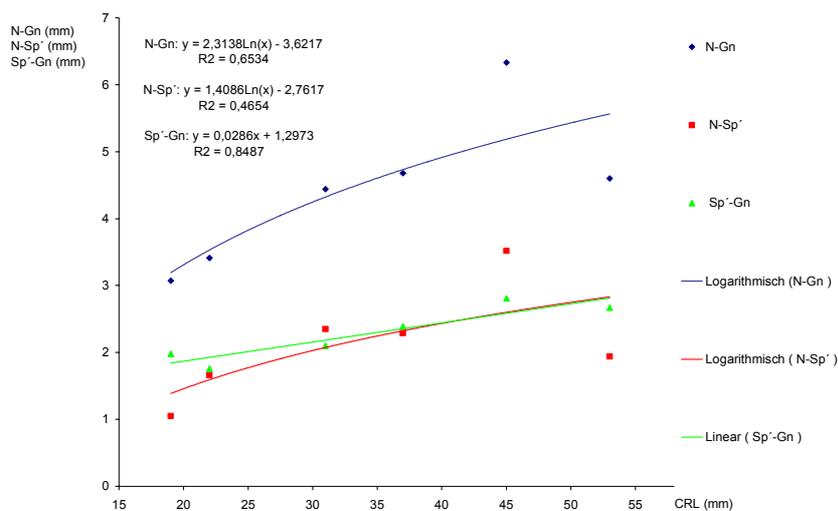


Abb. 13: Maximale vertikale Ausdehnung des anterioren Gesichtsanteils und deren kraniale und kaudale Teilstrecke in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge, auf Englisch crown-rump length (CRL)

Die maximale vertikale, anteriore Gesichtsausdehnung, ausgedrückt durch N-Gn (Nasion-Gnathion) sowie deren kraniale und kaudale Teilstrecken, N-Sp' (Sp' = Schnittpunkt von N-Gn mit der Nasallinie) und Sp'-Gn, werden hier wiedergegeben. Aus der Grafik kann man entnehmen, dass die Teilstrecken im Durchschnitt zu gleichen Teilen an N-Gn beteiligt sind. Ein genaueres Verhältnis gibt die Quotientendarstellung wieder (Abbildung 14).

Die Streuung von Sp'-Gn ist mit einem Determinationskoeffizienten von $R^2 = 0,84$ am geringsten ausgeprägt. Auch der lineare Verlauf dieser Strecke deutet auf ein konstantes Wachstumsverhalten hin.

Die durchschnittlichen Anstiegsraten aller Vermessungen sind ähnlich, was eine direkte Gegenüberstellung mit dem Determinationskoeffizienten ermöglicht. N-Gn und N-Sp' haben mit $R^2 = 0,65$ und $0,46$ eine wesentlich stärkere Streuung der Punkte als Sp'-Gn. Ein konstantes Wachstumsverhalten kann bei der Gesamtstrecke und bei der kranialen Teilstrecke also nicht angenommen werden. Des Weiteren haben sie eine ähnlich aussehende Verteilung der Punkte. Entsprechend verlaufen auch deren logarithmische Kurven vergleichbar.

Die Gesamtstrecke N-Gn wird von den beiden Teilstrecken beeinflusst. Es kann hier also gesagt werden, dass die starke Streuung der Punkte von N-Gn hauptsächlich durch stark variierende Werte der kranialen Teilstrecke N-Sp' zustande kommt.

Die Anstiegsraten sind gering ausgeprägt. N-Sp' nimmt von 1 mm auf etwa 2,5 mm, Sp'-Gn von 2 mm auf 2,5 mm und die Gesamtstrecke N-Gn von 3 mm auf 6 mm zu.

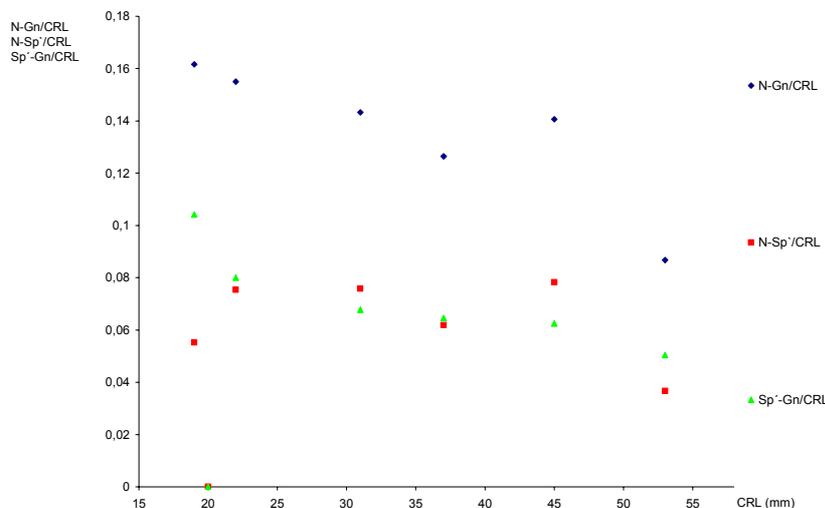


Abb. 14: Quotientendarstellung der vertikalen Ausdehnung des anterioren Gesichtsanteils und deren Teilstrecken zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Durchschnitt für die Quotientendarstellungen der kranialen (N-Sp') und kaudalen (Sp'-Gn), anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnungen zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) liegt bei 7% der SSL. Die Werte dieser beiden Vermessungen nehmen über die beobachtete Entwicklungsperiode geringfügig ab. Da die Gesamtstrecke N-Gn ein Produkt dieser Teilstrecken ist, resultiert aus der Quotientendarstellung N-Gn/CRL eine noch stärkere

Abnahme der Werte von 0,16 auf 0,1. Diese deutliche Veränderung weist darauf hin, dass die anteriore, vertikale Ausdehnung des Gesichts in dieser frühen Entwicklungsphase weniger stark an Länge zunimmt als die SSL.

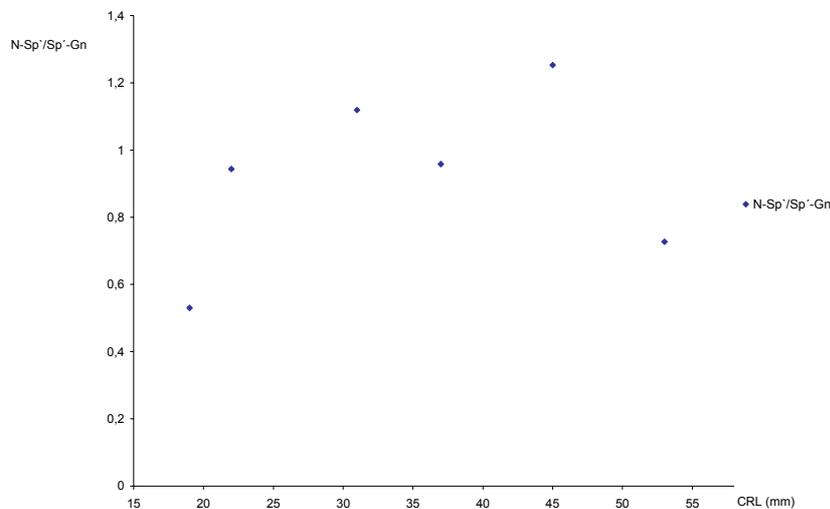


Abb. 15: Quotientendarstellung der kranialen zur kaudalen Teilstrecke der anterioren, vertikalen Ausdehnung des Gesichts in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Bildet man einen Quotienten aus den kranialen (N-Sp') und kaudalen (Sp'-Gn), anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung, so ist eine sehr breite Streuung der Werte zu erkennen. Sie liegen zwischen 0,5 und 1,3. Dies deutet auf starke Varianzen in der Entwicklung hin. In Abbildung 13 ist aufgeführt, dass hauptsächlich die der kranialen Teilstrecke N-Sp' dafür verantwortlich zu machen ist.

Zumeist ist N-Sp' geringfügig kürzer als Sp'-Gn. Das Verhältnis wird in Abbildung 13 als etwa gleich angegeben. Hier wird dies annähernd bestätigt, es liegt eher bei 0,9 : 1. Aus dieser Quotientendarstellung kann weiterhin eine geringfügige Zunahme der Werte für Sp'-Gn gegenüber N-Sp' im beobachteten Zeitraum erkannt werden.

4.1.2 Größenvermessungen einzelner Knochen

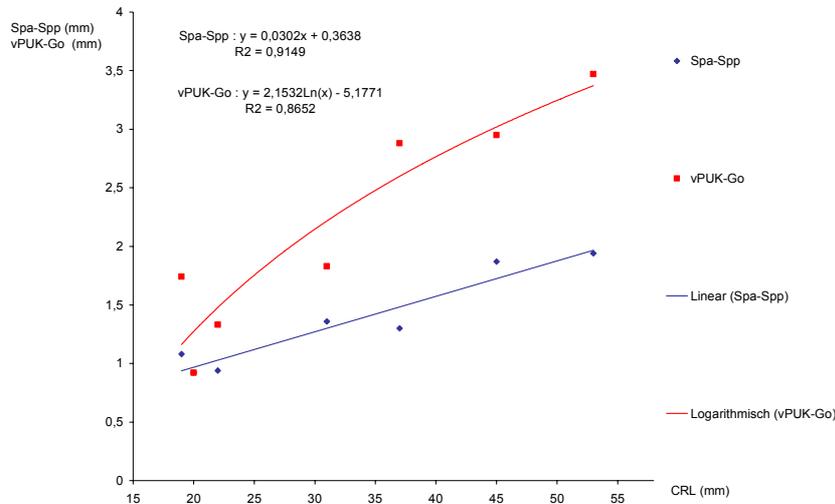


Abb. 16: Maximale sagittale Ausdehnung der Maxilla und der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Durch eine Lotfällung von Pogonion auf die Mandibularebene entsteht der Schnittpunkt vPUK, welcher die anteriore Begrenzung der Mandibula wiedergibt. Nach posterior wird die Mandibula von Go = Gonion abgegrenzt. Die maximale sagittale Ausdehnung der Mandibula wird entsprechend durch vPUK-Go wiedergegeben, sie liegt auf der Mandibularebene. Deren Werte nehmen stärker zu als die der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla, ausgedrückt durch Spa-Spp (Spina nasalis, anterior-Spina nasalis, posterior = die entsprechende Ebene wird auch als Nasallinie bzw. Spinaebene bezeichnet). Dies deutet auf eine höhere sagittale Wachstumsrate der Mandibula gegenüber der Maxilla hin. Die Streuung der Punkte für vPUK-Go ist ausgeprägter. Sie weisen einen logarithmischen Verlauf auf. Die Werte für Spa-Spp nehmen linear von 1 mm auf 1,8 mm und für vPUK-Go von 1 mm auf 3,5 mm zu.

Das Diagramm zeigt also, dass die maximale sagittale Ausdehnung der Mandibula gegenüber der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla in der beobachteten Entwicklungsperiode zwar um das Doppelte, aber diskontinuierlicher, an Länge zunimmt.

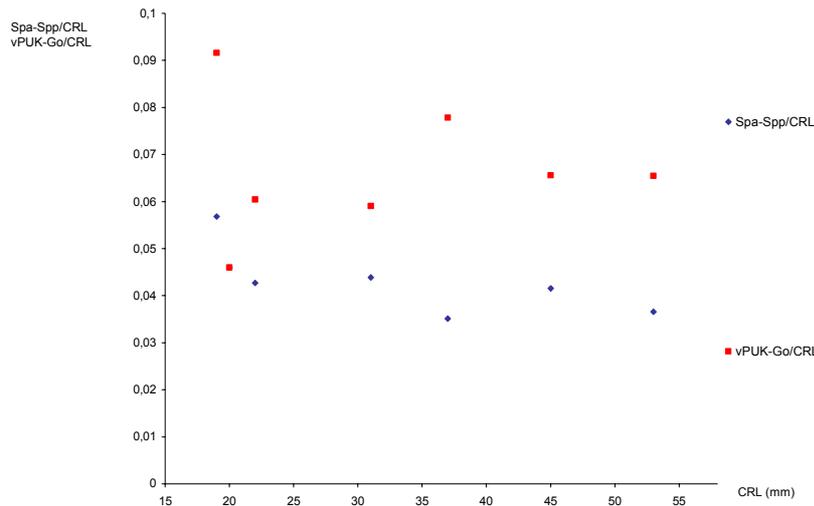


Abb. 17: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla und der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnung der Mandibula (vPUK-Go) zeigt eine Zunahme des Größenverhältnisses zur SSL von 4,5 % auf 7 % der SSL.

Das kleinere Streufeld der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla (Spa-Spp) zeigt hingegen eine leichte Abnahme der Werte von 5,5 auf 3,5 Prozent zur SSL. Dies weist auf ein geringeres Wachstum auch zur SSL hin.

Der Durchschnitt der Werte für vPUK-Go zur SSL liegt bei etwa 7 % und der für Spa-Spp bei 4 %. Die Mandibula ist in dieser Entwicklungsperiode also fast doppelt so lang wie die Maxilla. Diese Aussage muss jedoch aufgrund der breiten Streuung von vPUK-Go/CRL relativiert werden. Der Längenanteil der Maxilla zur Mandibula liegt eher bei 60 % bis 90 %.

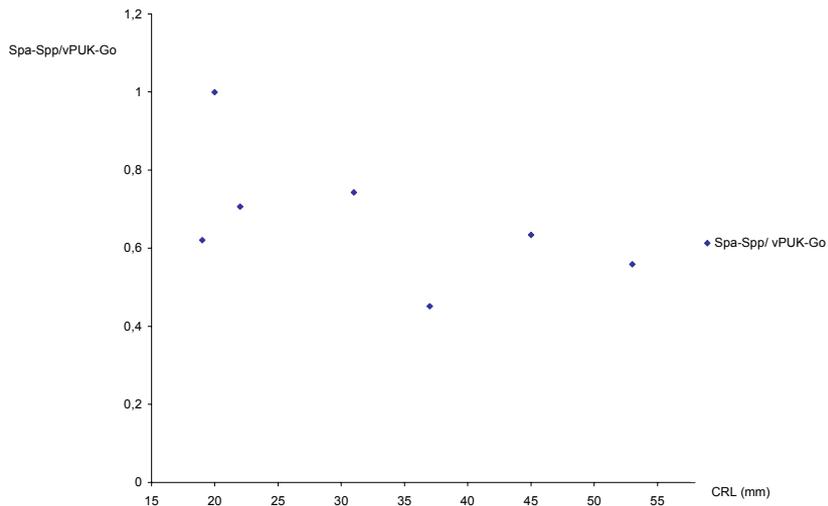


Abb. 18: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla zur Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus der Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla zur Mandibula (Spa-Spp/vPUK-Go) ist eine breite Streuung der Punkte zwischen 0,4 und 1 ersichtlich. Durch die abfallenden Werte ist zu erkennen, dass die Mandibula gegenüber der Maxilla an Länge zunimmt. Spa-Spp verkleinert den Anteil zu vPUK-Go von 70 % bis 100 % auf 40 % bis 60 %.

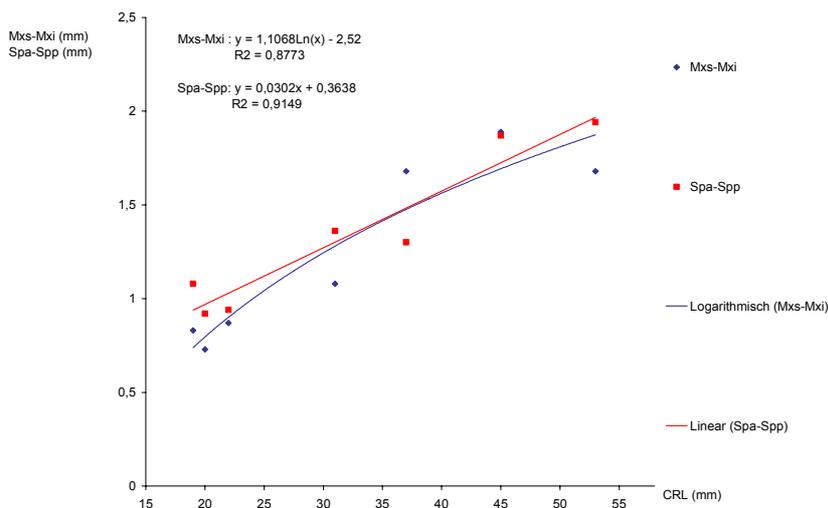


Abb. 19: Maximale vertikale und sagittale Ausdehnung der Maxilla in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

In diesem Diagramm wird die vertikale Ausdehnung der Maxilla, ausgedrückt durch die Strecke Mxs-Mxi (Maxilla, superior-Maxilla, inferior), mit der sagittalen (Spa-Spp) verglichen. Im Gegensatz zu Spa-Spp verläuft Mxs-Mxi leicht logarithmisch ($R^2 = 0,87$). Da der Determinationskoeffizient für Spa-Spp zusätzlich etwas näher an 1 liegt und kein eindeutiger Unterschied der Anstiegsraten zu erkennen ist, kann ein etwas kontinuierlicheres sagittales als vertikales Wachstumsverhalten der jungen Maxilla hergeleitet werden. Insgesamt sind in diesen jungen Stadien jedoch noch keine größeren Unterschiede in der vertikalen und sagittalen Entwicklung erkennbar.

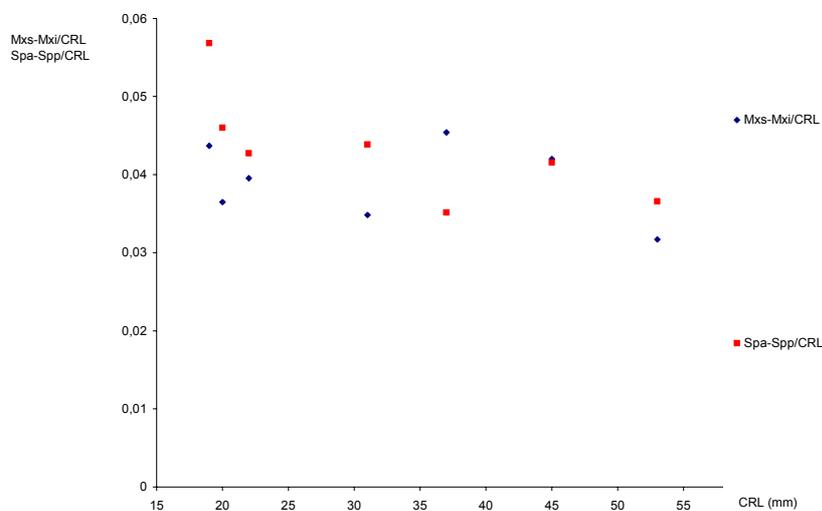


Abb. 20: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen und sagittalen Ausdehnung der Maxilla zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus der Quotientendarstellung der maximalen vertikalen (Mxs-Mxi) und sagittalen (Spa-Spp) Ausdehnung der Maxilla zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) ist eine moderate Abnahme der Werte für beide Vermessungen erkennbar. Der Durchschnitt liegt bei 3,5 % bis 4,5 % der SSL für beide Vermessungen.

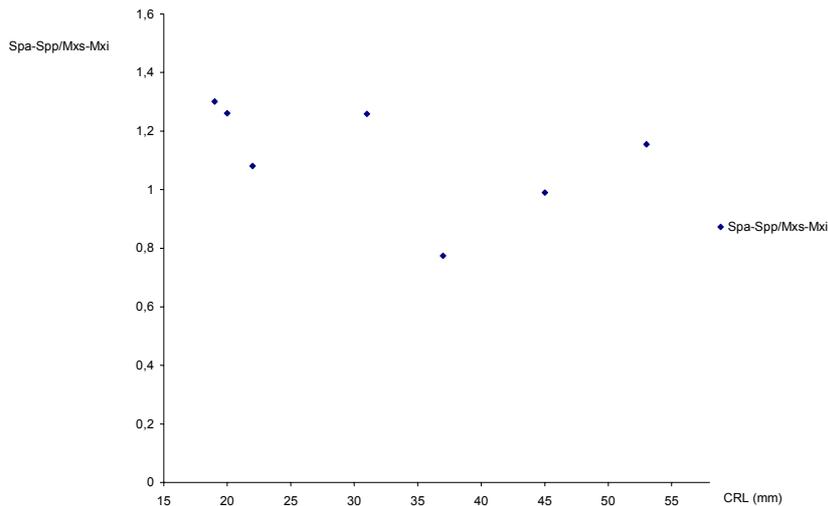


Abb. 21: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen zur vertikalen Ausdehnung der Maxilla in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Punkte der Quotientendarstellung Spa-Spp/Mxs-Mxi sind im Diagramm um den Wert 1 gestreut. Die Maxilla zeigt folglich in ihrer vertikalen Ausdehnung keinen Unterschied zur sagittalen Ausdehnung. Die Werte variieren jedoch relativ stark zwischen 0,7 und 1,3. Dies weist auf große individuelle Unterschiede im Wachstumsverhalten der jungen Maxilla hin.

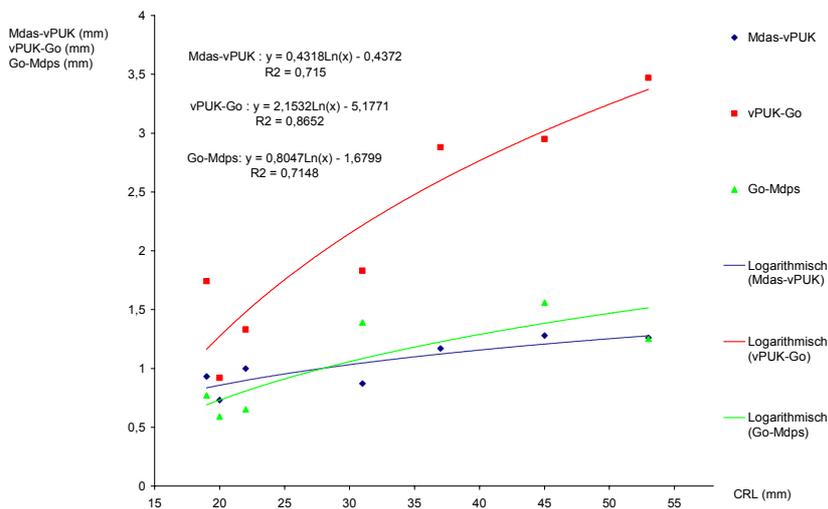


Abb. 22: Maximale vertikale Ausdehnung des Kinns, des dorsalen Anteils der Mandibula und maximale sagittale Ausdehnung der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die posteriore, vertikale Ausdehnung der Mandibula, ausgedrückt durch Go-Mdps (Gonion-Mandibula, posterior, superior), ist in der frühen Entwicklungsphase wenig entwickelt. Dies

ist vor allem daran zu sehen, dass sich ihre Werte nur gering von dem der anterioren, vertikalen Ausdehnung des Kinns, ausgedrückt durch Mdas-vPUK (Mandibula, anterior, superior-vPUK), unterscheiden. Beide Vermessungen nehmen im beobachteten Zeitraum geringfügig zu.

Die sagittale Ausdehnung der Mandibula hingegen weist vergleichsweise eine erhebliche Erhöhung der Werte auf. Dies zeigt, dass die Mandibula in dieser Entwicklungsperiode einem stärkeren Längenwachstum unterworfen ist. Bei einer SSL von 19 mm ist der Unterschied noch gering. Bei 53 mm SSL ist die sagittale Ausdehnung der Mandibula dann 3,5 Mal ausgeprägter als ihre vertikalen Ausdehnungen.

Durch die geringen Anstiegsraten der vertikalen Vermessungen lässt sich die Konstanz über den Determinationskoeffizienten kaum mit der sagittalen Vermessung vergleichen. Sie haben jedoch eine kleinere Streubreite (vor allem Mdas-vPUK) als vPuk-Go, was auf konstantes Wachstum hinweist.

Die posteriore, vertikale Ausdehnung der Mandibula nimmt geringfügig stärker zu als die anteriore.

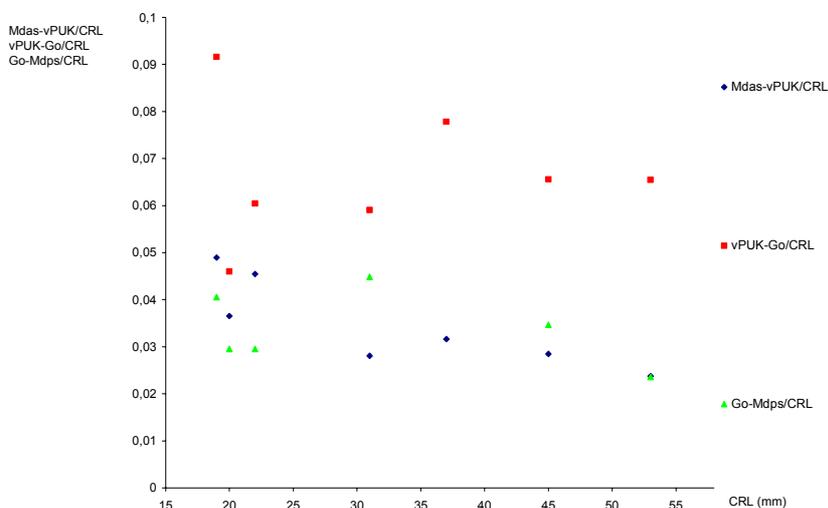


Abb. 23: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung des Kinns, des dorsalen Anteils der Mandibula und der maximalen sagittalen Ausdehnung der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Quotientendarstellung der posterioren (Go-Mdps) und anterioren (Mdas-vPUK) vertikalen Ausdehnungen der Mandibula zur SSL zeigt eine geringfügige Abnahme der Werte. Aufgrund der geringeren Streuung der Punkte ist dies für Mdas-vPUK eindeutiger zu erkennen. Durch die breitere Streuung kann bei der posterioren, vertikalen Ausdehnung keine

Funktion zur SSL hergeleitet werden. Der Anteil zur SSL sinkt für die anteriore, vertikale Ausdehnung von 5 % auf 2 % ab. Die posteriore, vertikale Ausdehnung der Mandibula liegt zwischen 0,045 und 0,02.

Die sagittale Ausdehnung der Mandibula ist in Abb. 17 schon besprochen worden. Sie wird hier noch einmal aufgeführt, um zu zeigen, dass die Werte für vPUK-Go/CRL wesentlich stärker zunehmen als die vertikalen Vermessungen und sichtlich auch als die Werte der SSL.

4.1.3 Abstandsvermessungen zwischen den Knochen

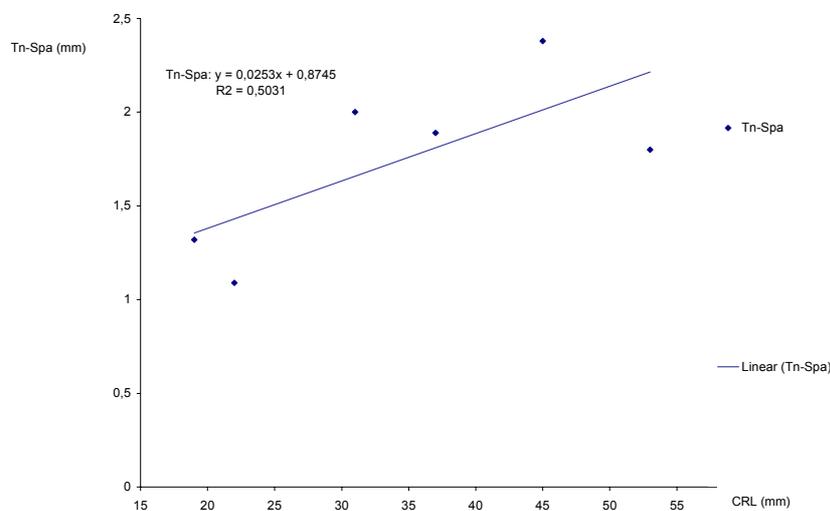


Abb. 24: Abstand des Os nasale zur Spina nasalis, anterior als Ausdruck der vertikalen Ausdehnung der Apertura piriformis in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Eine kontinuierliche Zunahme der vertikalen Ausdehnung der Apertura piriformis, ausgedrückt durch Tn-Spa (Tip of nasal bone-Spina nasalis, anterior), ist hier mit $R^2 = 0,5$ noch nicht zu erkennen. Die Werte nehmen mit einer relativ starken Schwankungsbreite von 1 mm auf 1,5 mm bis 2,5 mm geringfügig zu.

4.1.4 Winkelvermessungen

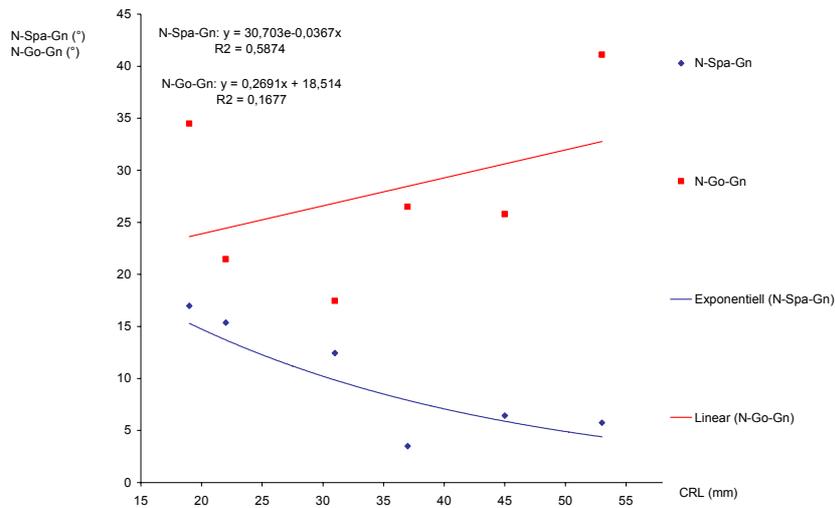


Abb. 25: Winkelausdruck der sagittalen Lagebezeichnung der Kiefer zueinander und der Neigung und Länge des Corpus mandibulae in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Winkel N-Spa-Gn (Nasion-Spina nasalis, anterior-Gnathion) gibt die sagittale Position der Kiefer zueinander wieder. Es fällt auf, dass die Werte relativ konstant von 15° auf 5° abnehmen. Ein stärkeres sagittales Wachstum der Mandibula, wie aus Abb. 15 hervorgeht, ist dafür verantwortlich zu machen.

Die Werte für den Winkel N-Go-Gn (Nasion-Gonion-Gnathion), welcher Ausdruck der Neigung und Länge der Mandibula ist, sind breit gestreut. Zwar ist ein leichter Anstieg zu erkennen, aufgrund der sehr breiten Streuung kann jedoch weder eine Funktion zur SSL hergeleitet werden noch sind andere Aussagen möglich.

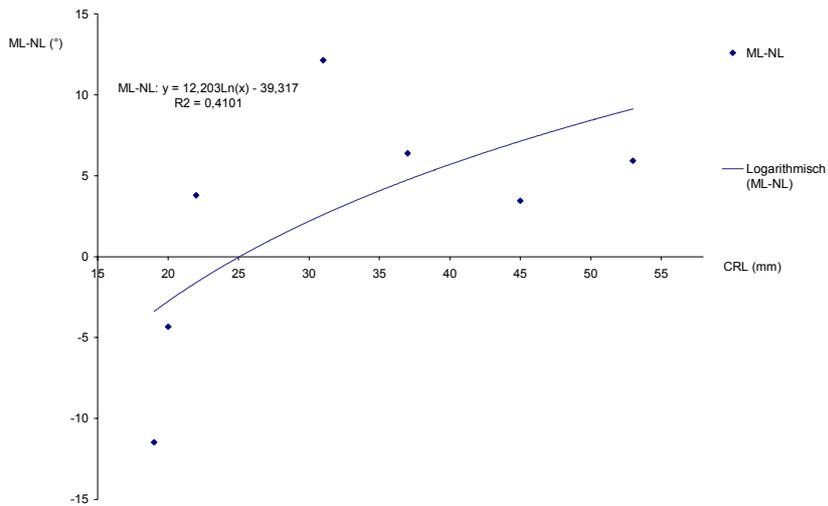


Abb. 26: Vertikale Relation der Ebenen vom Unterkiefer zum Oberkiefer in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Winkel ML-NL (Mandibularlinie-Nasallinie) ist ein Ausdruck der Neigung des Oberkiefers zum Unterkiefer. Auffällig ist, dass bei den sehr jungen Embryonen bis zu einer SSL von 20 mm der Winkel der Mandibularlinie zur Nasallinie deutlich negativ ist. Nach einer SSL von 20 mm liegen die Werte durchschnittlich bei 5°, genauer zwischen 0° und 12°. Es können wegen der ausgeprägten Streuung der Punkte keine Entwicklungstendenzen aus dieser Grafik hergeleitet werden.

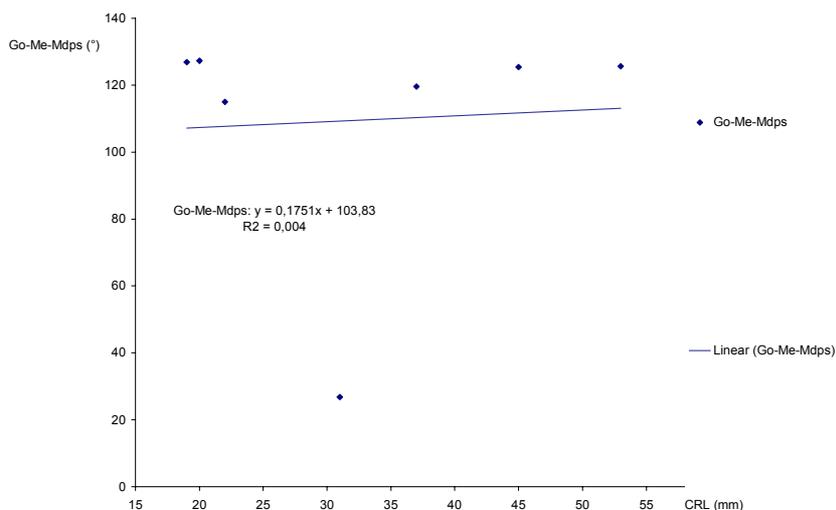


Abb. 27: Ausdruck des Unterkieferwinkels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für den Mandibularwinkel (Go-Me-Mdps = Gonion-Menton-Mandibula, posterior, superior) schwanken zwischen 110° und 125° und liegen im Durchschnitt bei 120°. Eine Funktion zur SSL, die Aussagen über Entwicklungstendenzen ermöglicht, ist nicht gegeben.

4.2 Vermessung der 3D-Rekonstruktionen in der Norma frontalis

4.2.1 Längenvermessungen

Aufgrund der geringen Anzahl an Messpunkten konnten keine Längenvermessungen durchgeführt werden. Die dafür notwendigen Referenzpunkte sind nicht ermittelbar.

4.2.2 Größenvermessungen einzelner Knochen

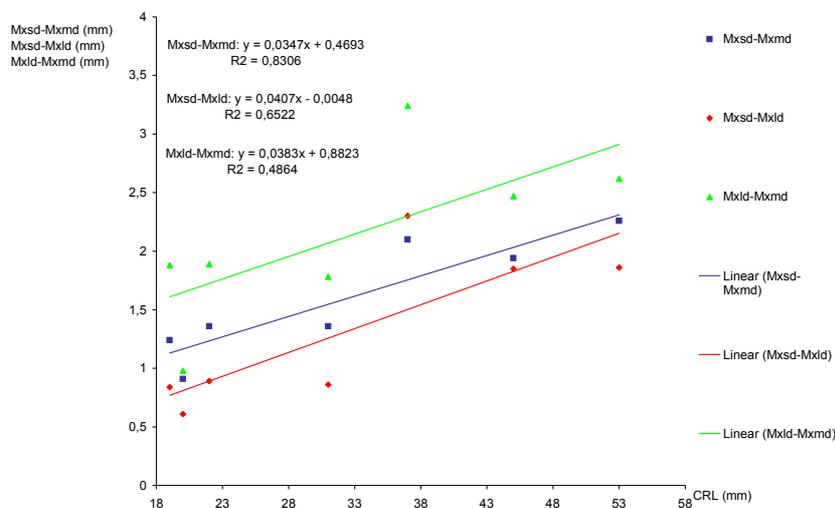


Abb. 28: Maximale vertikale, diagonale und transversale Ausdehnung der rechten Hälfte der Maxilla in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge, auf Englisch crown-rump length (CRL)

Die Werte der transversalen Vermessungen der Maxilla, ausgedrückt durch Mxld-Mxmd (Maxilla, lateral, dexter-Maxilla, medial, dexter), liegen immer über denen der vertikalen und diagonalen Vermessungen, ausgedrückt durch Mxsd-Mxmd (Maxilla, superior, dexter-Maxilla, medial, dexter) und Mxsd-Mxld (Maxilla, superior, dexter-Maxilla, lateral, dexter). Die diagonalen Vermessungen weisen zumeist die kleinsten Werte auf.

Die Streubreite der Punkte ist bei den transversalen Vermessungen größer als bei den diagonalen. Beide Vermessungen weisen jedoch eine geringe Kontinuität der Werte auf. Konstantes Wachstum liegt bei den vertikalen Vermessungen schon eher vor. Die linearen Verläufe der Punkte können aufgrund ähnlicher Anstiegsraten auch direkt über R^2 miteinander verglichen werden. Trotz Diskontinuität kann hier von einer gleichstarken Wachstumszunahme der jungen Maxilla in den drei vermessenen Ebenen gesprochen werden. Die Werte erhöhen sich in dieser Entwicklungsperiode um das 2- bis 2,5-fache.

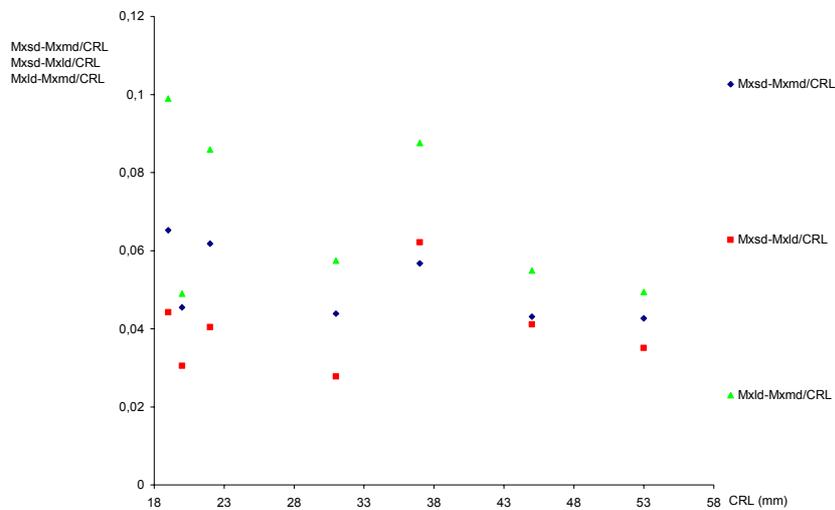


Abb. 29: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen, diagonalen und transversalen Ausdehnung der rechten Hälfte der Maxilla zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Punkte der vertikalen Ausdehnung der Maxilla (Mxsd-Mxmd) weisen im Diagramm eine leicht abnehmende Tendenz auf. Ihre Wachstumsrate entspricht aber eher der der SSL. Der Durchschnitt befindet sich bei 5 % der SSL.

Die transversale Ausdehnung der Maxilla (Mxld-Mxmd) hat ebenfalls eine etwas geringere Wachstumsrate als die SSL. Aufgrund der breiten Streuung der Punkte kann dies jedoch nicht eindeutig erkannt werden. Die Werte schwanken zwischen 0,05 und 0,1.

Bei den diagonalen Vermessungen (Mxsd-Mxld) ist kein Unterschied zur Wachstumsrate der SSL zu erkennen. Hier liegen die Werte zwischen 0,02 und 0,06.

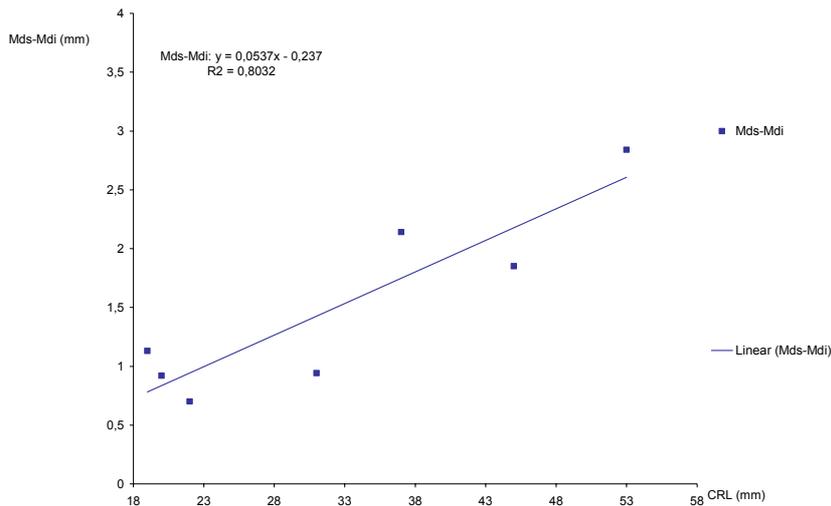


Abb. 30: maximale vertikale Ausdehnung der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die maximale vertikale Ausdehnung der Mandibula, ausgedrückt durch Mds-Mdi (Mandibula, superior-Mandibula, inferior), weist einen linearen Anstieg der Werte auf. Der Determinationskoeffizient liegt bei $R^2 = 0,8$, was auf eine mittelmäßige Abweichung vom konstanten Verlauf hinweist. In der beobachteten Entwicklungsperiode erhöhen sich die Werte von 0,7 mm auf 2,8 mm um das Vierfache.

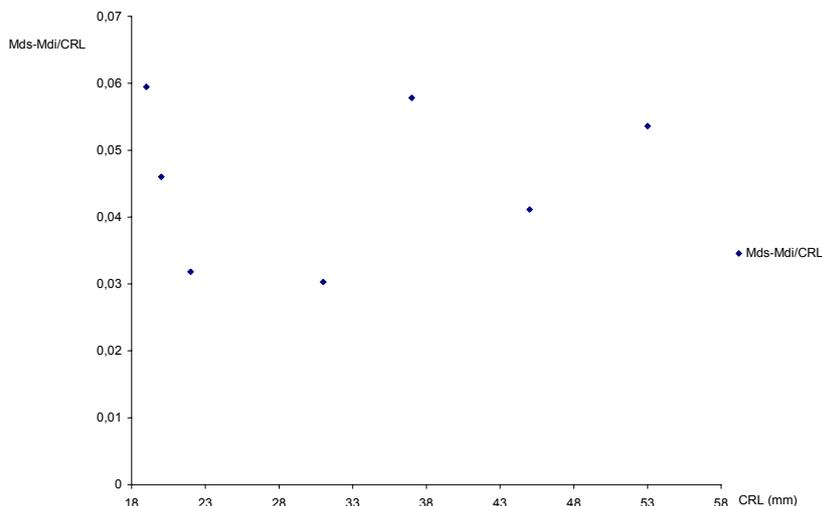


Abb. 31: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Anteil zur SSL variiert stark zwischen 0,03 und 0,06. Ein Wachstumsverhalten zur SSL kann hier aufgrund der breiten Streuung nicht bestimmt werden.

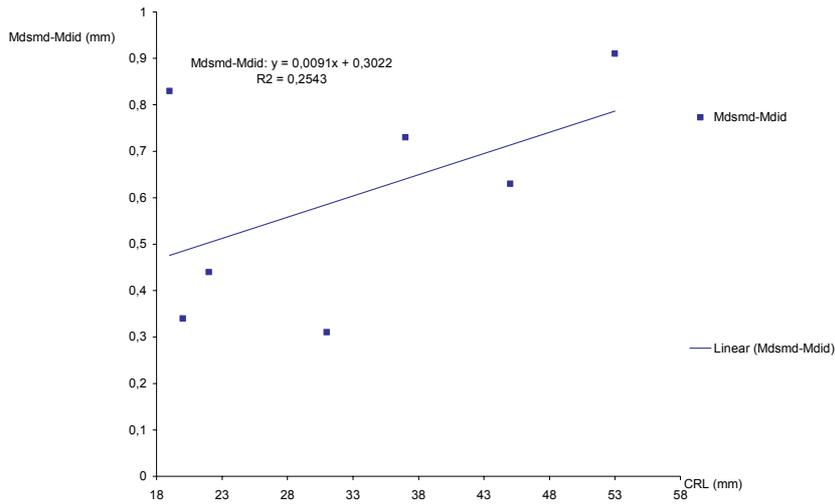


Abb. 32: maximale vertikale Ausdehnung der rechten Hälfte des Kinns in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die maximale vertikale Ausdehnung des Kinns, ausgedrückt durch Mdsmd-Mdid (Mandibula, superior, medial, dexter-Mandibula, inferior, dexter), wird hier dargestellt. Eine Funktion zur SSL ist aufgrund der breiten Streuung nicht herleitbar. Die Werte schwanken stark zwischen 0,3 mm und 0,9 mm. Eine geringe Zunahme der Werte mit Verringerung der Streubreite ist erkennbar.

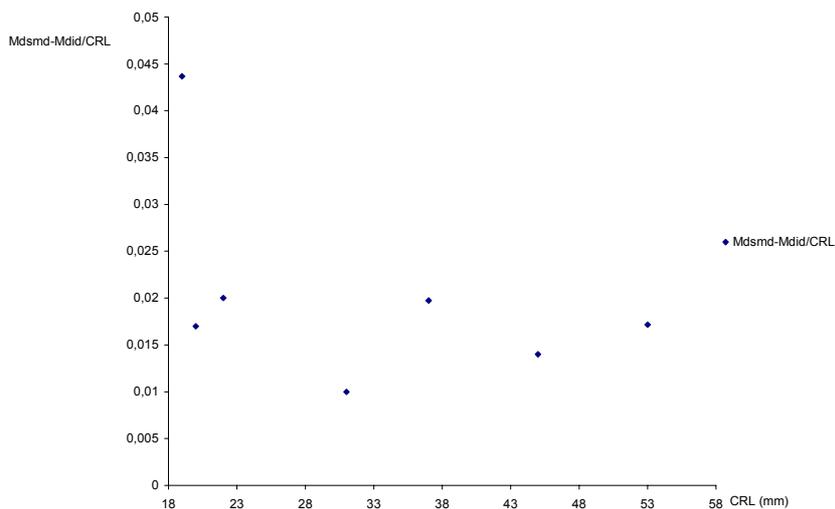


Abb. 33: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung der rechten Hälfte des Kinns zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Quotient zeigt, dass die Wachstumsrate von Mdsmd-Mdid gleich der der SSL ist und bei 0,015 liegt.

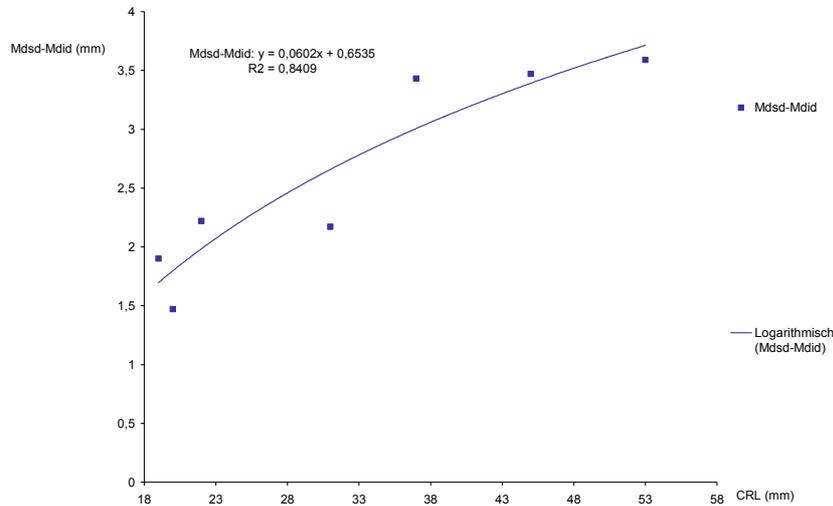


Abb. 34: maximale diagonale Ausdehnung der rechten Hälfte der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Strecke Mdsd-Mdid (Mandibula, superior, dexter-Mandibula, inferior, dexter) beschreibt die maximale diagonale Ausdehnung der rechten Mandibularhälfte. Das Diagramm zeigt eine mittelmäßige Streuung der Punkte und einen logarithmischen Verlauf auf. In dieser frühen Entwicklungsphase erhöhen sich die Werte von 1,5 mm auf 3,5 mm um mehr als das Doppelte bis zu einer SSL von 38 mm und verändern sich danach nicht mehr.

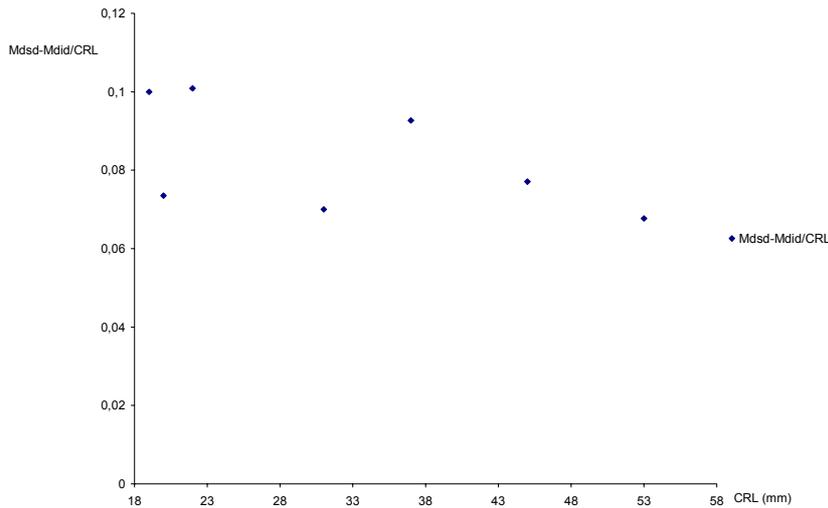


Abb. 35: Quotientendarstellung der maximalen diagonalen Ausdehnung der rechten Hälfte der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte der Quotientendarstellung der maximalen diagonalen Ausdehnung der rechten Hälfte der Mandibula (Mdsd-Mdid/CRL) variieren stark zwischen 0,07 und 0,1. Die Wachstumsrate entspricht der Wachstumsrate der SSL, kann jedoch aufgrund der breiten Streuung nicht eindeutig als Aussage bestehen.

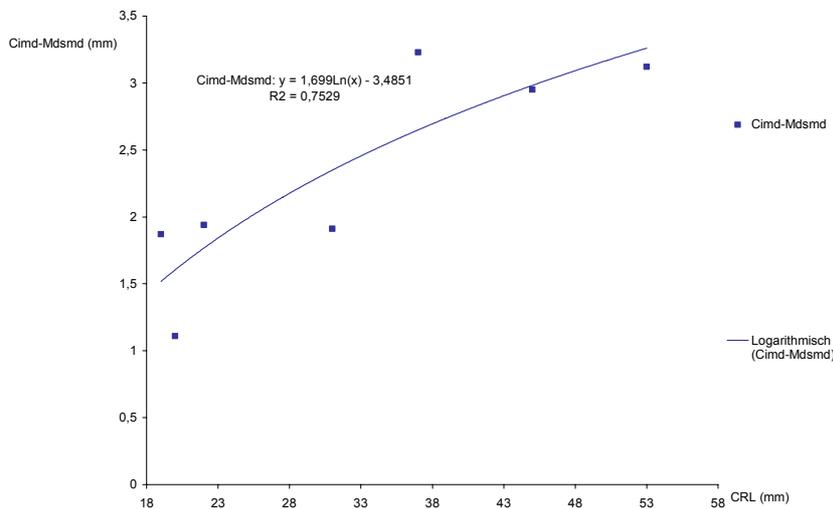


Abb. 36: maximale lineare Ausdehnung der inneren Wölbung der rechten Hälfte der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Vom Punkt Cimd (Mandibula, Processus coronoideus, medial, dexter) zum Punkt Mdsmd (Mandibula, superior, medial, dexter) erstreckt sich die innere Wölbung der Mandibula. Das

Diagramm zeigt eine stärkere Streuung der Punkte und weist einen logarithmischen Verlauf auf. Insgesamt nehmen die Werte von 1,5 mm auf 3 mm um das Doppelte zu. Ein konstanter Verlauf liegt hier nicht vor.

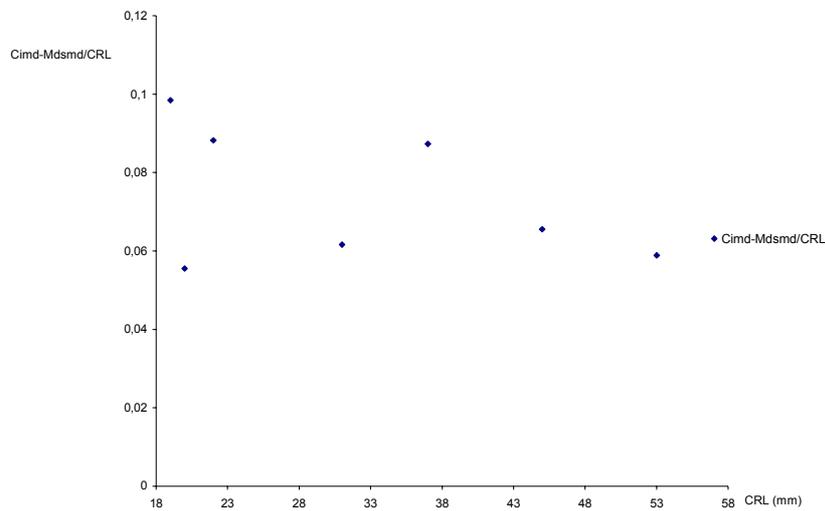


Abb. 37: Quotientendarstellung der maximalen linearen Ausdehnung der inneren Wölbung der rechten Hälfte der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für die Quotientendarstellung $Cimd-Mdsmd/CRL$ variieren stark zwischen 0,06 und 0,1. Die Streubreite der Punkte hat eine abnehmende Tendenz. Eine Funktion zur SSL ist gegeben, kann jedoch aufgrund der breiten Streuung nicht eindeutig hergeleitet werden.

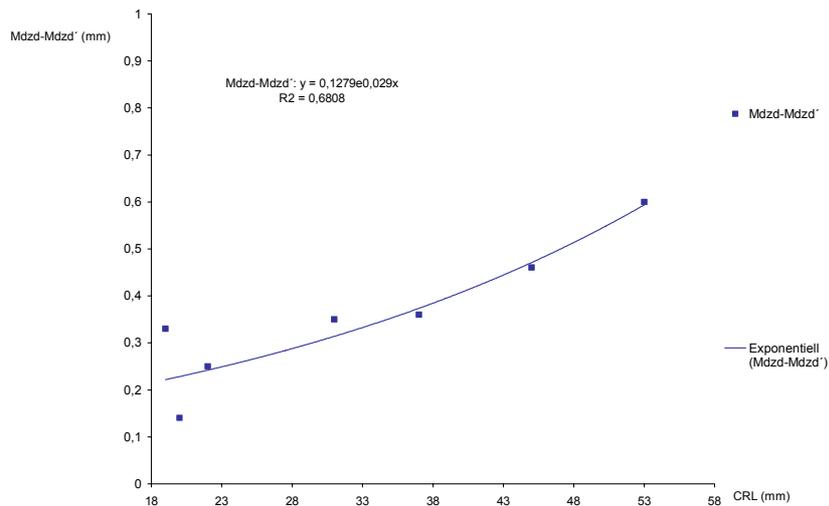


Abb. 38: maximale Ausprägung der Wölbung der inneren Krümmung der rechten Hälfte der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte der maximalen Ausprägung der Wölbung der inneren Krümmung der rechten Hälfte der Mandibula, ausgedrückt durch Mdzd-Mdzd' (vom Punkt Mandibula, zentral, dexter wird ein Lot auf die Strecke Cimd-Mdsmd gefällt, wo der Schnittpunkt Mdzd' entsteht).

Die Verbindungslinie dieser beiden Punkte bildet die Strecke Mdzd-Mdzd'. Die Punkte der Diagrammdarstellung weisen eine sehr geringe Streuung und einen leicht exponentiellen Verlauf auf. Sie nehmen konstant von 0,2 mm auf 0,6 mm um das Dreifache zu.

Ein kontinuierliches Wachstum der maximalen Ausprägung der Wölbung der inneren Krümmung der Mandibula kann hier angegeben werden.

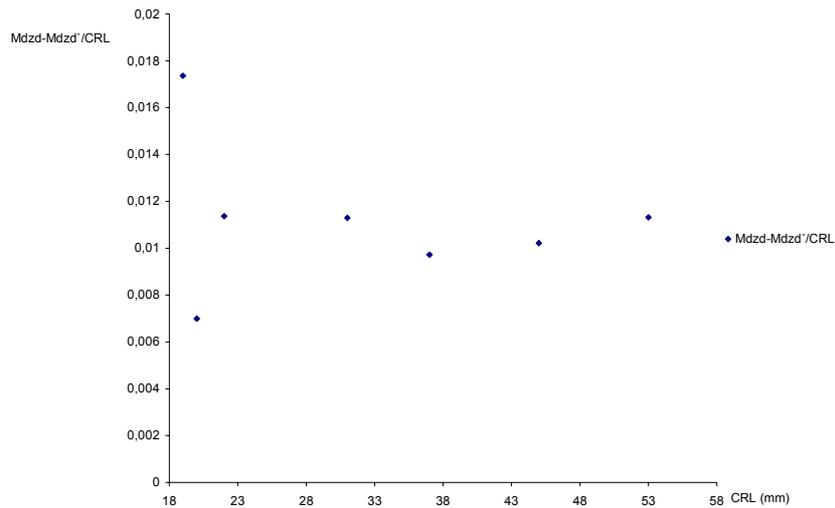


Abb. 39: Quotientendarstellung der maximalen Ausprägung der Wölbung der inneren Kurvatur der rechten Hälfte der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Quotient zeigt, dass die Werte sich analog zur SSL erhöhen. Sie liegen im Durchschnitt bei 1,1 % der SSL.

4.2.3 Abstandsvermessungen zwischen den Knochen

Es konnten keine Abstandsvermessungen durchgeführt werden, da aufgrund des geringen Messmaterials keine der dafür notwendigen Referenzpunkte ermittelbar waren.

4.2.4 Winkelvermessungen

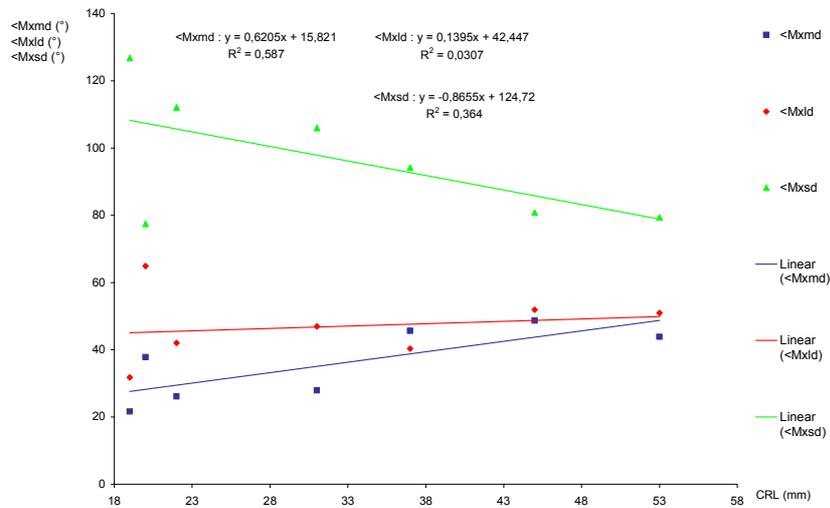


Abb. 40: drei Innenwinkel, die bei der Verbindung der drei äußersten Begrenzungspunkte der rechten Hälfte der Maxilla entstehen in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Winkel <Mxmd (Maxilla, medial, dexter) nimmt im beobachteten Zeitraum von 20° auf 40° zu. Die Punkte sind allerdings auch bis zu 20° gestreut. Eine tendenzielle Vergrößerung dieses Winkels ist daher nicht eindeutig.

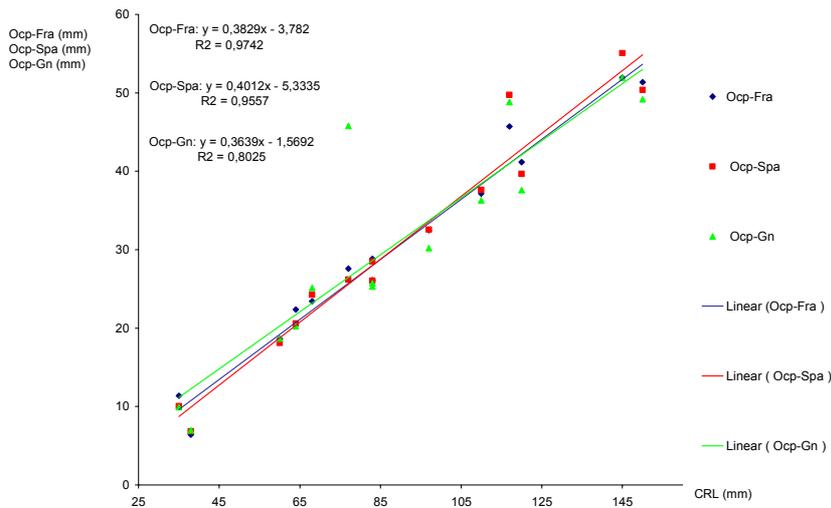
Der Winkel <Mxld (Maxilla, lateral, dexter) hält seine Position relativ konstant bei 45°. Eine Funktion zur SSL ist hier nicht erkennbar.

Der Winkel <Mxsd (Maxilla, superior, dexter) weist ebenfalls eine geringe Streuung der Punkte auf. Er verringert seine Größe relativ stark um 40° und liegt am Ende des beobachteten Zeitraums bei 80°.

4.3 Vermessung der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis

4.3.1 Längenvermessungen

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

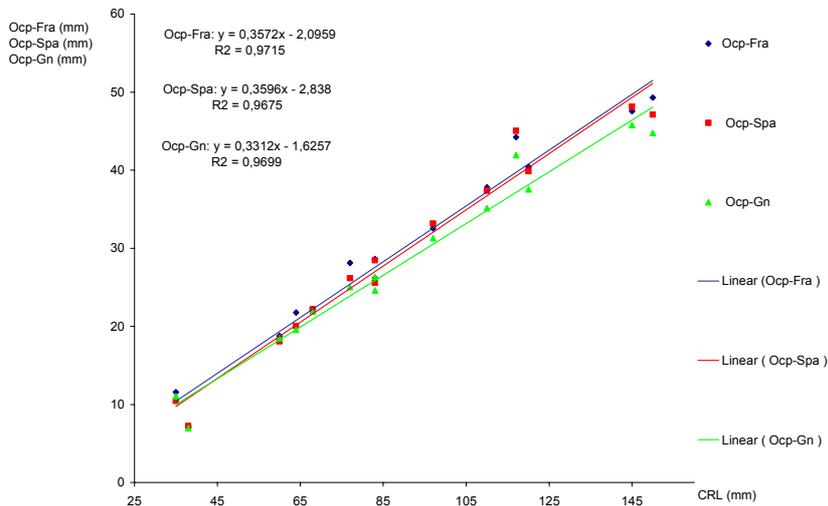


Abb. 41, 42: Maximale sagittale Ausdehnungen der rechten und der linken Seite des Ober-, Mittel- und des Untergesichts vom am weitesten distal gelegenen Punkt des Schädels aus in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge, auf Englisch crown-rump length (CRL)

Aus den Diagrammen 41 und 42 kann man entnehmen, dass vom am weitesten posterior gelegenen Punkt des Schädels aus der Abstand zum am weitesten anterior gelegenen Punkt des Ober-, Mittel- und des Untergesichts, ausgedrückt durch Ocp-Fra (Os occipitale, posterior-Os frontale, anterior), Ocp-Spa (Os occipitale, posterior-Spina nasales, anterior) und Ocp-Gn (Os occipitale, posterior-Gnathion), für die rechte und linke Seite ähnlich zunimmt. Alle Vermessungen verlaufen linear, haben in etwa die gleiche Anstiegsrate und eine geringe Streuung mit einem Determinationskoeffizienten von fast 1. Dies gilt für die rechte und linke

Seite gleichermaßen. Im beobachteten Zeitraum vergrößern sich die Vermessungen von 10 mm auf 50 mm, also um das Fünffache.

Anhand dieser Daten kann geschlussfolgert werden, dass das sagittale Wachstum des Schädels in den gemessenen Ebenen ein konstantes und gleichartiges Wachstum hat.

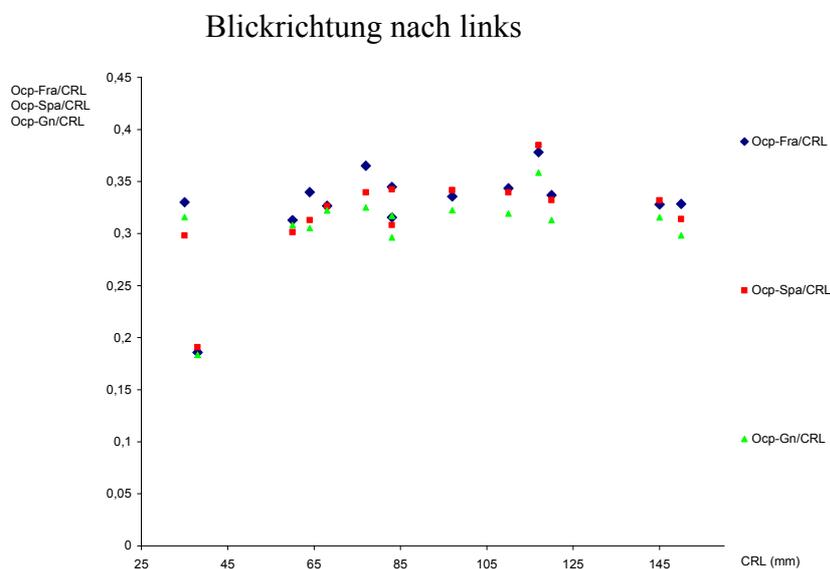
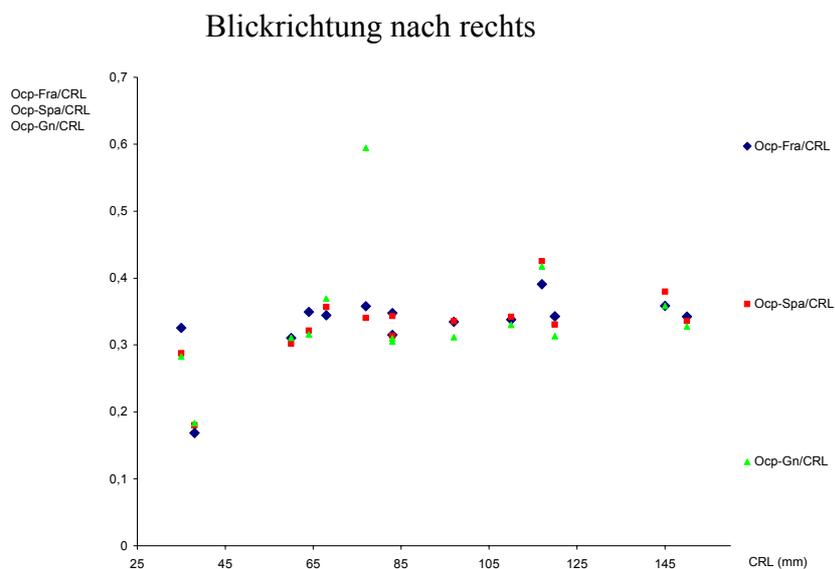


Abb. 43, 44: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnungen der rechten und der linken Seite des Ober-, Mittel- und des Untergesichts vom am weitesten distal gelegenen Punkt des Schädels aus zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Sowohl für die rechte als auch für die linke Seite liegen die meisten Punkte der Quotientendarstellungen der maximalen sagittalen Ausdehnungen des Ober-, Mittel- und des

Untergesichts zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) (Ocp-Fra/CRL, Ocp-Spa/CRL und Ocp-Gn/CRL) bei 30 % bis 35 % der SSL. Dies weist auf eine geringe Streuung und damit Konstanz im Wachstum hin.

Eine Tendenz zur Veränderung dieses Verhältnisses ist nicht zu erkennen. Daraus kann ersehen werden, dass das sagittale Wachstum des Schädels in den gemessenen Ebenen, in enger Korrelation mit dem Wachstum der SSL, an Länge zunimmt.

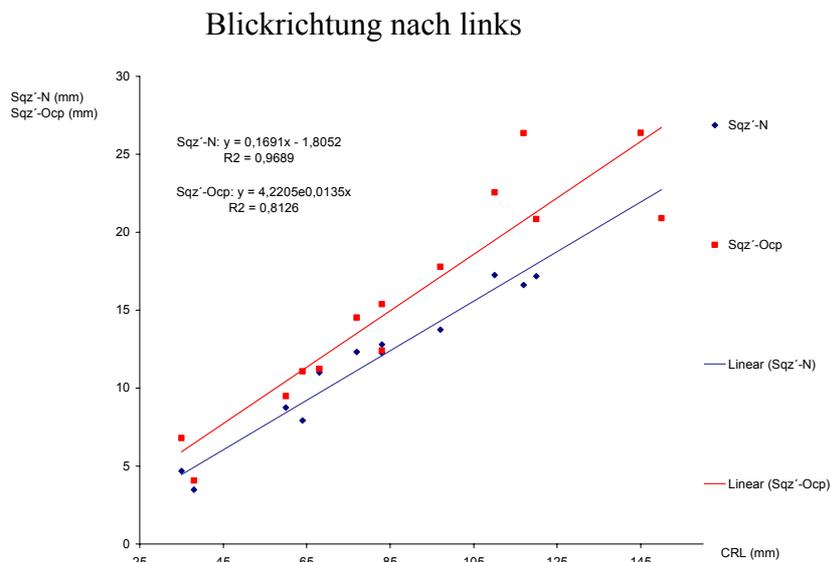
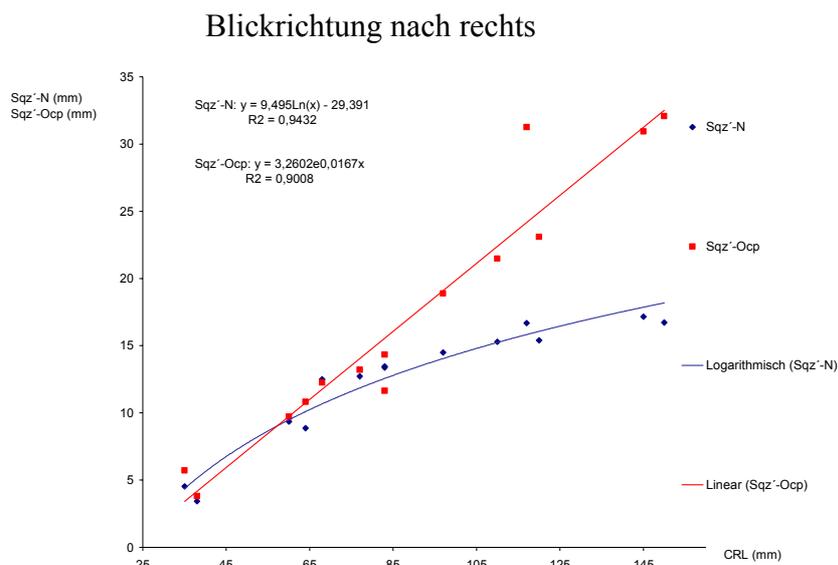
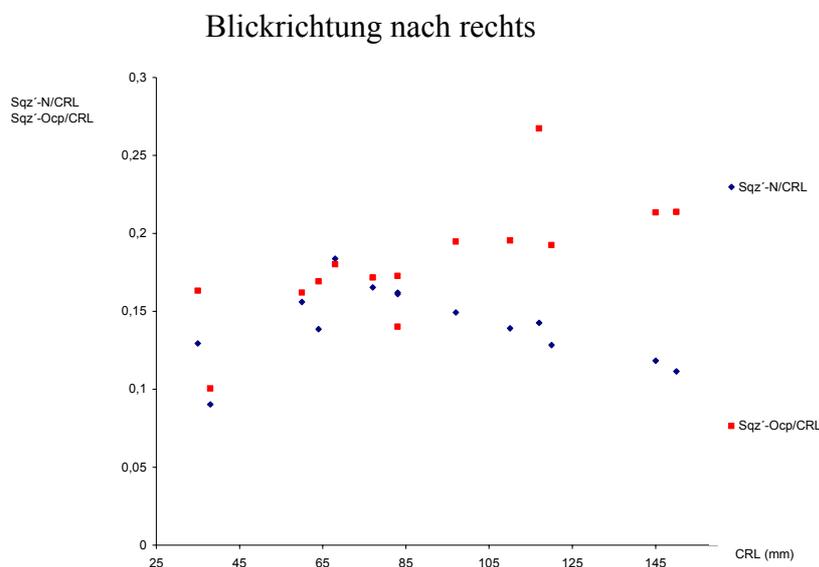


Abb. 45, 46: Anteriore und posteriore Ausdehnung der rechten und der linken Seite des Schädels in der Sagittalebene vom zentralen Punkt Sqz' aus, in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Diagrammdarstellungen der posterioren Ausdehnung des Schädels, ausgedrückt durch Sqz'-Ocp (Os temporale, Pars squamosa, zentral'-Os occipitale, posterior), verhalten sich auf beiden Seiten ähnlich. Insgesamt erhöhen sich die Werte in dieser Entwicklungsperiode für Sqz'-Ocp auf der rechten Seite von 5 mm auf 30 mm um das Sechsfache. Auf der linken Seite nehmen die Werte von 5 mm auf 25 mm um das Fünffache zu. Die anteriore Ausdehnung des Schädels, ausgedrückt durch Sqz'-N (Os temporale, Pars squamosa, zentral'-Nasion), nimmt auf beiden Seiten von 5 mm auf etwa 18 mm um das 3,5-fache zu.

Das Streuungsfeld der Punkte für Sqz'-Ocp wird mit zunehmender SSL größer. Der Verlauf ist linear. Sqz'-N weist eine geringere Streuung der Punkte auf, verläuft auf der linken Seite leicht logarithmisch und auf der rechten ebenfalls linear. R^2 ist für die posteriore Ausdehnung des Schädels auf beiden Seiten entsprechend kleiner als für die anteriore. Die Werte nehmen mit mittelmäßiger bis hoher Konstanz zu, was auch aus den Determinationskoeffizienten zu ersehen ist ($R^2 = 0,81$ bis $0,96$).

Aus diesen Daten kann geschlussfolgert werden, dass vom Punkt Sqz' aus der Abstand zum dorsalen, medialen Anteil des Schädels stärker, aber etwas diskontinuierlicher zunimmt als der Abstand von Sqz' zum anterioren, medialen Anteil des Schädels.



Blickrichtung nach links

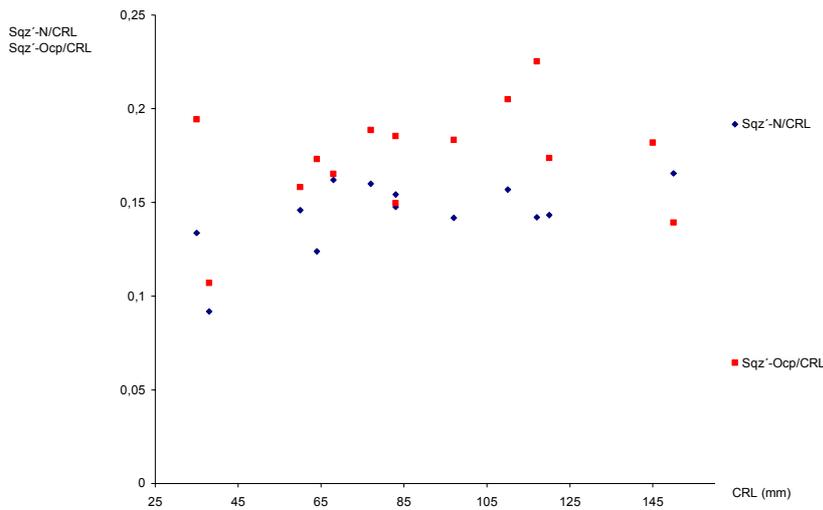


Abb. 47, 48: Quotientendarstellung der anterioren und posterioren Ausdehnung der rechten und linken Seite des Schädels in der Sagittalebene vom zentralen Punkt Sqz' aus zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für Sqz'-Ocp steigen auf beiden Seiten an. Die Punkte für die anteriore Ausdehnung hingegen bleiben auf der linken Seite auf einer Ebene bei 0,15. Auf der rechten Seite sinken sie sogar von 0,16 auf 0,1 ab. Sqz'-Ocp nimmt für beide Seiten von 0,1 auf 0,2 zu. Eine Funktion zur SSL liegt für Sqz'-N auf der linken Seite ab 65 mm SSL vor. Eine deutliche Abweichung zur Wachstumsrate der SSL liegt jedoch bei keiner der Vermessungen vor.

Die Quotientendarstellungen Sqz'-N/CRL und Sqz'-Ocp/CRL bestätigen, dass die posteriore Ausdehnung des Schädels (Sqz'-Ocp) eine höhere Wachstumsrate als die anteriore (Sqz'-N) hat.

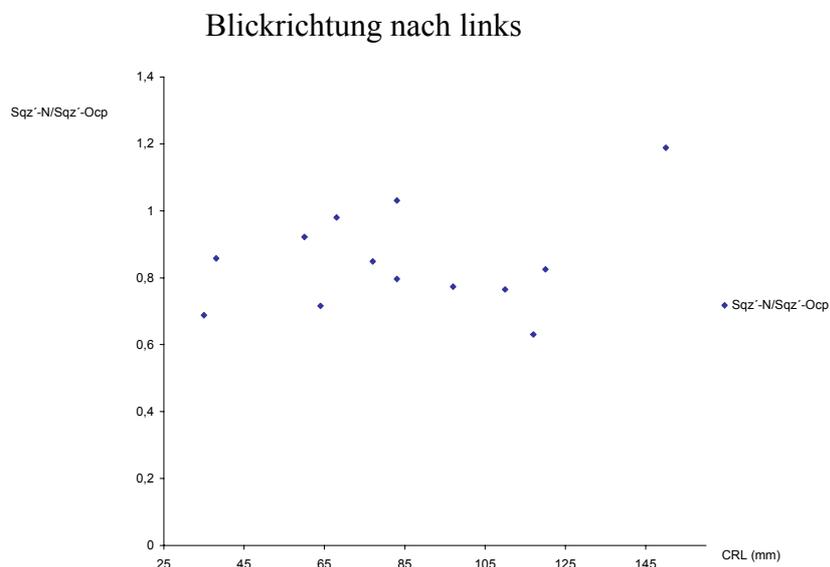
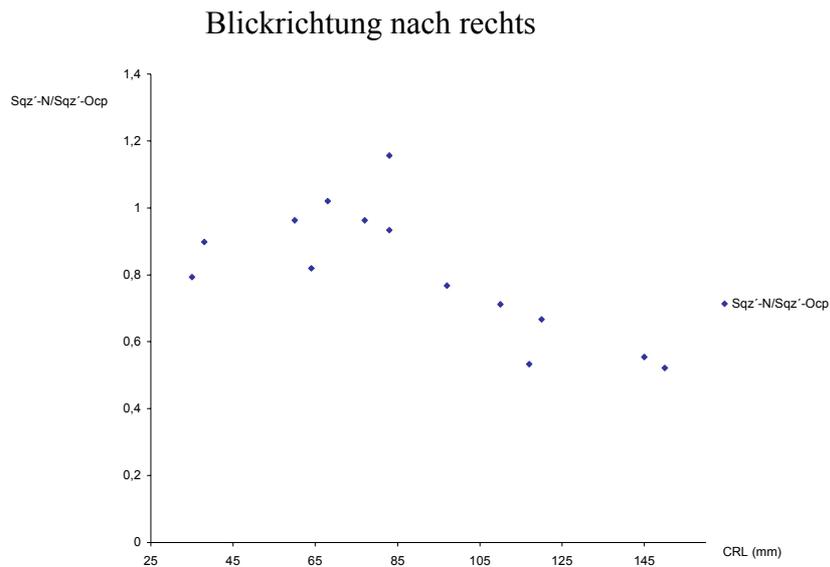


Abb. 49, 50: Quotientendarstellung der anterioren zur posterioren Ausdehnung der rechten und der linken Seite des Schädels in der Sagittalebene vom zentralen Punkt Sqz' aus in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Quotientendarstellung der anterioren zur posterioren Ausdehnung des Schädels (Sqz'-N/Sqz'-Ocp) bestätigt durch die abfallende Tendenz der Werte nochmals, dass der Schädel nach posterior stärker an Länge zunimmt. Auf der rechten Seite ändert sich das Verhältnis Sqz'-N : Sqz'-Ocp eindeutiger von etwa 0,9 : 1 auf 0,5 : 1, auf der linken Seite dagegen nur von etwa 0,9 : 1 auf 0,7 : 1.

Gegen Ende des beobachteten Entwicklungszeitraums ist Sqz'-Ocp also um 30 % bis 50 % länger als Sqz'-N. Außerdem ist bekannt, dass der Punkt Sqz' eine relativ konstante Position mit einer Fehlertoleranz von 10 % der Gesamtausmaße des Schädels hat (siehe Kapitel

3.2.2.1.1 Voruntersuchung zur Definition eines lagestabilen Referenzpunktes oberhalb des Viscerocraniums). Das heißt, dass zu den 30 % bis 50 % noch weitere 10 % addiert bzw. subtrahiert werden müssen. Aus diesen Daten kann nun geschlussfolgert werden, dass die sagittale Entwicklung des Schädels vom Punkt Sqz' aus nach posterior über den Beobachtungszeitraum hinweg um 20 % bis 60 % größer ist als ihre anteriore Entwicklung.

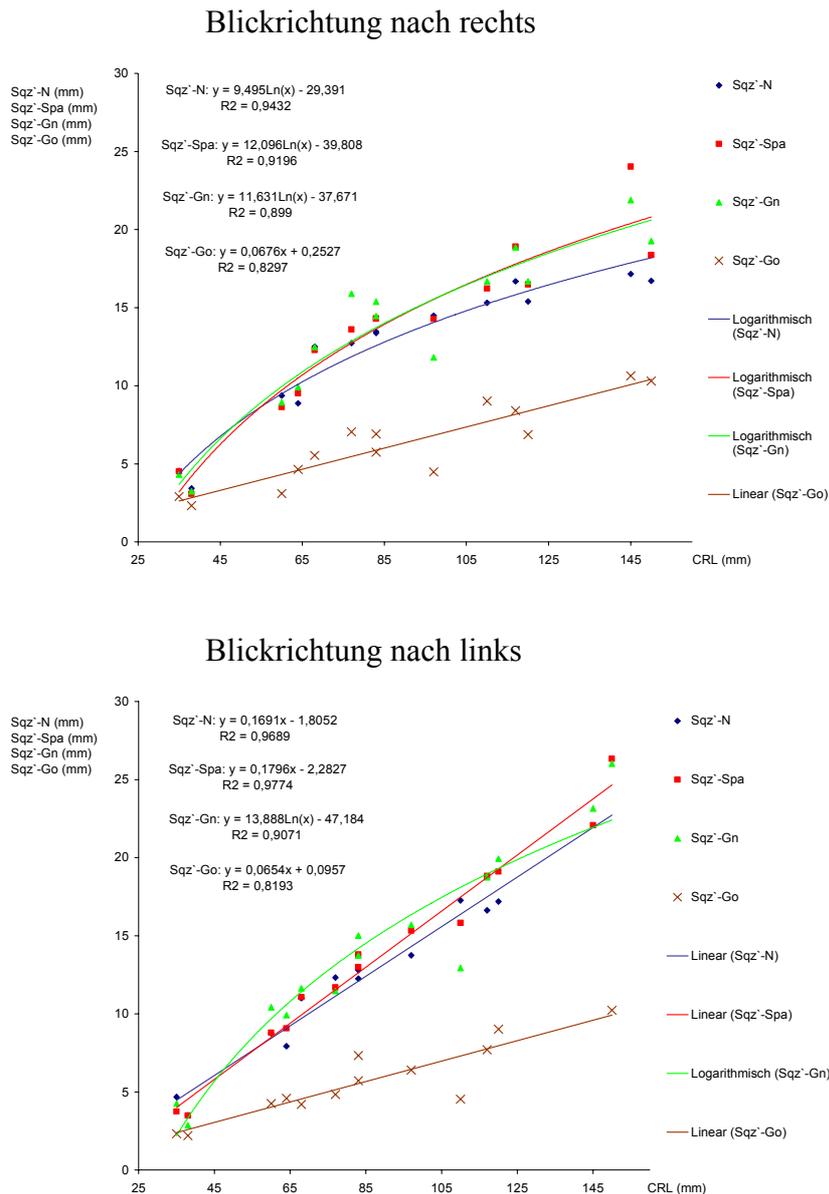
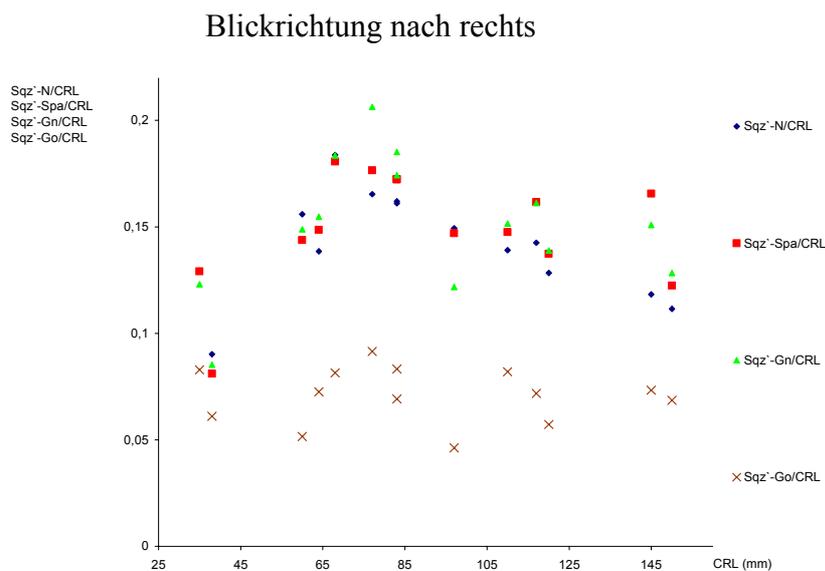


Abb. 51, 52: Sagittale Ausdehnung des Gesichtes in drei Ebenen und posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung der rechten und der linken Seite des Schädels vom zentralen Punkt Sqz' aus in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus den Diagrammen kann man entnehmen, dass die sagittalen Ausdehnungen des Gesichtes in den drei vermessenen Ebenen, ausgedrückt durch Sqz'-N, Sqz'-Spa (Os temporale, Pars squamosa, zentral`-Spina nasalis, anterior) und Sqz'-Gn (Os temporale, Pars squamosa, zentral`-Nasion), auf beiden Seiten vergleichbare Werte und Anstiegsraten haben. Die Punkte verlaufen linear bis leicht logarithmisch mit geringer bis mittelmäßig stark ausgeprägter Streuung ($R^2 = 0,98$ bis $0,81$). Die Werte für Sqz'-Spa und Sqz'-Gn erhöhen sich von 5 mm auf 20 mm bis 25 mm um das Vier- bis Fünffache. Sqz'-N wurde in den Abbildungen 45 bis 48 besprochen. Die Zunahme der Werte ist insgesamt etwas geringer. Die posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung, ausgedrückt durch Sqz'-Go (Os temporale, Pars squamosa, zentral`-Gonion), nimmt beidseitig von 2 mm auf 8 mm um das Vierfache zu. Die Streuung der Punkte ist ebenfalls mittelmäßig stark ausgeprägt und der Verlauf linear. Insgesamt ist eine Konstanz der Werte für alle Vermessungen gegeben.



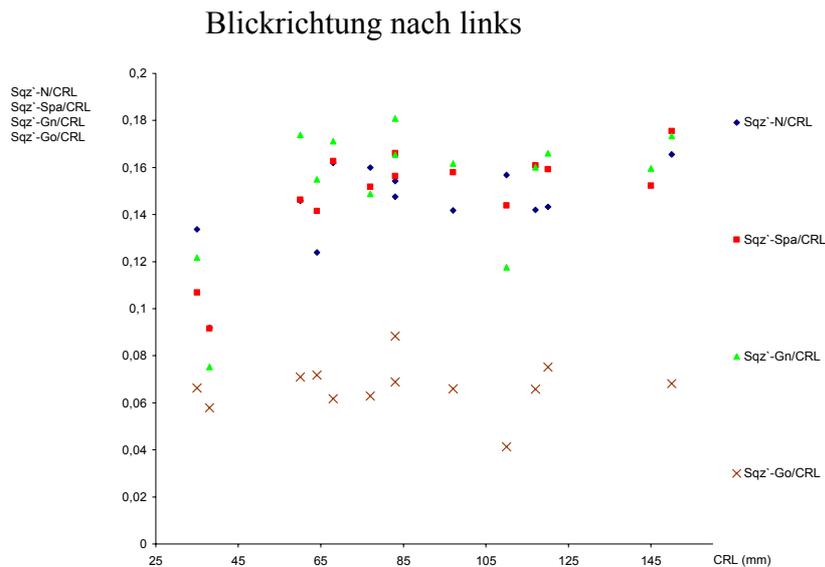


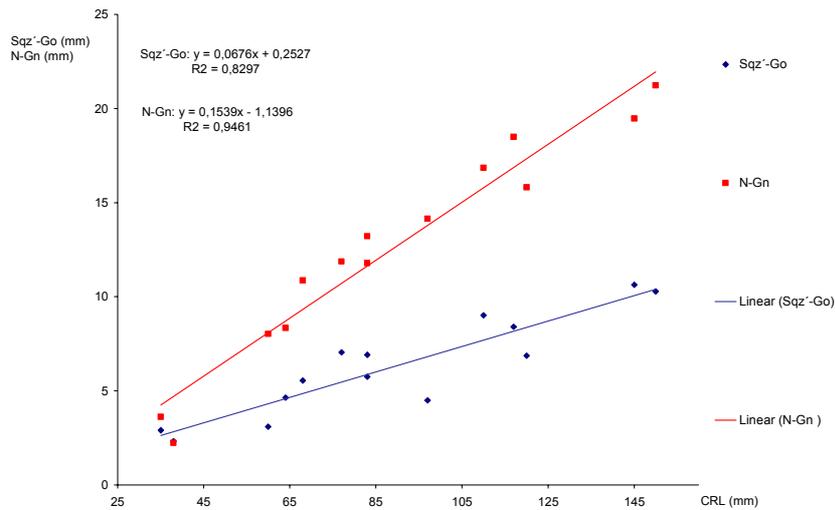
Abb. 53, 54: Quotientendarstellung der sagittalen Ausdehnung des Gesichtes in drei Ebenen und der posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung der rechten und der linken Seite des Schädels vom zentralen Punkt Sqz' aus zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus der Quotientendarstellung der sagittalen Ausdehnung des Gesichtes in den drei vermessenen Ebenen Sqz'-N, Sqz'-Spa und Sqz'-Gn zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) kann man ersehen, dass die Werte bis zu einer SSL von 70 mm bis 80 mm für beide Seiten verhältnismäßig zur SSL ausgeprägter zunehmen. Danach ist die Erhöhung der Werte dieser Vermessungen für die linke Seite gleich die der SSL und liegt relativ konstant bei etwa 15 % bis 16 % der SSL. Auf der rechten Seite nehmen die Werte auf 70 mm bis 80 mm SSL geringfügig wieder ab und liegen am Ende bei 12 % der SSL.

Die Werte der Quotientendarstellung der posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung Sqz'-Go zur SSL zeigen ein entsprechendes Wachstumsverhalten zur SSL über die gesamte Entwicklungsperiode. Sie liegen mit einer größeren Schwankungsbreite von 0,04 bis 0,10 bei etwa 6 % der SSL.

Eine Funktion zur SSL kann hier also aus den vermessenen Knochenstrukturen geschlussfolgert werden. Eine höhere Wachstumsrate für die sagittale Ausdehnung des Gesichtes als die der SSL in den drei vermessenen Ebenen bis zu einer SSL von 70 mm bis 80 kann aufgrund der Diagramme vermutet werden. Weiterhin fällt auf, dass sich die Werte der Vermessungen der sagittalen Ausdehnungen des Gesichtes (Sqz'-N, Sqz'-Spa und Sqz'-Gn) sehr ähneln. Dies deutet auf eine gleichmäßige Entwicklung des Gesichtes in der Sagittalebene hin.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

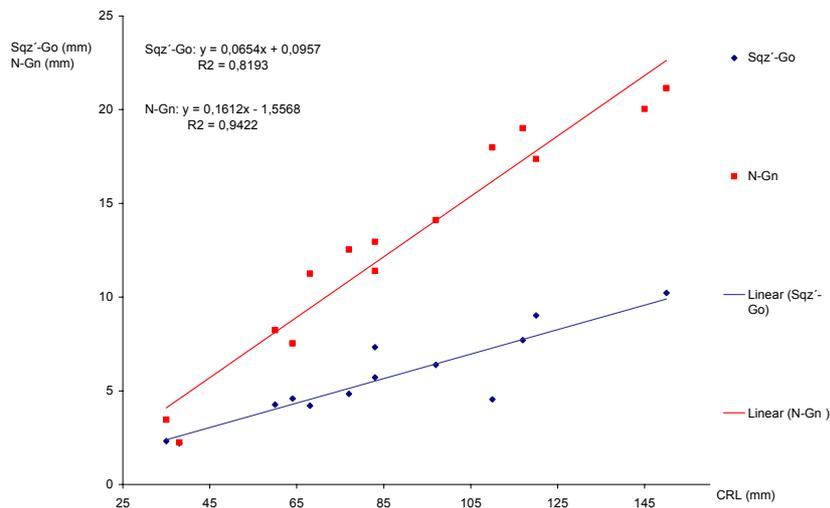


Abb. 55, 56: anteriore und posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Streubreite der Punkte ist für die anteriore, vertikale Gesichtsausdehnung (N-Gn = Nasion-Gnathion) augenscheinlich geringer ausgeprägt. Eine Konstanz und damit Aussagekraft der Werte kann jedoch beiden Vermessungen zugestanden werden. Die Verläufe sind linear und die Anstiegsraten für die jeweiligen Vermessungen auf beiden Seiten vergleichbar. N-Gn nimmt von etwa 3 mm auf 21 mm um das Siebenfache zu und Sqz'-Go wie oben aufgeführt von 2 mm auf 8 mm um das Vierfache.

Bei den jüngsten Embryonen dieser Untersuchung sind die Werte der Vermessungen ähnlich. Darauf folgend nimmt die anteriore, vertikale Gesichtsausdehnung deutlich stärker an Höhe

zu. Sie ist ab einer SSL von 60 mm auf beiden Seiten etwa doppelt so hoch wie die posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung und behält dieses Verhältnis danach bei.

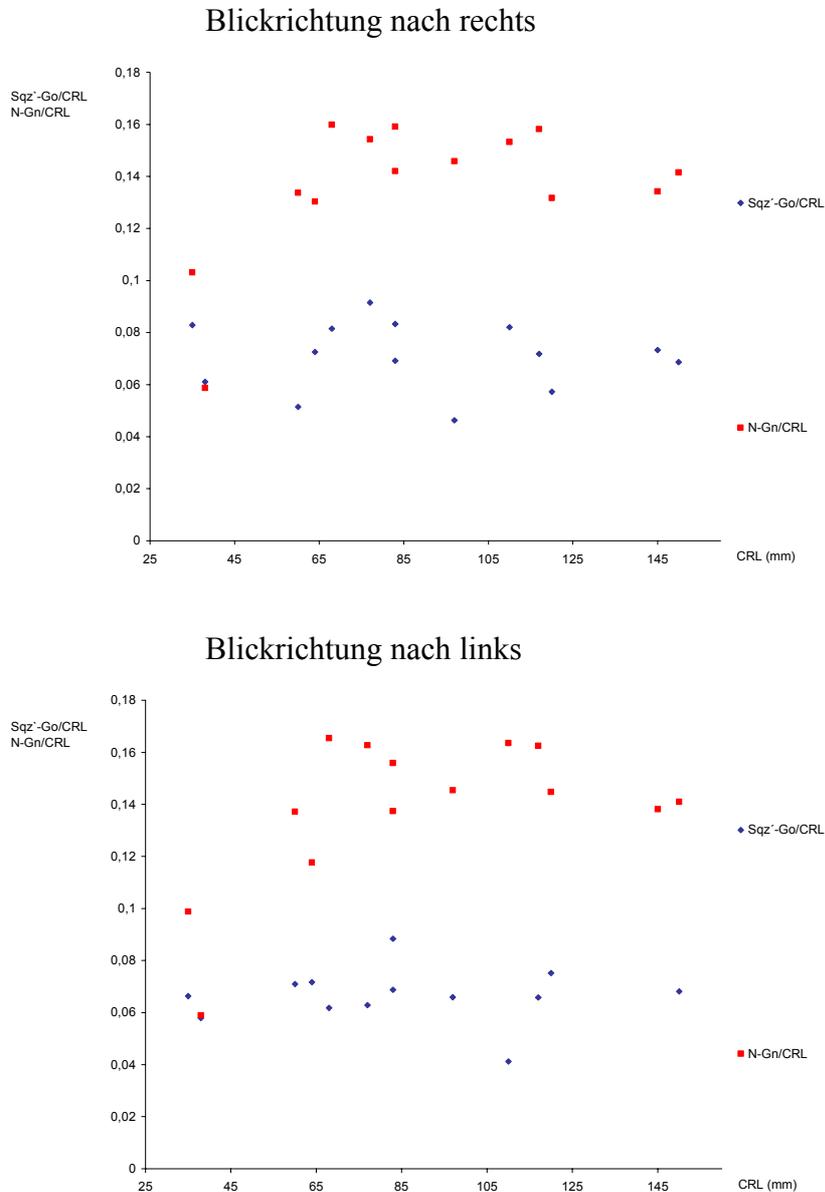


Abb. 57, 58: Quotientendarstellung der anterioren und posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung der rechten und der linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus dem Quotienten kann man ersehen, dass die anteriore und posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung (N-Gn und Sqz'-Go) auf beiden Seiten in etwa die gleiche Anstiegsrate der Werte wie die der SSL haben. Die posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung liegt relativ konstant bei 7 % der SSL und die anteriore bei 14 % bis 15 %.

Diese Quotientendarstellungen verdeutlichen nochmals, dass sich bei der anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung, auch im Verhältnis zur SSL, die Werte bis zu einer SSL von 60 mm deutlich erhöhen und danach einen Wertebereich beibehalten.

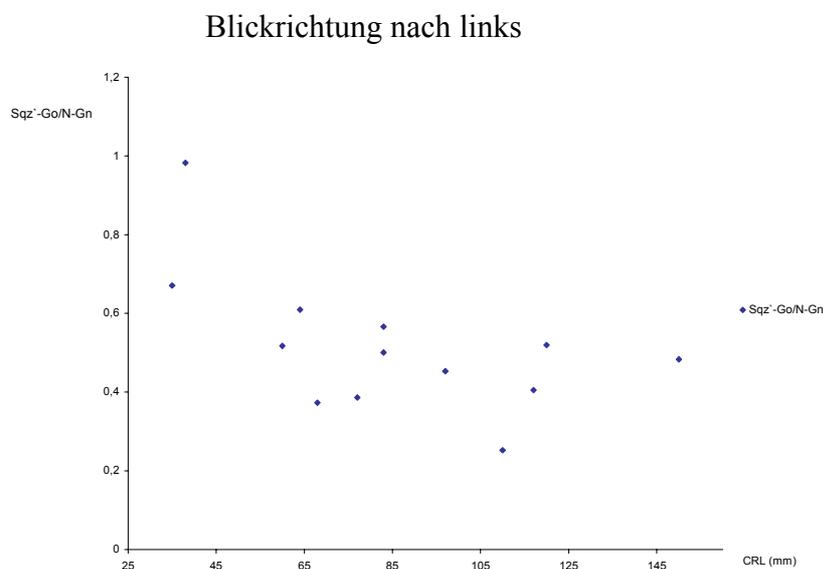
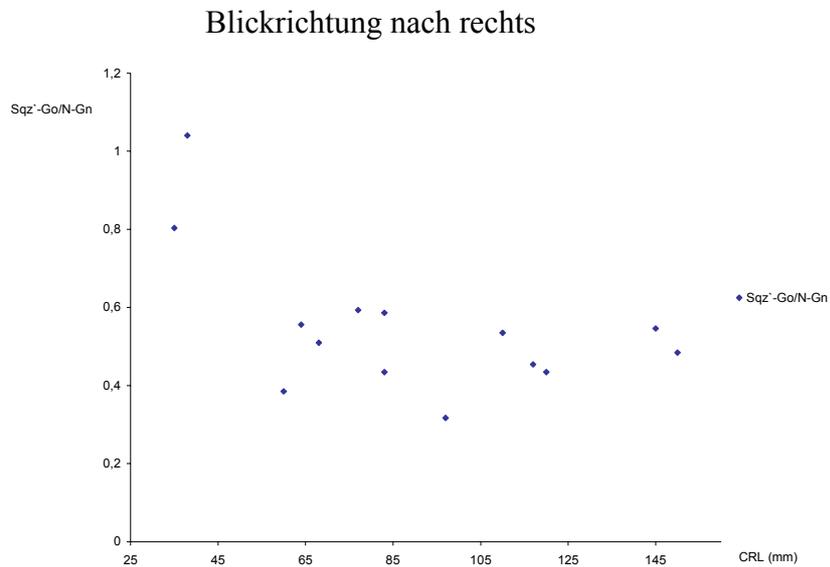
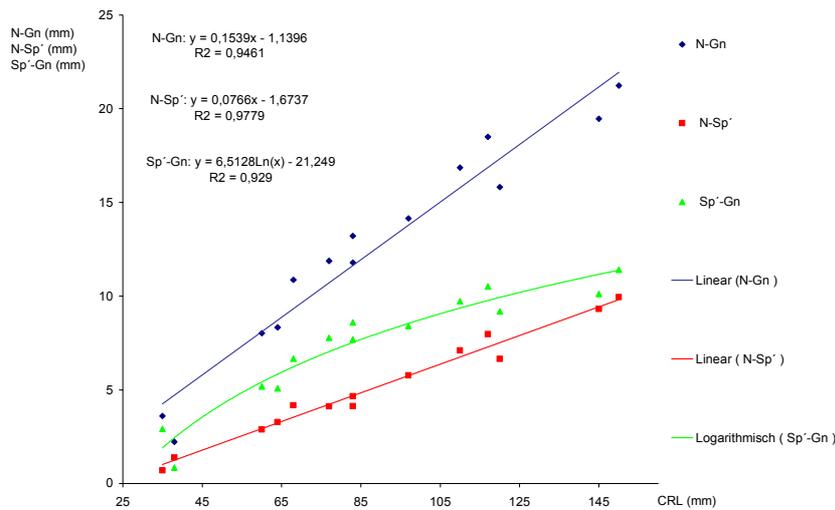


Abb. 59, 60: Quotientendarstellung der posterioren zur anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Durch einen direkten Vergleich der anterioren mit der posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung (N-Gn/Sqz'-Go) wird das Verhältnis der beiden Vermessungen zueinander deutlicher. Die Punkte sind zwischen 30 % und 60 % breit gestreut. Das bereits angedeutete Verhältnis von 1 : 0,5 ab 60 mm SSL schwankt eher zwischen 1 : 0,3 und 1 : 0,6.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

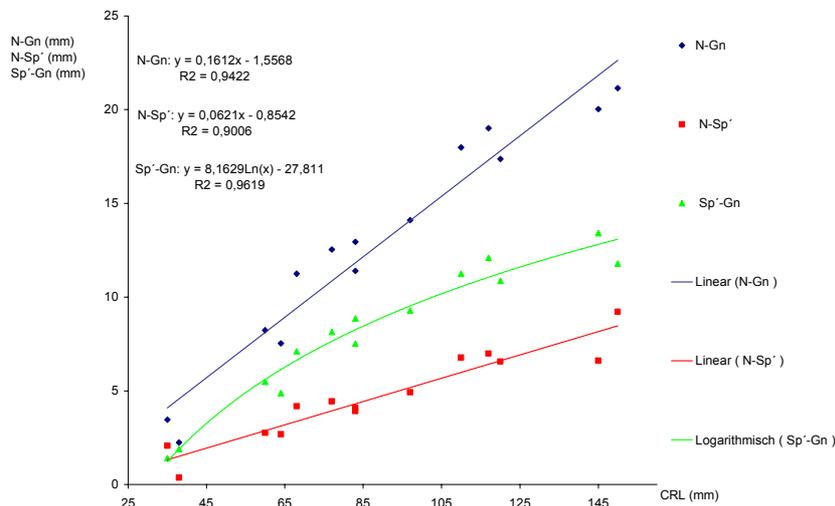
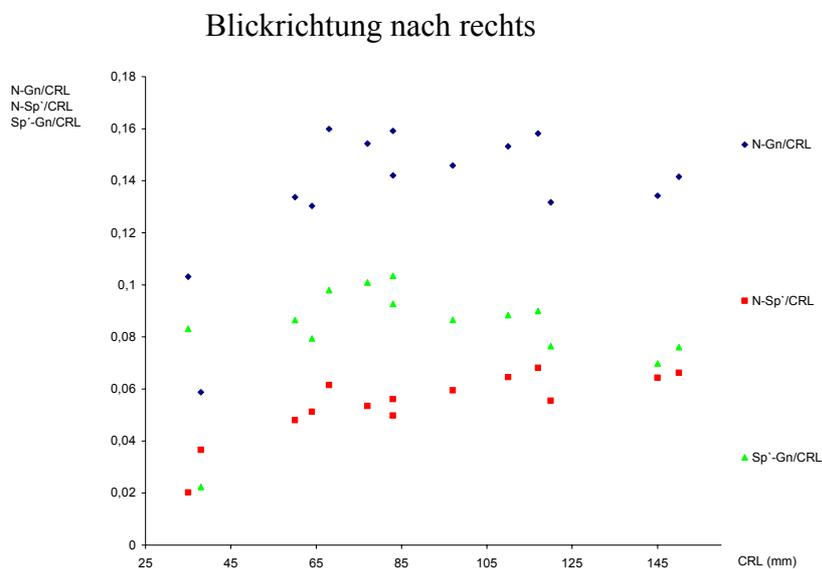


Abb. 61, 62: Maximale anteriore, vertikale Ausdehnung des Gesichtes und deren kraniale und kaudale Teilstrecken der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Den Diagrammen 61 und 62 ist zu entnehmen, dass die Werte der kranialen, anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung, ausgedrückt durch N-Sp' (Sp' = Schnittpunkt der Nasallinie und der Strecke N-Gn), deutlich kleiner sind als die der kaudalen anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung, ausgedrückt durch Sp'-Gn. Bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen bis 53 mm SSL (siehe Abb. 14) haben diese beiden Werte noch gleiche Ausmaße. Auch hier ist zu erkennen, dass die Embryos bei einer SSL von 35 mm ähnliche Werte aufweisen. Bei einer SSL von 60 mm ist auf beiden Seiten dann die Strecke Sp'-Gn länger als N-Sp' und bleibt es danach auch.

Für den unterschiedlichen Verlauf dieser beiden Vermessungen, der rechten gegenüber der linken Seite, müssen hauptsächlich vertikal von der Orthoradialität abweichende Aufnahmen der Präparate verantwortlich gemacht werden. Die Begründung dafür ist, dass die gleichen Strukturen von zwei verschiedenen Seiten vermessen wurden. Die Unterschiede sind jedoch geringfügig, sodass eine gemeinschaftliche Analyse möglich ist.

Für N-Sp' steigen die Werte von 1 mm auf 8 mm um das 8-fache und für Sp'-Gn sogar bis auf das 12-fache an. Die Streuung der Punkte der Teilstrecken ist als gering anzusehen, was auch aus den R^2 -Werten hervorgeht. Dass die Gesamtstrecke N-Gn ebenfalls einen konstanten Verlauf hat, wurde schon in den Diagrammen 56 bis 59 erfasst.



Blickrichtung nach links

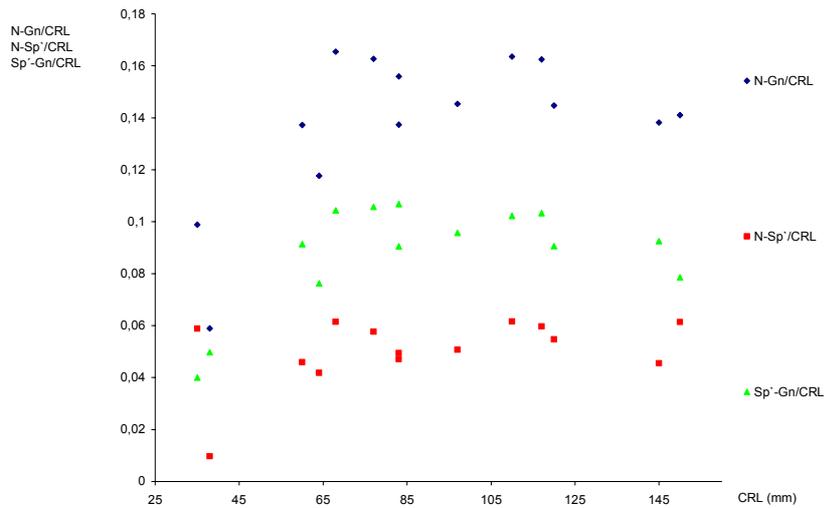
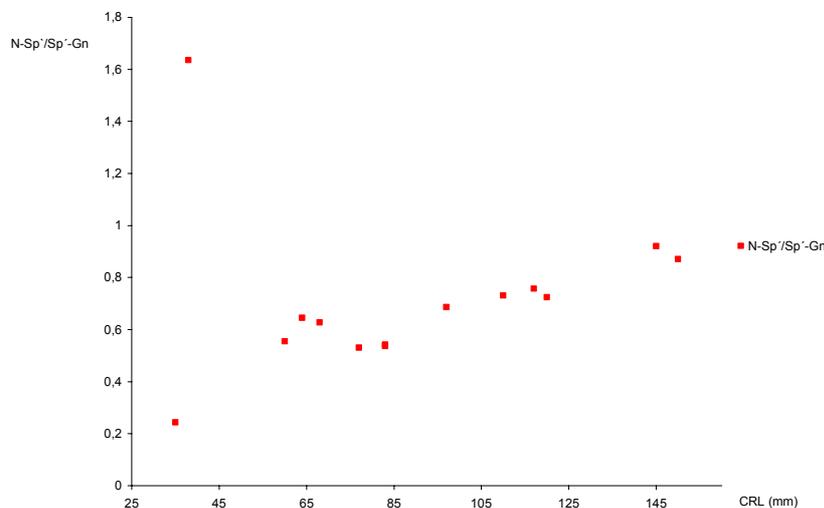


Abb. 63, 64: Quotientendarstellung der maximalen anterioren, vertikalen Ausdehnung des Gesichtes und deren kraniale und kaudale Teilstrecken der rechten und der linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Quotientendarstellung zeigt eine Funktion zur Scheitel-Steiß-Länge SSL von N-Gn und den Teilstrecken N-Sp' und Sp'-Gn ab 60 mm SSL. Für N-Gn liegen die Werte bei 0,14 bis 0,15. Wie hier bis etwa 60 mm SSL ist auch bei den 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 15) bis 53 mm SSL noch keine Funktion zur SSL ersichtlich. Dies weist wieder darauf hin, dass sich eine Funktion zur SSL auch für die anteriore, vertikale Gesichtsausdehnung erst nach 60 mm SSL einstellt. Die Durchschnittswerte für N-Sp' liegen bei 0,05 und für Sp'-Gn bei 0,09.

Blickrichtung nach rechts



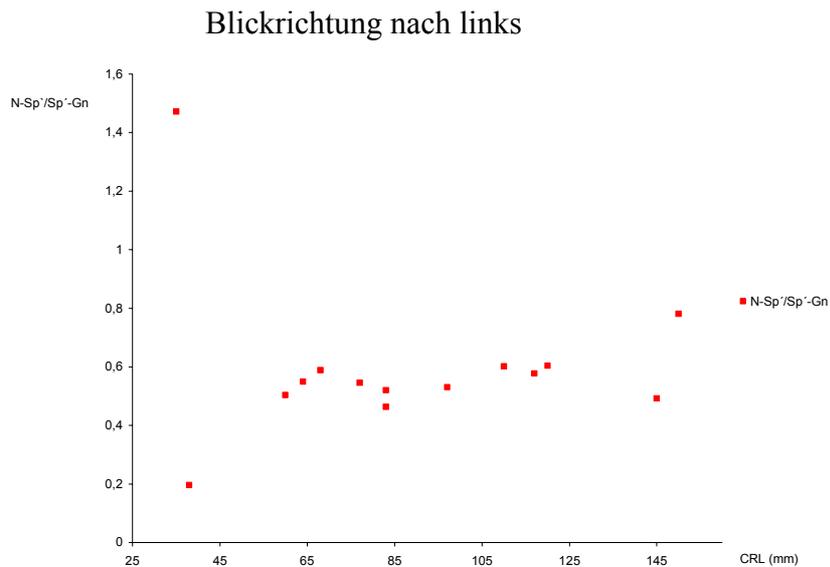


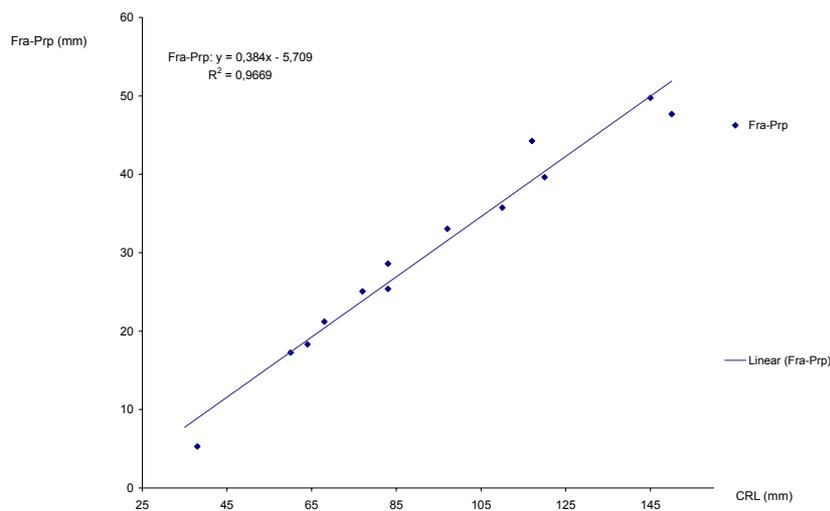
Abb. 65, 66: Quotientendarstellung der kranialen zur kaudalen Teilstrecke der anterioren, vertikalen Ausdehnung des Gesichtes der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Bildet man einen Quotienten aus den beiden Teilstrecken der maximalen anterioren, vertikalen Ausdehnung des Gesichtes, so sieht man, dass die kraniale Teilstrecke (N-Sp') immer deutlich kürzer ist als die kaudale (Sp'-Gn). Das Verhältnis liegt für die rechte Seite mit aufsteigender Tendenz bei 0,4 bis 0,9 : 1 und für die linke Seite mit geringfügig aufsteigender Tendenz bei 0,5 bis 0,6 : 1. Aufgrund der Tatsache, dass eine abweichende Orthoradialität für diese Unterschiede der rechten zur linken Seite verantwortlich gemacht wird, können die Werte hier miteinander verrechnet werden, was zu genaueren Angaben führt. Danach kann ausgesagt werden, dass eine anteilmäßige Zunahme der Strecke N-Sp' an Sp'-Gn von 45 % auf 75 % vorliegt.

Bei den jüngeren Exemplaren, von denen 3D-Rekonstruktionen hergestellt wurden (siehe Abb. 14 bis 16), liegen diese Werte weit auseinander. Sie haben zwar mit 0,9 : 1 einen fast gleichen Anteil zur gesamten anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung, ob dieses Verhältnis der tatsächlichen Gegebenheit entspricht, kann jedoch aufgrund der breiten Streuung der Punkte nicht erkannt werden.

Aufgrund potenziell unterschiedlicher Mundöffnungsstände sind Vermessungen an der kaudalen, anterioren, vertikalen Ausdehnung (Sp'-Gn) kritisch zu betrachten.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

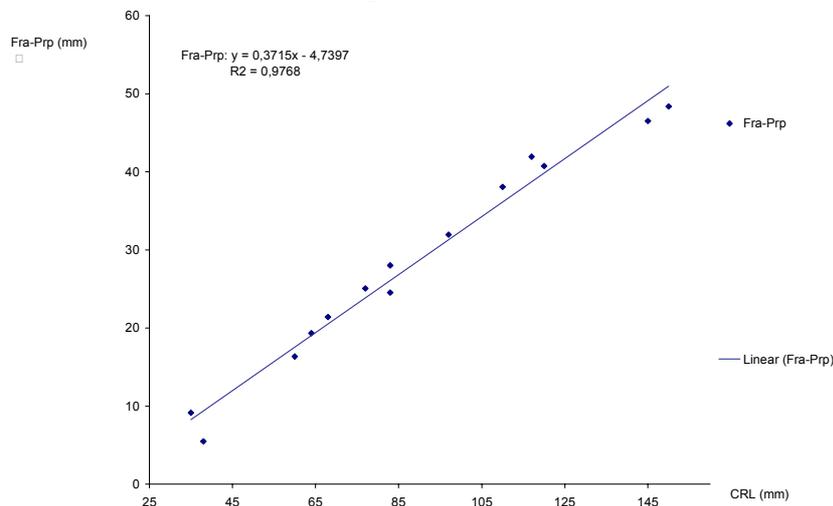


Abb. 67, 68: Maximale sagittale Ausdehnung des oberen Drittels der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Streuung der maximalen sagittalen Ausdehnung des oberen Drittels der rechten und der linken Seite des Schädels, ausgedrückt durch Fra-Prp (Os frontale, anterior-Os parietale, posterior), kann mit einem Determinationskoeffizienten von fast 1 als gering angesehen werden. Die Anstiegsrate der Werte ist auf beiden Seiten gleich und linear.

Es liegt also ein konstantes Wachstumsverhalten der maximalen sagittalen Ausdehnung des oberen Drittels des Schädels vor. Die Werte nehmen von 10 mm auf 50 mm um das Fünffache zu.

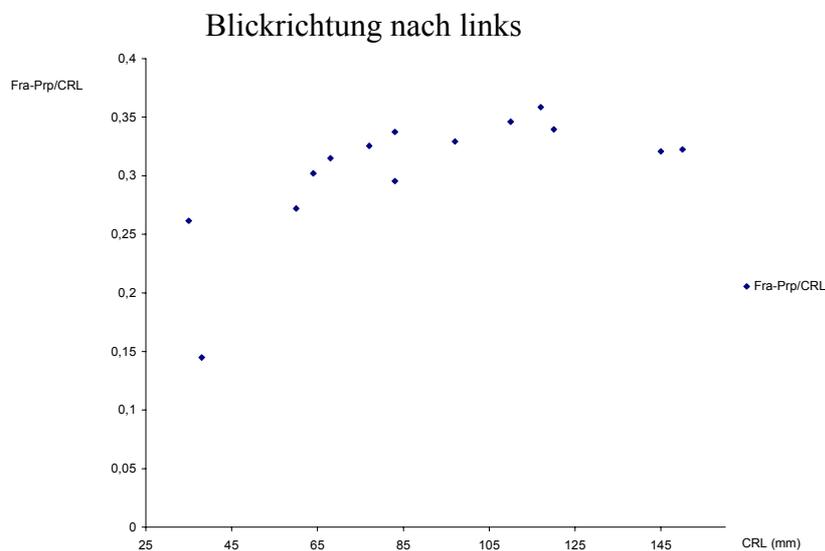
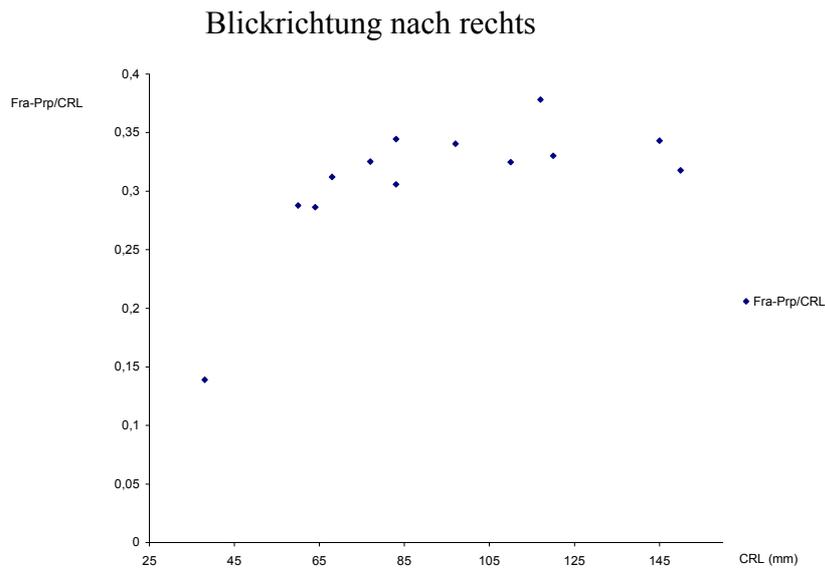


Abb. 69, 70: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnung des oberen Drittels der rechten und der linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Bis 70 mm Scheitel-Steiß-Länge (SSL) nehmen die Werte für Fra-Prp von 0,15 zu und liegen danach relativ konstant bei 0,33 für beide Seiten. Eine erhöhte Wachstumsrate bis 70 mm SSL ist möglich, aufgrund weniger Vermessungen jedoch wieder nicht eindeutig herleitbar.

4.3.2 Größenvermessungen einzelner Knochen

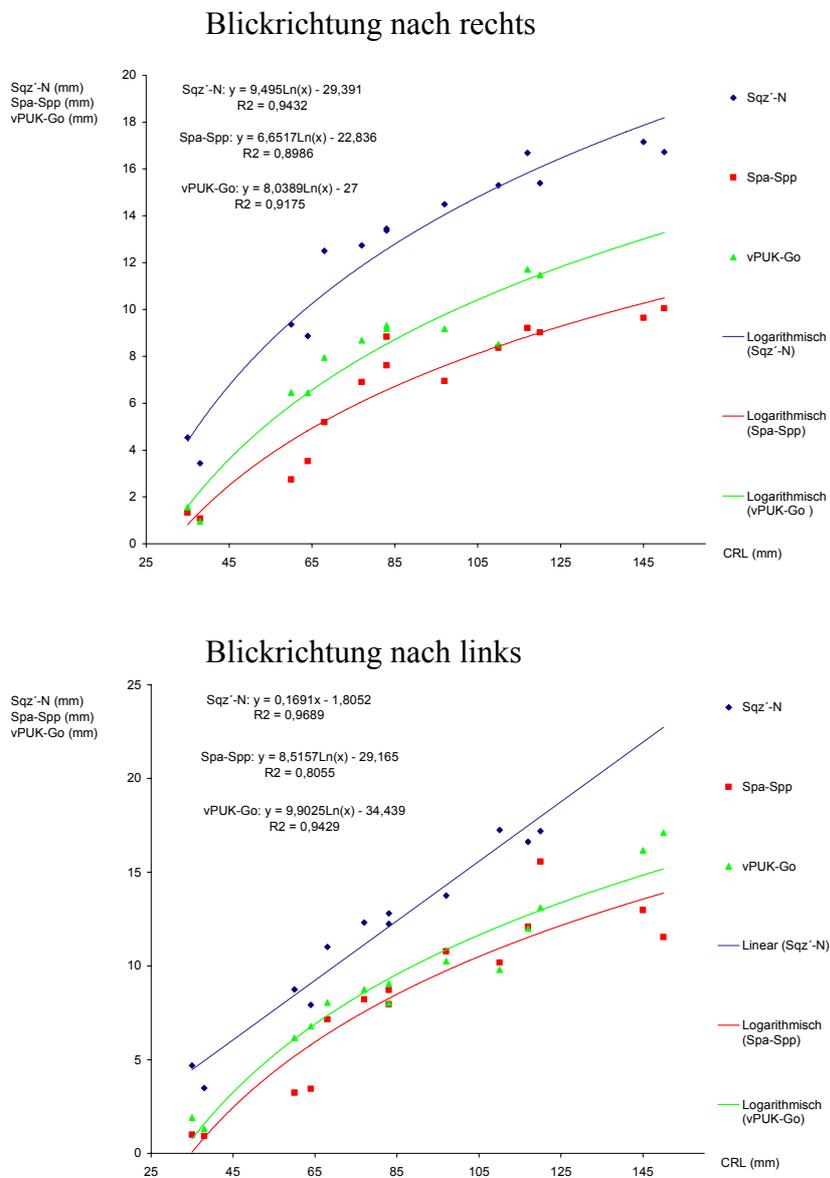


Abb. 71, 72: Maximale sagittale Ausdehnung der Maxilla und der Mandibula der rechten und der linken Seite des Schädels sowie die anteriore Ausdehnung des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

In den Abbildungen 46 bis 50 sind die Eigenschaften der anterioren Ausdehnung des Schädels Sqz'-N (Os temporale, Pars squamosa, zentral'-Nasion) besprochen worden. Bei den jüngeren Präparaten, von denen 3D-Rekonstruktionen hergestellt wurden, steigen die Werte für die maximale sagittale Ausdehnung der Mandibula, ausgedrückt durch vPUK-Go (vPUK entsteht durch eine Lotfällung vom Pogonion auf die Mandibularebene, Go steht für Gonion), stärker

an als die für die maximale sagittale Ausdehnung der Maxilla, ausgedrückt durch Spa-Spp (Spina nasalis, anterior-Spina nasalis, posterior = Nasallinie bzw. Spinaebene; siehe Abb. 17). Hier sind die Werte für vPUK-Go zwar zumeist höher als für Spa-Spp, eine ausgeprägtere Wachstumsrate in der Sagittalen kann für die Mandibula gegenüber der Maxilla jedoch nicht abgeleitet werden. Beide Vermessungen zeigen einen logarithmischen Verlauf. Die Werte nehmen für Spa-Spp auf der rechten Seite von 1 mm auf 10 mm und auf der linken Seite etwas stärker von 1 mm auf 12 mm zu. Für vPUK-Go nehmen die Werte ebenfalls von 1 mm auf 12 mm für beide Seiten bis 125 mm SSL um den Faktor 12 zu. Auf der linken Seite liegen zwei Vermessungen für vPUK bis 150 mm SSL vor. Diese sind mit 16 mm deutlich höher, was einen Hinweis auf eine zunehmende Wachstumsrate der Mandibula in der Sagittalebene gibt. Die letzten beiden Vermessungen der Strecken Sqz'-N und Spa-Spp nehmen hingegen nicht mehr wesentlich zu.

Anhand dieser Diagramme kann man also schlussfolgern, dass die sagittale Ausdehnung der Mandibula und der Maxilla eine etwas höhere Streuung der Werte als die sagittale Ausdehnung des Obergesichts, ausgedrückt durch die Strecke Sqz'-N, aufweisen.

Bis zu einer SSL von 65 mm nehmen die Werte für vPUK-Go deutlich stärker zu als die für Spa-Spp. Bei den jüngeren Präparaten in Abbildung 16, von denen 3D-Rekonstruktionen hergestellt und die bis zu einer SSL von 53 mm vermessen wurden, ist Gleiches zu beobachten. Auf der linken Seite sind die Werte für Spa-Spp ab einer SSL von 85 mm bis 120 mm genau so hoch wie die von vPUK-Go. Danach vergrößert sich dieser Abstand zugunsten von vPUK-Go wieder. Daraus lassen sich entsprechende Wachstumsphasen vermuten. Eindeutige Aussagen sind hier jedoch aufgrund mangelnder statistischer Repräsentanz einzelner Abschnitte nicht möglich.

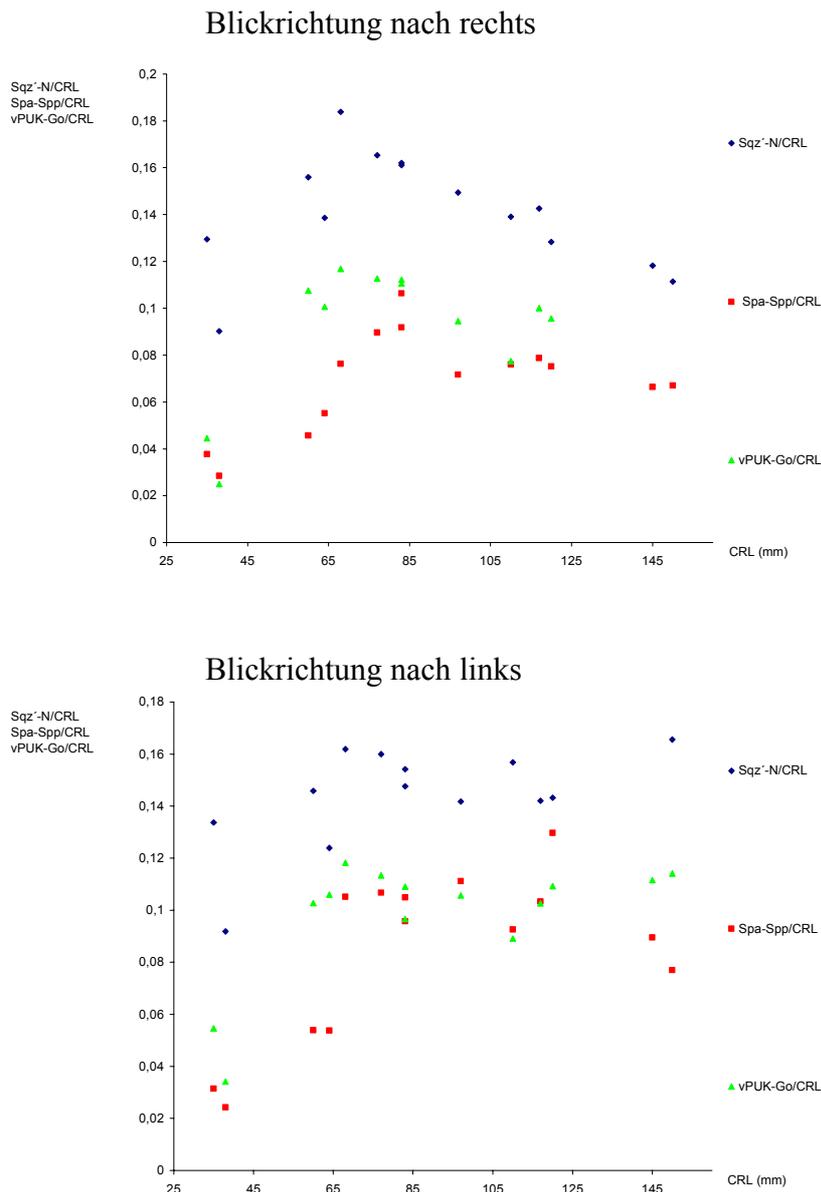


Abb. 73, 74: Quotientendarstellung von Sqz'-N und der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla und der Mandibula der rechten und linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Bei der Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla (Spa-Spp) und der Mandibula (vPUK-Go) zur SSL ist erkennbar, dass alle Vermessungen einen Anstieg der Werte bis zu einer SSL von 65 mm bis 85 mm aufzeigen. Dies weist wieder auf höhere Wachstumsraten junger Föten hin. Danach nehmen die Werte der meisten Vermessungen geringfügig ab. Spa-Spp nimmt auf der rechten Seite von 0,1 auf 0,06 und auf der linken Seite von 0,1 auf 0,07 ab. vPUK-Go zeigt dies auf der rechten Seite durch Werte von 0,12 bis 0,08. Aufgrund der Streuung der Punkte kann jedoch nicht eindeutig eine geringere Wachstumsrate als die der SSL hergeleitet werden. Die Werte für vPUK-Go liegen auf der linken Seite eher

gleichbleibend bei 0,11. Nur für Sqz'-N der rechten Seite lässt sich eindeutig eine Abnahme der Werte herleiten.

Die Werte der maximalen sagittalen Ausdehnung der Mandibula sind zumeist höher als die der Maxilla. Das Verhältnis hat sich zu den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 16) von 2/3 : 1/3 auf eher 0,6 : 0,4 genähert, was eine Zunahme der Wachstumsrate der Maxilla gegenüber der Mandibula ersehen lässt.

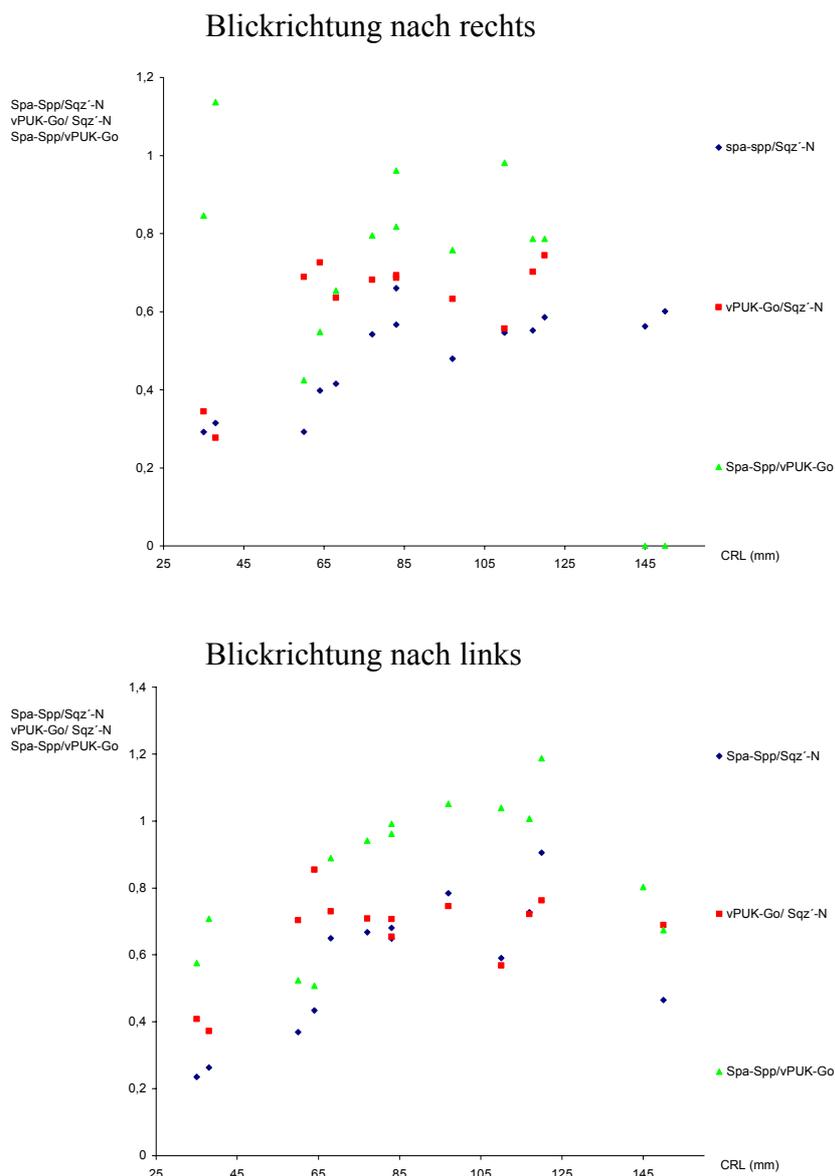
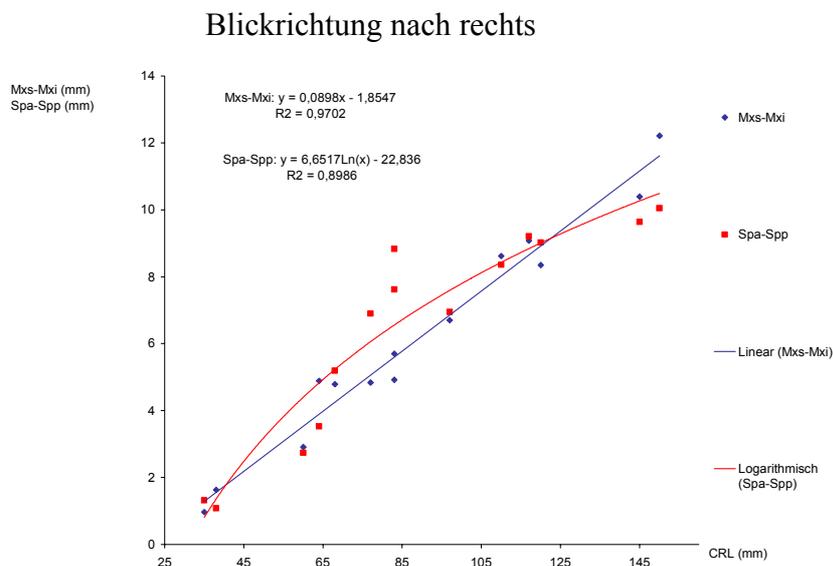


Abb. 75, 76: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla zu Sqz'-N, der maximalen sagittalen Ausdehnung der Mandibula zu Sqz'-N und der maximalen sagittalen Ausdehnung der Maxilla zur maximalen sagittalen Ausdehnung der Mandibula der rechten und linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus den Quotientendarstellungen Spa-Spp/Sqz'-N und vPUK-Go/Sqz'-N kann man deutlich ersehen, dass sowohl die Maxilla als auch die Mandibula immer kürzer sind als die Strecke Sqz'-N. Wie zur SSL nehmen die Vermessungen der Maxilla und der Mandibula bis 65 mm bzw. 85 mm SSL auch zu Sqz'-N von 0,2 bis 0,4 auf 0,5 bis 0,7 stärker zu. Dies deutet auf einen Wachstumsschub sowohl der Maxilla als auch der Mandibula hin. Danach sind deren Werteerhöhungen mit denen von Sqz'-N vergleichbar und liegen gering bis mittelmäßig stark gestreut bei 0,5 bis 0,7.

Den Diagrammen ist weiterhin eine Quotientendarstellung der Vermessungen der Oberkieferlänge zur Unterkieferlänge zu entnehmen (Spa-Spp/vPUK-Go). Wie bei den 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 18) ist der Unterkiefer zumeist länger als der Oberkiefer. Auch hier variiert die Oberkieferlänge zwischen 40 % und 100 % der Unterkieferlänge. Jedoch anders als bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen nicht mit absinkender Tendenz, sondern mit aufsteigender. Das heißt, dass das sagittale Wachstum der Maxilla gegenüber dem sagittalen Wachstum der Mandibula in dieser Entwicklungsperiode deutlich zunimmt.



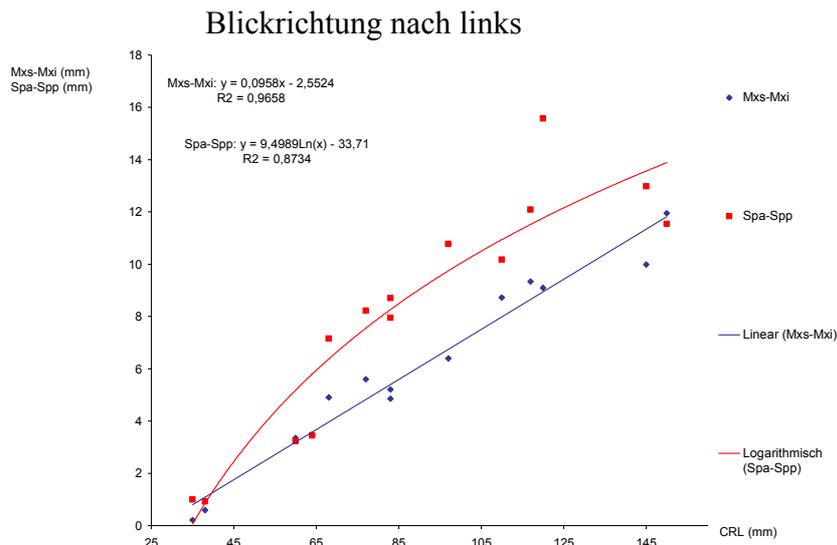
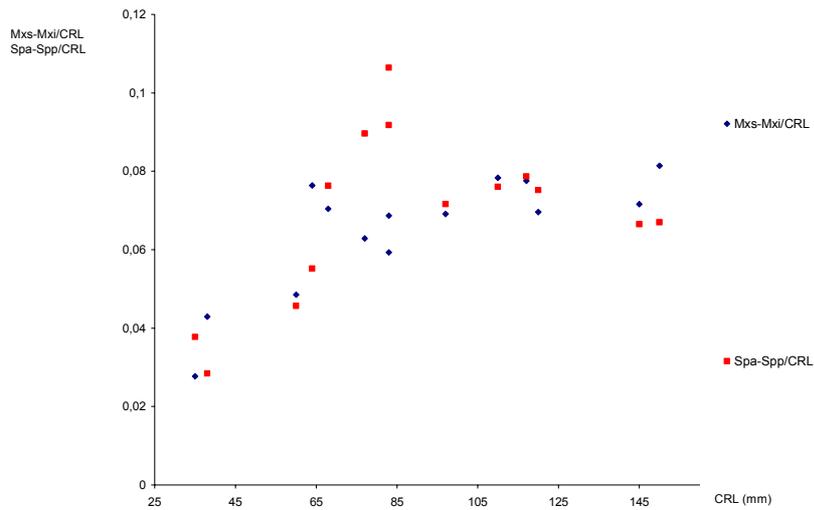


Abb. 77, 78: Maximale vertikale und sagittale Ausdehnung der rechten und der linken Seite der Maxilla in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die vertikale Ausdehnung der Maxilla, ausgedrückt durch Mxs-Mxi (Maxilla, superior-Maxilla, inferior), wird hier mit der sagittalen Ausdehnung verglichen. Sie nimmt auf beiden Seiten gleichstark, linear und ähnlich wie Spa-Spp von 1 mm auf 12 mm um das Zwölfwache zu. Die Streuung der Punkte ist sogar noch etwas geringer ausgeprägt.

Die Werte der sagittalen Ausdehnung liegen zumeist über denen der vertikalen, was auf der linken Seite deutlicher als auf der rechten zu erkennen ist. Bei gleichen Ausgangswerten ist die Anstiegsrate von Spa-Spp bis 85 mm SSL ausgeprägter. Danach nehmen die Längenvermessungen der Maxilla auf der rechten Seite sogar schwächer zu als die ihrer vertikalen und weisen auf der linken Seite etwa die gleiche Wertezunahme wie Mxs-Mxi auf. Bei den jüngeren Exemplaren, von denen 3D-Rekonstruktionen angefertigt wurden, ist noch kein eindeutiger Unterschied im Wachstumsverhalten zu erkennen (siehe Abb. 19). Für den hier beobachteten Entwicklungszeitraum kann nach den vorliegenden Daten ausgesagt werden, dass die Maxilla in ihrer vertikalen Ausdehnung gleichmäßig und konstant zunimmt. In der Sagittalebene wächst sie hingegen etwas diskontinuierlicher mit oben erwähntem Wachstumsschub.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

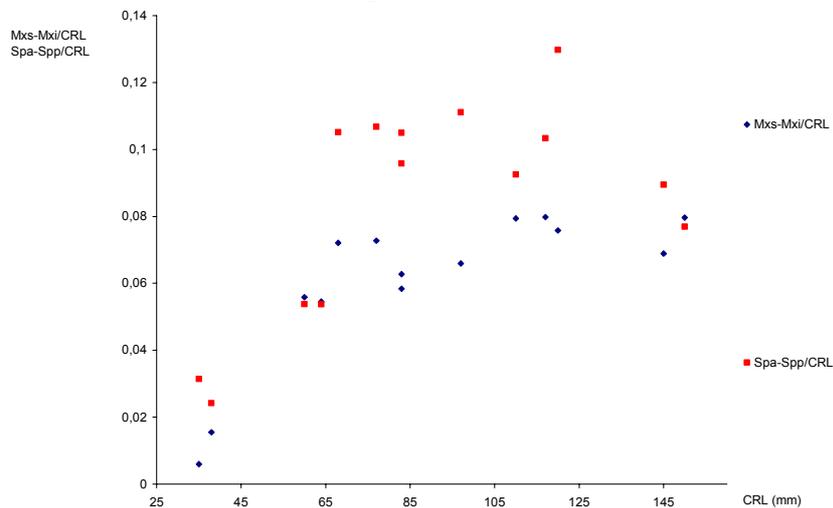


Abb. 79, 80: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen und sagittalen Ausdehnung der rechten und der linken Seite der Maxilla zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus der Quotientendarstellung der maximalen vertikalen und sagittalen Ausdehnung der Maxilla zur SSL ($Mxs-Mxi/CRL$ und $Spa-Spp/CRL$) ist eine Zunahme aller Werte bis 85 mm SSL zu erkennen. Für $Mxs-Mxi$ nehmen sie von 0,01 bis 0,03 auf 0,06 bis 0,08 zu und haben danach auf beiden Seiten einen Durchschnitt von 0,07. Der Quotient $Spa-Spp/CRL$ wurde schon in den Abbildungen 73 und 74 besprochen. Die starke Erhöhung der Werte der sagittalen Ausdehnung der Maxilla bis 85 mm SSL wird hier noch einmal deutlich.

Bei den jüngeren Exemplaren aus der Gruppe der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 20) ist noch kein Unterschied im Wachstumsverhalten zur SSL zu erkennen.

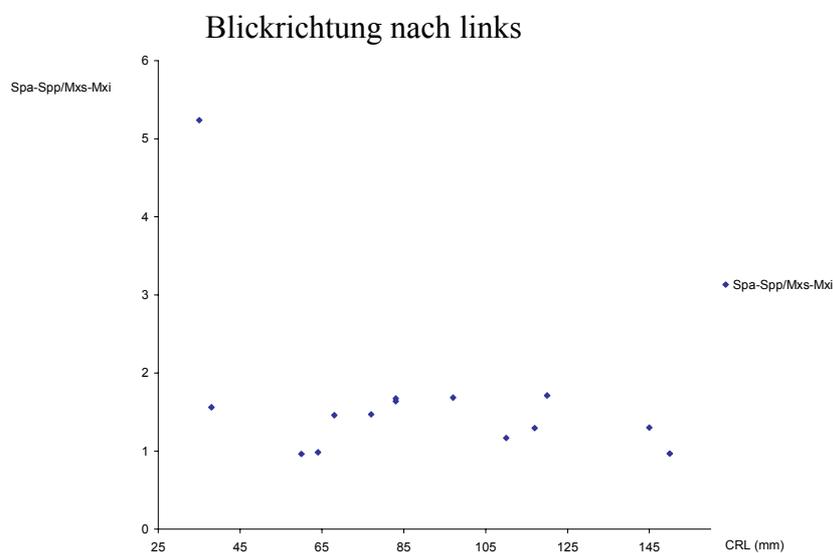
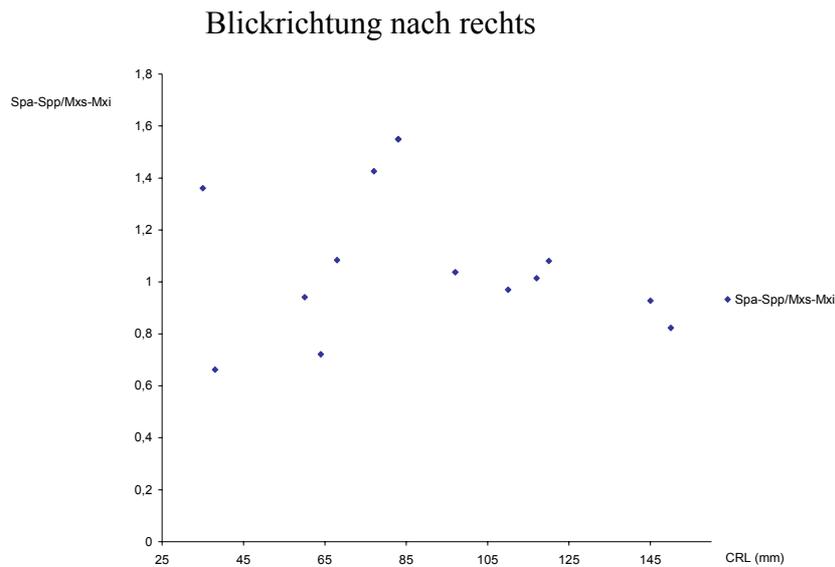
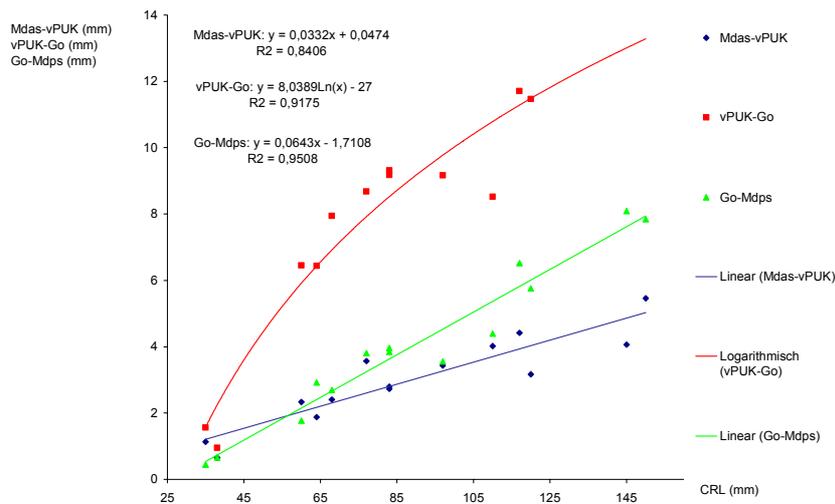


Abb. 79, 80: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen zur sagittalen Ausdehnung der rechten und der linken Seite der Maxilla in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Bei direkter Gegenüberstellung lässt sich das Verhältnis der Länge zur Höhe der Maxilla eher erkennen. Es liegt für die rechte Seite von Spa-Spp/Mxs-Mxi bei 1 : 1 und für die linke Seite bei 1,2 : 1. Dieses Verhältnis ändert sich in der beobachteten Entwicklungsperiode nicht. Durch die starke Streuung der Punkte (zwischen 0,6 und 1.6 für die rechte und 1 und 2 für die linke Seite) wird die Aussagekraft dieser Beobachtung eingeschränkt.

Bei den jüngeren Exemplaren aus der Gruppe der 3D-Rekonstruktionen wurde Ähnliches beobachtet (siehe Abb. 21).

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

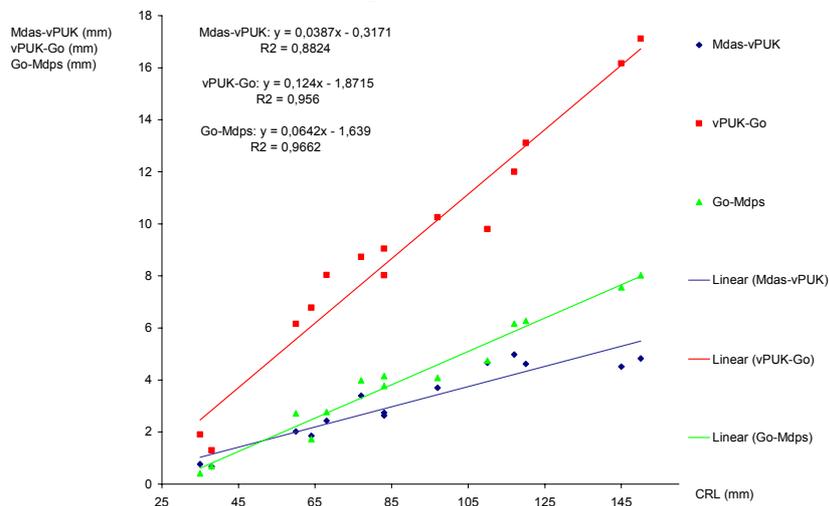


Abb. 81, 82: Maximale vertikale Ausdehnung des Kinns und des dorsalen Anteils der Mandibula sowie maximale sagittale Ausdehnung der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Zur Orientierung und zum Vergleich ist die sagittale Ausdehnung der Mandibula (vPUK-Go) hier mit aufgeführt. Bei den jüngeren Exemplaren aus der Gruppe der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 22) kann nicht eindeutig gesagt werden, ab wann die posteriore, vertikale Ausdehnung der Mandibula, ausgedrückt durch Go-Mdps (Gonion-Mandibula, posterior, superior), höhere Werte hat als die anteriore, vertikale Ausdehnung des Kinns, ausgedrückt durch Mdas-vPUK (Mandibula, anterior, superior, verbunden mit dem Schnittpunkt der Mandibularebene vPUK). Hier ist zu erkennen, dass dies nach 65 mm Scheitel-Steiß-Länge (SSL) der Fall ist.

Im Vergleich zu ihren Ausgangswerten nehmen die Werte hier für Go-Mdps und Mdas-vPUK beträchtlich zu. Anders als bei der Gruppe der 3D-Rekonstruktionen wachsen die Werte für Mdas-vPUK und Go-Mdps linear und sind weniger gestreut. Für Mdas-vPUK erhöhen sich die Werte beidseitig von 1 mm auf 4 mm um den Faktor 4 und für Go-Mdps ebenfalls beidseitig von 1 mm auf 8 mm um das Achtfache.

Es kann also ausgesagt werden, dass in der beobachteten Entwicklungsperiode die dorsale, vertikale Ausdehnung der Mandibula gegenüber der anterioren, vertikalen Ausdehnung bei gleichen Ausgangswerten eine doppelt so hohe Wachstumsrate hat.

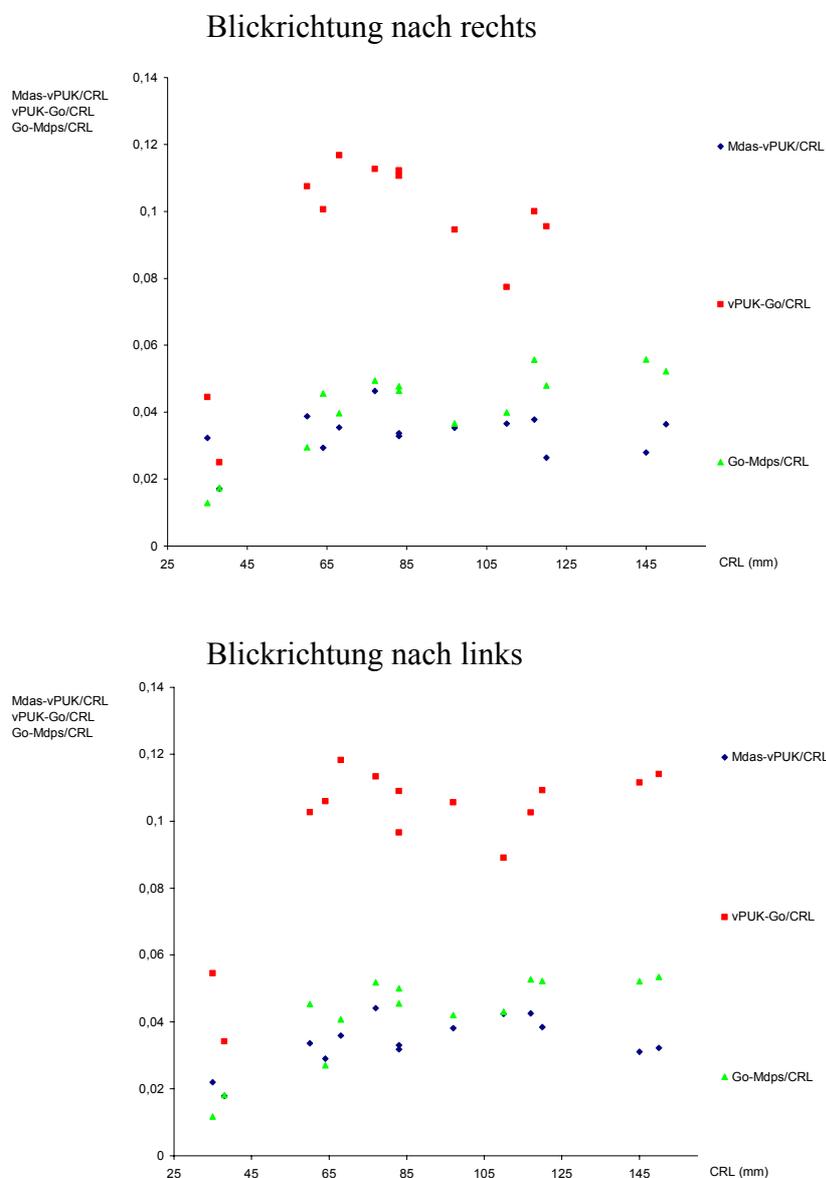


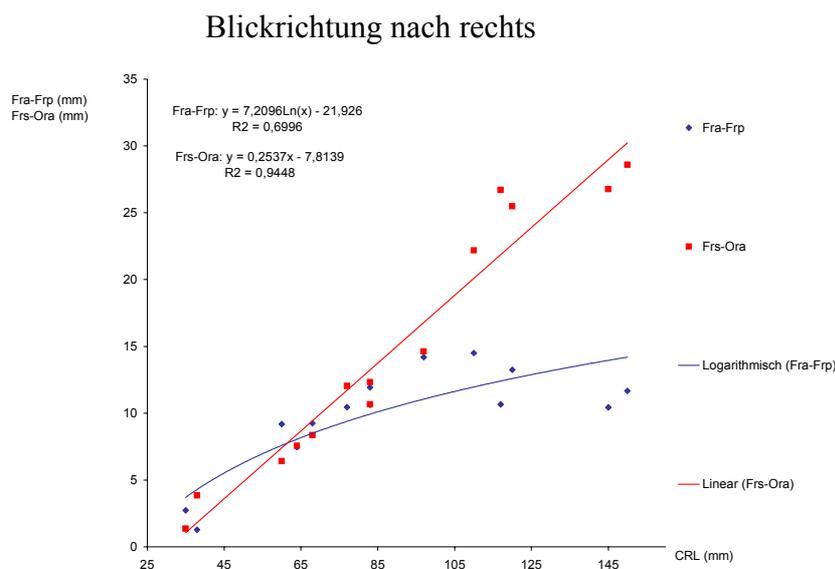
Abb. 83, 84: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung des Kinns und des dorsalen Anteils der Mandibula sowie der maximalen sagittalen Ausdehnung der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Anhand dieser Quotientendarstellung ist zu erkennen, dass die anteriore und posteriore, vertikale Ausdehnung der Mandibula (Mdas-vPUK und Go-Mdps) bis zu einer SSL von 85 mm einen verhältnismäßig höheren Wertezuwachs als die SSL haben. Danach nimmt die Wachstumsrate für Mdas-vPUK geringfügig ab und die für Go-Mdps beidseitig geringfügig zu.

Go-Mdps weist also eine insgesamt höhere Wachstumsrate auf als Mdas-vPUK. Da bei den 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 23) die Werte weniger stark zunehmen als die der SSL, ist zu vermuten, dass der Wachstumsschub für die vertikalen Ausdehnungen der Mandibula erst danach auftritt.

Bei den jüngeren Exemplaren aus der Gruppe der 3D-Rekonstruktionen fällt weiterhin auf, dass die Werte für die sagittale Ausdehnung der Mandibula stärker zunehmen als die für ihre vertikale Ausdehnung. Hier ist ebenfalls zu erkennen, dass bis 65 mm SSL die Werte der sagittalen im Vergleich zu den vertikalen Vermessungen der Mandibula beträchtlich zunehmen.

Diese Beobachtungen erlauben die Aussage, dass die Mandibula bis zu einer SSL von etwa 65 mm einen stärkeren Wachstumsschub in der Sagittalebene haben muss. Danach ist kein größerer Unterschied zum Höhenwachstum mehr zu erkennen. Durch diesen Wachstumsschub ist die Mandibula ab einer SSL von 65 mm zwei- (für Go-Mdps) bis dreimal (für Mdas-vPUK) so lang wie hoch. Dieses Verhältnis ändert sich bis zu einer SSL von 150 mm nur geringfügig.



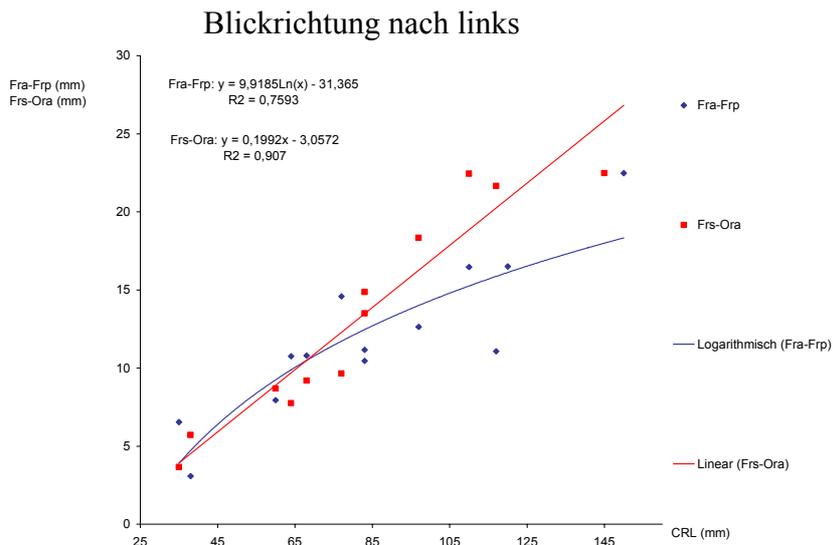


Abb. 85, 86: Maximale sagittale und vertikale Ausdehnung der rechten und linken Seite des Os frontale in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Anstiegsrate für die vertikalen Vermessungen des Os frontale, ausgedrückt durch Frs-Ora (Os frontale, superior-Os frontale, Pars orbitalis, anterior), ist auf der rechten Seite etwas ausgeprägter als auf der linken. Die Streuung der Punkte nimmt mit zunehmender SSL zu. Sie verlaufen linear und sind auch durch den hohen R^2 -Wert von 0,9 und 0,94 als konstant anzusehen. Die Werte nehmen von 2 mm bis 5 mm auf 25 mm bis 30 mm um den Faktor 5 bis 15 zu.

Die Diagrammdarstellungen der sagittalen Ausdehnung des Os frontale, ausgedrückt durch Fra-Frp (Os frontale, anterior-Os frontale, posterior), deuten auf ein diskontinuierliches Wachstumsverhalten hin, da die Punkte logarithmisch verlaufen und einen niedrigen R^2 -Wert haben. Des Weiteren ist die Anstiegsrate der Punkte auf der linken Seite höher als auf der rechten. Die Werte nehmen von 2 mm bis 3 mm auf 15 bis 20 mm um den Faktor 5 bis 10 zu. Anhand dieser Daten kann ausgesagt werden, dass das vertikale Wachstum des Os frontale in der beobachteten Entwicklungsperiode ausgeprägter und konstanter ist als das sagittale. Durch die breiten Streuungen und die Seitenunterschiede für die sagittalen Vermessungen können jedoch keine genauen Verhältnisse angegeben werden.

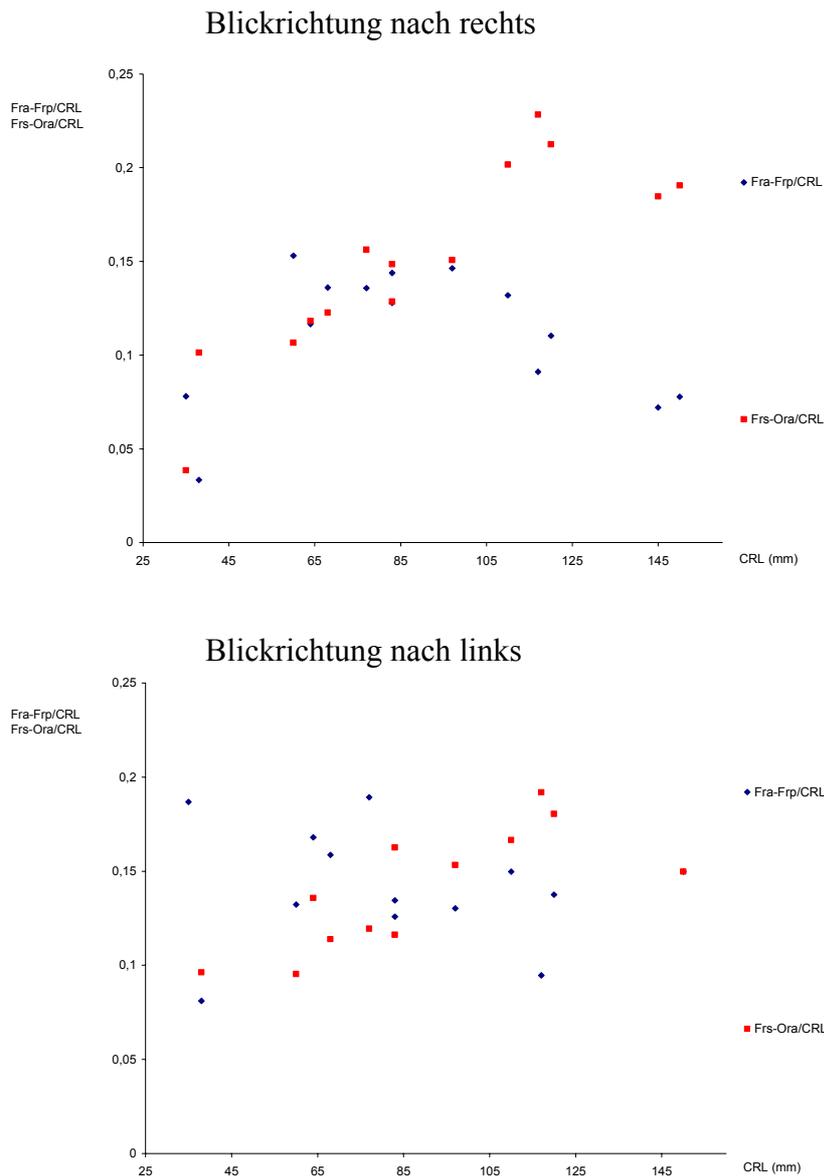
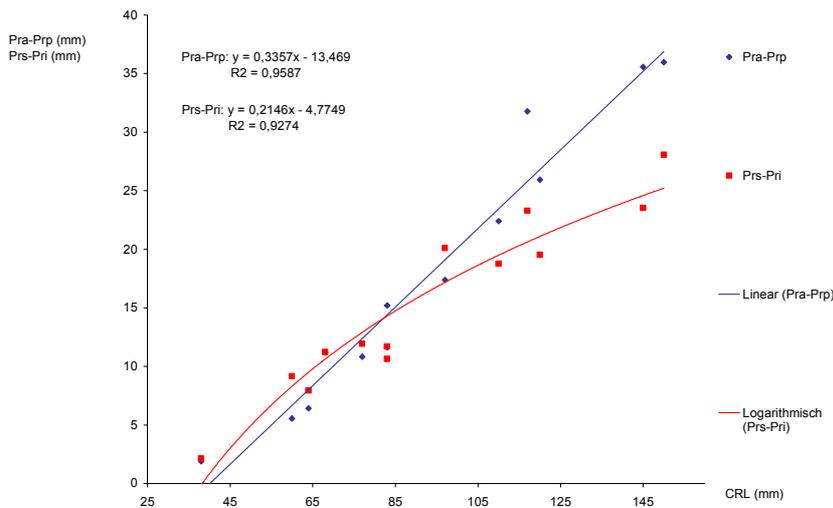


Abb. 87, 88: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen und vertikalen Ausdehnung der rechten und linken Seite des Os frontale zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus dem Quotienten kann ersehen werden, dass die vertikale Ausdehnung des Os frontale auf beiden Seiten stärker zunimmt als die SSL. Die Werte erhöhen sich dabei auf der rechten Seite deutlicher als auf der linken von 0,1 auf 0,2.

Die Werte für die sagittale Ausdehnung des Os frontale nehmen für die rechte Seite bis zu einer SSL von 85 mm stärker zu und weisen danach eine geringere Werteerhöhung als die der SSL auf. Die Werte der linken Seite scheinen sich ebenfalls so zu verhalten, wenn auch schwerer erkennbar. Sie sind zwischen 5 % und 20 % der SSL breit gestreut. Ein Zusammenhang mit der SSL kann aufgrund der breiten Streuung nur begrenzt hergeleitet werden.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

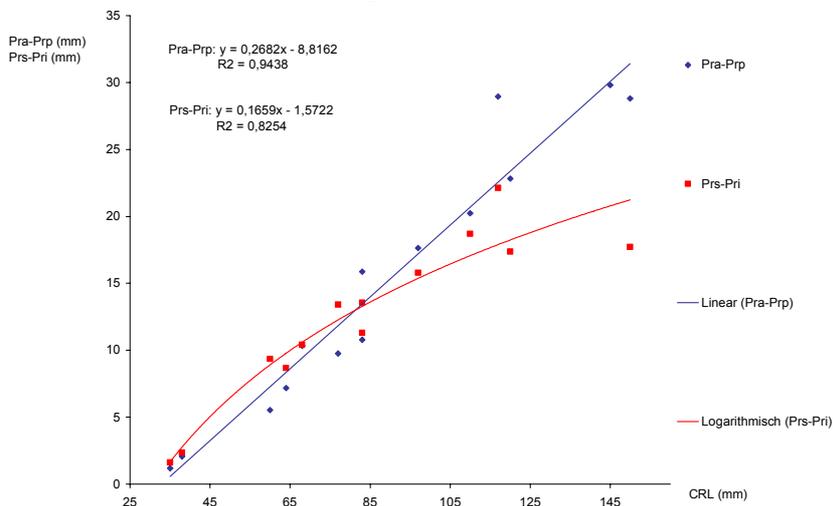


Abb. 89, 90: Maximale sagittale und vertikale Ausdehnung der rechten und der linken Seite des Os parietale in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte der sagittalen Ausdehnung des Os parietale, ausgedrückt durch Pra-Prp (Os parietale, anterior-Os parietale, posterior), nehmen für die rechte und linke Seite, anders als beim Os frontale, relativ konstant zu. Sie verlaufen linear und haben einen hohen R^2 -Wert. Die Streuung der Punkte nimmt mit zunehmender SSL etwas zu. Die Werte erhöhen sich von 2 mm auf 30 mm um das 15-fache.

Die vertikale Ausdehnung des Os parietale, ausgedrückt durch Prs-Pri (Os parietale, superior-Os parietale, inferior), weist beidseitig eine geringere Anstiegsrate auf. Der Verlauf ist logarithmisch und die Streuung der Punkte etwas ausgeprägter.

Eine ausgeprägtere Diskontinuität und geringere vertikale als sagittale Wachstumsrate des Os parietale ist zu vermuten.

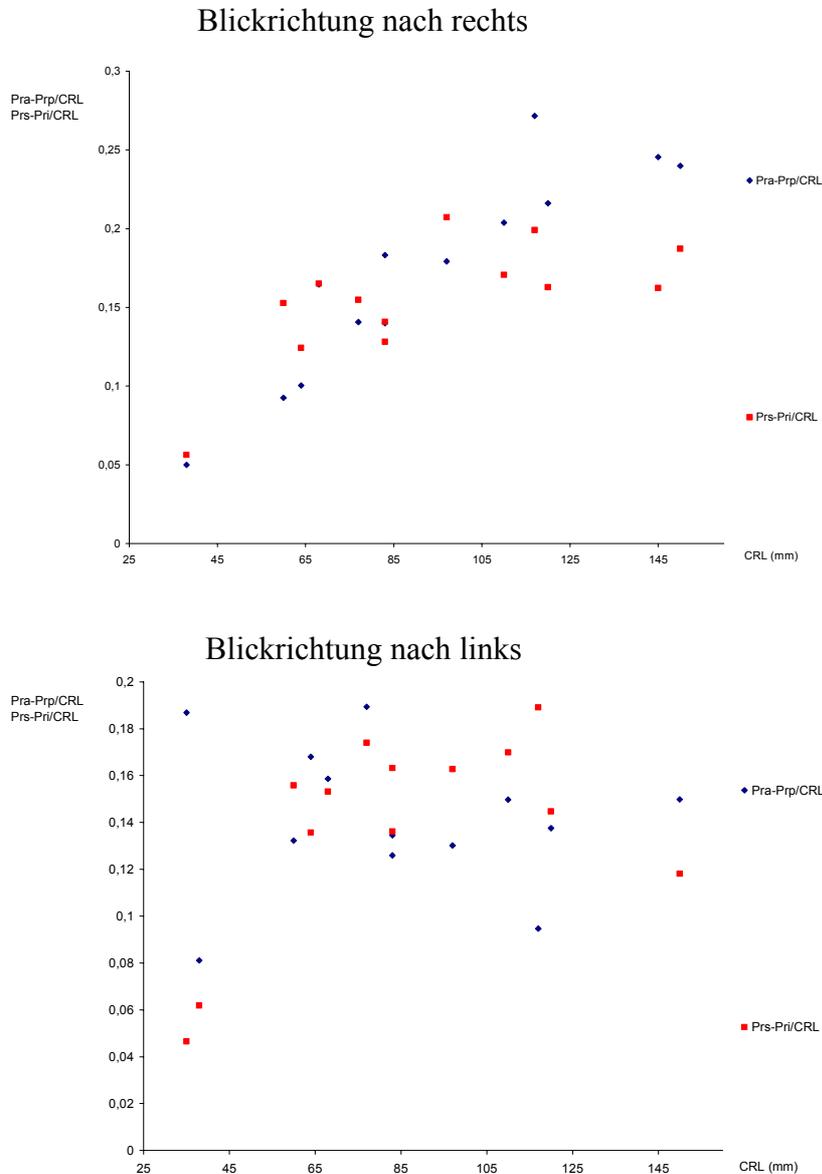


Abb. 91, 92: Quotientendarstellung der maximalen sagittalen und vertikalen Ausdehnung der rechten und der linken Seite des Os parietale zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Für die rechte Seite ist sowohl für die maximale sagittale (Pra-Prp) als auch für die maximale vertikale (Prs-Pri) Ausdehnung des Os parietale eine Zunahme der Werte über die gesamte Entwicklungsperiode von 5 %-Anteil auf über 20 %- bzw. 25 %-Anteil zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) zu erkennen. Die Werte auf der linken Seite nehmen schon relativ früh (bei einer

SSL von 60 mm) eine analoge Vergrößerung zur SSL bei etwa 15 %-Anteil ein. Die Punkte auf der linken Seite sind stark gestreut, sodass die Aussage, dass ein analoges Wachstumsverhalten zur SSL besteht, relativiert werden muss.

Betrachtet man die Diagramme im Zusammenhang, dann kann ausgesagt werden, dass die Wachstumsrate des Os parietale in einer bestimmten Entwicklungsphase größer sein muss als die der SSL, weil sich die Werte auf beiden Seiten erhöhen. Da sich die Werte auf der rechten zur linken Seite unterschiedlich vergrößern, können keine genaueren Aussagen diesbezüglich getroffen werden.

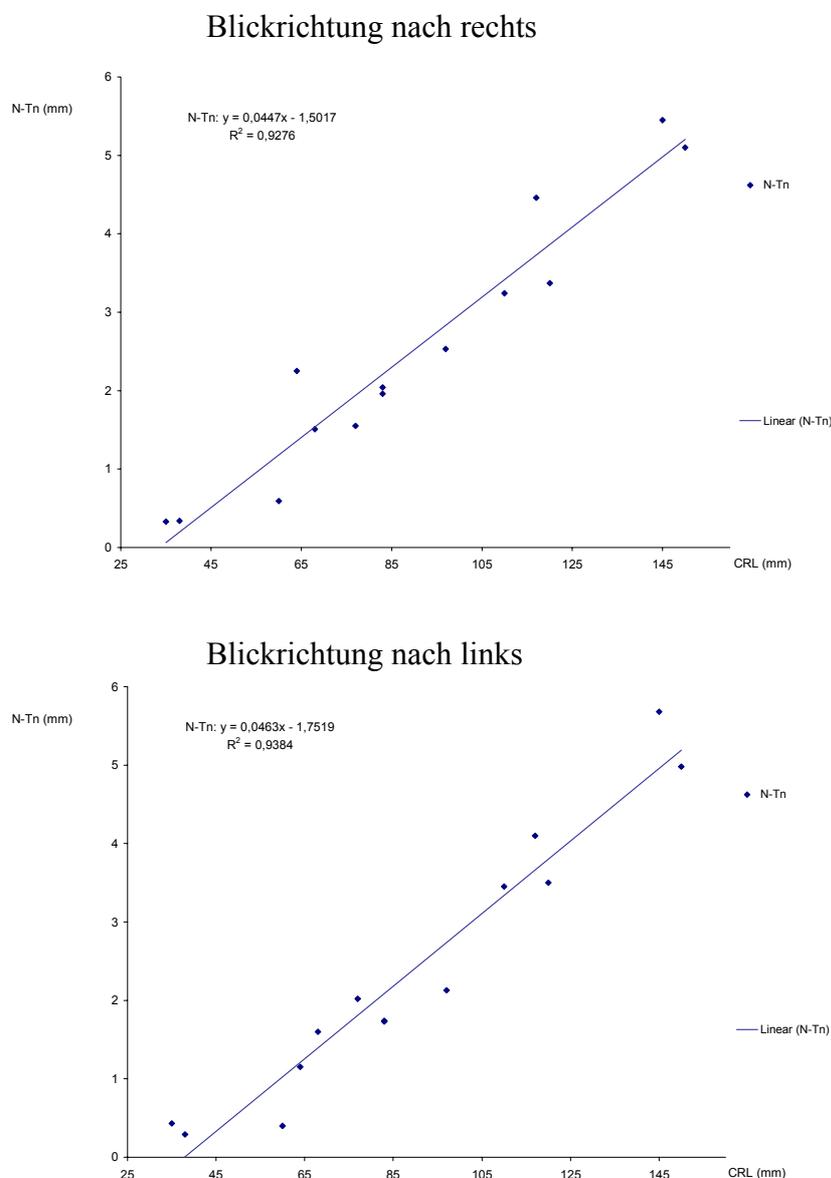


Abb. 93, 94: Maximale vertikale Ausdehnung des Os nasale der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Länge des Os nasale, ausgedrückt durch N-Tn (Nasion-Tip of nasal bone), nimmt auf beiden Seiten in ähnlichem Maß zu. Die Streuung der Punkte ist ebenfalls gleichermaßen gering ausgeprägt. Beide Vermessungen verlaufen linear. Die Werte nehmen von etwa 0,5 mm auf 6 mm um das Zwölffache zu.

Ein konstantes Wachstumsverhalten kann aus diesen Daten hergeleitet werden.

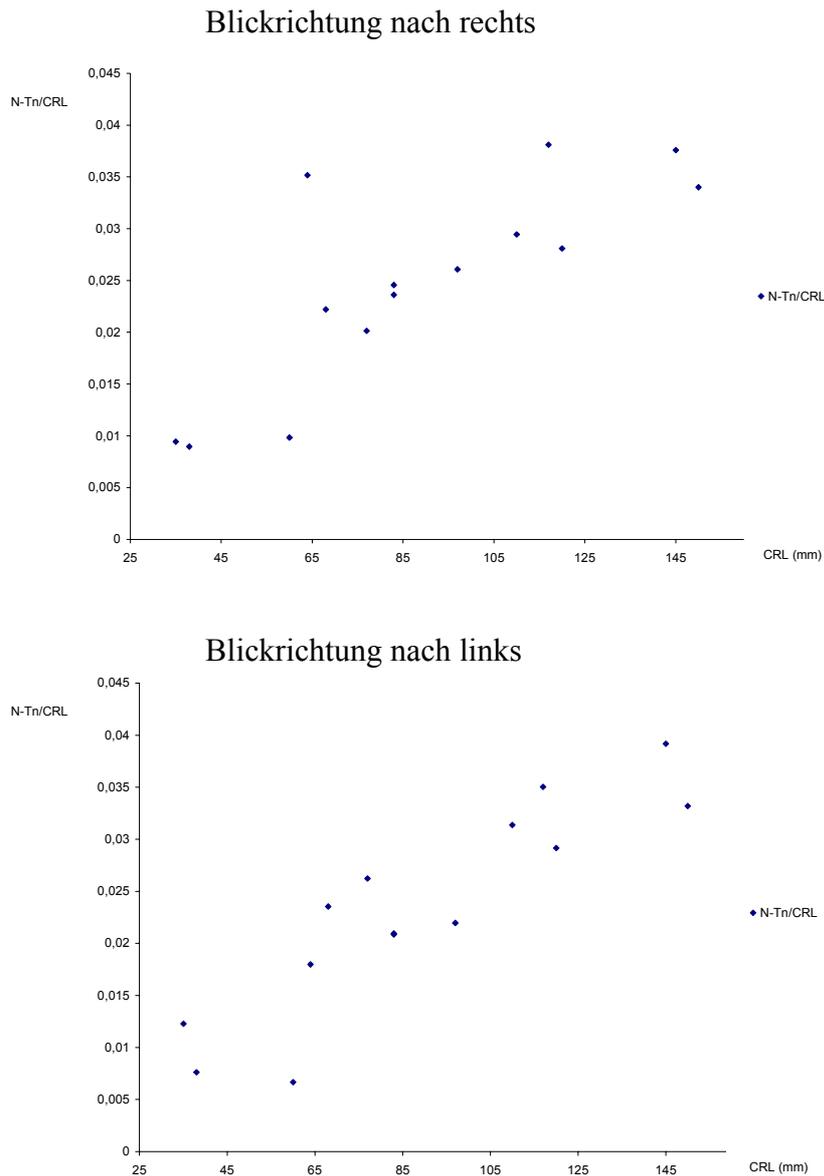


Abb. 95, 96: Quotientendarstellung der vertikalen Ausdehnung des Os nasale der rechten und der linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Das Os nasale nimmt deutlich stärker an Länge zu als die SSL. Der Anteil zur SSL wächst in der beobachteten Entwicklungsperiode von 0,5 %- auf 4 %-Anteil zur SSL um das Achtfache,

was auf ein ausgeprägtes Längenwachstum des Os nasale in der beobachteten Entwicklungsperiode deutet.

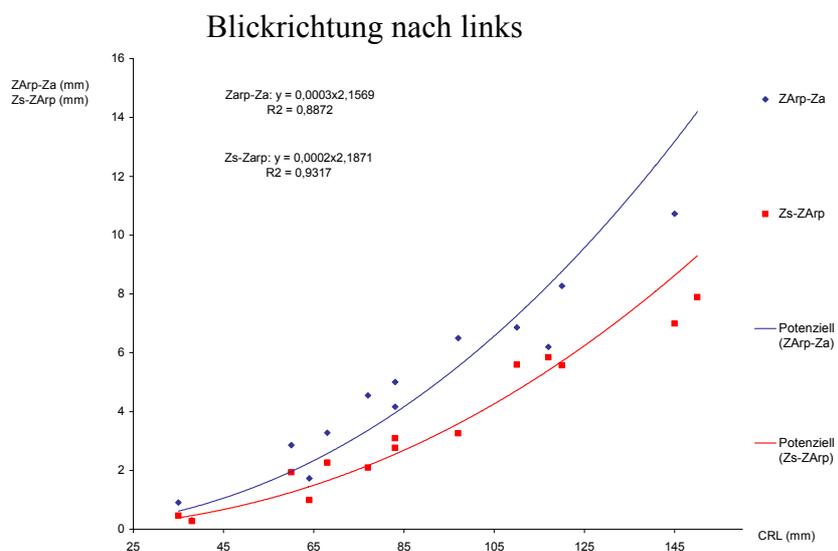
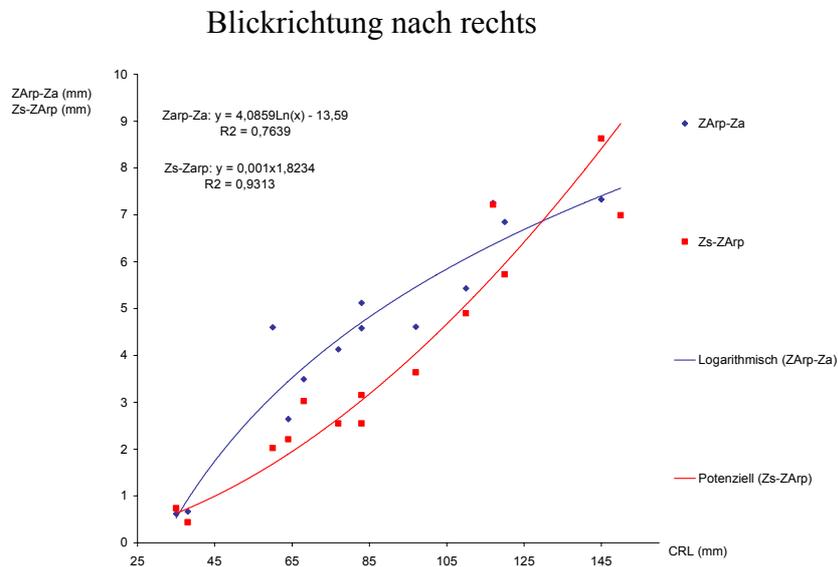
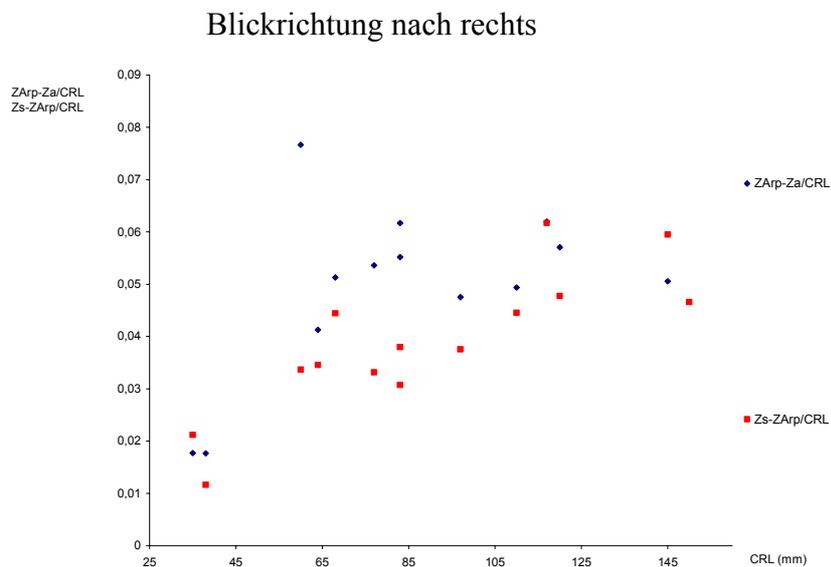


Abb. 97, 98: Maximale sagittale und vertikale Ausdehnung des Os zygomaticum der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die vertikale Ausdehnung des Os zygomaticum, ausgedrückt durch Zs-ZArp (Os zygomaticum, superior-Os zygomaticum, Arcus zygomaticus, posterior), nimmt auf beiden Seiten potenziell zu. Eine Konstanz der Wertezunahme ist gegeben. Im Durchschnitt erhöhen sie sich von 0,8 mm auf 8 mm um das Zehnfache.

Die sagittale Längenzunahme des Os zygomaticum, ausgedrückt durch ZArp-Za (Os zygomaticum, Arcus zygomaticus, posterior-Os zygomaticum, anterior), der rechten Seite unterscheidet sich deutlich von der der linken. Auf der rechten Seite ist ein logarithmischer Verlauf mit breiter Streuung der Punkte ($R^2 = 0,76$) und einem Endwert von 7 mm zu sehen. Während auf der linken Seite ein potenzieller Kurvenverlauf mit geringerer Streuung der Punkte ($R^2 = 0,88$) und einem Endwert von 10 mm vorliegt. Diese großen interindividuellen Seitenunterschiede können entwicklungsbedingt sein, da es sich jeweils um zwei separate Knochen handelt.

Insgesamt verläuft die sagittale Längenzunahme des Os zygomaticum diskontinuierlicher als die vertikale und weist zusätzlich noch größere Seitenunterschiede auf.



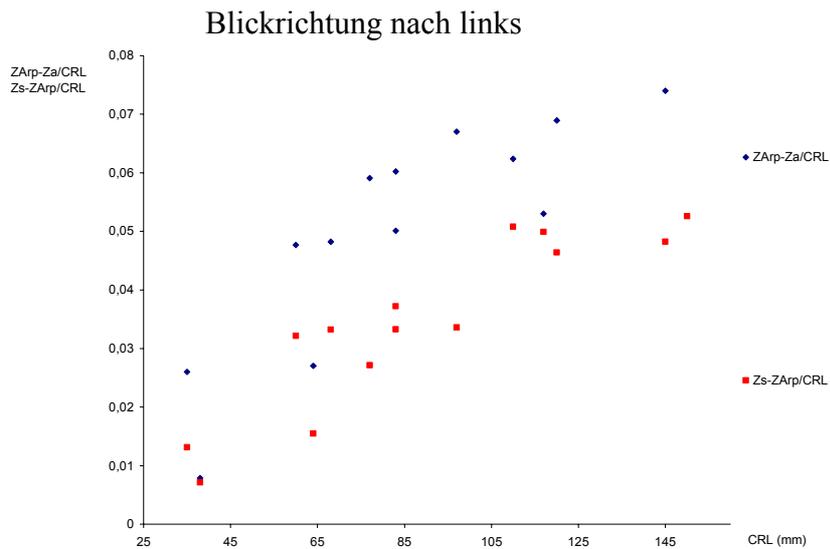
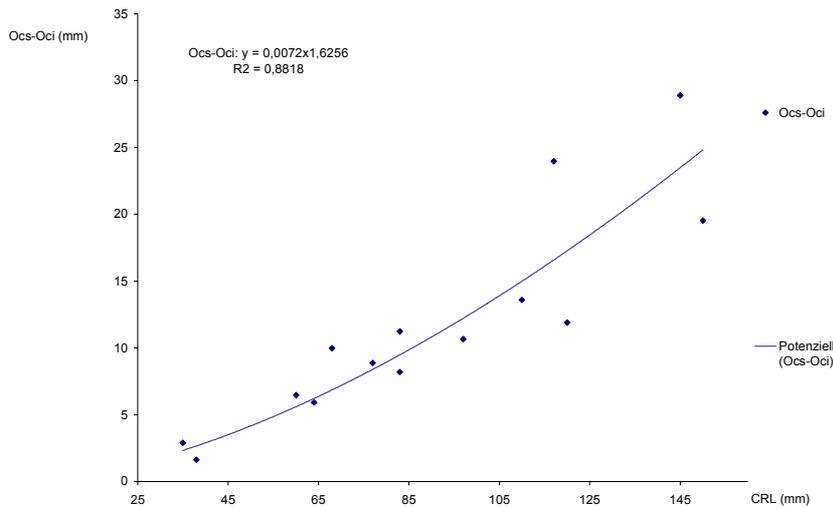


Abb. 99, 100: Quotientendarstellung der sagittalen und vertikalen Ausdehnung des Os zygomaticum der rechten und der linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Quotient der vertikalen Ausdehnung des Os zygomaticum (*Zs-ZArp*) zur SSL verhält sich auf beiden Seiten ähnlich. Die Wachstumsrate ist höher als die der SSL und nimmt von 0,01 auf 0,05 zu.

Die Werte der sagittalen Ausdehnung des Os zygomaticum (*ZArp-Za*) der rechten Seite nehmen von 2 % der SSL zu und liegen auf ab einer SSL von 65 mm bei etwa 5 % der SSL. Auf der linken Seite wachsen sie über die ganze Entwicklungsperiode von 0,3 bis auf 0,7 an. Auch hier sind wieder hauptsächlich Entwicklungsunterschiede der rechten gegenüber der linken Seite dafür verantwortlich zu machen.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

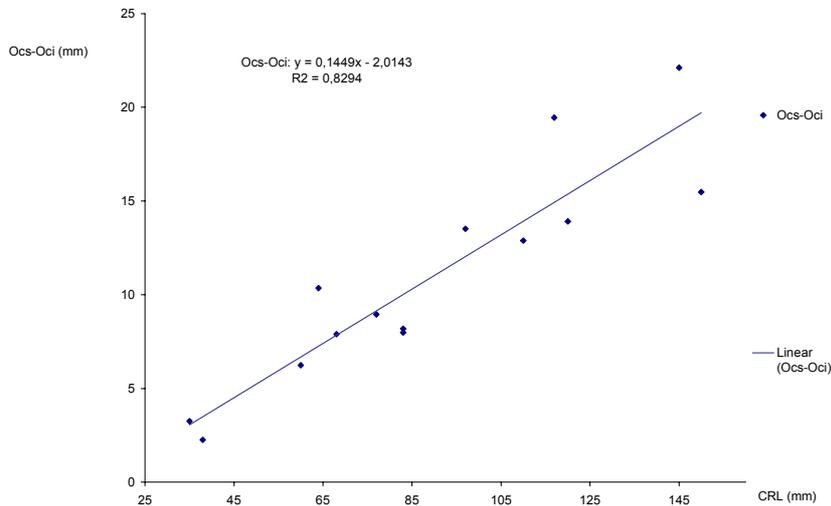
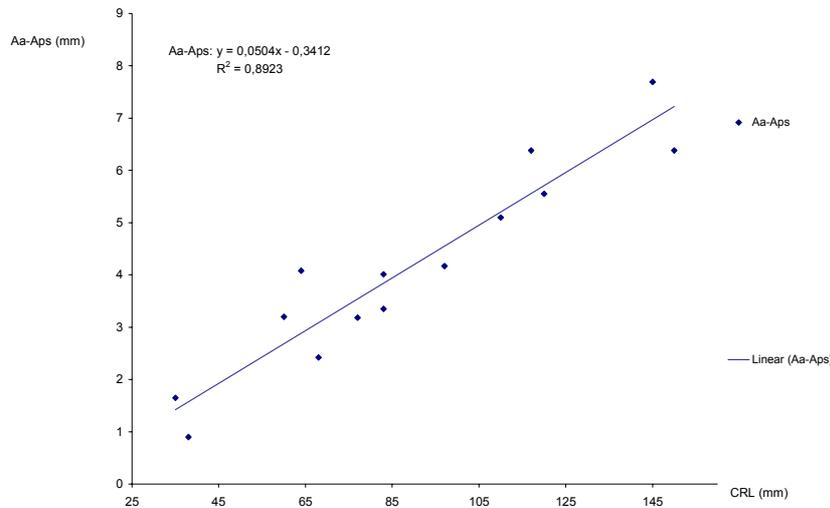


Abb. 101, 102: Maximale vertikale Ausdehnung des Os occipitale der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte der vertikalen Vermessungen des Os occipitale, ausgedrückt durch Ocs-Oci (Os occipitale, superior-Os occipitale, inferior), nehmen auf der rechten Seite leicht potenziell, bedingt durch höhere Endwerte, und auf der linken Seite linear zu. Weiterhin ist zu erkennen, dass auf beiden Seiten die Streuung der Punkte und damit die Diskontinuität mit der SSL ansteigt.

Insgesamt nehmen die Werte von 2 mm auf 20 mm bis 30 mm etwa um das Zehn- bis Fünfzehnfache mit mittelmäßig ausgeprägter Streuung zu.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

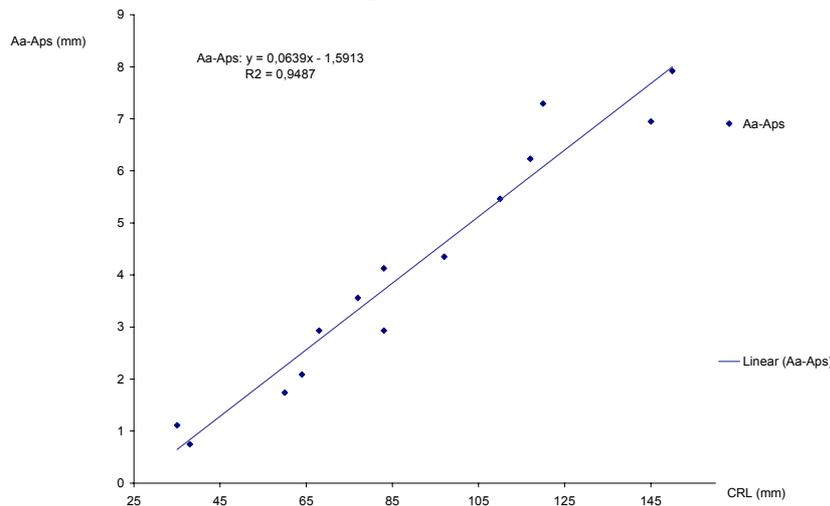
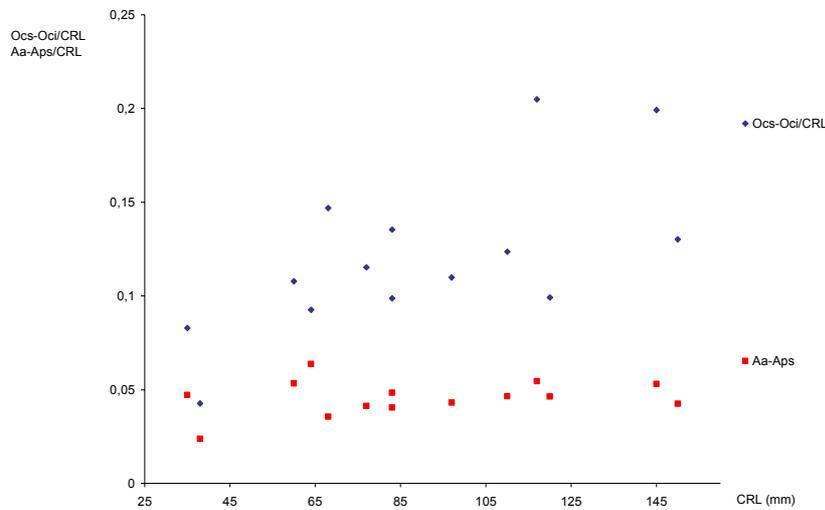


Abb. 103, 104: maximale sagittale Ausdehnung des Atlas der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die sagittale Ausdehnung des Atlas, ausgedrückt durch Aa-Aps (Atlas, Arcus, anterior-Atlas, posterior, superior), nimmt in den Diagrammen linear zu. Sie hat beidseitig etwa die gleiche Anstiegsrate und eine geringe Streuung der Punkte.

Der Atlas nimmt also kontinuierlich an Länge zu. Im beobachteten Zeitraum erhöhen sich die Werte von 1 mm auf 8 mm um den Faktor 8.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

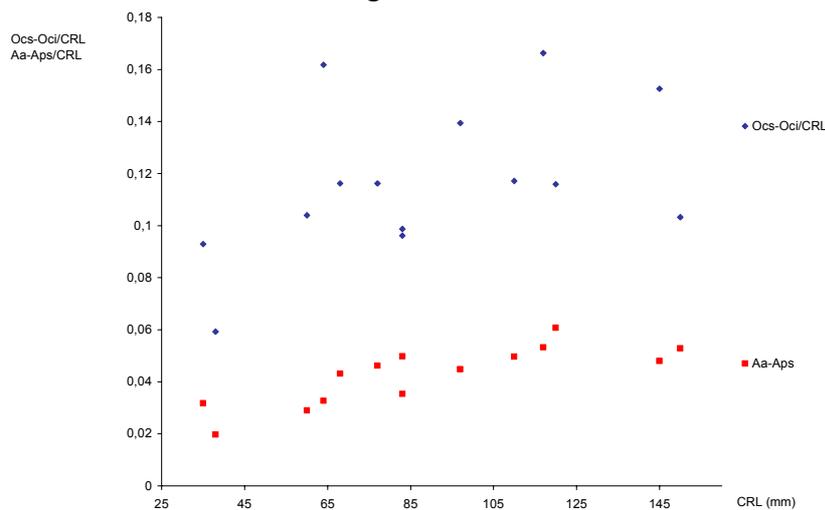
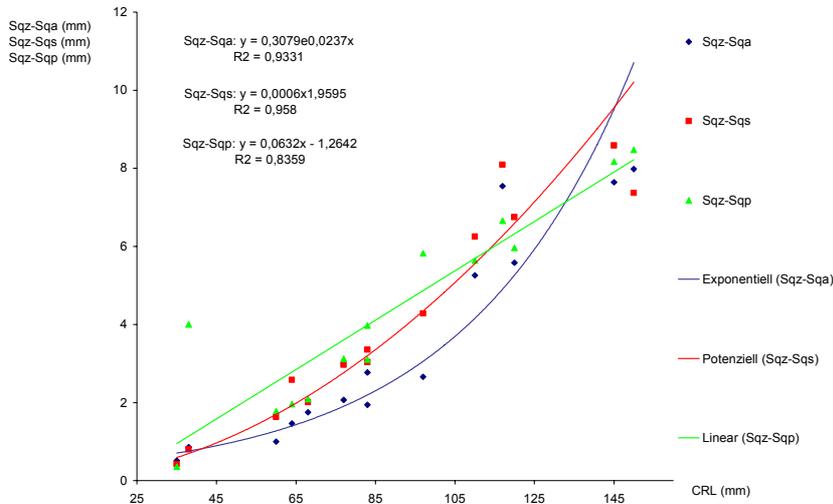


Abb. 105, 106: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung des Os occipitale und der maximalen sagittalen Ausdehnung des Atlas der rechten und der linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Das kontinuierliche Wachstumsverhalten des Atlas wird hier noch einmal aufgezeigt. Die Streubreite von Aa-Aps ist auf beiden Seiten viel kleiner als die der Punkte der vertikalen Vermessungen des Os occipitale (Ocs-Oci). Eine Tendenz zur ausgeprägteren Wachstumsrate als die der SSL ist für beide Vermessungen zu erkennen. Insgesamt sind die Wachstumsraten jedoch eher gleich der der SSL und liegen für Aa-Aps bei 0,04 und für Ocs-Oci breit gestreut zwischen 0,9 bis 0,16.

Blickrichtung nach rechts



Blickrichtung nach links

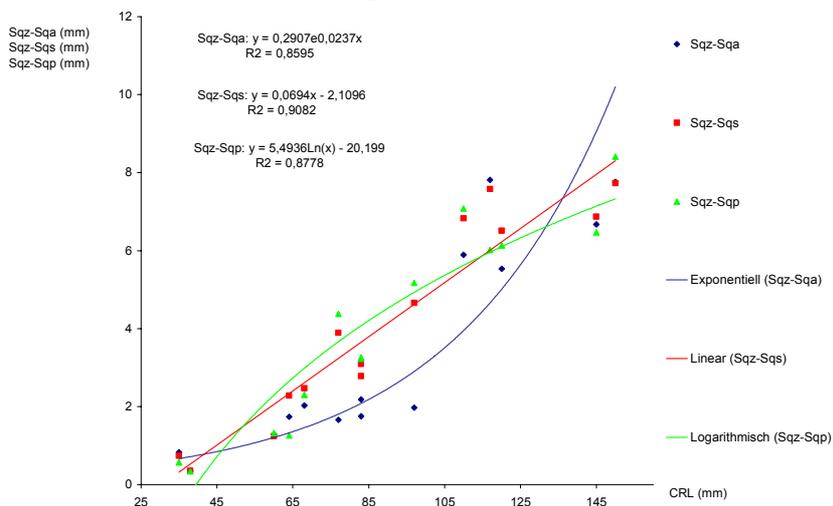


Abb. 107, 108: Maximale Ausdehnungen des Os temporale, Pars squamosa vom Punkt Sqz aus nach anterior, superior und posterior der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für die drei vermessenen Ebenen des Os temporale, Pars squamosa, ausgedrückt durch Sqz-Sqa (Os temporale, Pars squamosa, zentral-Os temporale, Pars squamosa, anterior), Sqz-Sqs (Os temporale, Pars squamosa, zentral-Os temporale, Pars squamosa, superior) und Sqz-Sqp (Os temporale, Pars squamosa, zentral-Os temporale, Pars squamosa, posterior) nehmen für die rechte und die linke Seite in ähnlichem Maße zu. Die Anstiegsraten der Werte sind auf beiden Seiten für die entsprechenden Vermessungen etwa gleich. Sie verlaufen

linear, potenziell, exponentiell und logarithmisch und für Sqz-Sqs und Sqz-Sqp seitenunterschiedlich. Die Streuung der Punkte ist mittelmäßig bis gering ausgeprägt.

Es kann also geschlussfolgert werden, dass die Squama etwas diskontinuierlicher aber gleichermaßen ausgeprägt in den drei vermessenen Ebenen wächst. Sie nehmen von 1 mm auf 8 mm zu.

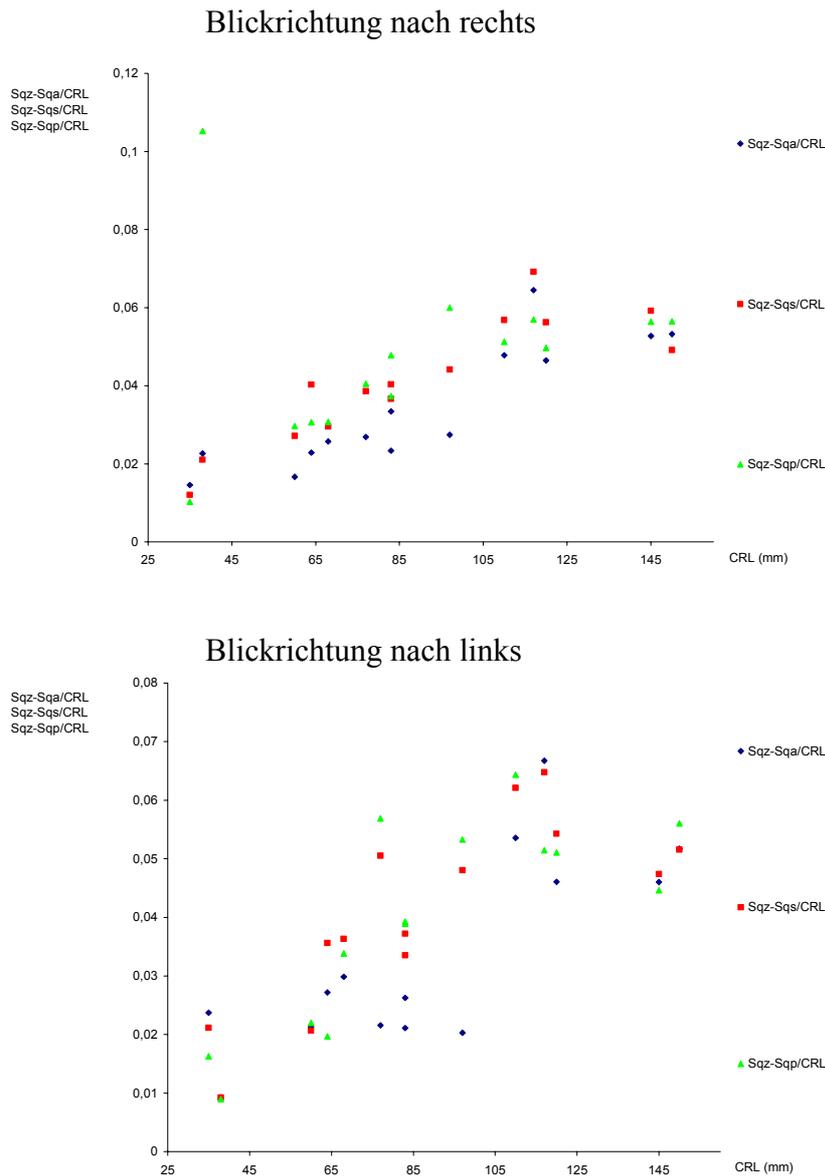


Abb. 109, 110: Quotientendarstellung der maximalen Ausdehnungen des Os temporale, Pars squamosa vom Punkt Sqz aus nach anterior, superior und posterior der rechten und linken Seite des Schädels zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Squama temporalis hat nach dieser Quotientendarstellung eine höhere Wachstumsrate in den drei vermessenen Ebenen, Sqz-Sqa, Sqz-Sqs und Sqz-Sqp, als die Scheitel-Steiß-Länge. Sowohl auf der rechten als auch auf der linken Seite erhöhen sich alle Werte von 0,01 auf 0,06.

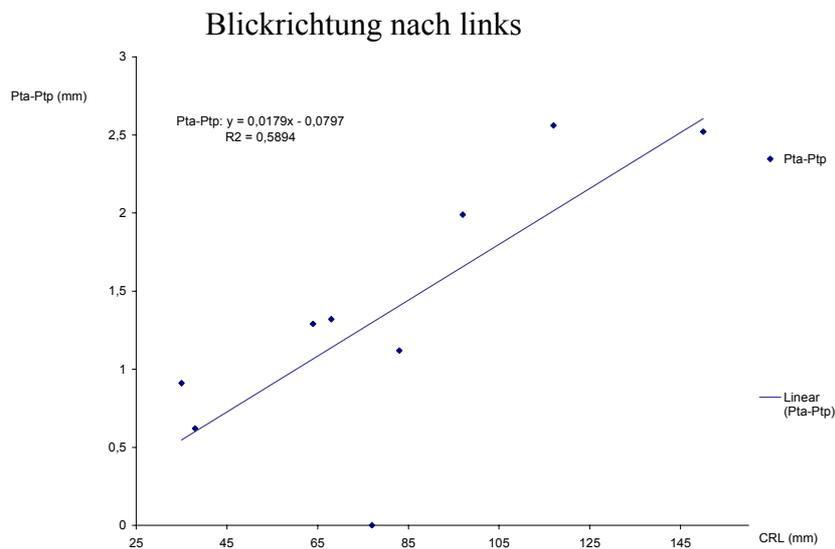
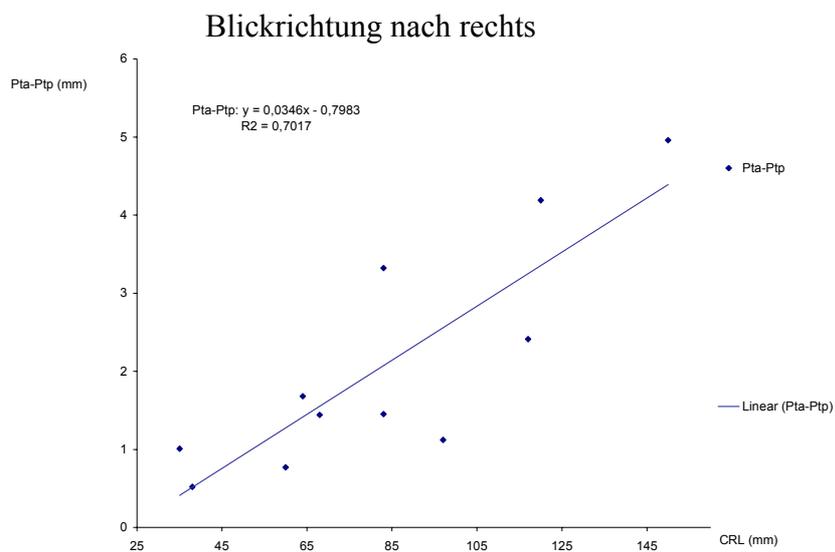


Abb. 111, 112: Maximale sagittale Ausdehnung des Os temporale, Pars petrosa der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

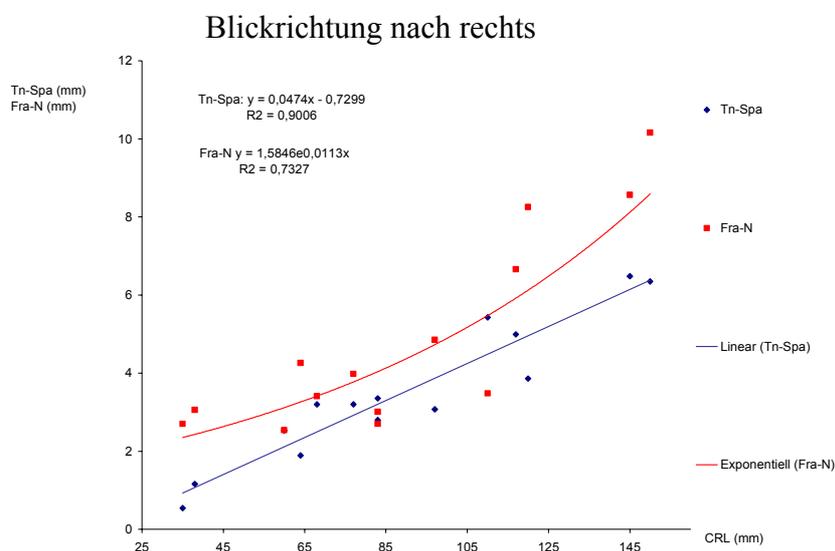
Das Wachstumsverhalten des Os temporale, Pars petrosa in der Sagittalebene, ausgedrückt durch Pta-Ptp (Os temporale, Pars petrosa, anterior-Os temporale, Pars petrosa, posterior), ist

sehr diskontinuierlich. Die Streubreite der Punkte ist mit $R^2 = 0,5$ bis $0,7$ groß. Auf der rechten Seite sind die letzten Werte teilweise doppelt so hoch wie auf der linken Seite.

Ein diskontinuierliches Wachstumsverhalten mit individuell und interindividuell stark variierenden Erscheinungszeiten und Formen Os temporale, Pars petrosa ist nach diesen Vermessungen nicht auszuschließen.

4.3.3 Abstandsvermessungen zwischen den Knochen

Bei den folgenden Diagrammdarstellungen kommt es des Öfteren vor, dass sich die Punkte auf der x-Achse überlagern. Um trotzdem mehrere Vermessungen in einem Diagramm unterbringen zu können, werden die überlagerten Punkte größer und die überlagernden Punkte entsprechend kleiner dargestellt. Auf diese Weise können beide Punkte erkannt werden, zumal sie auch unterschiedlich gefärbt wiedergegeben werden.



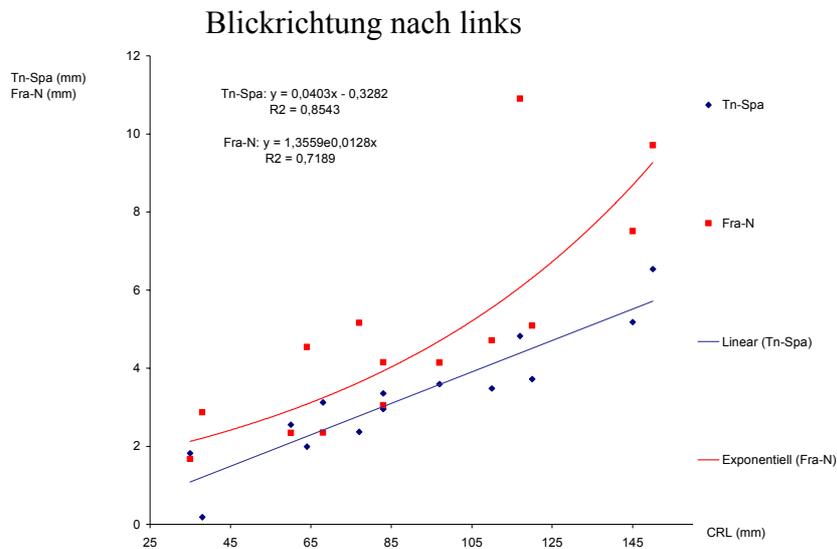


Abb. 113, 114: Abstand des Os nasale zur Spina nasalis, anterior, als Ausdruck für die vertikale Ausdehnung der Apertura piriformis und Abstand des Os frontale, anterior zum Nasion der rechten und linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus den 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 24) ist zu entnehmen, dass der Abstand der knöchernen Nasenspitze zur knöchernen Oberkieferspitze, ausgedrückt durch die Strecke Tn-Spa (Tip of nasal bone-Spina nasalis, anterior), von 1 mm auf 1,5 bis 2,5 mm sehr diskontinuierlich zunimmt. Hier erhöhen sich die Werte der vertikalen Ausdehnung der Apertura piriformis weiter bis auf 6 mm mit einem Determinationskoeffizienten von $R^2 = 0,85$ bis 0,9 wesentlich beständiger.

Die Streuung der Punkte für den Abstand des am weitesten anterior gelegenen Punkt des Os frontale und des Nasion, ausgedrückt durch Fra-N (Os frontale, anterior-Nasion), ist stark ausgeprägt und verläuft exponentiell für beide Seiten. Dies deutet auf ein diskontinuierliches Wachstum hin. Im beobachteten Zeitraum vergrößern sich die Werte von 2 mm auf 10 mm um das Fünffache.

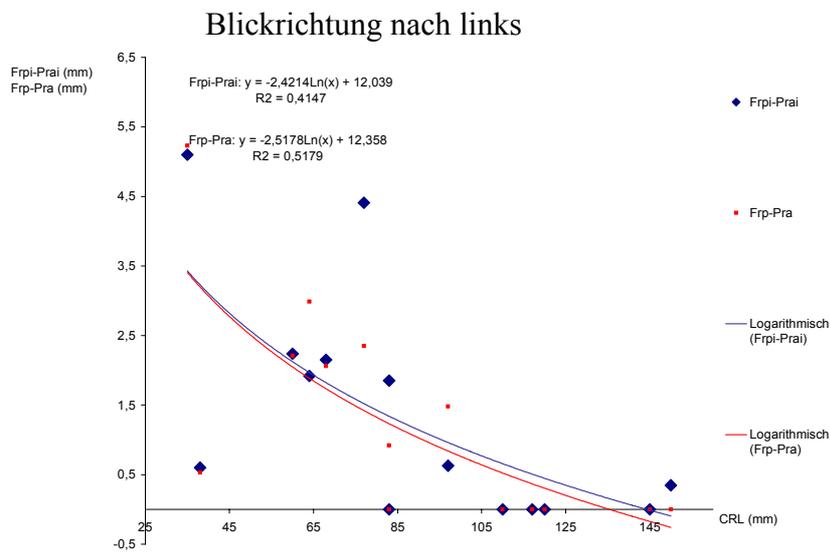
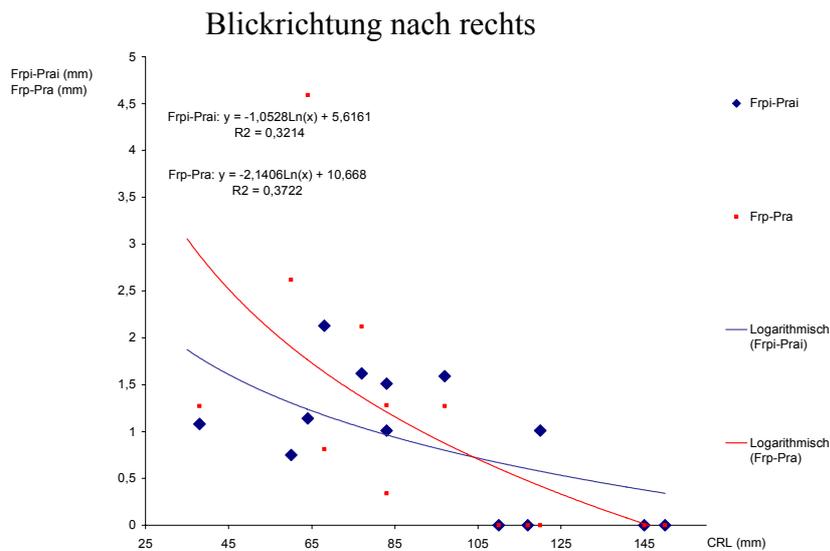


Abb. 115, 116: Kaudaler und medianer Abstand des Os frontale zum Os parietale der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Abstand zwischen dem Os frontale und Os parietale, ausgedrückt durch Frpi-Prai (Os frontale, posterior, inferior-Os parietale, anterior, inferior) und Frp-Pra (Os frontale, posterior-Os parietale, anterior), zeigt eine abnehmende Tendenz über den Beobachtungszeitraum hinweg. Die Punkte sind jedoch breit gestreut. Eine konstante Verringerung der Abstände zwischen diesen beiden Knochen ist nicht ersichtlich. Der Verlauf ist logarithmisch. Die Suturenbildung erfolgt etwa ab einer Scheitel-Steiß-Länge (SSL) von 110 mm für beide Vermessungen.

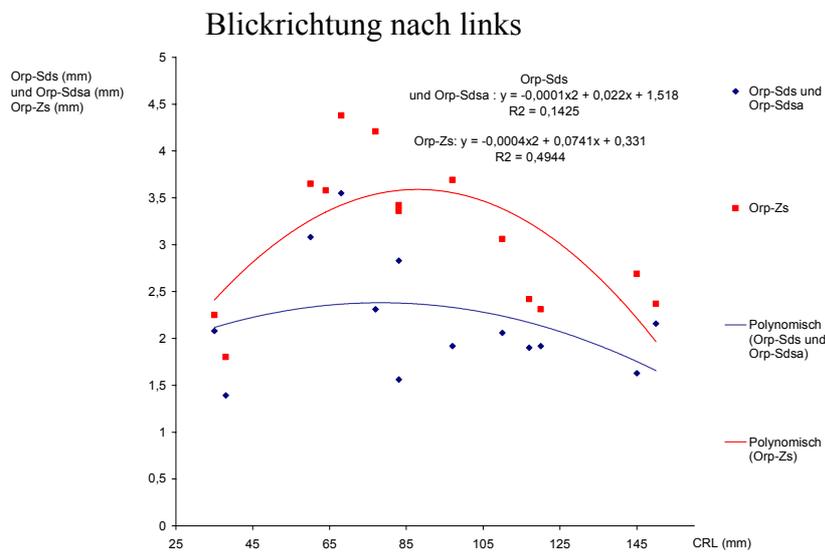
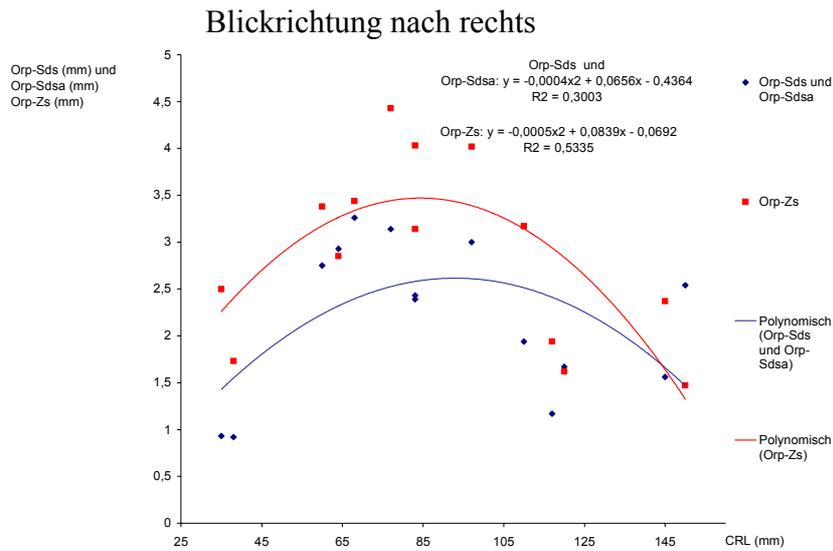


Abb. 117, 118: Kleinster Abstände des dorsalen Anteils des Os temporale, Pars orbitalis zum kranialen Abschnitt des Os sphenoidale und des Os zygomaticum der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Es ist trotz starker Streuung der Punkte deutlich zu erkennen, dass auf beiden Seiten der Abstand zwischen dem Os temporale, Pars orbitalis und dem Os sphenoidale, ausgedrückt durch Orp-Sds (Os frontale, Pars orbitalis, posterior-Os sphenoidale, superior), bei späterem Entwicklungsstand dann durch Orp-Sdsa (Os frontale, Pars orbitalis, posterior-Os sphenoidale, superior anterior) sowie zwischen dem Os temporale, Pars orbitalis und dem Os zygomaticum, ausgedrückt durch Orp-Zs (Os frontale, Pars orbitalis, posterior-Os zygomaticum, superior), sich zunächst vergrößert und den höchsten Wert bei einer SSL von ca. 80 mm erreicht. Danach gehen die Werte wieder auf das Ausgangsniveau zurück.

Es ist keine Verringerung der Abstände im Beobachtungszeitraum ableitbar. Eine Verlagerung der Strukturen, bedingt durch ein verstärktes Wachstum des Gewebes zwischen den Knochen bis 80 mm SSL, liegt nahe.

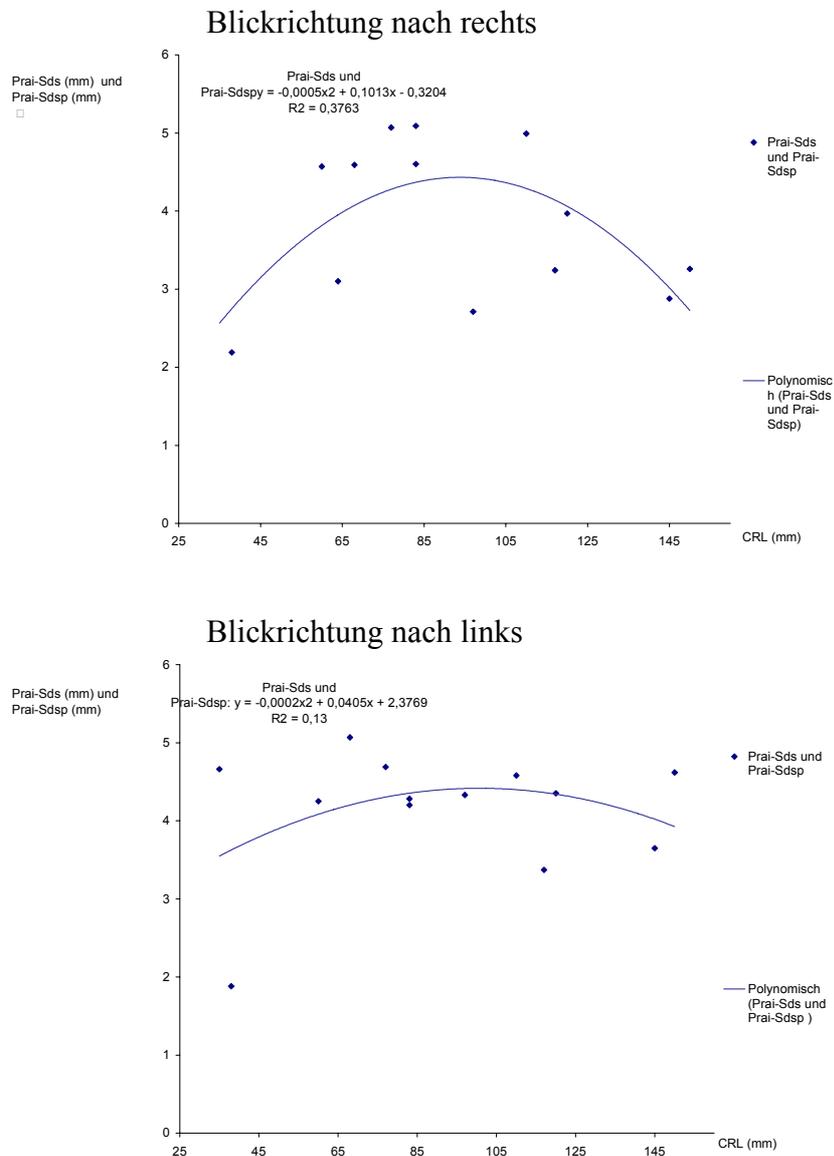


Abb. 119, 120: Kleinster Abstand des Os parietale zum Os sphenoidale der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Hier verhalten sich die Vermessungen, die den kleinsten Abstand des Os parietale zum Os sphenoidale wiedergeben (Prai-Sds = Os parietale, anterior, inferior-Os sphenoidale, superior und Prai-Sdsp = Os parietale, anterior, inferior-Os sphenoidale, superior, posterior) wie die Vermessungen in den Abbildungen 117 und 118.

Eine Verlagerung der Strukturen, bedingt durch ein verstärktes Wachstum des Gewebes zwischen den Knochen bis 80 mm SSL, ist auch hier möglich.

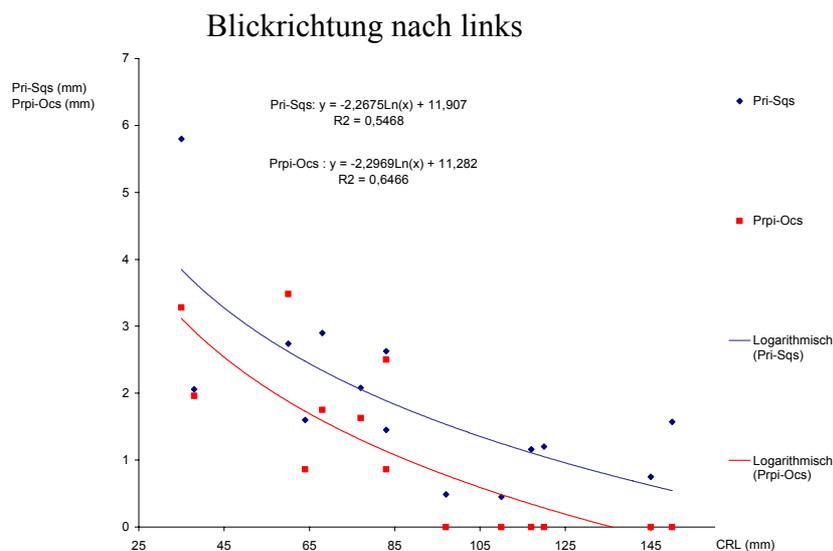
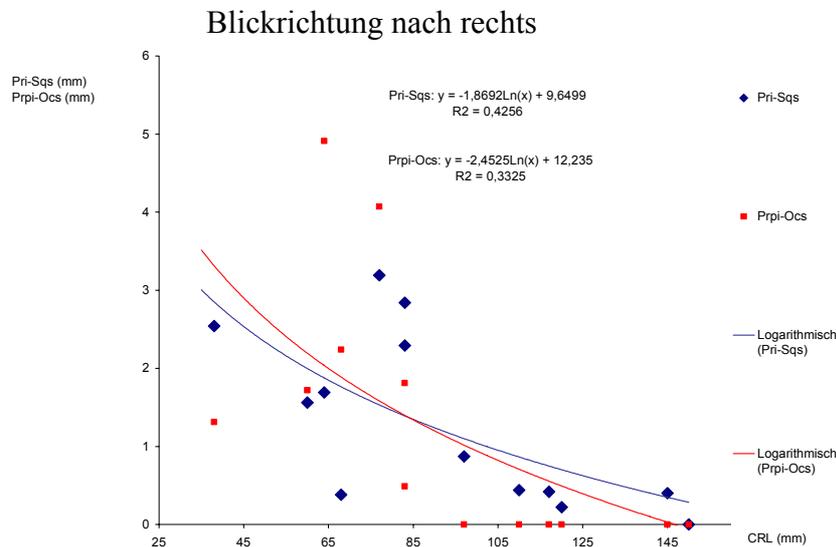


Abb. 121, 122: Kleinster Abstand des Os parietale zum Os temporale, Pars squamosa und zum Os occipitale der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Auch bei den Abstandsvermessungen vom Os parietale zum Os temporale, Pars squamosa, ausgedrückt durch Pri-Sqs (Os parietale, inferior- Os temporale, Pars squamosa, superior), und zum Os occipitale, ausgedrückt durch Prpi-Ocs (Os parietale, posterior, inferior-Os occipitale, superior), schwanken die Werte sehr stark. Eine Abnahme der Werte ist dennoch zu erkennen.

Die Suturenbildung zwischen dem Os parietale und dem Os occipitale ist ab einer SSL von 95 mm erkennbar. Mit dem Os temporale, Pars squamosa vereinigt sich das Os parietale auf der rechten Seite erst bei einer SSL von 150 mm. Auf der linken Seite ist im Beobachtungszeitraum noch keine Fusion zu erkennen.

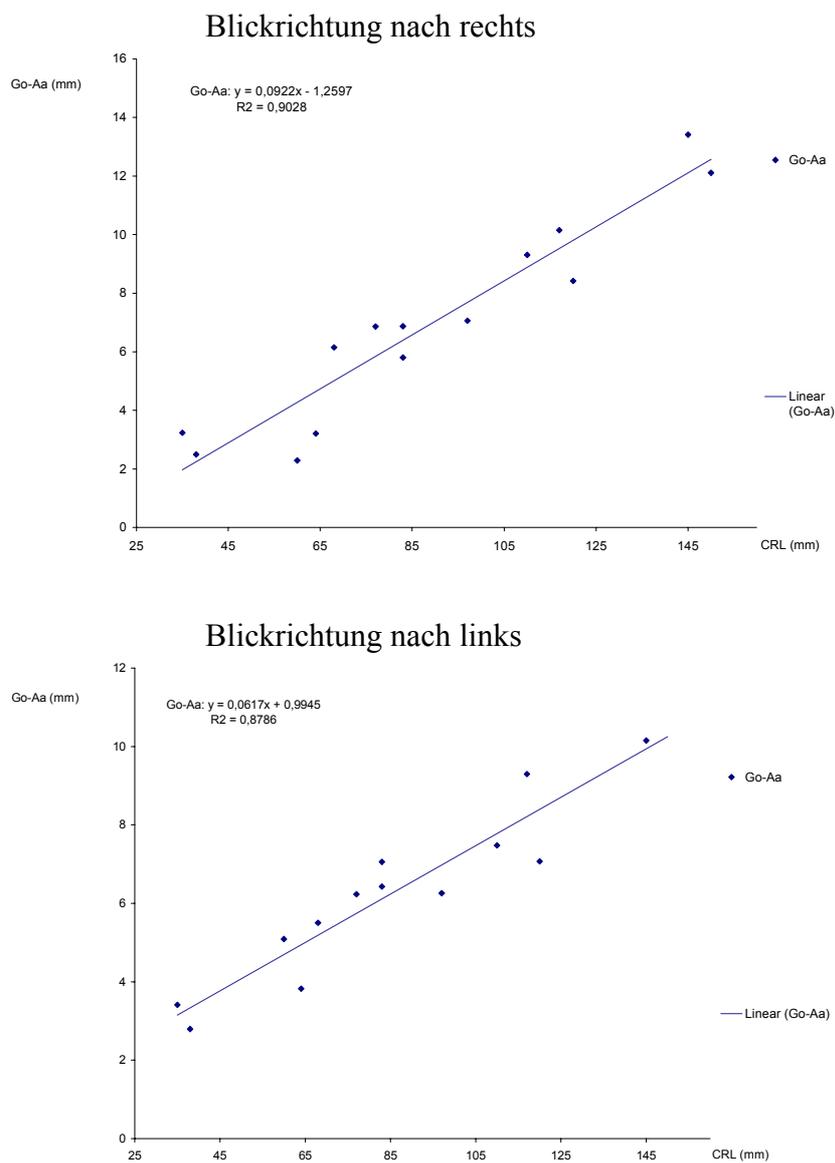


Abb. 123, 124: Kleinster Abstand der Mandibula zum Atlas der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Auf der rechten Seite nimmt der Abstand der Mandibula zum Atlas, ausgedrückt durch Go-Aa (Gonion-Atlas, Arcus, anterior), mit zunehmender SSL von 2 mm auf 12 mm um das Sechsfache und auf der linken von 2,5 mm auf 10 mm um das Vierfache zu.

Auf beiden Seiten verläuft der Werteanstieg linear mit geringer Streuung der Punkte, was auf eine konstante Vergrößerung des retromandibulären Raums schließen lässt.

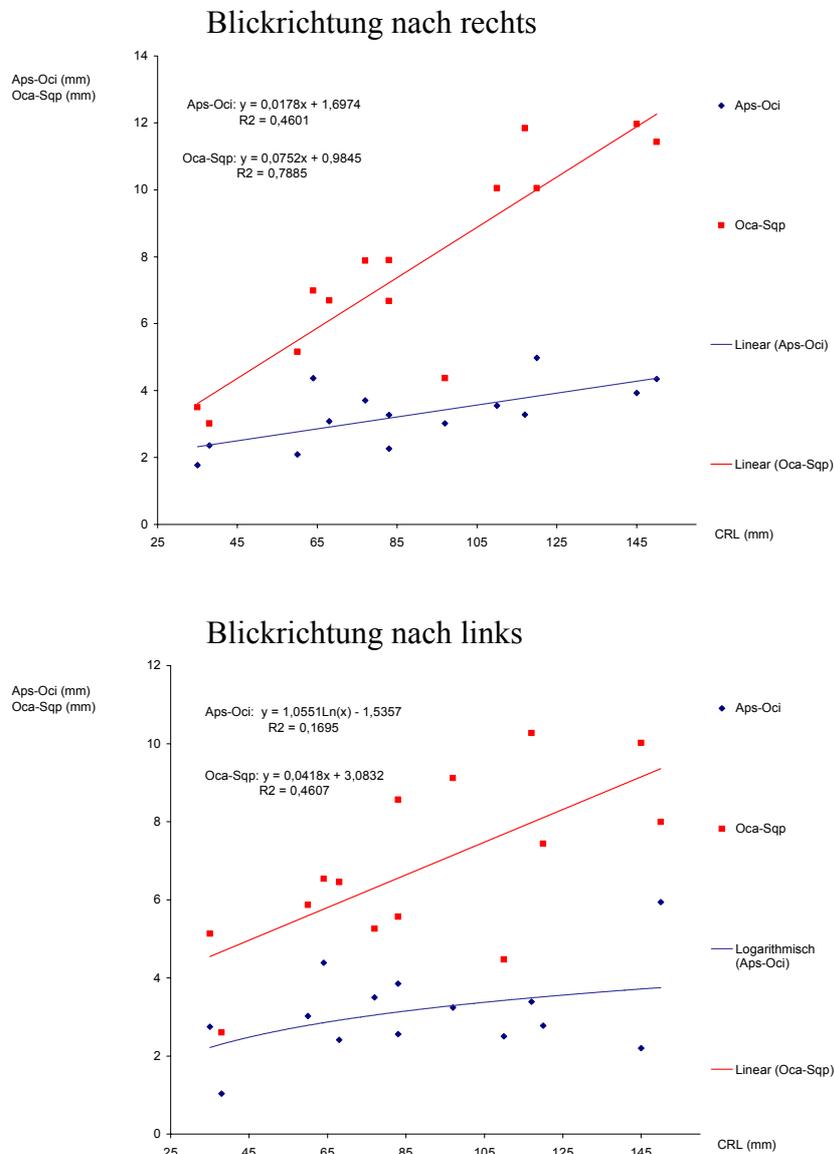


Abb. 125, 126: Kleinster Abstand des Os occipitale zum Atlas und zum Os temporale, Pars squamosa der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der Abstand des Atlas zum Os occipitale, ausgedrückt durch Aps-Oci (Atlas, posterior, superior-Occipitale, inferior), nimmt auf der rechten Seite von 2 mm auf 4 mm geringfügig zu. Auf der linken Seite ist keine Veränderung der Werte erkennbar, die Punkte sind zwischen 2 mm und 4 mm stärker gestreut.

Der Verlauf dieser Vermessungen ist linear bis leicht logarithmisch. Die Streuung der Punkte ist mittelmäßig stark ausgeprägt.

Der Abstand des Os occipitale zum Os temporale, Pars squamosa, ausgedrückt durch Oca-Sqp (Os occipitale, anterior-Os temporale, Pars squamosa, posterior), nimmt auf der rechten Seite etwas geringer gestreut als auf der linken von 4 mm auf 12 mm um das Dreifache zu. Auf der linken Seite nimmt der Abstand sehr diskontinuierlich ebenfalls um das Dreifache von etwa 3 mm auf 9 mm zu.

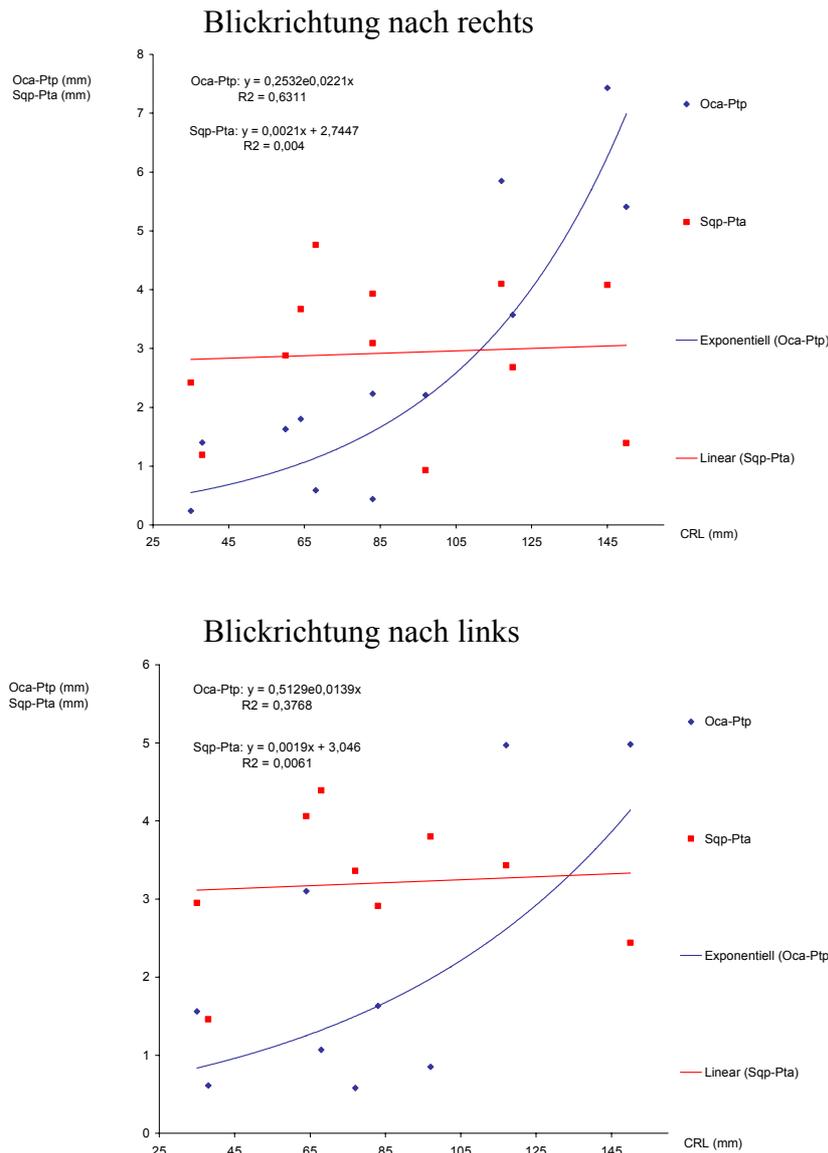


Abb. 127, 128: Kleinster Abstand des Os occipitale zum Os temporale, Pars petrosa und des Os temporale, Pars squamosa zum Os temporale, Pars petrosa der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Misst man den Abstand vom Os occipitale zum Os temporale, Pars petrosa und vom Os temporale, Pars squamosa zum Os temporale, Pars petrosa, so wird noch mal deutlich das

diskontinuierliche Wachstumsverhalten dieser Region dargestellt. Die Punkte sind breit gestreut und verlaufen auf der rechten und linken Seite sehr unterschiedlich.

Oca-Ptp (Os occipitale, anterior-Os temporale, Pars petrosa, posterior) nimmt etwa von 0,5 mm bis 1 mm auf 5 mm bis 7 mm zu. Eine Funktion zur SSL ist für Sqa-Pta (Os temporale, Pars Squamosa-Os temporale, Pars petrosa, anterior) nicht zu erkennen. Die Punkte sind eher zwischen 1 mm und 5 mm breit gestreut und nicht befundbar.

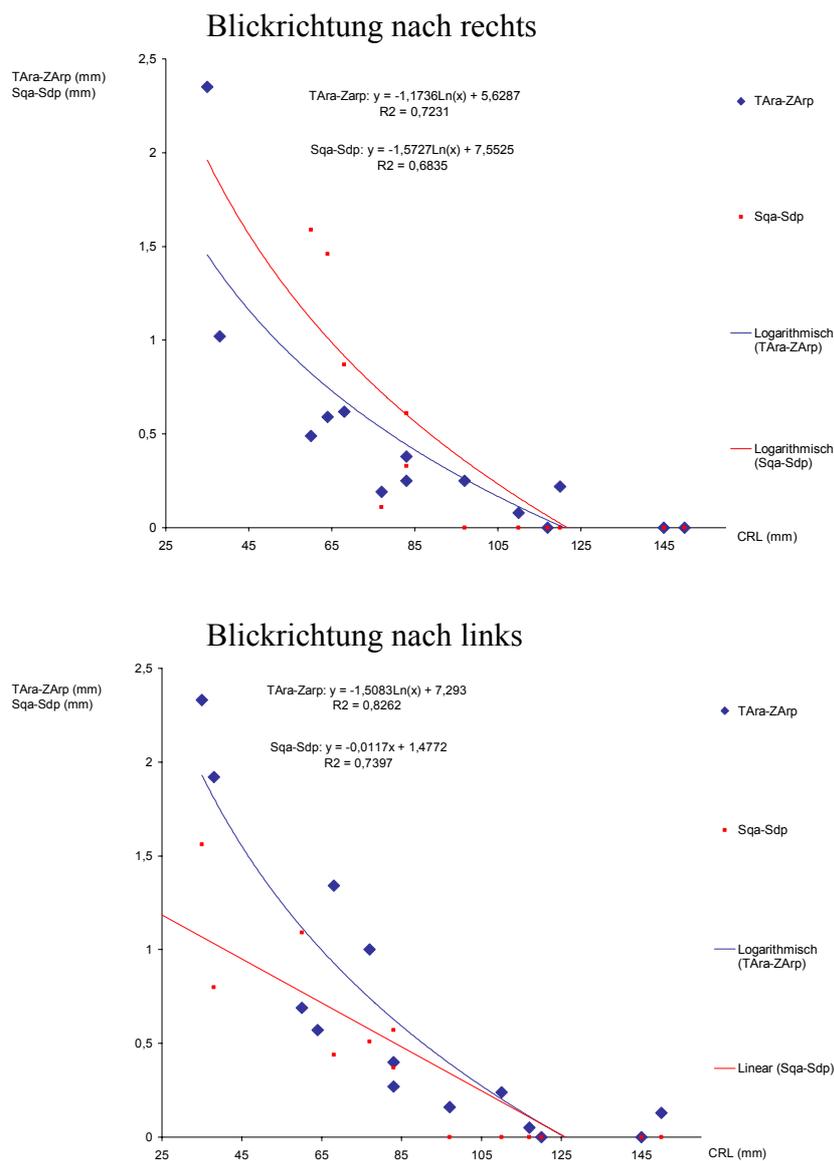
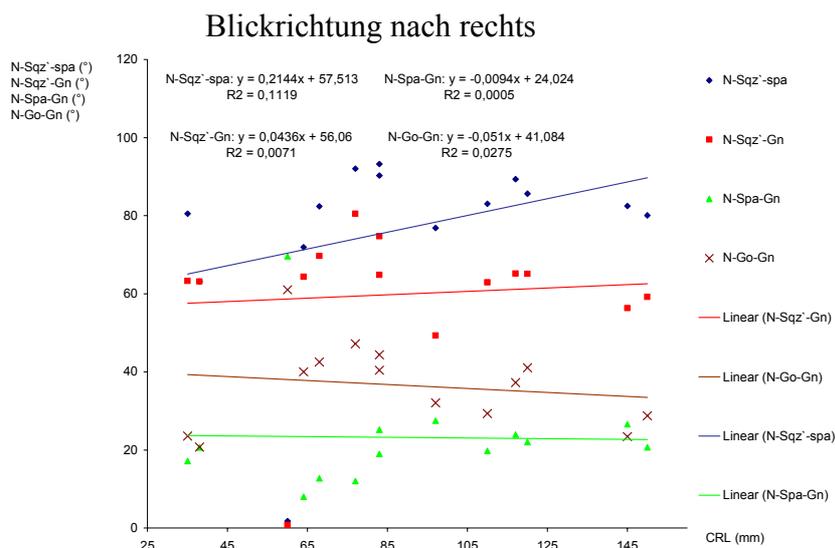


Abb. 129, 130: Kleinster Abstand des Os temporale zum Os zygomaticum und des Os temporale, Pars squamosa zum Os sphenoidale der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Vereinigung des Os temporale mit dem Os zygomaticum zur Bildung des Arcus zygomaticus findet ab einer SSL von 120 mm statt. Die Streubreite der entsprechenden Punkte TARA-ZArp (Os temporale, Arcus zygomaticus, anterior-Os zygomaticum, Arcus zygomaticus, posterior) ist mittelmäßig ausgeprägt. Der Verlauf ist auf beiden Seiten leicht logarithmisch. Die Grafiken unterscheiden sich auch von der rechten zur linken Seite sehr stark.

Ähnlich sieht es beim kleinsten Abstand des Os temporale, Pars squamosa zum Os sphenoidale, ausgedrückt durch Sqa-Sdp (Os temporale, Pars squamosa, anterior-Os sphenoidale, posterior), aus. Mit dem Unterschied, dass die Vereinigung schon relativ früh ab einer SSL von 95 mm stattfindet.

4.3.4 Winkelvermessungen



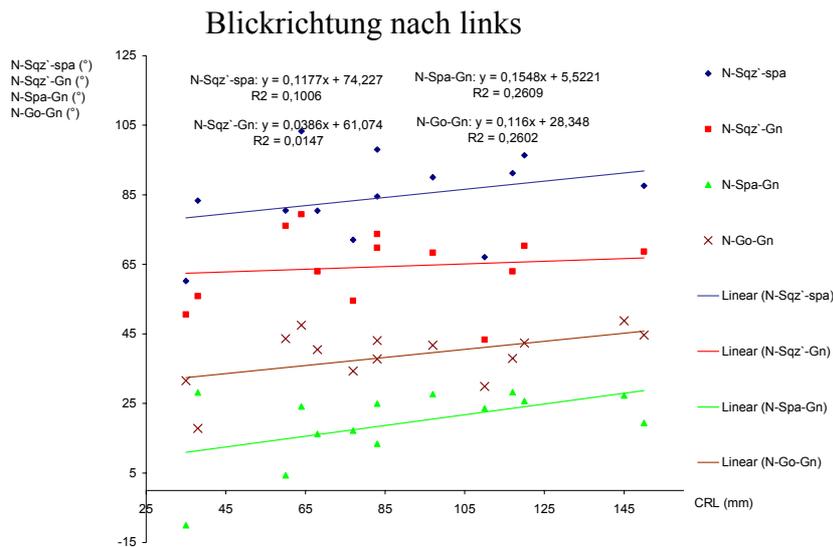


Abb. 131, 132: Sagittale Position des Ober- und des Unterkiefers zur Strecke Sqz'-N, Winkelausdruck der sagittalen Lagebezeichnung der Kiefer zueinander und Winkelausdruck der Neigung und Länge der Mandibula der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die sagittale Position des Oberkiefers zur Bezugsebene Sqz'-N (Os temporale, Pars squamosa, zentral'-Nasion) wird mit dem Winkel N-Sqz'-Spa (Nasion-Os temporale, Pars squamosa, zentral'-Spina nasalis, anterior) wiedergegeben. Die Werte liegen zwischen 70° und 90°. Es ist keine Funktion zur SSL zu erkennen.

Die Werte für die sagittale Position des Unterkiefers zur Bezugsebene Sqz'-N, ausgedrückt durch den Winkel N-Sqz'-Gn, liegen zwischen 50° und 75°. Eine Funktion zur SSL ist nicht zu erkennen.

Der Winkel N-Spa-Gn (Nasion-Spina nasalis, anterior-Gnathion) gibt die sagittale Position der Kiefer zueinander wieder. Bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 25) sind die Werte von 15° auf 5° abgesunken. Ein stärkeres sagittales Wachstum der Mandibula wird dort vermutet. Bis zu einer SSL von 65 mm bis 85 mm steigen die Werte hier an und halten danach ihre Position bei 15° bis 25°. Aus den Abbildungen 71 und 72, in denen das sagittale Wachstum der Maxilla untersucht wird, geht hervor, dass sich die Werte von einer SSL von 65 bis 85 mm stark erhöhen. Es liegt also nahe, dass ein Wachstumsschub der Maxilla in der Sagittalebene für die Erhöhung der Werte des Winkels N-Spa-Gn von 5° auf 15°-25° verantwortlich ist.

Die Werte für den Winkel N-Go-Gn (Nasion-Gonion-Gnathion), welcher Ausdruck der horizontalen Neigung der verhältnismäßigen Länge der Mandibula ist, sind bei den Vermessungen der jüngeren Exemplare der 3D-Rekonstruktionen stark gestreut und lassen

keine genauen Aussagen zu. Der Durchschnitt wäre dort etwa bei 20° bis 40° aufzuführen. Hier liegt er für beide Seiten bei 25° bis 45°. Es ist keine Funktion zur SSL zu erkennen.

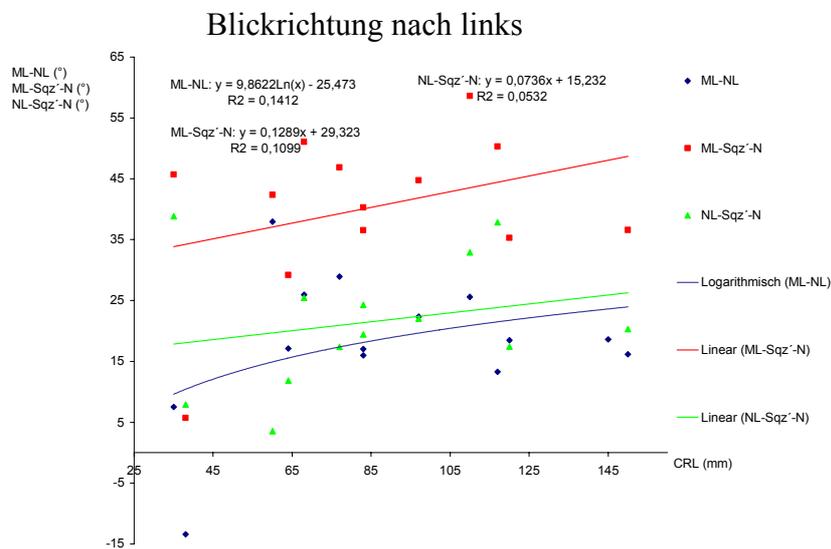
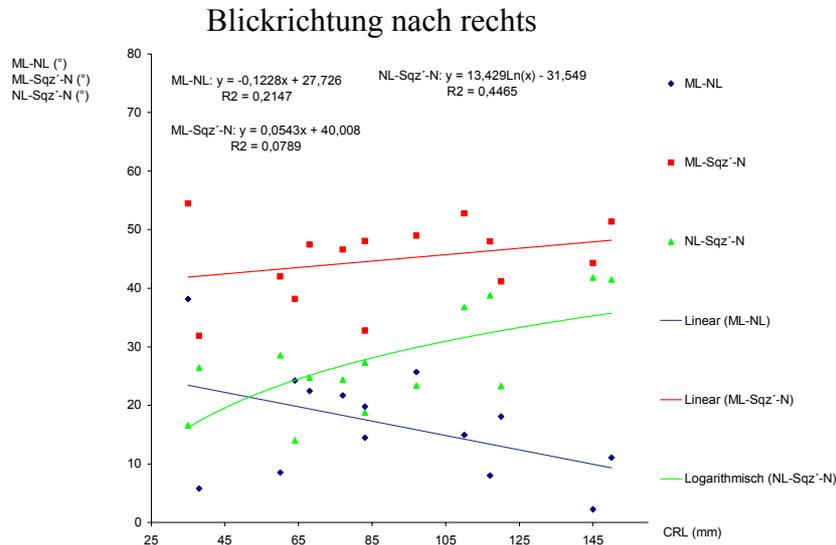


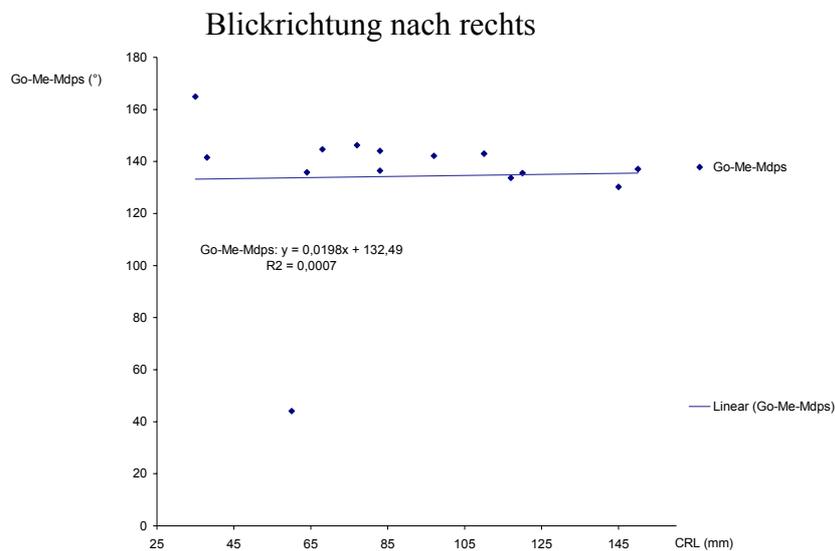
Abb. 133, 134: Vertikale Relationen der Ebenen vom Unterkiefer (ML), vom Oberkiefer (NL) und von Sqz'-N der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Lagebeziehung des Oberkiefers zum Unterkiefer, ausgedrückt durch den Winkel ML-NL (Mandibularlinie-Nasallinie), ist bei den Vermessungen der jüngeren Exemplare der 3D-

Rekonstruktionen (siehe Abb. 26) bis zu einer SSL von 20 mm negativ. Ab einer SSL von 65 mm liegt dieser Winkel bei 10° bis 25°. Auf der rechten Seite wird er mit zunehmender SSL wieder kleiner. Da dies auf der linken Seite nicht der Fall ist, kann keine Funktion zur SSL hergeleitet werden.

Der Winkel ML-Sqz'-N (Mandibularlinie-Os temporale, Pars squamosa, zentral'-Nasion) ist ein Ausdruck der Neigung des Unterkiefers zur Bezugsebene Sqz'-N. Die Werte schwanken zwischen 30° und 50°. Eine Funktion zur SSL ist nicht zu erkennen.

Der Winkel NL-Sqz'-N (Nasallinie-Os temporale, Pars squamosa, zentral'-Nasion) ist ein Ausdruck der Neigung des Oberkiefers zur Strecke Sqz'-N. Die Werte schwanken etwas stärker zwischen 10° und 40°. Eine Funktion zur SSL ist nicht zu erkennen.



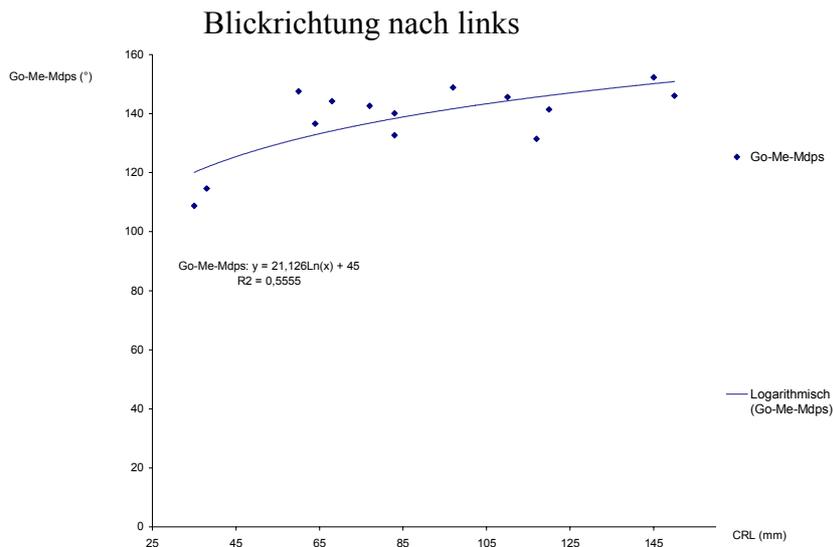


Abb. 135, 136: Ausdruck des Unterkieferwinkels der rechten und der linken Seite des Schädels in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Während bei den jüngeren Präparaten, von denen 3D-Rekonstruktionen angefertigt wurden (siehe Abb. 27), die Werte für den Kieferwinkel (Go-Me-Mdps = Gonion-Menton-Mandibula, posterior, superior) zwischen 115° und 125° liegen, ist hier eine Erhöhung auf 125° bis 145° zu erkennen. Wieder liegt keine Funktion zur SSL vor.

4.4 Vermessung der Aufhellungspräparate in der Norma frontalis

4.4.1 Längenvermessungen

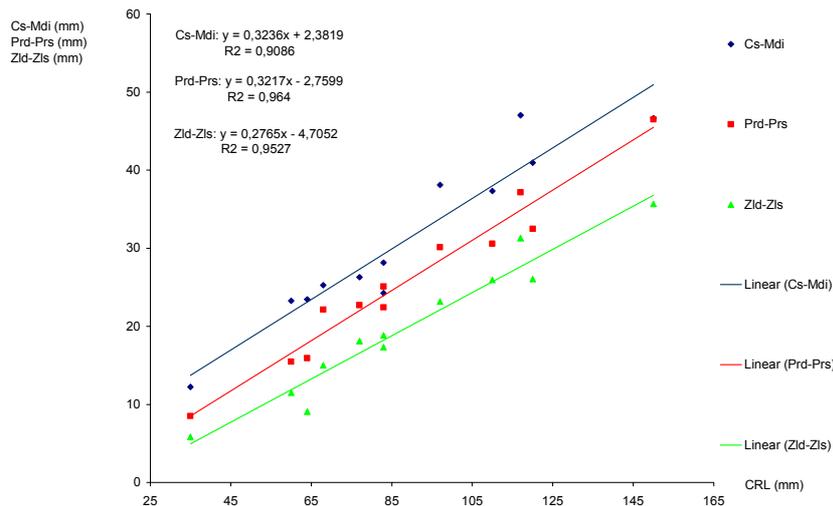


Abb. 137: Maximale vertikale Ausdehnung des Schädels und maximale transversale Ausdehnung des Obergesichts und des Mittelgesichts in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge, auf Englisch crown-rump length (CRL)

Untersucht werden hier die maximale vertikale Ausdehnung des Schädels, die maximale transversale Ausdehnung des Obergesichts sowie die des Mittelgesichts, ausgedrückt durch Cs-Mdi (Cranium, superior-Mandibula, inferior), Prd-Prs (Os parietale, dexter-Os parietale, sinister) und Zld-Zls (Os zygomaticum, dexter-Os zygomaticum, sinister).

Die Vermessungen weisen einen linearen Wertezuwachs mit einer geringen Streuung der Punkte auf. Das Wachstumsverhalten dieser drei Ebenen des Schädels ist also als konstant anzusehen. In der beobachteten Entwicklungsperiode nehmen die Werte für Cs-Mdi von 12 mm auf fast 50 mm um das Vierfache, für Prd-Prs von 10 mm auf 45 mm um das 4,5-fache und für Zld-Zls von etwa 7 mm auf 35 mm um das Fünffache zu.

Die maximale vertikale Ausdehnung des Schädels hat die jeweils höchsten Werte. Die Werte der maximalen transversalen Ausdehnung des Obergesichtes sind etwas kleiner. Die transversale Ausdehnung des Mittelgesichtes ist zu jedem Zeitpunkt am geringsten ausgeprägt.

Die Vermessungen haben die gleiche Anstiegsrate, sodass auch von einem gleichmäßigen Wachstum in diesen drei Ebenen ausgegangen werden kann.

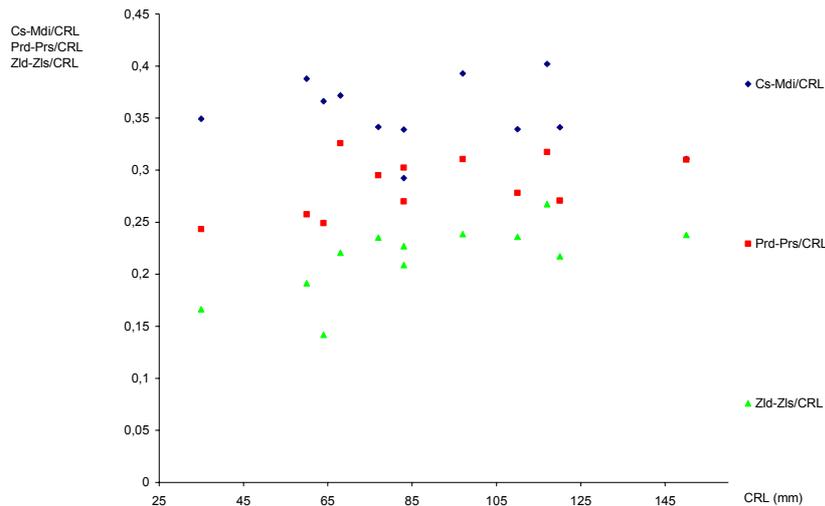


Abb. 138: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung des Schädels und der maximalen transversalen Ausdehnung des Obergesichtes und des Mittelgesichtes zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus den entsprechenden Quotientendarstellungen $Cs-Mdi/CRL$, $Prd-Prs/CRL$ und $Zld-Zls/CRL$ kann man ersehen, dass die Wachstumsrate dieser drei Vermessungen in etwa gleich die der Scheitel-Steiß-Länge (SSL) ist. Auch ist die Streubreite der Punkte insgesamt geringfügig ausgeprägt, was für konstantes Wachstum spricht.

Der Anteil der maximalen vertikalen Ausdehnung des Schädels ($Cs-Mdi$) zur SSL liegt bei etwa 35 % der SSL. Die Punkte sind im Diagramm zwischen 30 % und 40 % gestreut.

Für die maximale transversale Ausdehnung des Obergesichtes ($Prd-Prs$) beträgt der Durchschnittswert 29 % der SSL. Die Punkte sind etwas geringer zwischen 25 % und 32 % gestreut.

Die transversale Ausdehnung des Mittelgesichtes ($Zld-Zls$) zeigt im beobachteten Zeitraum einen leichten Anstieg der Werte. Eine höhere Wachstumsrate als die der SSL kann daraus jedoch nicht eindeutig hergeleitet werden. Die Werte schwanken zwischen 0,15 und 0,25 und haben ihren Durchschnitt bei 0,22.

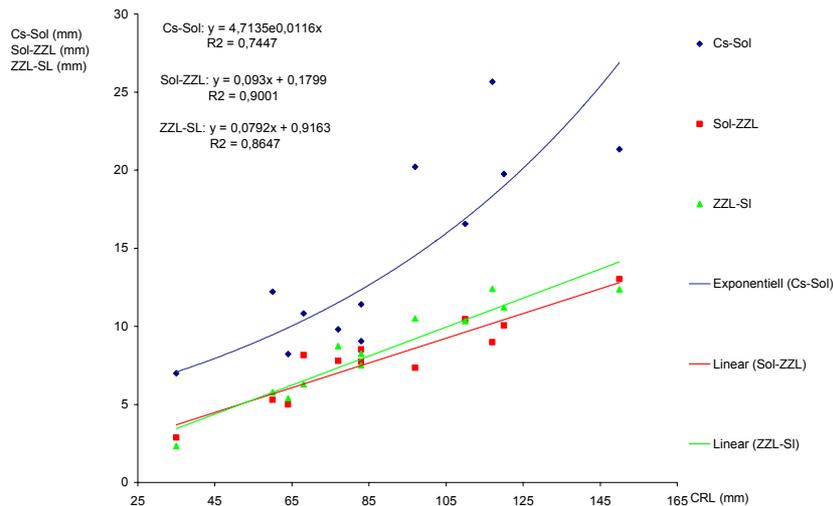


Abb. 139: Maximale vertikale Ausdehnung des Ober-, Mittel-, und des Untergesichts in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Während die gesamte vertikale Ausdehnung des Schädels ein konstantes und gleichmäßiges Wachstum aufweist, wie aus der Abbildung 137 hervorgeht, sind bei deren Teilstrecken größere Varianzen zu erkennen.

Die vertikale Ausdehnung des Obergesichts, ausgedrückt durch Cs-Sol (Cs = Cranium, superior, Sol = Abgrenzungslinie der oberen Gesichtshälfte zur mittleren) weist einen exponentiellen Verlauf auf. Die Werte nehmen diskontinuierlich und mit zunehmender SSL stärker gestreut zu. Sie vergrößern sich von 8 mm auf 24 mm um das Dreifache.

Die Streufelder der vertikalen Ausdehnung des Mittel- und des Untergesichts, ausgedrückt durch Sol-ZZL und ZZL-SL (ZZL = Abgrenzungslinie der mittleren Gesichtshälfte zur unteren, SL = Abgrenzungslinie der unteren Gesichtshälfte nach kaudal), verlaufen linear und haben einen höheren Determinationskoeffizienten trotz der geringeren Anstiegsrate. Es kann also von Konstanz im Wachstumsverhalten dieser beiden Ebenen ausgegangen werden.

Das Untergesicht weist ein etwas stärkeres vertikales Wachstum als das Mittelgesicht auf. Beide Vermessungen nehmen von 3 mm auf 12 mm um das Vierfache zu.

Ab einer SSL von 85 mm nimmt das Obergesicht deutlich stärker an Länge zu als das Mittel- und Untergesicht und erreicht schließlich bei den Föten mit der größten SSL doppelt so hohe Werte.

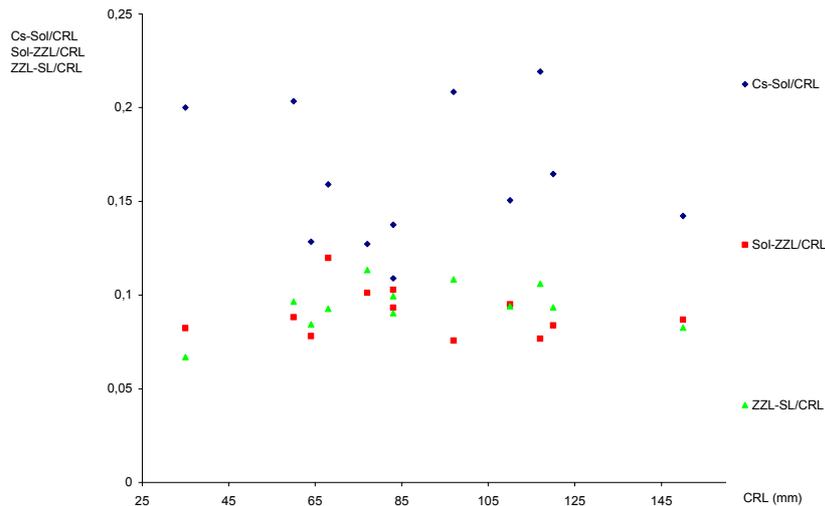


Abb. 140: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung des Ober-, Mittel- und des Untergesichts zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Quotientendarstellungen zur SSL zeigen, dass die maximalen vertikalen Ausdehnungen Cs-Sol, Sol-ZZL und ZZL-SL im Durchschnitt die Wachstumsrate der SSL haben. Das Streufeld der kranialen, vertikalen Gesichtsausdehnung ist wesentlich breiter als das der beiden anderen Vermessungen. Ihr Anteil zur SSL liegt bei 0,17 und streut zwischen 0,12 und 0,21. Die beiden anderen Vermessungen liegen auf halber Höhe bei 0,9 mit wesentlich geringerer Streuung zwischen 0,07 und 0,12.

Die Werte für Sol-ZZL und ZZL-SL nehmen ab 65 mm SSL leicht ab und davor geringfügig zu. Dies geschieht jedoch in so geringem Ausmaße, dass sich keine eindeutigen Aussagen zu Änderungen des Wachstumsverhaltens gegenüber dem der SSL treffen lassen.

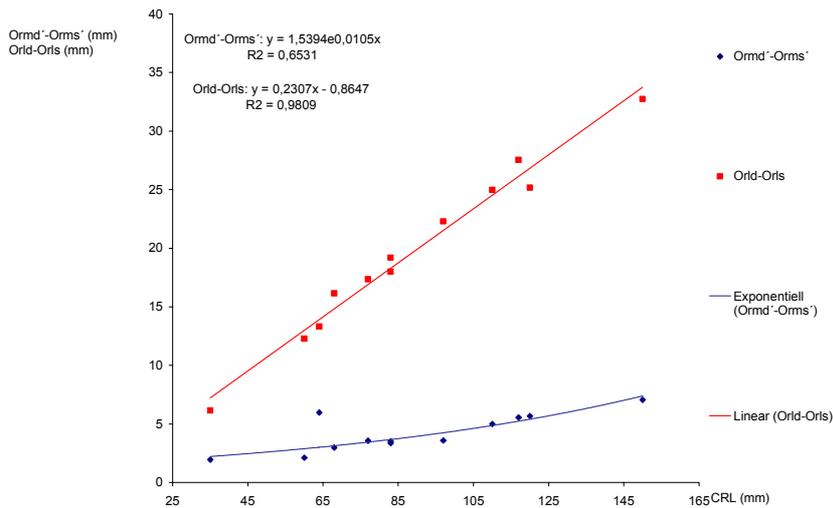


Abb. 141: Transversale Ausdehnung des inneren und äußeren Abstands der rechten zur linken Orbita in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Punkte Ormd' (Os temporale, Pars orbitalis, medial, dexter') und Orms' (Os temporale, Pars orbitalis, medial, sinister') unterscheiden sich von den Punkten Ormd und Orms dadurch, dass sie, wie im Kapitel 3.2.2.1.6.3.1 Os frontale aufgeführt, eindeutig definierte Fixpunkte sind.

Die transversale Ausdehnung des inneren Orbitaabstandes, ausgedrückt durch Ormd'-Orms', nimmt von 2 mm auf 7 mm um das 3,5-fache zu. Die Streuung der Punkte ist gering ausgeprägt. Sie weisen einen leicht exponentiellen, mit Tendenz zum linearen, Verlauf auf. Es liegt also eine gleichmäßige Wertezunahme vor, was für Konstanz im Wachstumsverhalten spricht.

Bei der maximalen transversalen Ausdehnung der rechten zur linken Orbita, ausgedrückt durch Orld-Orls (Os temporale, Pars orbitalis, lateral, dexter- Os temporale, Pars orbitalis, lateral, sinister) erhöhen sich die Werte von 7 mm auf 35 mm um das Fünffache. Der Punkteverlauf ist linear und gering gestreut, was ebenfalls für ein konstantes Wachstumsverhalten im beobachteten Zeitraum spricht.

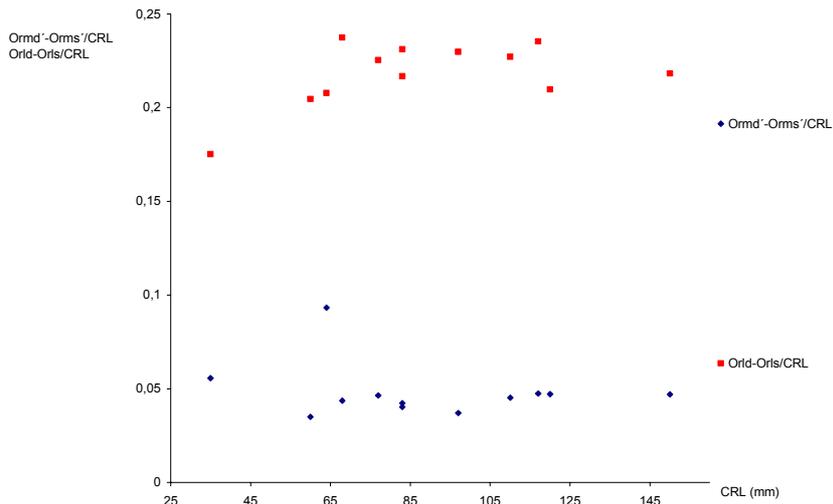


Abb. 142: Quotientendarstellung der transversalen Ausdehnung des inneren und äußeren Abstands der rechten zur linken Orbita zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte nehmen hier konstant zur Scheitel-Steiß-Länge zu. Sie liegen für den inneren Orbitaabstand ($Ormd'-Orms'/CRL$) bei 0,04 und für den äußeren ($Orld-Orls/CRL$) bei 0,22.

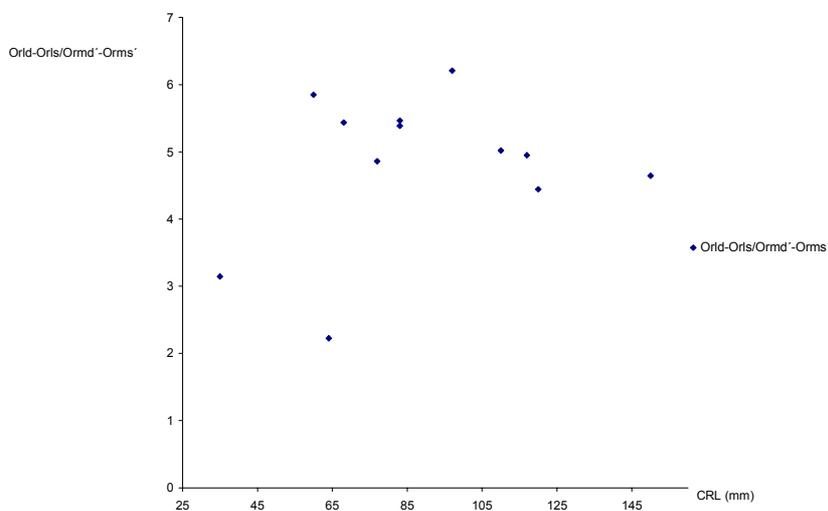


Abb. 143: Quotientendarstellung des äußeren zum inneren Orbitaabstand in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Bildet man einen Quotienten des äußeren zum inneren Orbitaabstand, so sieht man eine relativ breite Streuung der Punkte. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Strecke Orld-Orls von sechsfacher Länge gegenüber der Strecke Ormd'-Orms' auf unter fünffache Länge abnimmt. Der innere Orbitaabstand nimmt also verhältnismäßig mehr zu als der äußere.

4.4.2 Größenvermessungen einzelner Knochen

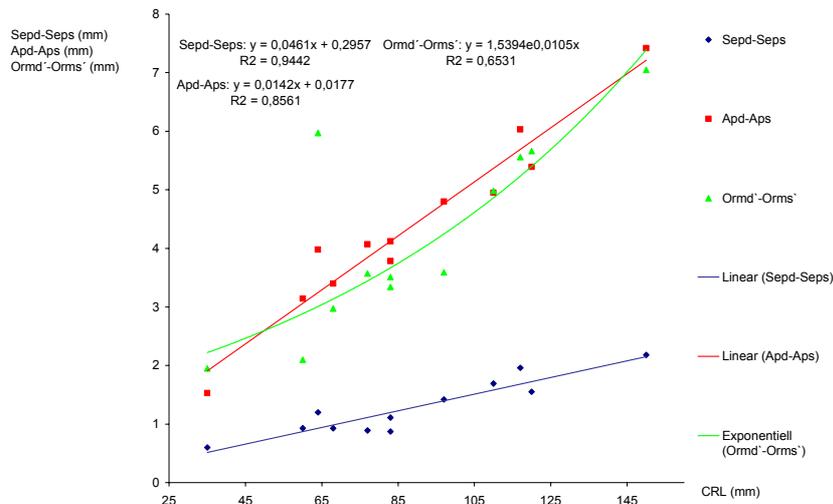


Abb. 144: Innere und äußere transversale Ausdehnung der Apertura piriformis und innerer Orbitaabstand in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Hier wird das transversale Wachstum der Apertura piriformis analysiert. Es handelt sich hier um keine Größenvermessung eines Knochens, sondern um die einer Höhlung. Dafür werden die am weitesten lateral liegenden Punkte der Apertura (Apd-Aps = Apertura piriformis, dexter-Apertura piriformis, sinister) als auch der zwischen den am weitesten lateral liegenden Punkten des Nasenseptums (Sepd-Seps= Septum nasale, dexter-Septum nasale, sinister) untersucht.

Aus der Grafik kann man entnehmen, dass die transversale Ausdehnung des Nasenseptums von 0,5 mm auf 2 mm um das Vierfache und die der Apertura piriformis von 1,5 mm auf 7,5 mm um das Fünffache zunimmt. Die Apertura piriformis zeigt eine etwas ausgeprägtere Entwicklung in der transversalen als in der vertikalen Ebene. Dort sind die Maximalwerte nur auf 6 mm angestiegen (siehe Abb. 113, 114).

Durch den linearen Verlauf und die geringe Streuung von Apd-Aps und Sepd-Seps ist auch eine konstante transversale Entwicklung der Apertura piriformis erkennbar.

Zum Vergleich ist noch der innere Orbitaabstand in die Grafik eingefügt. Dessen Werte nehmen zwar etwas diskontinuierlicher zu, haben aber im Durchschnitt die gleiche Wachstumsrate und den gleichen Wertebereich wie die maximale transversale Ausdehnung der Apertura piriformis. In diesem Diagramm ist auch genauer als in Abbildung 141 zu erkennen, dass der innere Orbitaabstand von 2 mm auf 7 mm zunimmt.

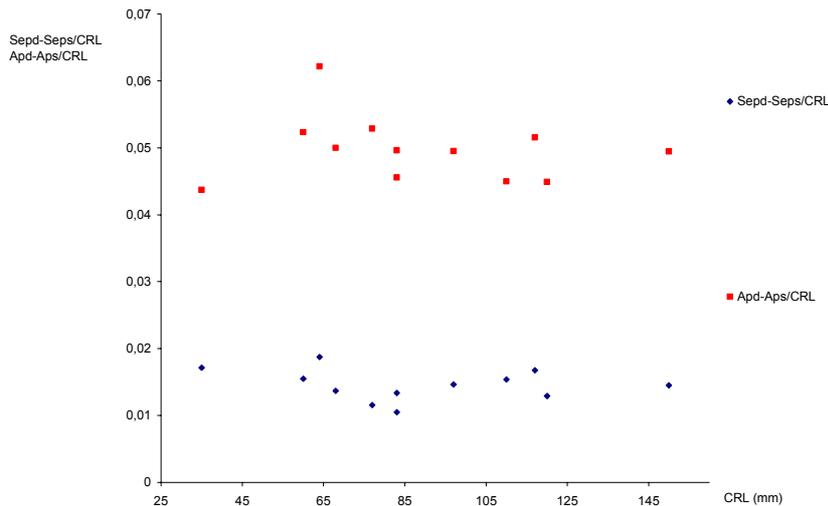


Abb. 145: Quotientendarstellung des inneren und des äußeren transversalen Abstandes der Apertura piriformis in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Breite des Nasenseptums (Sepd-Seps) und die der Apertura piriformis (Apd-Aps) nehmen mit der Scheitel-Steiß-Länge (SSL) konstant zu. Ihre Anteile zur SSL liegen durchschnittlich bei 1,5 % und bei 5 %.

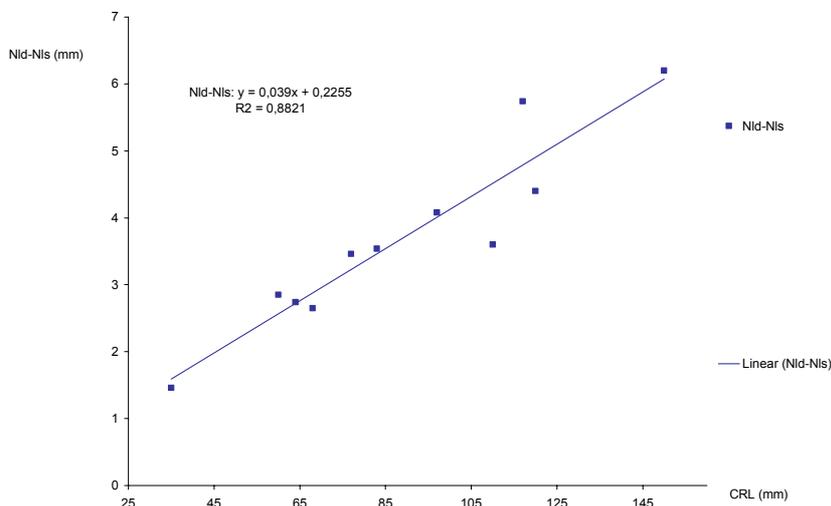


Abb. 146: Maximale transversale Ausdehnung des Os nasale in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für die Breite des Os nasale, ausgedrückt durch Nld-Nls (Os nasale, lateral, dexter-Os nasale, lateral, sinister), nehmen im beobachteten Zeitraum von 1,5 mm auf über 6 mm um das Vierfache zu. Es ist zwar ein linearer Verlauf zu erkennen, jedoch mit relativ breiter

Streuung der Punkte ab einer SSL von 95 mm, was auf zunehmend diskontinuierliches Wachstum hinweist.

In den Abbildungen 93 und 94 wird ein Wertezuwachs auf insgesamt 5 mm der vertikalen Ausdehnung des Os nasale ermittelt. Das Os nasale nimmt also in vertikaler und transversaler Ausdehnung auf ähnliche Weise im beobachteten Entwicklungszeitraum zu.

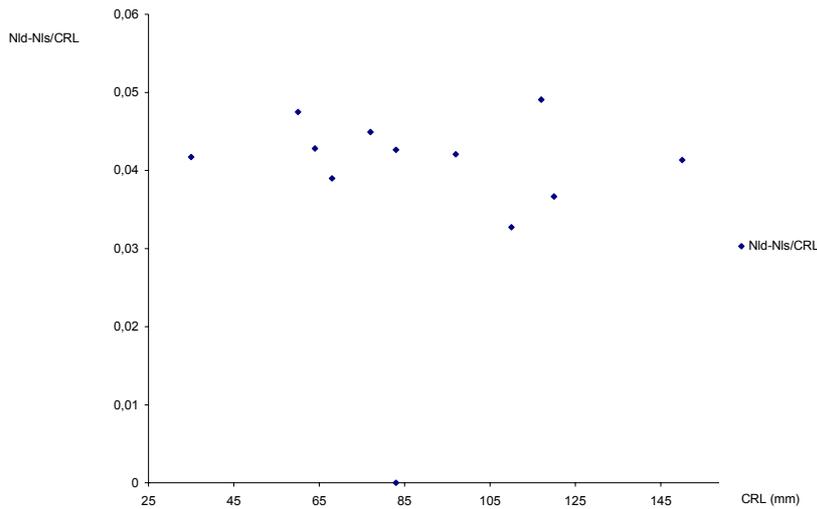
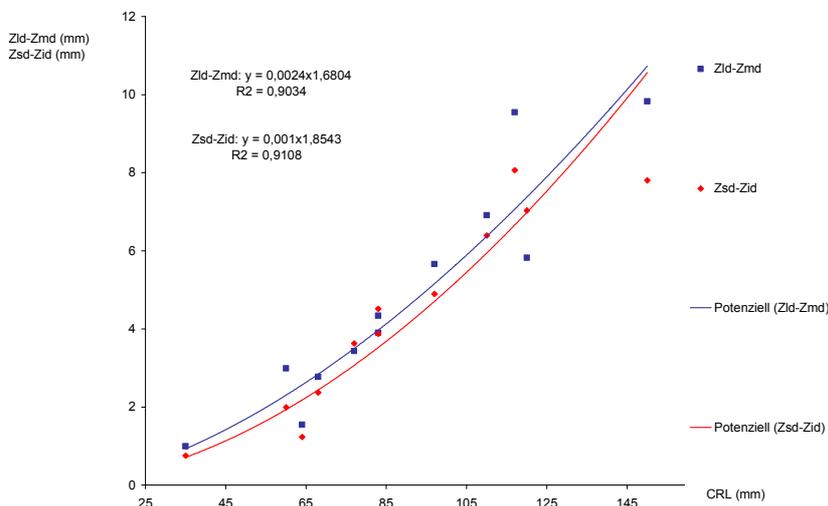


Abb. 147: Quotientendarstellung der maximalen transversalen Ausdehnung des Os nasale zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Diese Quotientendarstellung zeigt, dass die maximalen transversalen Ausdehnungen des Os nasale (Nld-Nls) eine Wachstumsrate gleich die der SSL aufweisen und im Durchschnitt bei 4 % der SSL liegen. Die Punkte sind zwischen 0,035 und 0,05 etwas stärker gestreut.



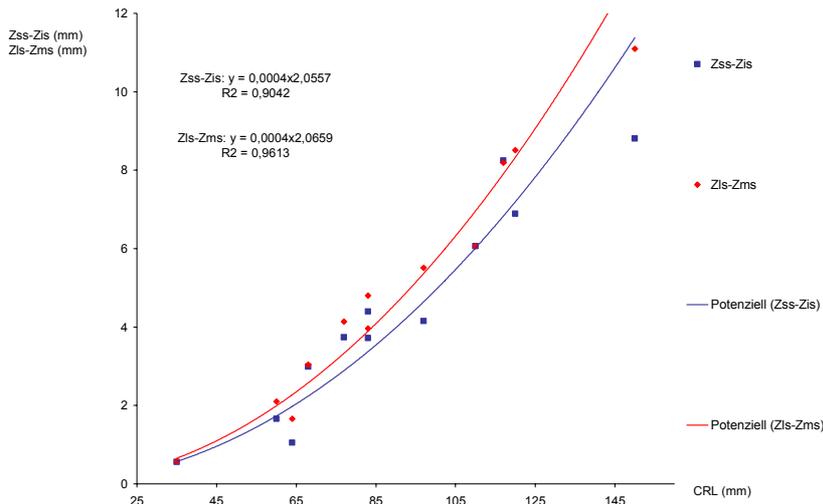
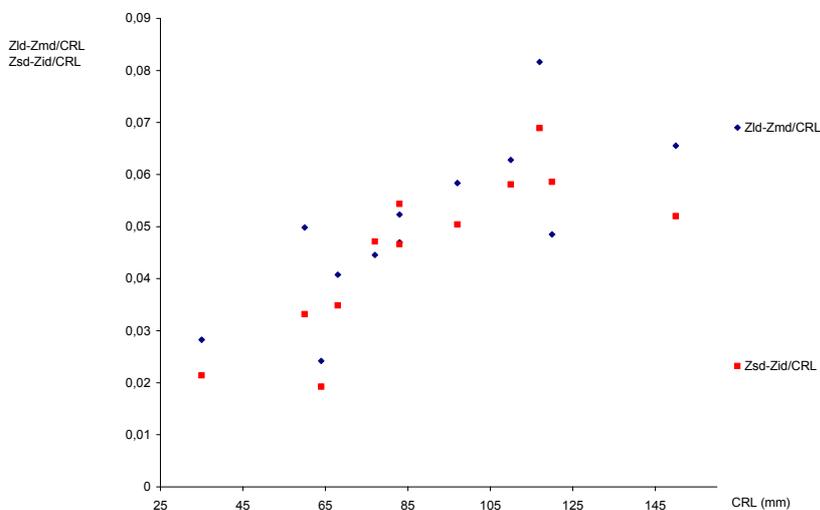


Abb. 146, 149: Maximale vertikale und transversale Ausdehnung des Os zygomaticum, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Wie in der Norma lateralis nehmen die Werte für die Höhe und Breite der Ossa zygomatica, ausgedrückt durch Zsd, -s-Zid, -s (Os zygomaticum, superior, dexter bzw. sinister-Os zygomaticum, inferior, dexter bzw. sinister) und Zld, -s-Zmd, -s (Os zygomaticum, lateral, dexter bzw. sinister-Os zygomaticum, medial, dexter bzw. sinister), auch hier ähnlich zu (siehe Abb. 97, 98). Insgesamt von etwa 1 mm auf 10 mm um das Zehnfache. Der Verlauf ist potenziell und die Streubreite der Punkte ist mit $R^2 > 0,9$ gering.

Es kann also ausgesagt werden, dass das Os zygomaticum in den vermessenen Ebenen insgesamt einem starken Wachstum mit mittelmäßiger Konstanz der Wertezunahme unterliegt.



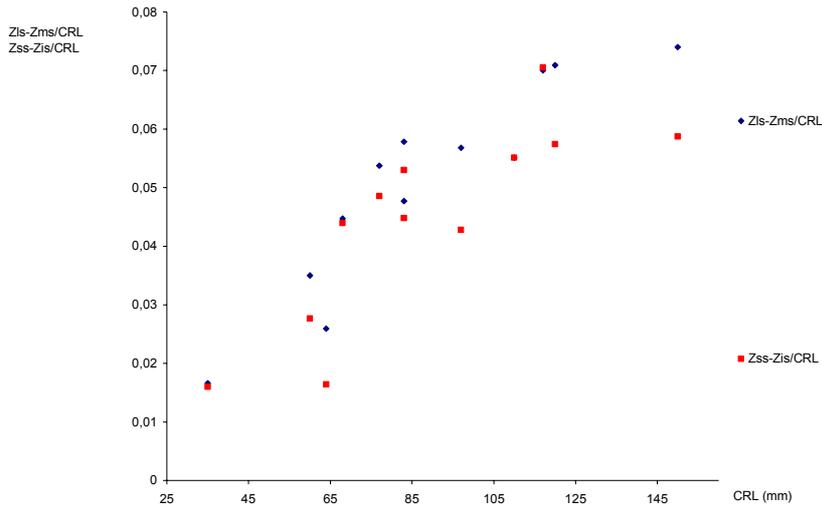
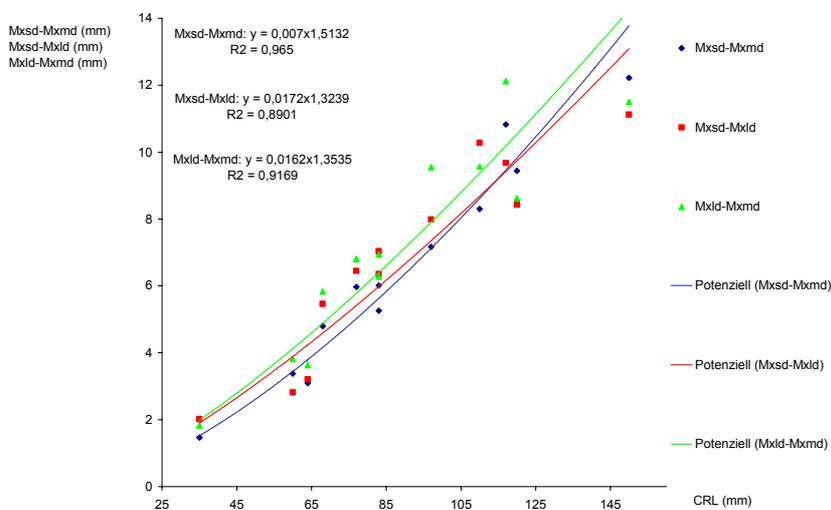


Abb. 150, 151: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen und transversalen Ausdehnung des Os zygomaticum, dexter und sinister zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die ausgeprägte Längenzunahme des Os zygomaticum wird nochmals vom Quotienten bestätigt. Das Os zygomaticum verdreifacht bis vervierfacht seinen prozentualen Anteil an der Scheitel-Steiß-Länge (SSL) in den vermessenen Ebenen Zsd, -s-Zid, -s und Zld, -s-Zmd, -s. In der Norma lateralis wird sogar eine fünffache und siebenfache Wertezunahme registriert (siehe Abb. 99, 100), was jedoch an den dortigen kleineren Ausgangswerten liegt, zumal die Endwerte auch ähnlich sind. Hier steigen die Werte von etwa 2 % auf 7 % der SSL an und in den Abbildungen 99, 100 von etwa 1 % auf bis zu 7 %.



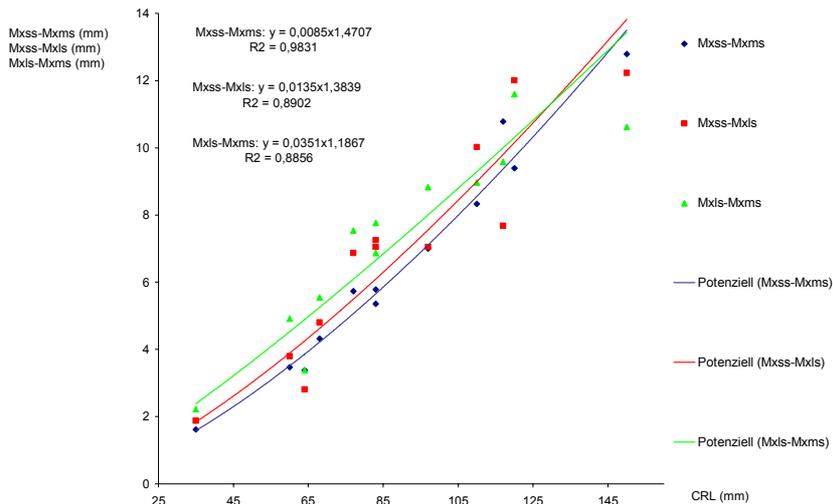


Abb. 152, 153: Maximale vertikale, diagonale und transversale Ausdehnung der Maxilla, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Streuung der Punkte für die vertikale Ausdehnung der Maxilla, ausgedrückt durch Mxsd, -s-Mxmd, -s (Maxilla, superior, dexter bzw. sinister-Maxilla, medial, dexter bzw. sinister), ist am geringsten ausgeprägt. Diese Kontinuität ist auch schon bei den jungen Präparaten der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 28) und bei den Aufhellungspräparaten der Norma lateralis (siehe Abb. 77, 78) zu beobachten.

Die Streufelder der transversalen und diagonalen Vermessungen, ausgedrückt durch Mxsd, -s-Mxld, -s (Maxilla, superior, dexter bzw. sinister-Maxilla, lateral, dexter bzw. sinister) und durch Mxld, -s-Mxmd, -s (Maxilla, lateral, dexter bzw. sinister-Maxilla, medial, dexter bzw. sinister), hingegen sind größer und nehmen mit zunehmender SSL zu. Dies gilt für die rechte und linke Maxillahälfte gleichermaßen.

Es kann also ausgesagt werden, dass die Maxilla am beständigsten in ihrer vertikalen Ausdehnung an Länge zunimmt. Anders als bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen sind hier die beiden anderen Vermessungen jedoch auch als konstant anzusehen.

Die Längenzunahme ist für alle drei Vermessungen etwa gleich und verläuft leicht potenziell. Die Werte nehmen um das Sechsfache von 2 mm auf 12 mm zu.

Anders als bei den jüngeren Exemplaren kann hier bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen keine Rangliste der Länge der vermessenen Ebenen erstellt werden. Berücksichtigt man auch die mit der SSL zunehmende Streuung der Punktfelder für die Transversal- und Diagonalebene, so erkennt man, dass die Maxilla eine zunehmende Variationsbreite im Wachstumsverhalten aufweist.

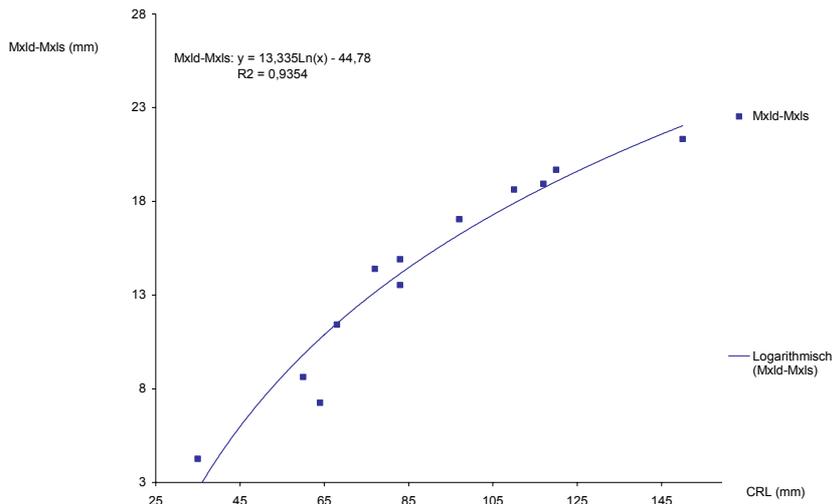
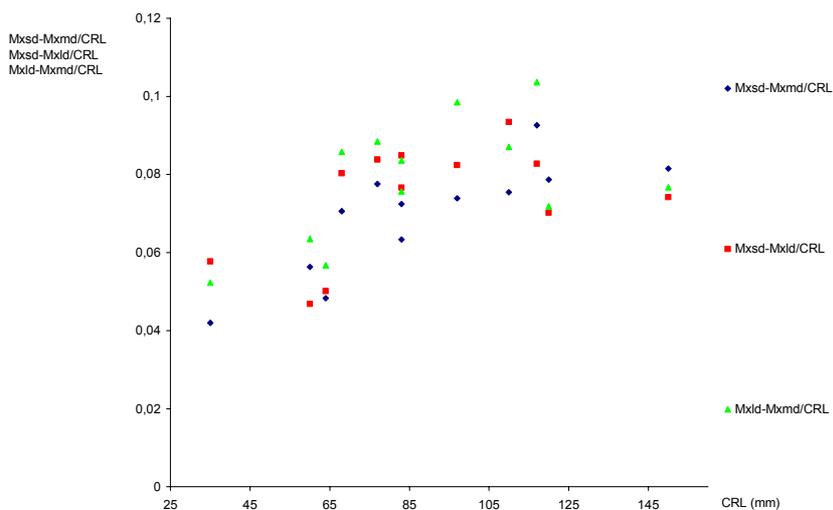


Abb. 154: Maximale transversale Ausdehnung der gesamten Maxilla, in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Vermessungen der gesamten transversalen Ausdehnung der Maxilla, ausgedrückt durch Mxld-Mxls (Maxilla, lateral, dexter-Maxilla, lateral sinister), weisen eine logarithmische Wertezunahme auf. Die Werte nehmen von 4 mm auf 22 mm um den Faktor 5,5 zu.

Der größte Anstieg der Werte liegt dabei zwischen 65 mm und 85 mm SSL. Dies ist in den Abbildungen 152 und 153 bei den diagonalen und transversalen Vermessungen der Maxilla auch erkennbar.



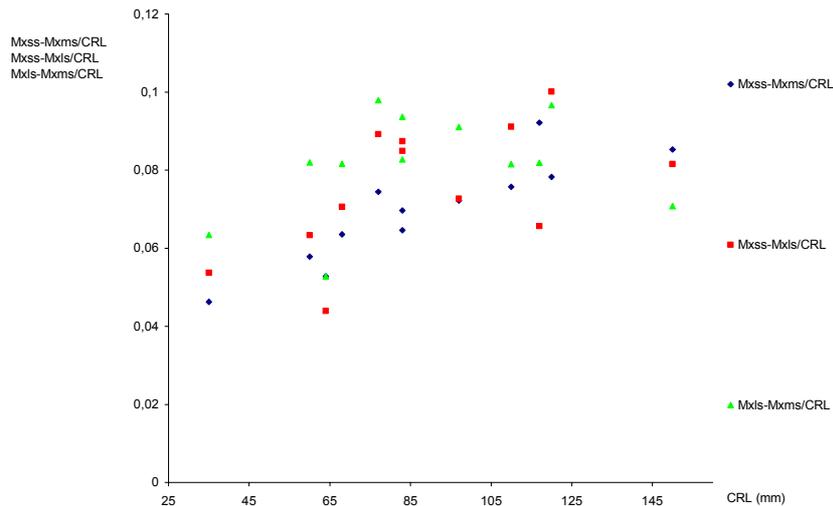


Abb. 155, 156: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen, diagonalen und transversalen Ausdehnung der Maxilla dexter und sinister zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Quotientendarstellungen zur SSL von Mxsd, -s-Mxmd, -s, Mxsd, -s-Mxld, -s und Mxld, -s-Mxmd, -s nehmen hier bis zu einer SSL von 85 mm zu. Bei den entsprechenden Quotientendarstellungen der 3D-Rekonstruktionen ist noch keine Zunahme der Werte zu beobachten (siehe Abb. 29).

Ab einer SSL von 85 mm ist kein großer Unterschied des Wachstums der Maxilla in den drei vermessenen Ebenen zur SSL zu erkennen. Die Vermessungen der Norma lateralis an der Maxilla (siehe Abb. 79, 80) haben ein ähnliches Wachstumsverhalten.

Der prozentuale Anteil zur SSL liegt bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen zwischen 4 % und 6 % (siehe Abb. 29). Hier liegen die Werte, wie auch bei den Vermessungen der Norma lateralis (siehe Abb. 79, 80), ab einer SSL von 85 mm zwischen 7 % und 9 %. Die Maxilla hat ihren Anteil zur SSL also um 2/3 vergrößert.

Bei den Aufhellungspräparaten der Norma lateralis ist für die sagittale Ausdehnung der Maxilla (Spa-Spp) zwischen einer SSL von 65 mm und 85 mm ebenfalls eine ausgeprägtere Wertezunahme zu beobachten (siehe Abb. 77, 78). Es ist also zu vermuten, dass die gesamte untere Basis der Maxilla zwischen 65 mm und 85 mm SSL einem stärkeren Wachstumsschub in der Horizontalebene unterliegt.

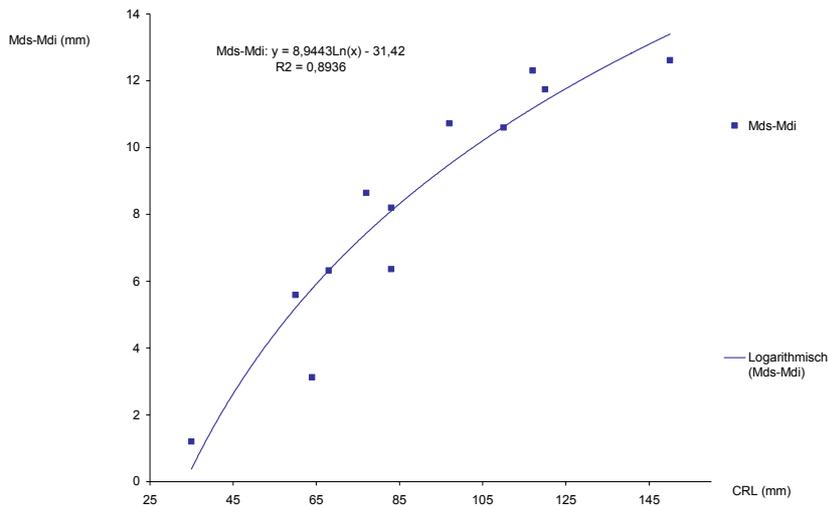


Abb. 157: Maximale vertikale Ausdehnung der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Mandibula nimmt, ähnlich wie die Maxilla in ihrer maximalen vertikalen Ausdehnung, ausgedrückt durch Mds-Mdi (Mandibula, superior-Mandibula, inferior), bis zu einer SSL von 95 mm stärker an Höhe zu. Der Wert von R^2 liegt hier bei 0,9. Durch den logarithmischen Verlauf wird die Konstanz der Werteerhöhungen etwas gemindert. Die vertikale Ausdehnung der Mandibula nimmt in der beobachteten Entwicklungszeit von 1 mm auf 12 mm um das Zwölffache zu.

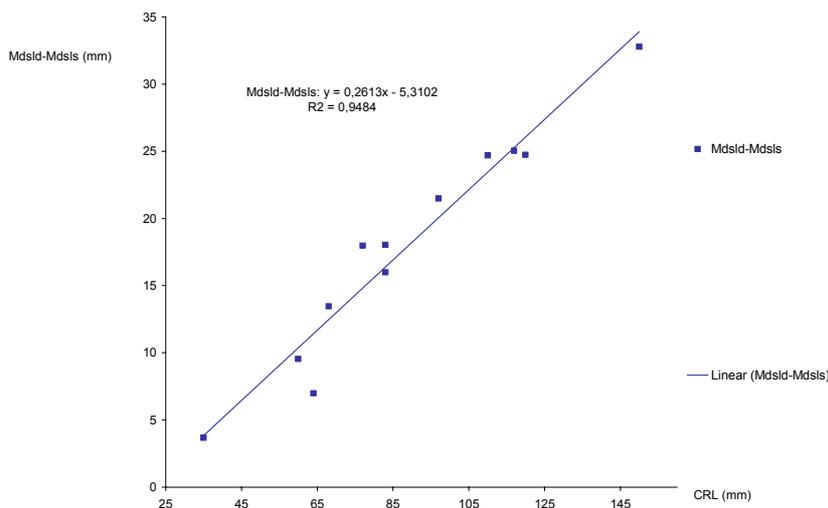


Abb. 158: Maximale transversale Ausdehnung der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für die maximale transversale Ausdehnung der Mandibula, ausgedrückt durch Mdsld-Mdsls (Mandibula, superior, lateral, dexter-Mandibula, superior, lateral, sinister), nehmen linear und mit einem Determinationskoeffizienten von $R^2 = 0,94$ relativ konstant zu. Sie erhöhen sich von 5 mm auf 30 mm um das Sechsfache.

Auch hier ist wieder geringfügig eine stärkere Zunahme der Werte zwischen einer SSL von 65 mm und 85 mm zu erkennen.

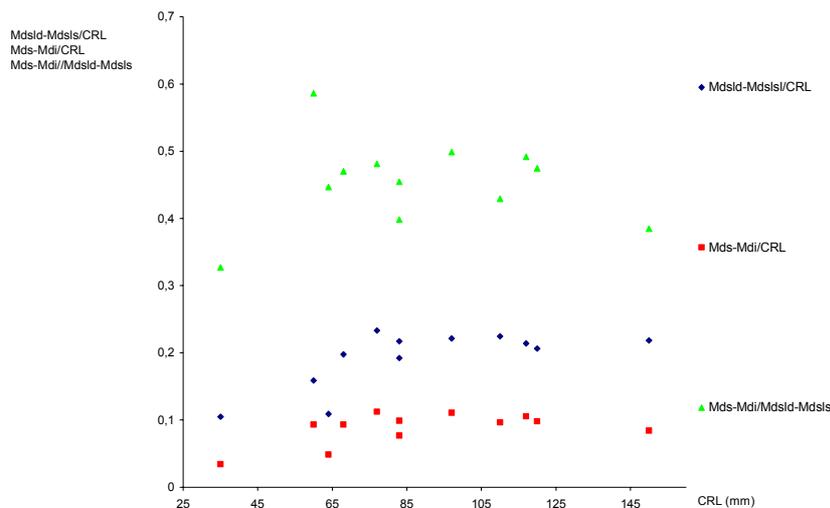


Abb. 159: Quotientendarstellung der maximalen transversalen und vertikalen Ausdehnung der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge und Quotientendarstellung der maximalen vertikalen zur maximalen transversalen Ausdehnung der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus dem Quotienten der maximalen transversalen und vertikalen Ausdehnung der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL), ausgedrückt durch Mdsld-Mdsls/CRL und Mds-Mdi/CRL, ist zu erkennen, dass die Mandibula doppelt so breit wie hoch ist. Der Durchschnitt für die Breite liegt bei 0,2, der für die Höhe bei 0,09. Bildet man einen Quotienten aus diesen beiden Ebenen (Mds-Mdi/Mdsld-Mdsls), lässt sich ihr Verhältnis zueinander genauer angeben. Es liegt etwas stärker gestreut bei 0,45. Keine der Vermessungen zeigt eine zu- oder abnehmende Tendenz der Werte über den beobachteten Zeitraum hinweg.

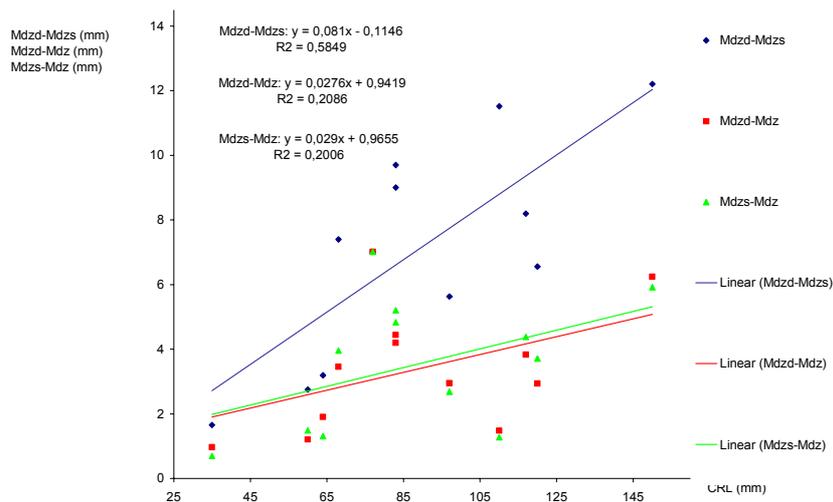


Abb. 160: Darstellung der Strecke vom tiefsten Punkt der inneren Wölbung der rechten Mandibularhälfte zum tiefsten Punkt der inneren Wölbung der linken Mandibularhälfte und jeweils zur Mediansagittalebene in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Durch die Abstandsvermessungen des tiefsten Punktes der inneren Wölbung einer Mandibularhälfte zum tiefsten Punkt der inneren Wölbung der anderen Mandibularhälfte, ausgedrückt durch Mdzd-Mdzs (Mandibula, zentral, dexter-Mandibula, zentral, sinister), und zur Mediansagittalebene, ausgedrückt durch Mdzd, -s-Mdz (Mandibula, zentral, dexter bzw. sinister-Mandibula, zentral), sollen Unterschiede der rechten zur linken Seite in dieser entwicklungs-dynamischen Region aufgezeigt werden.

Es ist wieder eine stärkere Erhöhung der Werte zwischen einer SSL von 65 mm und 85 mm zu erkennen. Sie sind insgesamt breit gestreut und zeigen auf- und absteigende Tendenzen. Zu erkennen ist aber auch, dass die Strecken Mdzd-Mdz und Mdzs-Mdz relativ ähnliche Punkteverteilungen aufweisen, was darlegt, dass sich die rechte und linke Hälfte der Mandibula innerhalb eines Individuums seitenkonstant entwickeln.

Die Werte nehmen von 1,5 mm auf 6 mm um das Vierfache zu. Die Strecke Mdzd-Mdzs nimmt von 2 mm auf 12 mm um das Sechsfache zu.

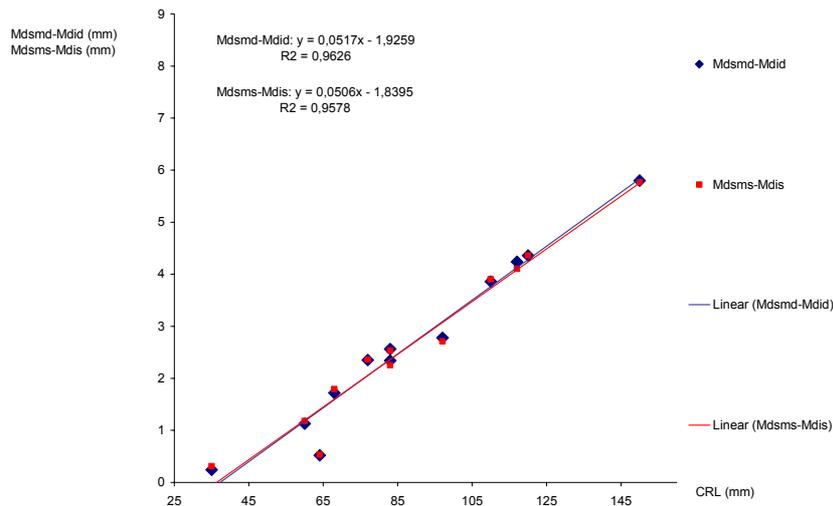


Abb. 161: Maximale vertikale Ausdehnung der rechten und linken Hälfte des Kinns in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die vertikale Ausdehnung des Kinns, ausgedrückt durch Mdsmd, -s-Mdid, -s (Mandibula, superior, medial, dexter bzw. sinister-Mandibula, inferior, dexter bzw. sinister), hat seitengleiche Werte. Bei den Exemplaren, von denen 3D-Rekonstruktionen angefertigt wurden (siehe Abb. 32), ist das Streufeld der Punkte noch sehr groß. Hier ist die Streubreite der Punkte gering ausgeprägt, was auf konstantes Wachstum deutet. Dafür spricht auch der lineare Verlauf. Die Werte nehmen von 0,5 mm auf 6 mm um den Faktor 12 zu.

Bei der vertikalen Vermessung des Kinns in der Norma lateralis (siehe Abb. 81, 82) wurde Ähnliches beobachtet.

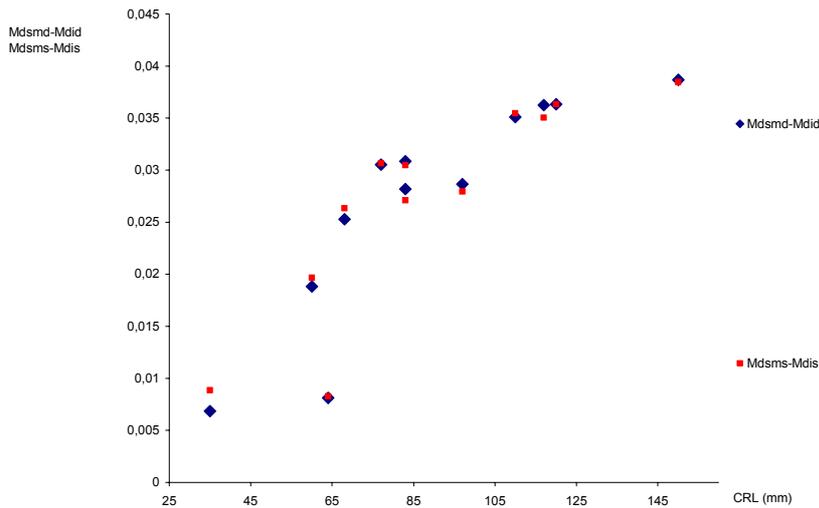


Abb. 162: Quotientendarstellung der maximalen vertikalen Ausdehnung der rechten und linken Hälfte des Kinns zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die vertikale Ausdehnung des Kinns, ausgedrückt durch Mdsmd, -s-Mdid, -s, nimmt im beobachteten Zeitraum anteilmäßig deutlich stärker an Länge zu als die SSL. Insgesamt verachtfacht sie ihren prozentualen Anteil an der SSL von 0,5 % auf 4 % (gleicher Durchschnitt wie bei den jüngeren Exemplaren bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen, siehe Abb. 33). Eine größere Wertezunahme bis zu einer SSL von 85 mm ist auch hier wieder zu erkennen.

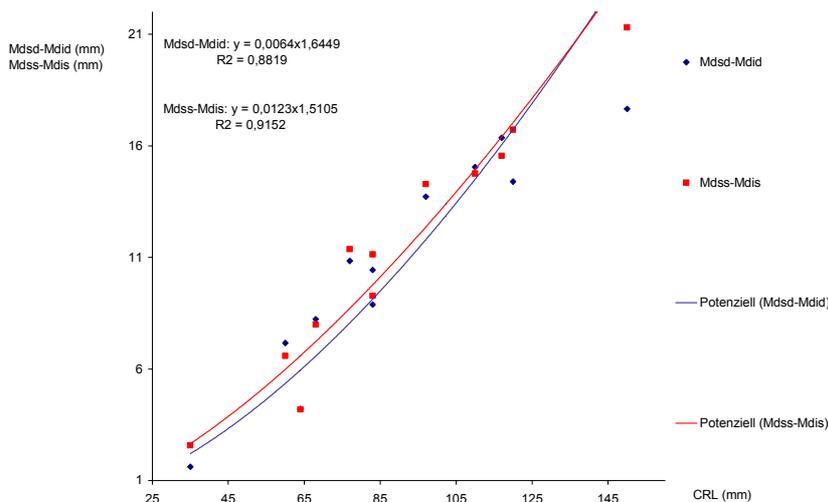


Abb. 163: Maximale diagonale Ausdehnung der rechten und linken Hälfte der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die maximale diagonale Ausdehnung der rechten und linken Mandibularhälfte, ausgedrückt durch Mdsd, -s-Mdid, -s (Mandibula, superior, dexter bzw. sinister-Mandibula, inferior, dexter bzw. sinister), nimmt in der beobachteten Entwicklungsperiode leicht potenziell mit Tendenz zum linearen Verlauf und mittelmäßig stark ausgeprägter Streuung der Punkte zu.

Die Werte erhöhen sich von 2 mm auf 20 mm relativ stark. Die Anstiegsrate ist auf beiden Seiten etwa gleich. Auch hier nehmen die Werte von 65 mm SSL bis 85 mm SSL ausgeprägter zu.

Bei den entsprechenden Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen wurde eine sehr viel geringere Längenzunahme festgestellt (siehe Abb. 34).

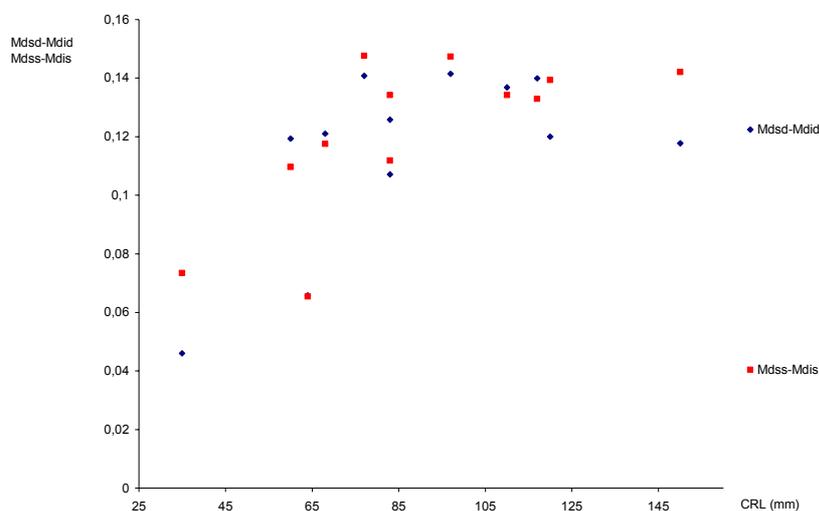


Abb. 164: Quotientendarstellung der maximalen diagonalen Ausdehnung der rechten und linken Hälfte der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus dem Quotienten kann man ersehen, dass die Wachstumsrate der maximalen diagonalen Ausdehnungen der beiden Mandibularhälften (Mdsd, -s-Mdid, -s) bis zu einer SSL von 85 mm wieder ausgeprägter ist als die der SSL und danach für beide Seiten mit einer Streuung zwischen 0,1 und 0,15 mit ihr gleich aufliegt.

Bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 35) und hier vor einer SSL von 65 mm liegt der durchschnittliche prozentuale Anteil an der SSL bei unter 8 %. Durch die stärkere Wertezunahme bis zu einer SSL von 85 mm wird also der Anteil der diagonalen Ausdehnung der Mandibula an der SSL um mehr als 50 % erhöht.

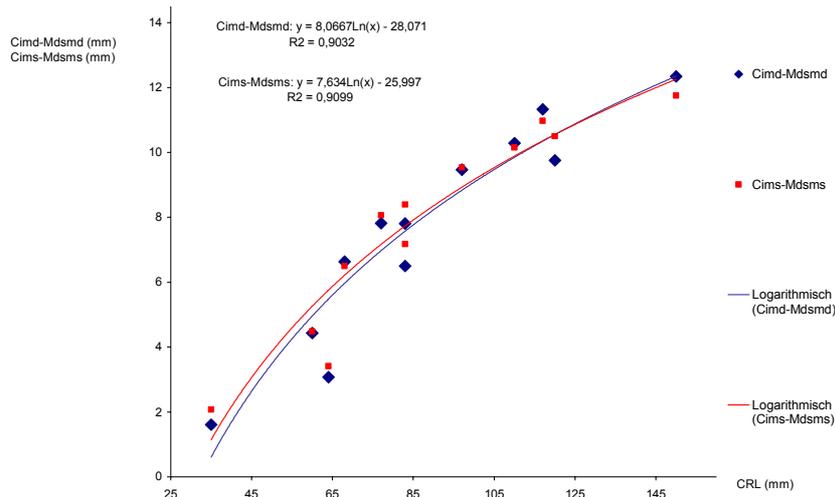


Abb. 165: Maximale lineare Ausdehnung der inneren Wölbung der rechten und linken Hälfte der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Von den Punkten Cimd, -s (Mandibula, Processus coronoideus, medial, dexter und sinister) zu den Punkten Mdsmd, -s (Mandibula, superior, medial, dexter und sinister) erstrecken sich die inneren Wölbungen der beiden Mandibularhälften. Die Werte sind für die rechte und linke Seite annähernd gleich. Das Diagramm zeigt tendenziell eine abnehmende Streuung der Punkte und weist einen logarithmischen Verlauf auf. Die Werte erhöhen sich von 2 mm auf 12 mm um das Sechsfache. Durch den logarithmischen Verlauf ist die Konstanz der Wertezunahme als mittelmäßig einzustufen.

Auch hier ist wieder eine deutlichere Zunahme der Werte bis zu einer SSL von 85 mm zu erkennen. Insgesamt nehmen sie stärker zu als bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 36).

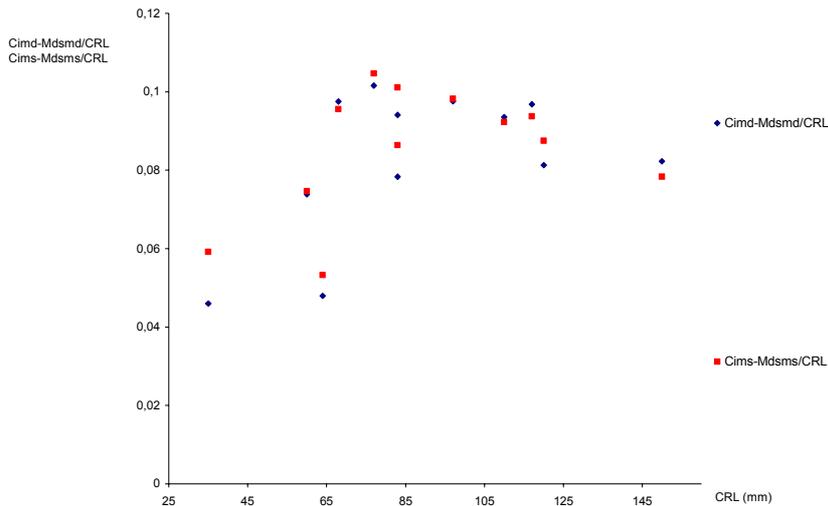


Abb. 166: Quotientendarstellung der maximalen Ausdehnung der inneren Wölbung der rechten und linken Hälfte der Mandibula zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus den Quotienten Cimd, -s/CRL und Mdsmd, -s/CRL kann man ersehen, dass die Wachstumsrate bis zu einer SSL von 80 mm wieder stärker ausgeprägt ist als die der SSL. Danach liegt sie bei 0,09 für beide Seiten mit der SSL gleich auf.

Bei den jüngeren Präparaten der 3D-Rekonstruktionen (siehe Abb. 37) liegt der durchschnittliche prozentuale Anteil an der SSL bei 7 %.

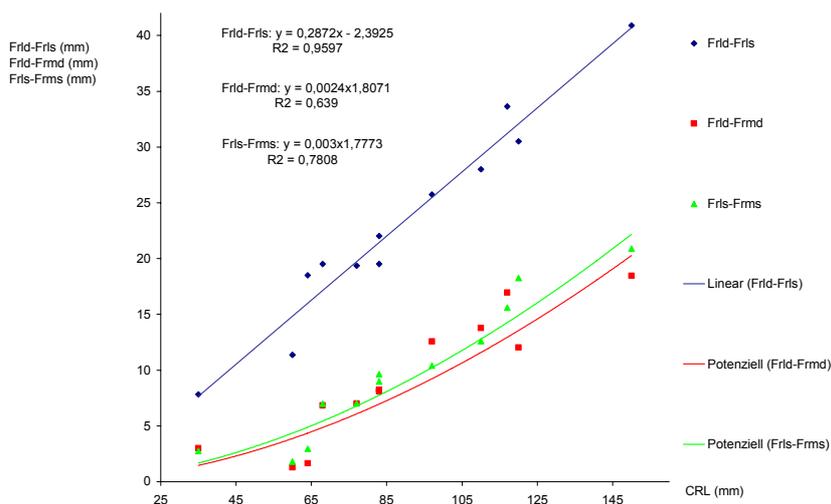


Abb. 167: Maximale transversale Ausdehnung des gesamten Os frontale und maximale transversale Ausdehnungen der jeweils rechten und linken Hälfte des Os frontale in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für die maximale transversale Ausdehnung der rechten und linken Hälfte des Os frontale, ausgedrückt durch Frld, -s-Frmd, -s (Os frontale, lateral, dexter bzw. sinister-Os frontale, medial, dexter bzw. sinister), gleichen sich relativ stark. Entsprechend ähnlich sehen die Verläufe der leicht potenziell verlaufenden Kurven aus. Sie nehmen mit mittelmäßiger Konstanz von 4 mm auf 20 mm um das Fünffache zu.

Die Gesamtbreite des Os frontale, ausgedrückt durch Frld-Frls (Os frontale, lateral, dexter-Os frontale, lateral, sinister), weist einen linearen Verlauf mit geringer Streuung der Punkte auf. Die Werte erhöhen sich konstant von 8 mm auf 40 mm um das Fünffache.

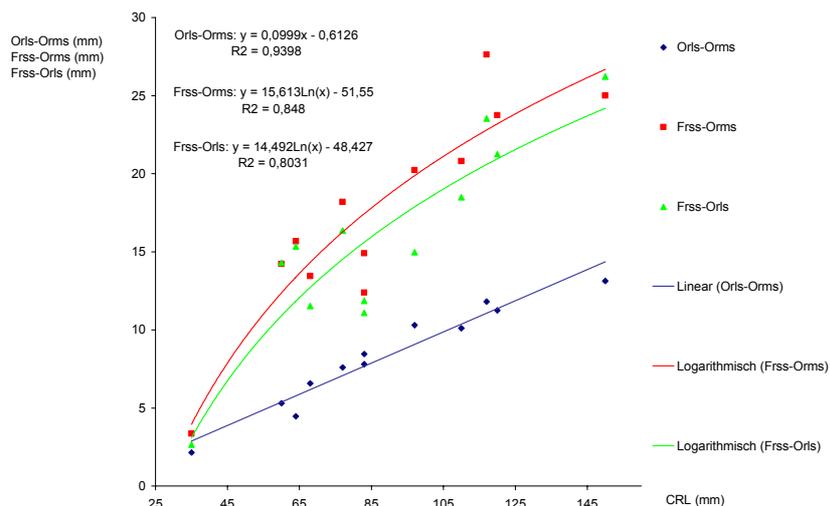
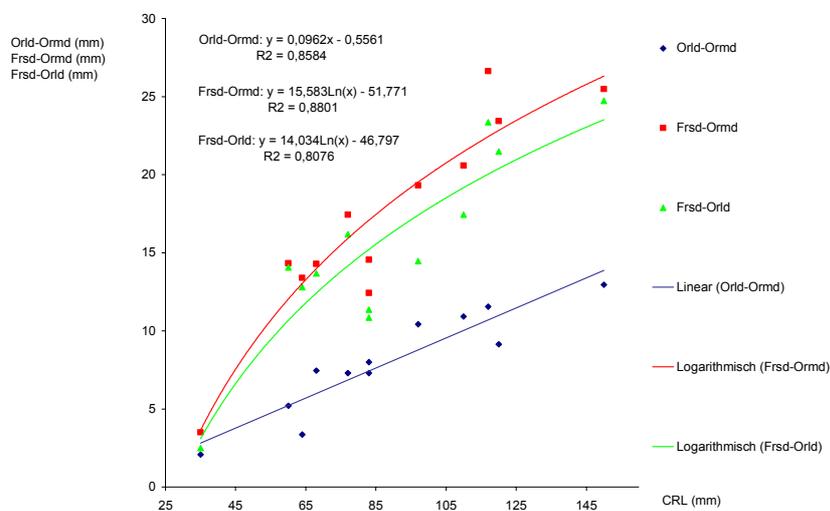


Abb. 168, 169: Maximale transversale Ausdehnung des Os temporale, Pars orbitalis, dexter und sinister sowie maximaler diagonaler Ausdehnungen, in je zwei Ebenen, der jeweils rechten und linken Hälfte des Os frontale in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die transversale Ausdehnung der rechten und der linken Orbita, ausgedrückt durch Orld, -s–Ormd, -s (Os frontale, Pars orbitalis, lateral, dexter bzw. sinister-Os frontale, Pars orbitalis, medial, dexter bzw. sinister), verläuft linear mit einer geringen bis mittelmäßigen Streuung der Punkte. Die diagonalen Vermessungen des Os frontale, ausgedrückt durch Frsd, -s–Ormd, -s (Os frontale, superior, dexter bzw. sinister-Os frontale, Pars orbitalis, medial, dexter bzw. sinister) und Frsd, -s–Orld, -s (Os frontale, superior, dexter bzw. sinister-Os frontale, Pars orbitalis, lateral, dexter bzw. sinister), verlaufen diskontinuierlicher. Die Punkte sind auf beiden Seiten ähnlich stark gestreut, sowohl für die diagonalen Vermessungen zur medialen als auch zur lateralen Orbitaseite und verlaufen logarithmisch. Ebenfalls ist zu erkennen, dass die Werte der diagonalen Vermessungen auf beiden Seiten zur medialen Orbitaseite etwas höher als zur lateralen Orbitaseite sind.

Die transversalen Vermessungen nehmen von 4 mm auf 12 mm um das Dreifache zu und die diagonalen von 4 mm auf 24 mm um das Sechsfache.

Es liegt eine ausgeprägte Erhöhung der Werte bis zu einer SSL von etwa 85 mm für die diagonalen Vermessungen vor. Danach ist die Anstiegsrate für alle Vermessungen etwa gleich. Durch diesen stärkeren Anstieg haben die diagonalen Vermessungen nach 85 mm SSL doppelt so hohe Werte wie die transversalen Vermessungen.

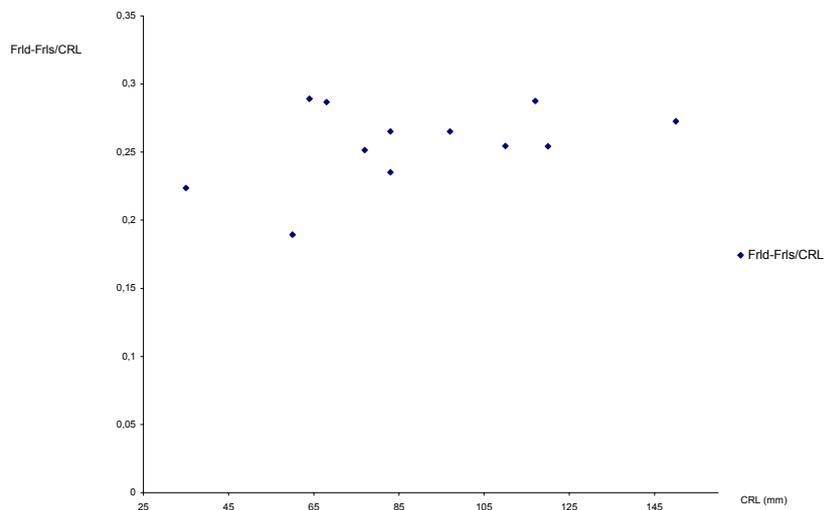


Abb. 170: Quotientendarstellung der maximalen transversalen Ausdehnung des Os frontale zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus dem Quotienten der gesamten maximalen transversalen Ausdehnung des Os frontale (Frl-d-Frld/CRL) ist ein gleichartiges Wachstum zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) bei durchschnittlich 26 % der SSL erkennbar.

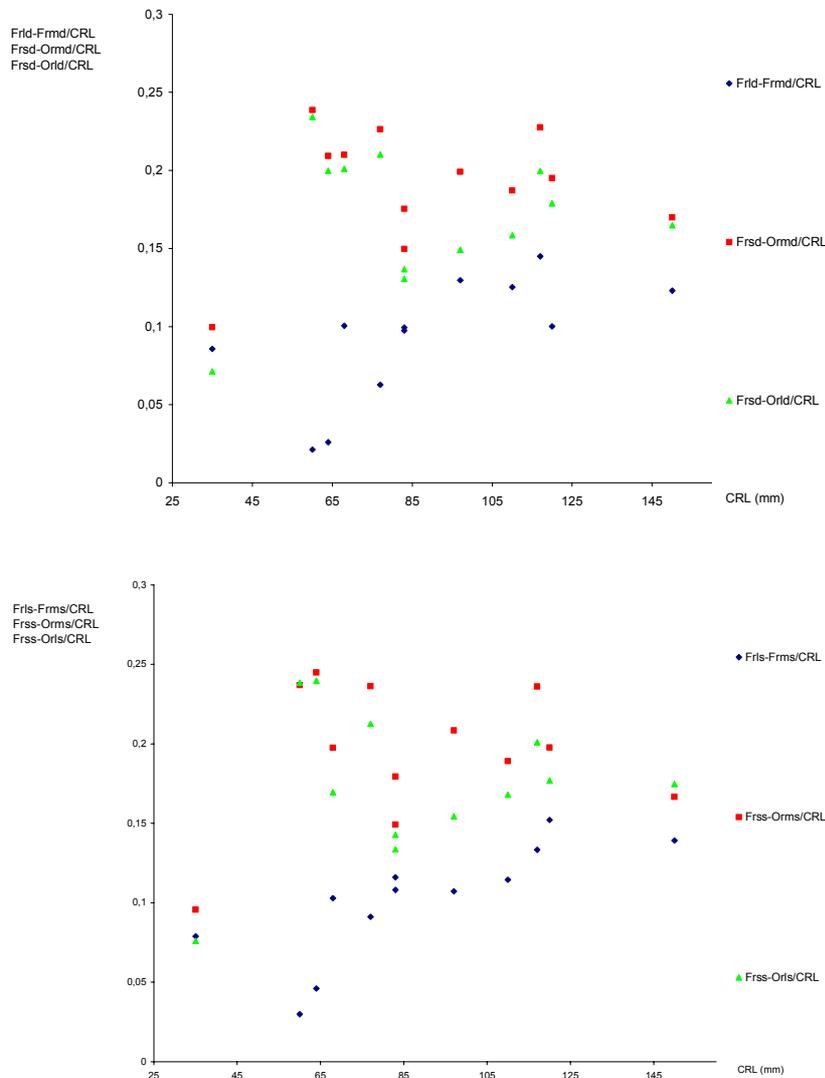


Abb. 171, 172: Quotientendarstellung der maximalen transversalen Ausdehnung des Os frontale, dexter und sinister und der maximalen diagonalen Ausdehnungen in je zwei Ebenen der jeweils rechten und linken Hälfte des Os frontale, zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Quotientendarstellung der maximalen transversalen Ausdehnung des Os frontale, dexter und sinister zur SSL, ausgedrückt durch Frl-d, -s-Frld, -s/CRL, zeigt eine Erhöhung der Werte auf beiden Seiten – bis zur SSL von etwa 85 mm etwas ausgeprägter und danach geringfügiger. Trotz breiter Streuung kann hier eine ungefähre Zunahme von 5 % der SSL auf

15 % angegeben werden. Das Breitenwachstum der Ossa frontalia nimmt damit um den Faktor drei wesentlich stärker zu als das Längenwachstum der SSL.

Die Quotientendarstellungen der diagonalen Vermessungen des Os frontale (Frstd, -s-Ormd, -s/CRL und Frsd, -s-Orld, -s/CRL) zur SSL, zeigen eine noch stärkere Streuung. Eine tendenzielle Zu- oder Abnahme der Werte kann daher nicht eindeutig hergeleitet werden. Sie scheinen jedoch, wie es zu erwarten wäre, bis etwa 65 mm SSL stärker zuzunehmen und danach geringfügig wieder abzusinken. Die Werte variieren zwischen 10 % und 25 % der SSL.

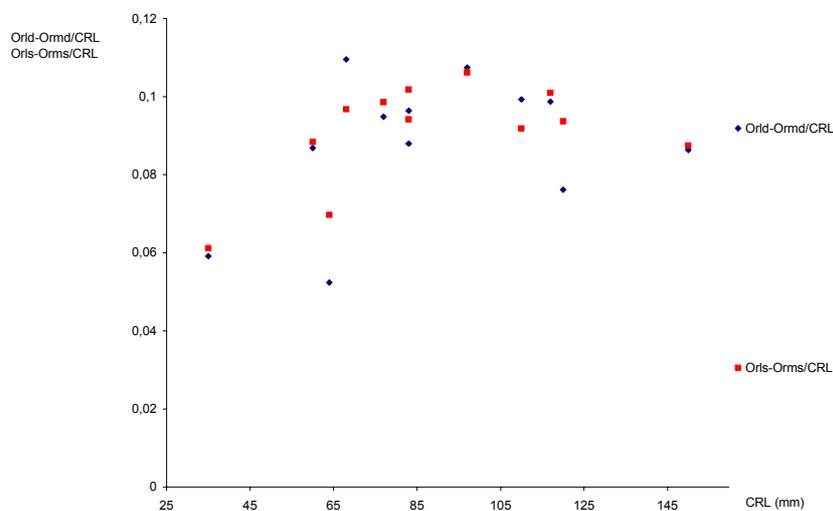


Abb. 173: Quotientendarstellung der maximalen transversalen Ausdehnung des Os temporale, Pars orbitalis, dexter und sinister zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die große Mehrzahl der Punkte für den Quotienten der transversalen Ausdehnung der rechten und linken Orbita zur SSL (Orld, -s-Ormd, -s/CRL) verteilen sich relativ konstant um 0,09. Ein initialer Anstieg der Werte von 0,06 bis zu einer SSL von 60 mm geht ebenfalls aus der Abbildung hervor. In den Abbildungen 168 und 169 wurde für Orld, -s-Ormd, -s außerdem ein konstantes Wachstum ermittelt.

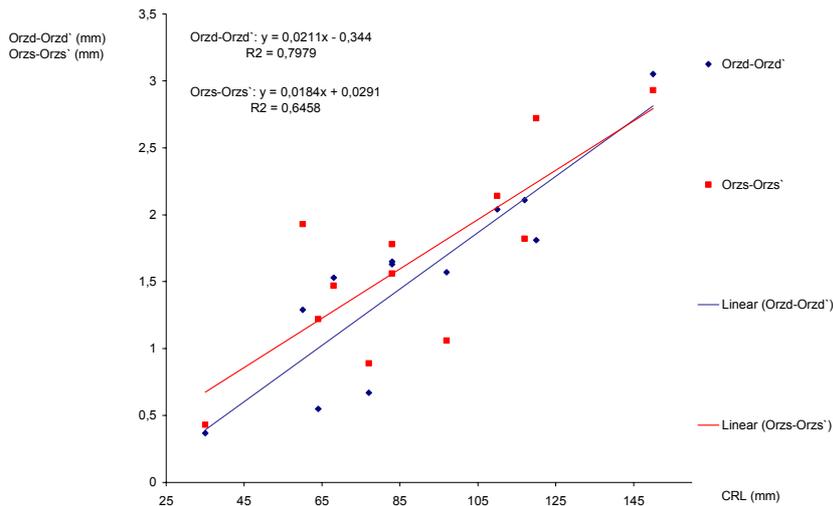


Abb. 174: Maximale Tiefe der Orbita, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Während die transversale Ausdehnung der Orbita relativ konstant zunimmt, sind bei den Tiefenvermessungen der Konkavität der Orbita, ausgedrückt durch Orzd, -s-Orzd', -s' (Os frontale, Pars orbitalis, zentral, dexter bzw. sinister-Os frontale, Pars orbitalis, zentral, dexter' bzw. sinister'), starke Streuungen der Punkte zu erkennen. Sie weisen jedoch mit zunehmender Scheitel-Steiß-Länge eine abnehmende Tendenz auf. Die Werteerhöhung verläuft linear aber mit einem Determinationskoeffizienten von $R^2 = 0,6$ bis $0,8$ diskontinuierlich. Im beobachteten Zeitraum nimmt die Tiefe der Orbita von $0,5$ mm auf 3 mm um das Sechsfache zu.

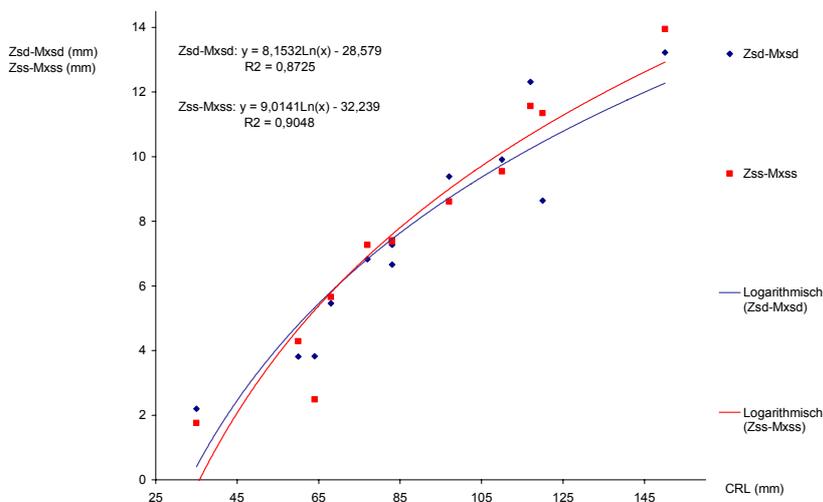


Abb. 175: Maximale lineare Ausdehnung der gemeinsamen Wölbungen des Os zygomaticum und der Maxilla, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für die transversale Ausdehnung der gemeinsamen konkaven Wölbung des Os frontale und des Os zygomaticum, ausgedrückt durch Zsd, -s-Mxsd, -s (Os zygomaticum, superior, dexter bzw. sinister-Maxilla, superior, dexter bzw. sinister) nehmen im beobachteten Zeitraum logarithmisch aber mit geringer Streuung, also konstant von 2 mm auf 12 mm etwa sechsfach zu.

Es ist ebenfalls wieder eine stärkere Erhöhung der Werte zwischen einer SSL von 65 mm und 85 mm zu erkennen.

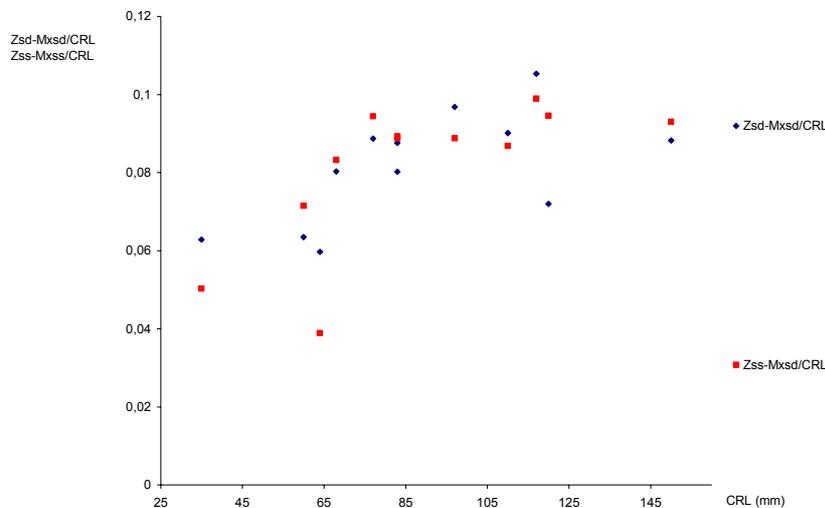


Abb. 176: Quotientendarstellung der maximalen linearen Ausdehnung der gemeinsamen Wölbungen des Os zygomaticum und der Maxilla, dexter und sinister zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus der Quotientendarstellung Zsd, -s-Mxsd, -s/CRL erkennt man ein relativ konstantes Wachstum zur Scheitel-Steiß-Länge, welches bei etwa 0,9 liegt. Ein initialer Anstieg der Werte von 0,04 bzw. 0,06 bis zu einer SSL von 80 mm geht ebenfalls aus dem Diagramm hervor.

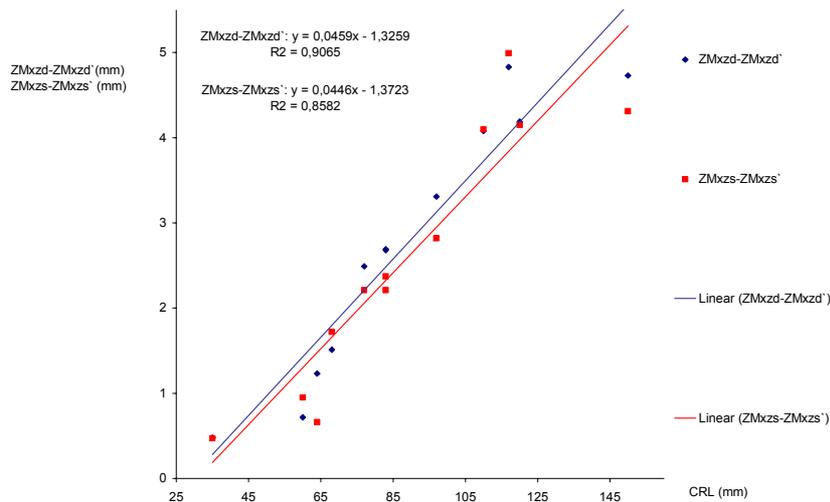


Abb. 177: Maximale Tiefen der gemeinsamen Wölbung des Os zygomaticum und der Maxilla, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte für die Tiefe der gemeinsamen Wölbung des Os frontale und des Os zygomaticum, ausgedrückt durch ZMxzd, -s-ZMxzd', -s' (Os zygomaticum, Maxilla, zentral, dexter bzw. sinister-Os zygomaticum, Maxilla, zentral, dexter' bzw. sinister'), nehmen im beobachteten Zeitraum relativ konstant von 0,5 mm auf 5 mm etwa zehnfach zu. Der Verlauf ist linear und als relativ konstant anzusehen.

Es ist wieder eine stärkere Erhöhung der Werte zwischen einer SSL von 65 mm und 85 mm zu erkennen.

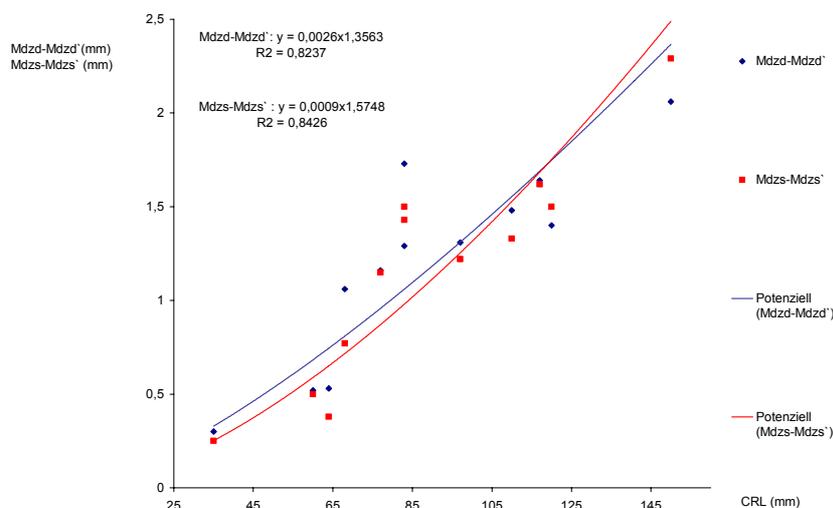


Abb. 178: Maximale Tiefen der Wölbung der rechten und linken Hälfte der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Auch hier gleichen sich die Werte der rechten und der linken Seite wieder sehr. Es ist ein stärkerer Wertezuwachs der maximalen Tiefen der Wölbung der rechten und linken Hälfte der Mandibula, ausgedrückt durch $Mdzd, -s-Mdzd', -s'$ (Mandibula, zentral, dexter bzw. sinister-Mandibula, zentral, dexter' bzw. sinister'), zwischen einer SSL von 65 mm und 85 mm zu erkennen.

Die Streufelder sind etwas ausgeprägter und haben einen potenziellen mit Tendenz zum linearen Verlauf. Die Konstanz der Werte ist als mittelmäßig anzusehen. Sie nehmen von 0,4 mm auf 2 mm um das Fünffache zu.

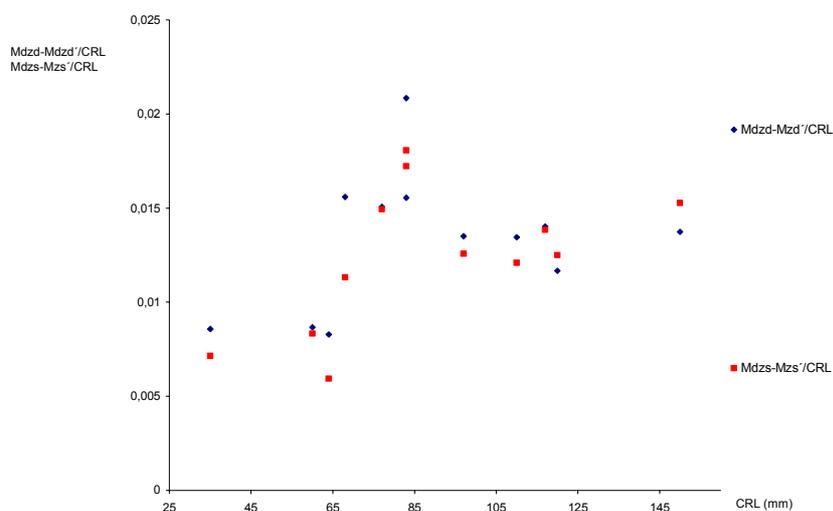


Abb. 179: Quotientendarstellung der Ausprägung der inneren Wölbung der rechten und linken Mandibularhälften zur Scheitel-Steiß-Länge in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Aus dem Quotienten kann man ebenfalls ersehen, dass die Wachstumsraten von $Mdzd, -s-Mdzd', -s'/CRL$ bis zu einer Scheitel-Steiß-Länge (SSL) von 85 mm stärker ausgeprägt sind als die der SSL. Die Werte nehmen von 0,007 auf 0,014 um das Doppelte zu. Danach liegen sie bei einem 1,4 %-Anteil zur SSL für beide Seiten.

Bei den Exemplaren, von denen 3D-Rekonstruktionen angefertigt wurden, liegt der durchschnittliche prozentuale Anteil an der SSL bei 0,011.

4.4.3 Abstandsvermessungen zwischen den Knochen

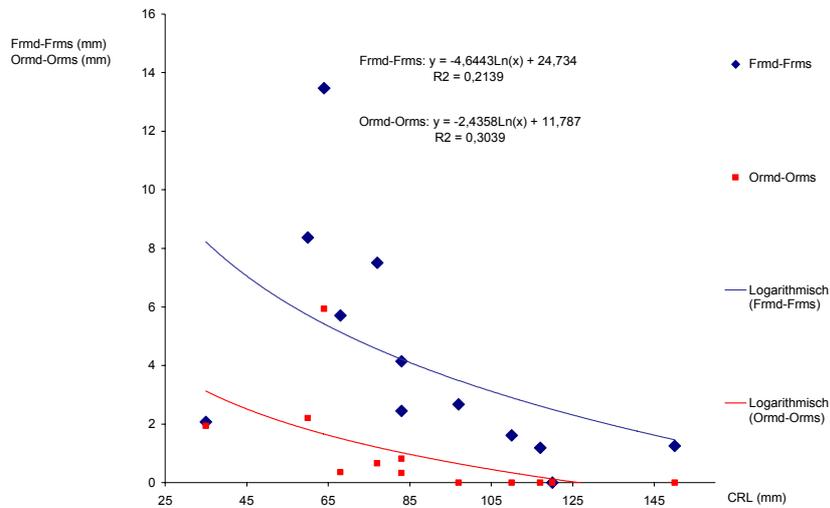


Abb. 180: Kleinster Abstand der beiden Hälften des Os frontale auf mittlerer und kaudaler Höhe in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die rechte und die linke Seite des Os frontale, ausgedrückt durch Ormd-Orms (Os frontale, Pars orbitalis, medial, dexter-Os frontale, Pars orbitalis, medial, sinister), vereinigen sich kaudal schon relativ früh ab einer SSL von 95 mm. Aber auch schon kurz nach einer SSL von 65 mm liegen die Werte knapp über 0.

Die Vermessungen FrmD-Frms (Os frontale, medial, dexter-Os frontale, medial, sinister) geben den Abstand der beiden Anteile des Os frontale auf halber Höhe wieder. Zu erkennen ist, dass die Werte bis zu einer SSL von 85 mm sehr stark abnehmen und danach geringfügiger. Diese Beobachtung kongruiert mit der von Abbildung 167, wo die Breite des Os frontale rechts und links auf mittlerer Höhe dargestellt wird. Erst bei einer SSL von 120 mm wird der Wert 0 für FrmD-Frms erreicht.

Es liegt also nahe, dass die beiden Anteile des Os frontale von kaudal nach kranial nach einem Reißverschlussprinzip aufeinanderzuwachsen. Betrachtet man die Präparate im aufsteigenden Alter, dann kann diese Schlussfolgerung augenscheinlich bestätigt werden.

Der Verlauf der Vermessungen ist logarithmisch. Sie sind mittelmäßig konstant.

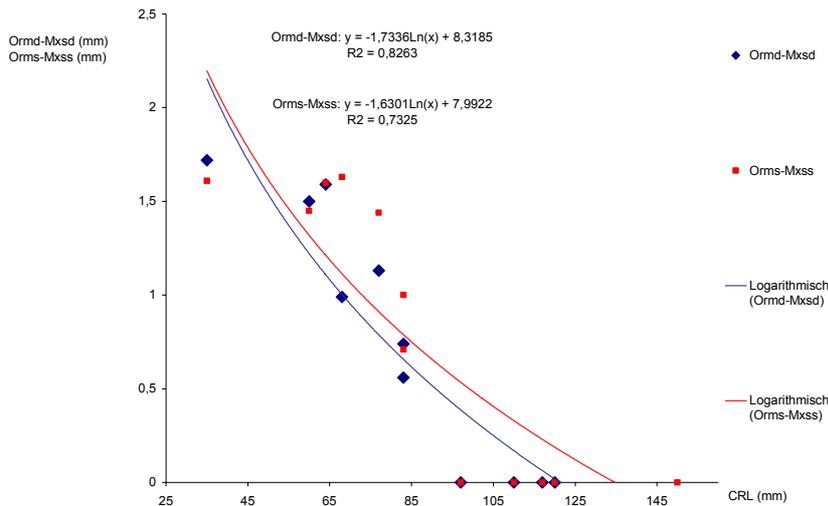


Abb. 181: Kleinster Abstand des Os temporale, Pars orbitalis zur Maxilla, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Eine Vereinigung des Os temporale, Pars orbitalis mit der Maxilla, ausgedrückt durch Ormd, -s-Mxsd, -s (Os frontale, Pars orbitalis, medial, dexter bzw. sinister-Maxilla, superior, dexter bzw. sinister), ist bei einer Scheitel-Steiß-Länge (SSL) von 97 mm auf beiden Seiten gegeben. Die Werteabnahme weist einen logarithmischen Verlauf mit mittelmäßiger Konstanz auf.

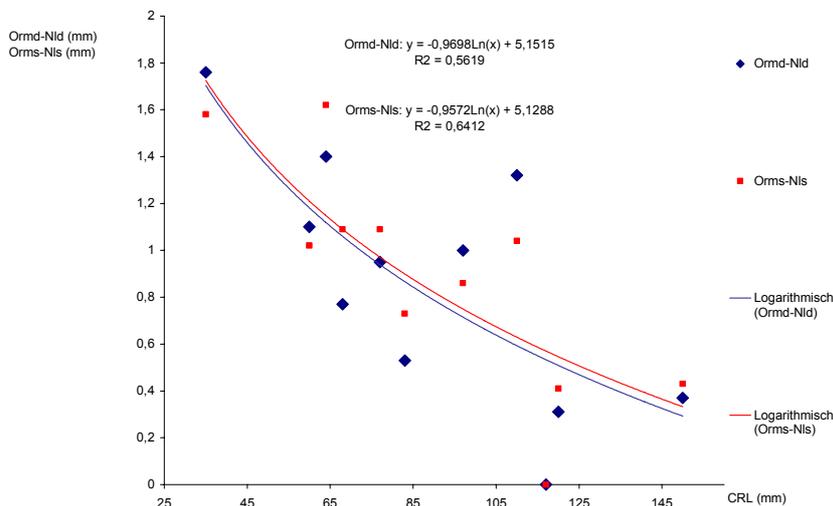


Abb. 182: Kleinster Abstand des Os frontale, Pars orbitalis zum Os nasale, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Im beobachteten Zeitraum ist keine eindeutige Vereinigung des Os frontale, Pars orbitalis mit dem Os nasale, ausgedrückt durch Ormd, -s-Nld, -s (Os frontale, Pars orbitalis, medial,

dexter, bzw. siniter-Os nasale, lateral, dexter bzw. siniter), zu erkennen. Lediglich eine Vermessung bei 120 mm SSL weist den Wert 0 auf. Ab einer SSL von 85 mm nehmen die Abstände auf beiden Seiten bis zu einer SSL von 110 mm wieder zu. Eine mögliche Ursache dafür wäre eine vorübergehende Verdrängung des Os nasale beim aufeinanderzuwachsen des Os frontale, Pars orbitalis und der Maxilla. Aufgrund der geringen Aussagekraft weniger Vermessungen kann diese Schlussfolgerung hier nur als Vermutung bestehen.

Die Werteabnahme weist eine geringe Konstanz auf.

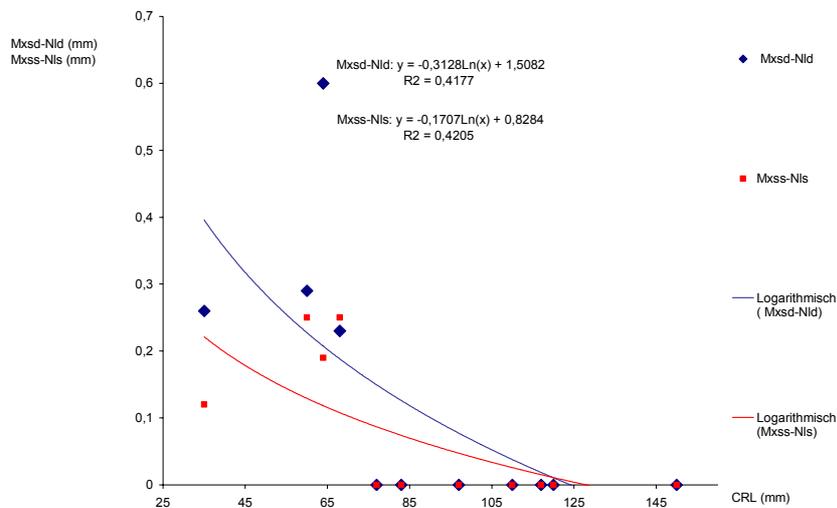


Abb. 183: Kleinster Abstand der Maxilla zum Os nasale, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Maxilla vereinigt sich mit dem Os nasale schon bei einer SSL von 75 mm auf beiden Seiten. Davor weisen die Werte eine geringe Konstanz auf.

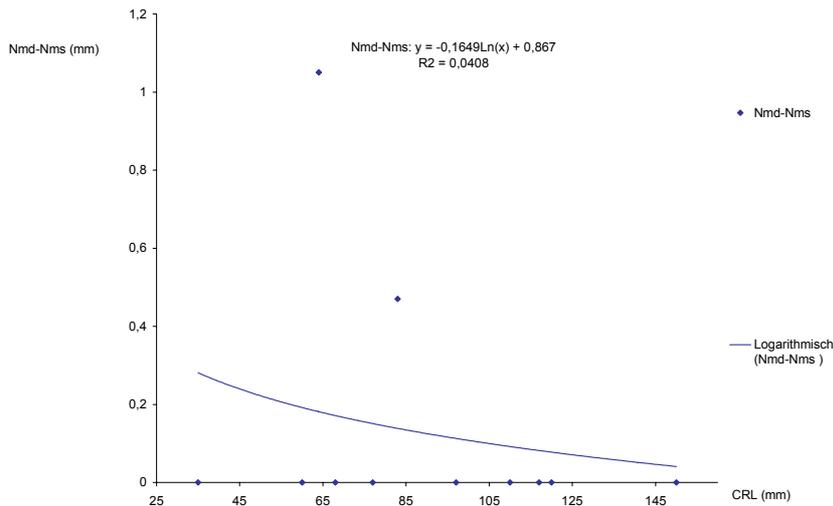


Abb. 184: Kleinster Abstand der beiden Hälften des Os nasale zueinander in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Eine Vereinigung des rechten und linken Anteils des Os nasale ist schon bei den jüngsten Spezies zu erkennen. Zwei Präparate zeigen jedoch trotzdem eine geringe Distanz dieser beiden Knochenanteile.

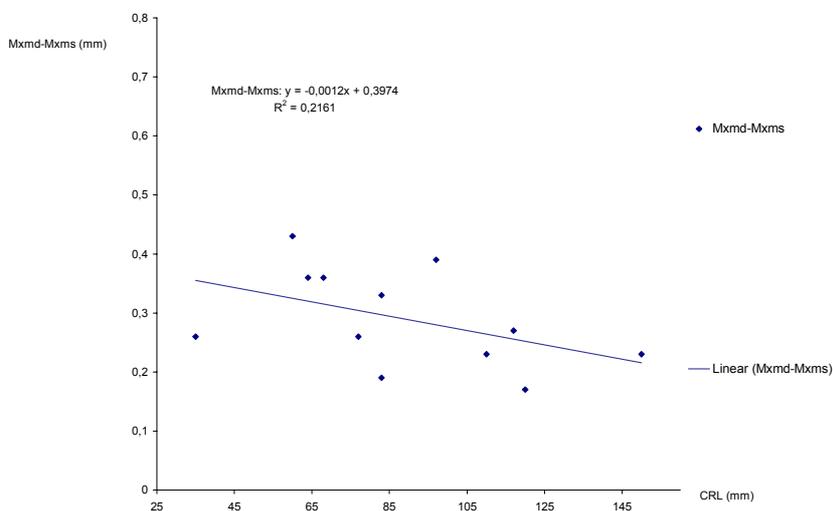


Abb. 185: Kleinster Abstand der beiden Hälften der Maxilla zueinander in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Der kleinste Abstand der rechten und linken Maxillahälfte, ausgedrückt durch Mxmd-Mxms (Maxilla, medial, dexter-Maxilla, medial, sinister), wird hier dargestellt. Die Maxillae sind ebenfalls schon bei den jüngsten Exemplaren nahezu vereint. Die gemessenen Abstände sind

alle sehr klein. Sie weisen eine geringfügig abnehmende Tendenz auf. Eine Suturenbildung, also eine Verbindung der Knochen, kann im beobachteten Zeitraum jedoch noch nicht erkannt werden.

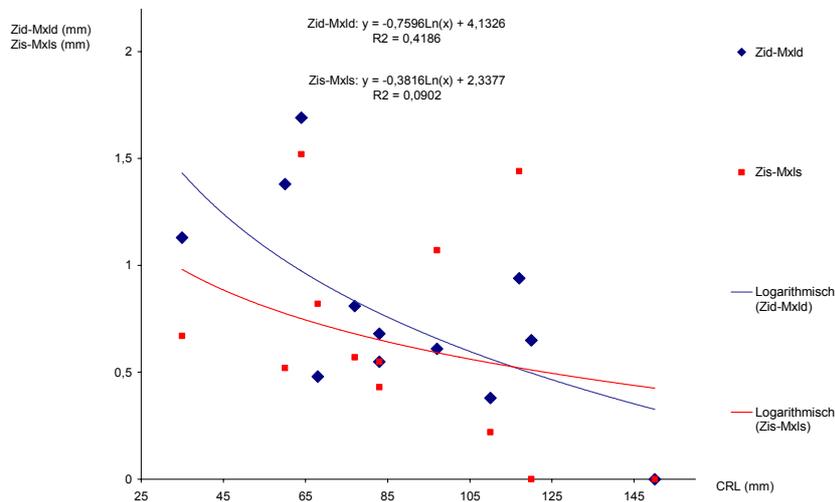


Abb. 186: Kleinster Abstand des Os zygomaticum zur Maxilla, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte dieser Vermessungen schwanken zwischen 1,5 mm und 0 mm. Entsprechend stark ist die Streuung der Punkte. Eine Vereinigung am Ende des Beobachtungszeitraums ist gegeben. Eine Schlussfolgerung daraus ist jedoch nicht möglich, da die Fusion lediglich bei einer Vermessung vorliegt. Insgesamt ist eine Verkleinerung des Abstandes des Os zygomaticum zur Maxilla trotz starker Streuung erkennbar.

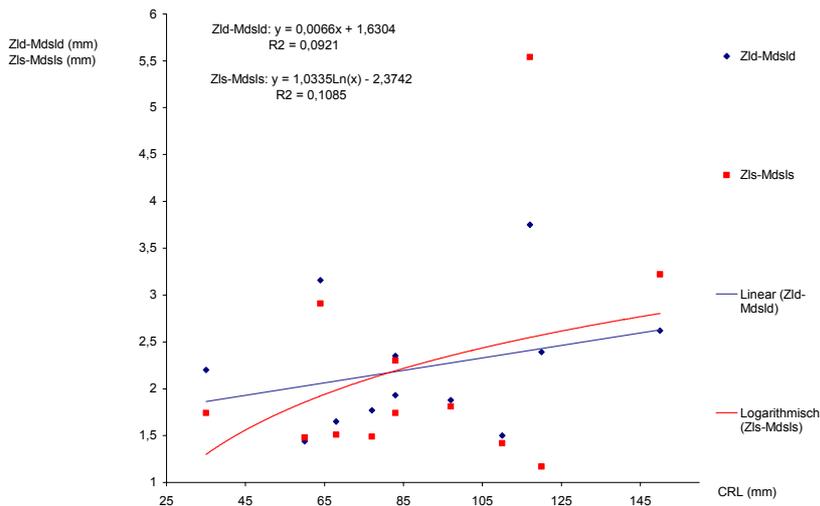


Abb. 187: Kleinster Abstand des Os zygomaticum zur Mandibula, dexter und sinister in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Untersucht wird hier der kleinste Abstand der Mandibula zum Os zygomaticum, ausgedrückt durch Zld, -s-Mdsld, -s (Os zygomaticum, lateral, dexter bzw. sinister-Mandibula, superior, lateral, dexter bzw. sinister). Die Werte schwanken hauptsächlich zwischen 1,2 mm und 2,2 mm. Sie weisen jedoch eine große Diskontinuität auf. Die Tendenz scheint jedoch dahin zu gehen, dass sich die Werte bis zu einer SSL von 85 mm erhöhen und dann wieder abnehmen. Eine Vereinigung dieser Knochen ist im beobachteten Entwicklungszeitraum nicht zu erkennen.

4.4.4 Winkelvermessungen

Wie in Kapitel 3.2.2.1.6.5.4 Winkelvermessungen erläutert, werden in diesem Kapitel Innenwinkel geometrischer Figuren, die bei der Verbindung von drei bzw. vier Punkten entstehen vermessen. Untersucht werden jeweils die rechte und linke Hälfte des Os frontale, des Os zygomaticum und der Maxilla sowie die Gesamtausdehnung der Mandibula. Für das Verständnis der hier analysierten Befunde sind die Ausführungen in Kapitel 3.2.2.1.6.5.4 Winkelvermessungen wichtig.

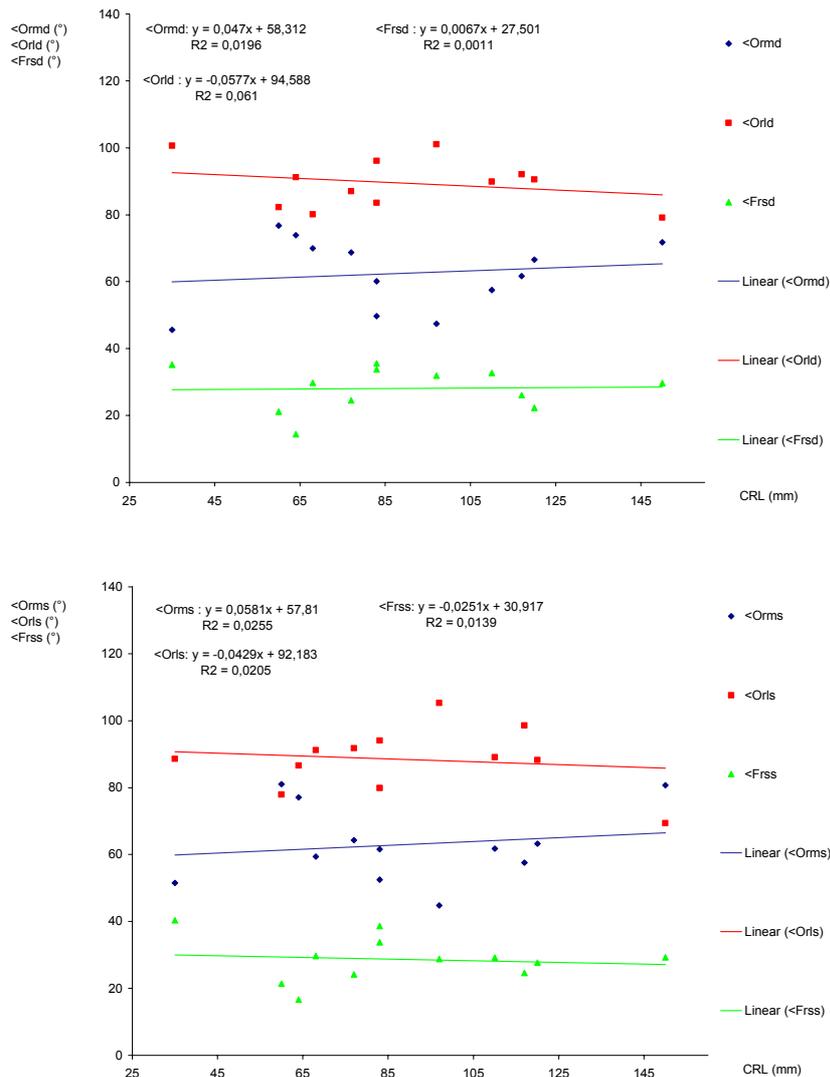


Abb. 188, 189: Drei Innenwinkel, die bei der Verbindung der drei äußersten Begrenzungspunkte der jeweils rechten und linken Hälfte des Os frontale entstehen in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die hier durchgeführten Winkelvermessungen zeigen über die gesamte Entwicklungsperiode hinweg keine Tendenz zur Veränderung. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass bei der Verbindung dieser drei äußersten Begrenzungspunkte des rechten und des linken Os frontale, zwei die inneren Winkel mittelmäßig konstant beibehaltende Dreiecke entstehen.

Die Winkel <Ormd, -s (Os frontale, Pars orbitalis, medial, dexter bzw. sinister) schwanken zwischen 45° und 65°, die Winkel <Orld, -s (Os frontale, Pars orbitalis, lateral, dexter bzw. sinister) zwischen 80° und 100° und die Winkel <Frstd, -s (Os frontale, superior, dexter bzw. sinister) zwischen 20° und 40°.

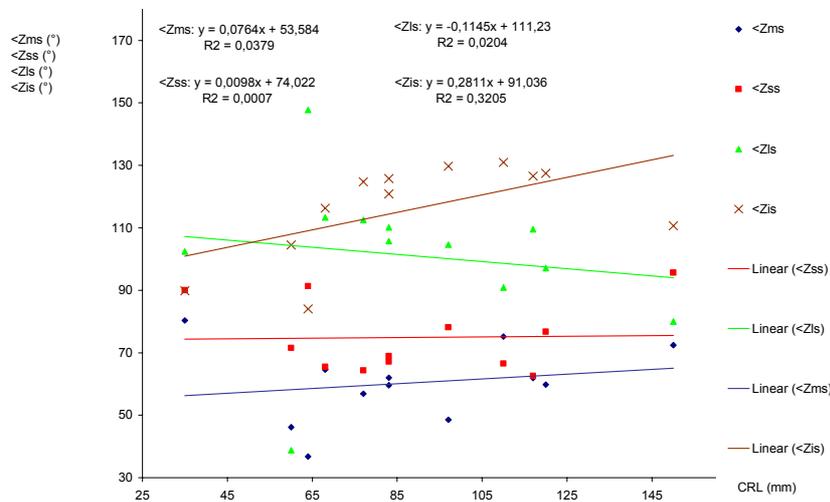
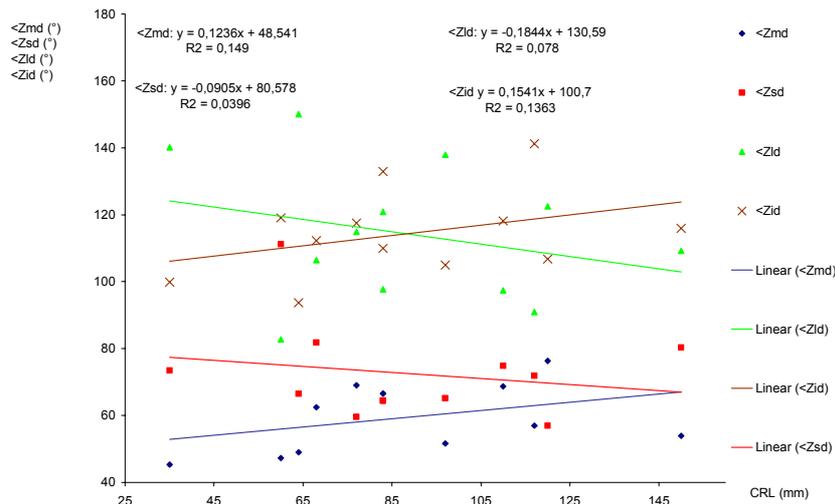


Abb. 190, 191: Vier Innenwinkel, die bei der Verbindung der vier äußersten Begrenzungspunkte der jeweils rechten und linken Hälfte des Os zygomaticum entstehen in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Winkel $\angle Zmd$, -s (Os zygomaticum, medial, dexter bzw. sinister) schwanken zwischen 45° und 60° und weisen einen leichten Anstieg der Werte auf. Die Winkel $\angle Zsd$, -s (Os zygomaticum, superior, dexter bzw. sinister) schwanken zwischen 60° und 80° ohne ersichtliche Veränderung der Werte. Bei beiden Vermessungen ist eine Funktion zur SSL nicht herleitbar.

Die Winkel $\angle Zld$, -s (Os zygomaticum, lateral, dexter bzw. sinister) nehmen auf beiden Seiten etwas stärker ab und die Winkel $\angle Zid$, -s (Os zygomaticum, inferior, dexter bzw. sinister) entsprechend stärker zu. Dadurch ist bis zu einem gewissen Grad eine Funktion zur SSL gegeben. Allerdings sind diese beiden Winkel vor allem auf der rechten Seite stark gestreut und damit sehr diskontinuierlich. Ihre Aussagekraft ist als gering anzusehen. Die Werte für

<Zld, <Zls schwanken zwischen 90° und 130° und die für <Zid, <Zis zwischen 100° und 130°.

Eine eindeutige Veränderungstendenz lässt sich also aus diesen Winkeln nicht ersehen, sodass eine gemeinsame Analyse mit der Größenentwicklung des Os zygomaticum (siehe Diagramm 147, 148) nicht zu brauchbaren Ergebnissen führt und daher nicht durchgeführt wird.

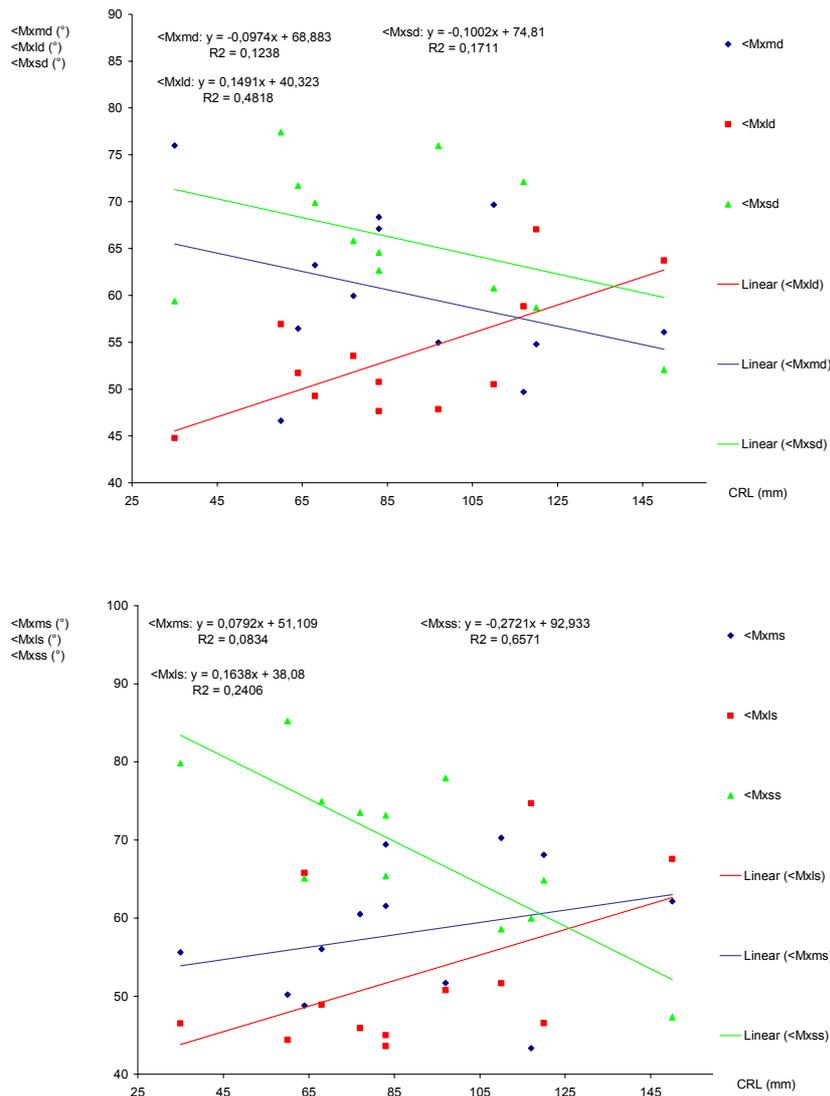


Abb. 192, 193: Drei Innenwinkel, die bei der Verbindung der drei äußersten Begrenzungspunkte der jeweils rechten und linken Hälfte der Maxilla entstehen in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL)

Die Werte der Winkel <Mxmd, -s (Maxilla, medial, dexter bzw. sinister) sind stark zwischen 50° und 70° gestreut. Ein Entwicklungstrend lässt sich folglich nicht erkennen. Bei den

jüngerer Spezies der 3D-Rekonstruktionen ist ein Trend zur Vergrößerung des Winkels $\angle Mxmd$ von 20° auf 40° zu vermuten.

Während der Winkel $\angle Mxld$ bei den 3D-Rekonstruktionen eine relativ konstante Position um 45° aufweist, fällt hier auf, dass sich die Winkel $\angle Mxld$, -s (Maxilla, lateral, dexter bzw. sinister) um 15° bis 20° vergrößern. Die Punkte in den Diagrammen sind allerdings auch bis zu 20° gestreut. Eine tendenzielle Vergrößerung dieses Winkels ist daher nicht eindeutig.

Die Winkel $\angle Mxsd$, -s (Maxilla, superior, dexter bzw. sinister) nehmen von 75° bis 80° auf 50° bis 60° ab. Die Punkte sind auch hier bis zu 20° gestreut und erlauben folglich keine eindeutigen Aussagen. Bei den 3D-Rekonstruktionen (Abb. 40) ist auch schon eine abnehmende Tendenz von 120° auf 80° zu erkennen.

Zusätzlich zu den Größenvermessungen der Maxilla (siehe Abb. 152 bis 155) können mit diesen Informationen Aussagen über die bevorzugte Wachstumsrichtung getroffen werden. Durch die breite Streuung der Punkte müssen diese Aussagen jedoch relativiert werden. Die größer werdenden Winkel ($\angle Mxld$, $\angle Mxls$) deuten auf geringeres Wachstum der Maxilla nach lateral und die kleiner werdenden Winkel ($\angle Mxsd$, $\angle Mxss$) auf bevorzugtes Wachstum nach kranial hin.

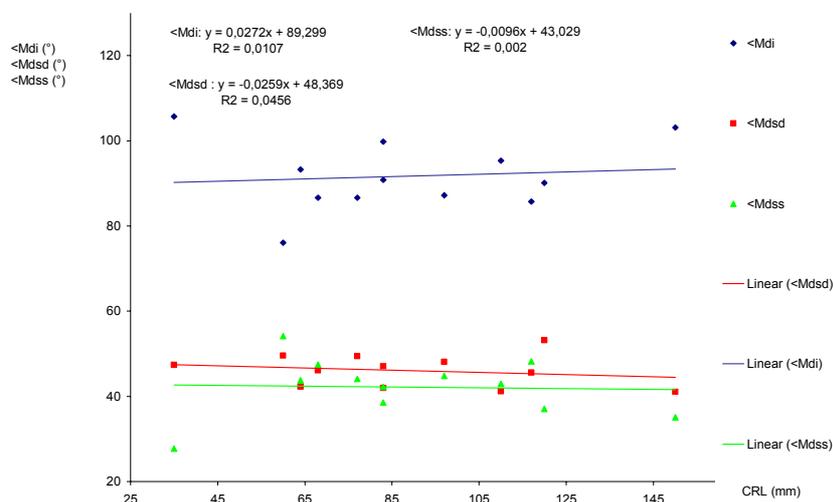


Abb. 194: drei Innenwinkel, die bei der Verbindung der drei äußersten Begrenzungspunkte der Mandibula in Abhängigkeit von der Scheitel-Steiß-Länge (CRL) entstehen

Die hier vermessenen Winkel werden von den äußersten drei Begrenzungspunkten der Mandibula durchgeführt. Die Winkel $\angle Mdsd$, -s (Mandibula, superior, dexter bzw. sinister)

weisen eine geringe Streuung auf und keine tendenzielle Veränderung der Werte im beobachteten Zeitraum. Ihre Winkel liegen relativ konstant zwischen 40° und 50°.

Der Winkel \angle Mdi (Mandibula, inferior) weist eine etwas stärkere Streuung der Punkte auf, zeigt jedoch ebenfalls keine Tendenz zur Veränderung der Werte. Er schwankt zwischen 80° und 100°.

Durch die oben durchgeführten Größenvermessungen (siehe Abb. 158, 159, 163 und 164) wird diese Schlussfolgerung bestätigt. Dort wurde ein gleichmäßiges Wachstum in den drei Ebenen, die bei der Verbindung der Punkte Mdi, Mdsd und Mdss entstehen, registriert.

4.5 Tabellarische Zusammenfassungen der Werte der Vermessungen

Norma lateralis	Präparate	N-Gn (mm)	N-Sp' (mm)	Sp'-Gn (mm)	Spa-Spp (NL) (mm)	Mxs-Mxi (mm)	vPUK-Go (ML) (mm)	Mdas-vPUK' (mm)	Go-Mdps (mm)	Tn-Spa (mm)	N-Spa-Gn (°)
1	CHR 220687	3,07	1,05	1,98	1,08	0,83	1,74	0,93	0,77	1,32	16,99
2	ADE 160787				0,92	0,73	0,92	0,73	0,59		
3	EMM 150787	3,41	1,66	1,76	0,94	0,87	1,33	1	0,65	1,09	15,38
4	PIP 161189	4,44	2,35	2,1	1,36	1,08	1,83	0,87	1,39	2	12,45
5	DOR 100785	4,68	2,29	2,39	1,3	1,68	2,88	1,17		1,89	3,51
6	KAR 200789	6,33	3,52	2,81	1,87	1,89	2,95	1,28	1,56	2,38	6,44
7	HAN 040389	4,6	1,94	2,67	1,94	1,68	3,47	1,26	1,25	1,8	5,76

Norma lateralis	N-Go-Gn (°)	ML-NL (°)	Go-Me-Mdps (°)
1	34,48	-11,48	126,88
2		-4,34	127,29
3	21,47	3,79	115
4	17,46	12,13	26,83
5	26,5	6,38	119,54
6	25,77	3,45	125,37
7	41,11	5,92	125,63

Tab. 4: Werte der Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen in der Norma lateralis, left

Norma frontalis	Mxsd-Mxmd (mm)	Mxsd-Mxld (mm)	Mxld-Mxmd (mm)	Mds-Mdi (mm)	Mdsmd-Mdid (mm)	Mdsd-Mdid (mm)	Cimd-Mdsmd (mm)	Mdzd-Mdzd' (mm)	<Mxmd (°)	82<Mxld (°)
1	1,24	0,84	1,88	1,13	0,83	1,9	1,87	0,33	21,61	31,73
2	0,91	0,61	0,98	0,92	0,34	1,47	1,11	0,14	37,81	64,93
3	1,36	0,89	1,89	0,7	0,44	2,22	1,94	0,25	26,13	42,01
4	1,36	0,86	1,78	0,94	0,31	2,17	1,91	0,35	27,93	46,94
5	2,1	2,3	3,24	2,14	0,73	3,43	3,23	0,36	45,6	40,35
6	1,94	1,85	2,47	1,85	0,63	3,47	2,95	0,46	48,66	51,93
7	2,26	1,86	2,62	2,84	0,91	3,59	3,12	0,6	43,87	50,9

Norma frontalis	83<Mxsd (°)
1	126,77
2	77,48
3	112,07
4	105,95
5	94,2
6	80,79
7	79,35

Tab. 5: Werte der Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen in der Norma frontalis

Norma lateralis	Präparate	Ocp-Fra (mm)	Ocp-Spa (mm)	Ocp-Gn (mm)	Sqz'-N (mm)	Sqz'-Ocp (mm)	Sqz'-Spa (mm)	Sqz'-Gn (mm)	Sqz'-Go (mm)	N-Gn (mm)	N-Sp' (mm)
1	T543	11,39	10,06	9,91	4,53	5,71	4,52	4,31	2,9	3,61	0,71
2	T237	6,41	6,84	6,97	3,43	3,82	3,08	3,24	2,32	2,23	1,39
3	T101	18,62	18,11	18,66	9,36	9,72	8,63	8,93	3,09	8,02	2,88
4	T86	22,37	20,57	20,22	8,87	10,83	9,51	9,91	4,64	8,34	3,28
5	T120	23,43	24,26	25,12	12,5	12,25	12,29	12,48	5,54	10,87	4,18
6	T163	27,58	26,2	45,79	12,73	13,22	13,6	15,89	7,05	11,88	4,12
7	T116	26,13	26,04	25,31	13,45	11,63	14,31	15,37	6,91	11,79	4,13
8	T225	28,86	28,48	25,74	13,37	14,33	14,29	14,46	5,74	13,21	4,66
9	T140	32,47	32,54	30,22	14,49	18,88	14,27	11,81	4,49	14,15	5,77
10	T485	37,15	37,64	36,3	15,3	21,49	16,23	16,67	9,02	16,85	7,1
11	T221	45,71	49,75	48,84	16,68	31,27	18,91	18,86	8,4	18,5	7,97
12	T126	41,15	39,67	37,58	15,4	23,1	16,48	16,67	6,87	15,81	6,65
13	T516	51,96	55,08	51,95	17,15	30,94	24,02	21,88	10,63	19,47	9,32
14	T482	51,35	50,39	49,17	16,72	32,07	18,36	19,26	10,29	21,23	9,94

Norma lateralis	Sp'-Gn (mm)	Fra-Prp (mm)	Spa-Spp (NL) (mm)	vPuk-Go (ML) (mm)	Mxs-Mxi (mm)	Mdas-vPUK' (mm)	Go-Mdps (mm)	Fra-Frp (mm)	Frs-Ora (mm)	Pra-Prp (mm)
1	2,91		1,32	1,56	0,97	1,13	0,45	2,73	1,35	
2	0,85	5,28	1,08	0,95	1,63	0,65	0,66	1,27	3,85	1,9
3	5,19	17,27	2,74	6,45	2,91	2,33	1,77	9,18	6,4	5,55
4	5,08	18,32	3,53	6,44	4,89	1,88	2,92	7,46	7,56	6,43
5	6,66	21,23	5,19	7,94	4,79	2,41	2,7	9,25	8,35	11,19
6	7,77	25,05	6,9	8,68	4,84	3,57	3,81	10,45	12,03	10,83
7	7,69	25,39	7,62	9,32	4,92	2,73	3,85	11,94	10,67	11,62
8	8,59	28,6	8,83	9,18	5,7	2,8	3,96	10,61	12,33	15,2
9	8,4	33,03	6,95	9,17	6,7	3,43	3,56	14,19	14,62	17,39
10	9,72	35,73	8,36	8,52	8,62	4,02	4,39	14,51	22,18	22,41
11	10,52	44,25	9,21	11,71	9,08	4,42	6,52	10,65	26,71	31,77
12	9,18	39,62	9,02	11,47	8,35	3,17	5,76	13,24	25,5	25,94
13	10,12	49,74	9,64		10,39	4,06	8,09	10,44	26,77	35,58
14	11,41	47,67	10,05		12,21	5,46	7,84	11,66	28,59	35,97

Tab. 6: Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis, right

Norma lateralis	Prs-Pri (mm)	N-Tn (mm)	ZArp-Za (mm)	Zs-ZArp (mm)	Ocs-Oci (mm)	Aa-Aps (mm)	Sqz-Sqqa (mm)	Sqz-Sqs (mm)	Sqz-Sqpp (mm)	Pta-Ptp (mm)
1		0,33	0,62	0,74	2,9	1,65	0,51	0,42	0,36	1,01
2	2,14	0,34	0,67	0,44	1,62	0,9	0,86	0,8	4	0,52
3	9,16	0,59	4,6	2,02	6,47	3,2	1	1,63	1,78	0,77
4	7,95	2,25	2,64	2,21	5,92	4,08	1,46	2,58	1,96	1,68
5	11,23	1,51	3,49	3,02	9,99	2,42	1,75	2,01	2,09	1,44
6	11,92	1,55	4,13	2,55	8,88	3,18	2,07	2,97	3,12	
7	10,63	2,04	5,12	3,15	8,19	3,35	1,94	3,04	3,1	3,32
8	11,69	1,96	4,58	2,55	11,23	4,01	2,77	3,35	3,97	1,45
9	20,1	2,53	4,61	3,64	10,65	4,17	2,66	4,28	5,82	1,12
10	18,78	3,24	5,43	4,9	13,6	5,1	5,26	6,25	5,64	
11	23,29	4,46	7,25	7,22	23,98	6,38	7,54	8,09	6,66	2,41
12	19,53	3,37	6,85	5,73	11,89	5,55	5,58	6,75	5,96	4,19
13	23,52	5,45	7,33	8,63	28,89	7,69	7,64	8,58	8,17	
14	28,07	5,1		6,99	19,53	6,38	7,98	7,37	8,47	4,96

Norma lateralis	Tn-Spa (mm)	Fra-N (mm)	Frp-Prai (mm)	Frp-Pra (mm)	Orp-Sds (mm)	Orp-Sdsa (mm)	Orp-Zs (mm)	Prai-Sds (mm)	Prai-Sdsp (mm)	Pri-Sqs (mm)
1	0,54	2,7			0,93		2,5			
2	1,16	3,06	1,08	1,27	0,92		1,73	2,19		2,54
3	2,53	2,54	0,75	2,62	2,75		3,38	4,57		1,56
4	1,89	4,26	1,14	4,59	2,93		2,85	3,1		1,69
5	3,2	3,41	2,13	0,81	3,26		3,44	4,59		0,38
6	3,2	3,98	1,62	2,12	3,14		4,43	5,07		3,19
7	2,8	3,01	1,01	1,28		2,43	3,14		4,6	2,84
8	3,35	2,7	1,51	0,34	2,39		4,03	5,09		2,29
9	3,07	4,85	1,59	1,27	3		4,02	2,71		0,87
10	5,43	3,48	0	0	1,94		3,17	4,99		0,44
11	4,99	6,66	0	0		1,17	1,94		3,24	0,42
12	3,86	8,25	1,01	0		1,67	1,62		3,97	0,22
13	6,48	8,56	0	0		1,56	2,37		2,88	0,4
14	6,35	10,16	0	0		2,54	1,47		3,26	0

Tab. 6 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis, right

Norma lateralis	Ppi-Ocs (mm)	Go-Aa (mm)	Aps-Oci (mm)	Oca-Sqp (mm)	Oca-Ptp (mm)	Sqp-Pta (mm)	T Ara-ZArp (mm)	Sqa-Sdp (mm)	N-Sqz'-Spa (°)	N-Sqz'-Gn (°)
1		3,23	1,77	3,5	0,24	2,42	2,35		80,46	63,25
2	1,31	2,49	2,36	3,02	1,4	1,19	1,02		63,14	63,12
3	1,72	2,29	2,09	5,16	1,63	2,88	0,49	1,59	1,78	0,77
4	4,91	3,21	4,37	6,99	1,8	3,67	0,59	1,46	71,91	64,33
5	2,24	6,15	3,08	6,69	0,59	4,76	0,62	0,87	82,36	69,7
6	4,07	6,86	3,71	7,88			0,19	0,11	92,03	80,47
7	1,81	5,8	2,26	6,68	0,44	3,09	0,25	0,61	93,23	74,73
8	0,49	6,87	3,27	7,9	2,23	3,93	0,38	0,33	90,27	64,84
9	0	7,06	3,02	4,37	2,21	0,93	0,25	0	76,85	49,29
10	0	9,31	3,55	10,05			0,08	0	83,03	62,93
11	0	10,15	3,28	11,84	5,85	4,1	0	0	89,34	65,15
12	0	8,42	4,98	10,05	3,57	2,68	0,22	0	85,64	65,1
13	0	13,41	3,93	11,97	7,43	4,08	0	0	82,44	56,29
14	0	12,11	4,35	11,43	5,41	1,39	0	0	80,09	59,2

Norma lateralis	N-Spa-Gn (°)	N-Go-Gn (°)	ML-NL (°)	ML-Sqz'-N (°)	NL-Sqz'-N (°)	Go-Me-Mdps (°)
1	17,13	23,54	38,13	54,47	16,57	164,94
2	20,58	20,74	5,8	31,89	26,44	141,55
3	69,59	61,05	8,51	41,99	28,55	44,11
4	8,01	40,02	24,22	38,15	14,03	135,83
5	12,71	42,56	22,43	47,43	24,76	144,64
6	12,05	47,14	21,72	46,58	24,36	146,26
7	18,97	44,35	14,47	32,74	18,76	136,4
8	25,18	40,4	19,76	48,04	27,33	144,08
9	27,5	32,03	25,66	48,98	23,37	142,18
10	19,76	29,32	14,94	52,76	36,81	143,04
11	23,87	37,28	8	48	38,78	133,72
12	22,01	41,02	18,09	41,15	23,27	135,48
13	26,55	23,41	2,23	44,29	41,82	130,24
14	20,7	28,72	11,08	51,37	41,48	137,09

Tab. 6 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis, right

Norma lateralis	Ocp-Fra (mm)	Ocp-Spa (mm)	Ocp-Gn (mm)	Sqz'-N (mm)	Sqz'-Ocp (mm)	Sqz'-Spa (mm)	Sqz'-Gn (mm)	Sqz'-Go (mm)	N-Gn (mm)	N-Sp' (mm)
1	11,55	10,44	11,05	4,68	6,8	3,74	4,26	2,32	3,46	2,06
2	7,06	7,25	6,97	3,49	4,07	3,48	2,86	2,2	2,24	0,37
3	18,77	18,08	18,49	8,75	9,49	8,78	10,43	4,26	8,23	2,76
4	21,74	20,02	19,54	7,93	11,08	9,06	9,92	4,59	7,53	2,68
5	22,21	22,19	21,9	11,01	11,23	11,07	11,64	4,2	11,25	4,18
6	28,11	26,14	25,03	12,32	14,52	11,69	11,46	4,84	12,53	4,44
7	26,19	25,57	24,59	12,8	12,42	12,98	13,73	5,71	11,4	3,91
8	28,62	28,43	26,33	12,25	15,39	13,79	15,01	7,33	12,94	4,1
9	32,55	33,15	31,27	13,75	17,78	15,32	15,69	6,39	14,1	4,92
10	37,79	37,36	35,12	17,25	22,55	15,82	12,94	4,54	17,99	6,77
11	44,22	45,03	41,94	16,62	26,35	18,82	18,73	7,7	19,01	6,98
12	40,43	39,86	37,54	17,19	20,84	19,11	19,93	9,02	17,37	6,56
13	47,57	48,12	45,76		26,38	22,08	23,14		20,03	6,6
14	49,29	47,1	44,74		20,89	26,32	26,01	10,22	21,15	9,21

Norma lateralis	Sp'-Gn (mm)	Fra-Prp (mm)	Spa-Spp (NL) (mm)	vPuk-Go (ML) (mm)	Mxs-Mxi (mm)	Mdas-vPUK' (mm)	Go-Mdps (mm)	Fra-Frp (mm)	Frs-Ora (mm)	Pra-Prp (mm)
1	1,4	9,15	1	1,91	0,21	0,77	0,41	6,54		1,19
2	1,89	5,5	0,92	1,3	0,59	0,68	0,69	3,08	3,66	2,08
3	5,48	16,33	3,23	6,16	3,35	2,02	2,72	7,94	5,72	5,53
4	4,88	19,33	3,44	6,78	3,49	1,86	1,73	10,75	8,69	7,17
5	7,1	21,41	7,15	8,04	4,9	2,44	2,77	10,79	7,75	10,34
6	8,14	25,06	8,22	8,73	5,6	3,4	3,99	14,58	9,2	9,77
7	7,51	24,53	8,71	9,05	5,21	2,74	3,78	11,16	9,65	10,78
8	8,86	28	7,95	8,02	4,85	2,64	4,15	10,45	13,5	15,86
9	9,28	31,94	10,78	10,25	6,4	3,7	4,08	12,63	14,87	17,64
10	11,25	38,07	10,18	9,8	8,73	4,66	4,74	16,47	18,33	20,23
11	12,09	41,94	12,09	12	9,34	4,98	6,17	11,08	22,45	28,95
12	10,87	40,74	15,57	13,11	9,09	4,62	6,27	16,51	21,65	22,82
13	13,42	46,51	12,98	16,17	9,99	4,51	7,56			29,81
14	11,79	48,35	11,54	17,11	11,95	4,83	8,02	22,48	22,47	28,8

Tab. 7: Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis, left

Norma lateralis	Prs-Pri (mm)	N-Tn (mm)	ZArp-Za (mm)	Zs-ZArp (mm)	Ocs-Oci (mm)	Aa-Aps (mm)	Sqz-Sqa (mm)	Sqz-Sqs (mm)	Sqz-Sqp (mm)	Pra-Ptp (mm)
1	1,63	0,43	0,91	0,46	3,25	1,11	0,83	0,74	0,57	0,91
2	2,35	0,29	0,3	0,27	2,25	0,75	0,35	0,35	0,34	0,62
3	9,35	0,4	2,86	1,93	6,24	1,74	1,28	1,24	1,32	
4	8,68	1,15	1,73	0,99	10,35	2,09	1,74	2,28	1,26	1,29
5	10,41	1,6	3,28	2,26	7,9	2,93	2,03	2,47	2,3	1,32
6	13,4	2,02	4,55	2,09	8,95	3,56	1,66	3,89	4,38	1,37
7	11,3	1,74	5	3,09	8,19	2,93	1,75	2,78	3,26	1,12
8	13,55	1,73	4,16	2,76	7,98	4,13	2,18	3,09	3,23	
9	15,79	2,13	6,5	3,26	13,52	4,35	1,97	4,66	5,17	1,99
10	18,69	3,45	6,86	5,59	12,89	5,46	5,89	6,83	7,08	
11	22,12	4,1	6,2	5,84	19,45	6,23	7,81	7,58	6,02	2,56
12	17,36	3,5	8,27	5,57	13,91	7,29	5,53	6,51	6,13	
13		5,68	10,73	6,99	22,12	6,95	6,67	6,87	6,47	
14	17,71	4,98		7,89	15,48	7,92	7,76	7,73	8,41	2,52

Norma lateralis	Tn-Spa (mm)	Fra-N (mm)	Fipi-Prai (mm)	Frp-Pra (mm)	Orp-Sds (mm)	Orp-Sdsa (mm)	Orp-Zs (mm)	Prai-Sds (mm)	Prai-Sdsp (mm)	Pri-Sqs (mm)
1	1,82	1,67	5,1	5,23	2,08		2,25	4,66		5,8
2	0,18	2,87	0,6	0,53	1,39		1,8	1,88		2,06
3	2,55	2,34	2,24	2,21	3,08		3,65	4,25		2,74
4	1,99	4,54	1,92	2,99			3,58			1,6
5	3,12	2,35	2,15	2,06	3,55		4,38	5,07		2,9
6	2,37	5,16	4,41	2,35	2,31		4,21	4,69		2,08
7	2,95	4,15	1,85	0,92		2,83	3,36		4,28	2,63
8	3,35	3,05	0	0	1,56		3,42	4,2		1,45
9	3,59	4,14	0,63	1,48	1,92		3,69	4,33		0,49
10	3,48	4,71	0	0	2,06		3,06	4,58		0,45
11	4,82	10,9	0	0		1,9	2,42		3,37	1,16
12	3,72	5,09	0	0		1,92	2,31		4,35	1,2
13	5,18	7,51	0	0		1,63	2,69		3,65	0,75
14	6,54	9,71	0,35	0		2,16	2,37		4,62	1,57

Tab. 7 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis, left

Norma lateralis	Ppji-Ocs (mm)	Co-Aa (mm)	Aps-Oci (mm)	Oca-Sqp (mm)	Oca-Ptp (mm)	Sqp-Pta (mm)	T Ara-ZAtp (mm)	Sqa-Sdp (mm)	N-Sqz'-Spa (°)	N-Sqz'-Gn (°)
1	3,28	3,41	2,75	5,13	1,56	2,95	2,33	1,56	60,24	50,6
2	1,96	2,79	1,03	2,6	0,61	1,46	1,92	0,8	83,35	55,86
3	3,48	5,09	3,02	5,87			0,69	1,09	80,49	76,06
4	0,86	3,82	4,39	6,54	3,1	4,06	0,57		103,32	79,37
5	1,75	5,5	2,41	6,45	1,07	4,39	1,34	0,44	80,43	63,01
6	1,63	6,23	3,5	5,26	0,58	3,36	1	0,51	72,04	54,55
7	2,5	6,43	2,56	5,57	1,63	2,91	0,4	0,57	84,51	69,73
8	0,86	7,06	3,85	8,56			0,27	0,37	98,02	73,7
9	0	6,26	3,24	9,12	0,85	3,8	0,16	0	90,01	68,33
10	0	7,48	2,5	4,47			0,24	0	67,08	43,34
11	0	9,3	3,39	10,27	4,97	3,43	0,05	0	91,22	62,96
12	0	7,07	2,78	7,44			0	0	96,34	70,33
13	0	10,15	2,2	10,02			0	0		
14	0	5,79	5,94	7,99	4,98	2,44	0,13	0	87,6	68,64

Norma lateralis	N-Spa-Gn (°)	N-Go-Gn (°)	ML-NL (°)	ML-Sqz'-N (°)	NL-Sqz'-N (°)	Go-Me-Mdps (°)
1	-10,01	31,53	7,51	45,72	38,85	108,78
2	28,16	17,85	-13,4	5,69	7,89	114,65
3	4,31	43,62	37,95	42,34	3,53	147,53
4	24,15	47,48	17,11	29,18	11,82	136,59
5	16,28	40,49	25,93	51,08	25,44	144,19
6	17,23	34,32	28,93	46,85	17,39	142,6
7	13,43	43,1	17,04	36,54	19,4	132,68
8	24,97	37,76	15,99	40,31	24,3	140,09
9	27,66	41,73	22,33	44,74	22,03	148,8
10	23,6	29,94	25,58	58,6	32,88	145,58
11	28,21	37,97	13,29	50,29	37,87	131,42
12	25,71	42,36	18,47	35,26	17,44	141,44
13	27,32	48,75	18,61			152,24
14	19,38	44,68	16,14	36,61	20,32	146,06

Tab. 7 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma lateralis, left

Norma frontalis	Cs-Mdi (mm)	Prd-Prs (mm)	Zld-Zls (mm)	Cs-Sol (mm)	Sol-ZZL (mm)	ZZL-SL (mm)	Ormd'-Orms' (mm)	Orld-Orls (mm)	Sepd-Seps (mm)	Apd-Aps (mm)
1	12,23	8,52	5,82	7	2,88	2,34	1,95	6,13	0,6	1,53
2	23,27	15,46	11,49	12,21	5,29	5,79	2,1	12,28	0,93	3,14
3	23,43	15,94	9,08	8,22	5	5,4	5,97	13,3	1,2	3,98
4	25,27	22,15	15,01	10,82	8,15	6,3	2,97	16,14	0,93	3,4
5	26,29	22,71	18,1	9,8	7,79	8,73	3,57	17,35	0,89	4,07
6	24,26	22,41	17,34	9,05	7,74	7,5	3,34	17,99	1,11	3,78
7	28,14	25,09	18,83	11,41	8,53	8,25	3,51	19,18	0,87	4,12
8	38,1	30,13	23,15	20,21	7,35	10,51	3,59	22,29	1,42	4,8
9	37,32	30,58	25,95	16,56	10,45	10,34	4,98	24,99	1,69	4,95
10	47,04	37,15	31,27	25,66	8,98	12,4	5,56	27,53	1,96	6,03
11	40,95	32,49	26,06	19,76	10,05	11,22	5,66	25,16	1,55	5,39
12	46,64	46,51	35,66	21,33	13,03	12,38	7,05	32,74	2,18	7,42

Norma frontalis	Nld-Nls (mm)	Zld-Zmd (mm)	Zsd-Zid (mm)	Zls-Zms (mm)	Zss-Zis (mm)	Mxsd-Mxld (mm)	Mxld-Mxmd (mm)	Mxss-Mxms (mm)	Mxss-Mxls (mm)
1	1,46	0,99	0,75	0,58	0,56	1,47	1,83	1,62	1,88
2	2,85	2,99	1,99	2,1	1,66	3,38	3,81	3,47	3,8
3	2,74	1,55	1,23	1,66	1,05	3,09	3,63	3,38	2,81
4	2,65	2,77	2,37	3,04	2,99	4,8	5,83	4,32	4,8
5	3,46	3,43	3,63	4,14	3,74	5,97	6,81	5,73	6,87
6		3,9	3,87	3,96	3,72	5,26	6,28	5,36	7,05
7	3,54	4,34	4,51	4,8	4,4	6,01	6,94	5,78	7,25
8	4,08	5,66	4,89	5,51	4,15	7,17	9,55	7	7,05
9	3,6	6,91	6,39	6,06	6,06	8,3	9,57	8,33	10,02
10	5,74	9,55	8,06	8,19	8,25	10,83	12,12	10,78	7,68
11	4,4	5,82	7,03	8,51	6,89	9,44	8,62	9,39	12,01
12	6,2	9,83	7,8	11,1	8,81	11,12	11,5	12,79	12,23

Tab. 8: Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma frontalis

Norma frontalis	Mxls-Mxms (mm)	Mxld-Mxls (mm)	Mds-Mdi (mm)	Mdld-Mdls (mm)	Mdzd-Mdzs (mm)	Mdzd-Mdz (mm)	Mdzs-Mdz (mm)	Mdmsd-Mdid (mm)	Mdms-Mdis (mm)	Mdsd-Mdid (mm)
1	2,22	4,26	1,2	3,67	1,66	0,97	0,7	0,24	0,31	1,61
2	4,92	8,62	5,59	9,54	2,75	1,21	1,49	1,13	1,18	7,16
3	3,38	7,25	3,12	6,98	3,19	1,9	1,31	0,52	0,53	4,21
4	5,55	11,42	6,32	13,45	7,4	3,46	3,96	1,72	1,79	8,23
5	7,54	14,4	8,64	17,96	7,02	7,02	7,02	2,35	2,36	10,84
6	6,87	13,53	6,36	15,98	9	4,2	4,83	2,34	2,25	8,89
7	7,77	14,91	8,2	18,04	9,7	4,44	5,21	2,56	2,53	10,44
8	8,83	17,04	10,72	21,49	5,63	2,95	2,68	2,78	2,71	13,72
9	8,97	18,63	10,6	24,69	11,52	1,48	1,27	3,86	3,9	15,05
10	9,58	18,93	12,31	25,03	8,2	3,83	4,38	4,24	4,1	16,37
11	11,6	19,68	11,74	24,73	6,56	2,94	3,71	4,36	4,36	14,4
12	10,62	21,32	12,61	32,77	12,21	6,24	5,92	5,8	5,77	17,66

Norma frontalis	Mdss-Mdis (mm)	Cimd-Mdsmd (mm)	Cims-Mdms (mm)	Frlid-Frls (mm)	Frlid-Frmd (mm)	Frls-Frms (mm)	Orld-Ormd (mm)	Frsd-Ormd (mm)	Frsd-Orld (mm)	Orls-Orms (mm)
1	2,57	1,61	2,07	7,83	3	2,76	2,07	3,49	2,5	2,14
2	6,58	4,43	4,48	11,37	1,28	1,79	5,21	14,32	14,06	5,3
3	4,19	3,07	3,41	18,51	1,66	2,95	3,35	13,4	12,79	4,46
4	7,99	6,63	6,5	19,5	6,84	7	7,45	14,28	13,67	6,58
5	11,37	7,82	8,06	19,37	7,02	7,02	7,3	17,43	16,19	7,59
6	9,28	6,5	7,17	19,51	8,1	8,97	7,3	12,43	10,84	7,81
7	11,14	7,81	8,39	22,01	8,25	9,64	8	14,56	11,35	8,45
8	14,29	9,47	9,53	25,73	12,58	10,41	10,42	19,32	14,47	10,3
9	14,76	10,29	10,15	27,99	13,79	12,59	10,92	20,58	17,43	10,1
10	15,55	11,33	10,97	33,64	16,96	15,59	11,55	26,63	23,35	11,81
11	16,72	9,75	10,5	30,51	12,02	18,25	9,14	23,42	21,47	11,24
12	21,31	12,34	11,75	40,89	18,45	20,88	12,95	25,49	24,73	13,12

Tab. 8 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma frontalis

Norma frontalis	Frss-Orms (mm)	Frss-Orls (mm)	Orzd-Orzd' (mm)	Orzs-Orzs' (mm)	Zsd-Mxsd (mm)	Zss-Mxss (mm)	ZMxzd-ZMxzd' (mm)	ZMxzs-ZMxzs' (mm)	Mdzd-Mdzd' (mm)	Mdzs-Mdzs' (mm)
1	3,35	2,66	0,37	0,43	2,2	1,76	0,48	0,47	0,3	0,25
2	14,22	14,31	1,29	1,93	3,81	4,29	0,72	0,95	0,52	0,5
3	15,67	15,34	0,55	1,22	3,82	2,49	1,23	0,66	0,53	0,38
4	13,44	11,53	1,53	1,47	5,46	5,66	1,51	1,72	1,06	0,77
5	18,19	16,37	0,67	0,89	6,83	7,27	2,49	2,21	1,16	1,15
6	12,39	11,09	1,65	1,56	6,66	7,37	2,69	2,21	1,73	1,5
7	14,9	11,86	1,63	1,78	7,27	7,41	2,68	2,37	1,29	1,43
8	20,22	14,98	1,57	1,06	9,39	8,61	3,31	2,82	1,31	1,22
9	20,81	18,48	2,04	2,14	9,91	9,55	4,08	4,1	1,48	1,33
10	27,63	23,53	2,11	1,82	12,32	11,57	4,83	4,99	1,64	1,62
11	23,74	21,25	1,81	2,72	8,64	11,35	4,19	4,15	1,4	1,5
12	25,01	26,23	3,05	2,93	13,23	13,95	4,73	4,31	2,06	2,29

Norma frontalis	Frmd-Frms (mm)	Ormd-Orms (mm)	Ormd-Mxsd (mm)	Orms-Mxss (mm)	Ormd-Nld (mm)	Orms-Nls (mm)	Mxsd-Nld (mm)	Mxss-Nls (mm)	Nmd-Nms (mm)	Mxmd-Mxms (mm)
1	2,07	1,94	1,72	1,61	1,76	1,58	0,26	0,12	0	0,26
2	8,37	2,2	1,5	1,45	1,1	1,02	0,29	0,25	0	0,43
3	13,47	5,93	1,59	1,6	1,4	1,62	0,6	0,19	1,05	0,36
4	5,71	0,36	0,99	1,63	0,77	1,09	0,23	0,25	0	0,36
5	7,51	0,66	1,13	1,44	0,95	1,09	0	0	0	0,26
6	2,45	0,82	0,74	1	0,53	0,73	0	0	0,47	0,19
7	4,14	0,33	0,56	0,71	0,53	0,73	0	0	0	0,33
8	2,67	0	0	0	1	0,86	0	0	0	0,39
9	1,61	0	0	0	1,32	1,04	0	0	0	0,23
10	1,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27
11	0	0	0	0	0,31	0,41	0	0	0	0,17
12	1,26	0	0	0	0,37	0,43	0	0	0	0,23

Tab. 8 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma frontalis

Norma frontalis	Zid-Mxid (mm)	Zis-Mxls (mm)	Zld-Mdld (mm)	Zls-Mdls (mm)	<Ormd (°)	<Orld (°)	<Frzd (°)	<Orms (°)	<Orls (°)	<Frss (°)
1	1,13	0,67	2,2	1,74	45,64	100,61	35,15	51,51	88,57	40,37
2	1,38	0,52	1,44	1,48	76,8	82,23	21,2	81,03	77,91	21,43
3	1,69	1,52	3,16	2,91	73,89	91,22	14,44	77,12	86,61	16,69
4	0,48	0,82	1,65	1,51	69,92	80,12	29,81	59,41	91,19	29,67
5	0,81	0,57	1,77	1,49	68,7	87,05	24,56	64,33	91,75	24,23
6	0,68	0,55	2,35	2,3	60,1	83,57	35,56	61,59	79,85	38,62
7	0,55	0,43	1,93	1,74	49,73	96,15	33,8	52,53	94,11	33,75
8	0,61	1,07	1,88	1,81	47,38	101,04	31,88	44,74	105,29	28,81
9	0,38	0,22	1,5	1,42	57,49	89,9	32,7	61,75	89,06	29,18
10	0,94	1,44	3,75	5,54	61,71	92,11	26,05	57,6	98,62	24,6
11	0,65	0	2,39	1,17	66,63	90,52	22,31	63,26	88,22	27,73
12	0	0	2,62	3,22	71,78	79,17	29,66	80,71	69,39	29,25

Norma frontalis	<Zmd (°)	<Zsd (°)	<Zld (°)	<Zld (°)	<Zms (°)	<Zss (°)	<Zls (°)	<Zis (°)	<Mxmd (°)	<Mxid (°)
1	45,3	73,43	140,12	99,9	80,39	90	102,45	89,87	76	44,77
2	47,34	111,19	82,75	119,06	46,21	71,57	38,75	104,5	46,63	56,94
3	49,02	66,46	150,03	93,73	36,8	91,35	147,71	84,08	56,47	51,71
4	62,5	81,86	106,4	112,26	64,62	65,49	113,28	116,3	63,22	49,26
5	69,07	59,63	114,89	117,49	56,89	64,4	112,49	124,75	59,96	53,52
6	66,59	64,55	97,76	132,92	61,99	68,9	110,11	120,85	68,34	47,65
7	66,57	64,32	120,9	109,98	59,64	67,16	105,79	125,75	67,11	50,75
8	51,66	65,15	137,95	104,98	48,51	78,19	104,61	129,76	54,97	47,84
9	68,73	74,83	97,4	118,16	75,14	66,56	90,89	130,97	69,66	50,51
10	56,97	71,88	90,91	141,19	61,86	62,58	109,56	126,55	49,7	58,83
11	76,37	56,95	122,51	106,74	59,8	76,76	97,16	127,48	54,8	67,03
12	53,91	80,35	109,22	115,91	72,43	95,68	80,04	110,68	56,09	63,73

Tab. 8 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma frontalis

Norma frontalis	<Mxsd (°)	<Mxms (°)	<Mxls (°)	<Mxss (°)	<Mdi (°)	<Mdsc (°)	<Mdss (°)
1	59,39	55,61	46,52	79,84	105,73	47,39	27,72
2	77,4	50,19	44,39	85,24	76,07	49,58	54,17
3	71,72	48,79	65,76	65,09	93,3	42,3	43,79
4	69,89	56,02	48,88	74,95	86,63	46,08	47,44
5	65,83	60,48	45,91	73,49	86,66	49,42	44,11
6	64,58	69,41	43,58	65,38	99,75	41,96	38,56
7	62,68	61,54	45	73,16	90,85	47,06	42,22
8	75,96	51,67	50,77	77,93	87,23	48,1	44,83
9	60,77	70,26	51,65	58,57	95,35	41,17	42,93
10	72,12	43,35	74,7	59,95	85,7	45,6	48,22
11	58,7	68,1	46,54	64,8	90,11	53,19	37,05
12	52,07	62,16	67,54	47,32	103,11	41,07	35,07

Tab. 8 (Fortsetzung): Werte der Vermessungen der Aufhellungspräparate in der Norma frontalis

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

5.1.1 Kritik an den Aufhellungspräparaten und den 3D-Rekonstruktionen

Das craniofaciale System wird heutzutage mit modernen dreidimensionalen bildgebenden Methoden erforscht. Dazu gehören: die Ultraschalluntersuchung (Rotten et al. 2002, Huibers und Papatsonis 2009), die Computertomografie (CT, Claussen et al. 1977, Dimitriadis et al. 1995, Zumpano und Richtsmeier 2003, Kitai et al. 2004, Pelo et al. 2006, Greiner et al. 2007, Morimoto et al. 2008), die Magnetresonanztomografie (MRT, Cirillo et al. 1989, Giffoni et al. 2004, Huibers und Papatsonis 2009) und die computergestützte 3D-Rekonstruktion von Serienschnittpräparaten (Gaunt und Gaunt 1978, Radlanski und Jäger 1990, Radlanski und Renz 2007). Greiner et al. (2007) haben eine Studie an Kindern und Erwachsenen durchgeführt, die aufdecken sollte, ob an CTs tatsächlich genauere kephalometrische Vermessungen als an Fernröntgenseitenbildern möglich sind. Ihre Ergebnisse konnten dieses nicht bestätigen, sodass geschlussfolgert wurde, dass zweidimensionale Untersuchungsmethoden für die herkömmliche Kephalmetrie in Anlehnung an Broadbent (1937) ausreichen. Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass die Darbietungen von Greiner et al. (2007) postnatalen Objekten gelten und hier mit Embryonen und Föten gearbeitet wurde. Ihre Ergebnisse erlauben also keine direkten Schlussfolgerungen. Eine Absicht dieser Dissertation ist es, einen intraindividuellen Symmetrievergleich des craniofacialen Systems durch die separate Vermessung paarig angelegter Knochen durchzuführen. Dadurch soll beurteilt werden können, ob sie sich gleichmäßig entwickeln. Potenziell falsche Vermessungen, bedingt durch Überlagerungen der Strukturen paarig angelegter Knochen, wie bei Röntgenbildern kritisiert (Levihn 1967), werden dadurch vermieden. Die Aufhellungspräparate erfüllen die gewünschten Anforderungen, laterale Strukturen gut darzustellen und kontralaterale sowie mediane zu maskieren. Aufgrund dessen kann man davon ausgehen, dass diese Studie zu hochwertigen Ergebnissen geführt hat, die denen dreidimensionaler Untersuchungsmethoden in nichts nachstehen. Es existieren keine Vergleichsdaten an Aufhellungspräparaten, da diese hier erstmals am Menschen angewandt

wurden. Sie kamen jedoch schon in zahlreichen Tierexperimenten zum Einsatz (Lozanoff und Deptuch 1991, Liu et al. 2008).

Bis 60 mm SSL waren die Knochenkonturen der Aufhellungspräparate schwer zu erkennen. Dies trifft für die Präparate T543, T237 und T101 zu. Zur Vervollständigung wurden daher zusätzlich 3D-Rekonstruktionen von Serienschmittpräparaten an Embryonen und jungen Föten von 19 mm SSL bis 53 mm SSL vermessen. Sie geben auch grazile und schlecht differenzierte Strukturen gut wieder und sind als wertvolles Messmaterial neben den Aufhellungspräparaten anzusehen.

Um der Gefahr der inhomogenen Auswertung entgegenzuwirken, wurden die 3D-Rekonstruktionen separat zu den Aufhellungspräparaten analysiert. Trotzdem eignet sich die geringe Anzahl der an ihnen durchgeführten Vermessungen nicht für eigenständige Aussagen¹. Sie sind als ergänzende Vermessungen zu den Aufhellungspräparaten T543, T237 und T101 zu verstehen.

5.1.2 Kritik an den Aufnahmeperspektiven

Die Schädel wurden in ihrem natürlichen Zustand nach den Aborten fotografiert. In der Norma lateralis folgten dann Vermessungen von beiden Seiten getrennt voneinander. Eine Deckungsgleichheit paarig angelegter Knochen, wie bei Fernröntgenseitenbildern (Levihn 1967, Berndt 1997) ist aufgrund dessen nicht zwingend notwendig. Einige Vermessungen mussten trotzdem wegen einer divergenten Aufnahmeperspektive weggelassen werden. Dies liegt daran, dass manche Strecken entlang der von der Orthoradialität abweichenden Richtung unter Berücksichtigung der räumlichen Tiefenperspektive der Messpunkte durchgeführt wurden. Vorab durchgeführte Tests diesbezüglich haben gezeigt, dass hier schon geringe Ungenauigkeiten zu deutlichen Abweichungen bei den Vermessungen führen. Da es sich nur um wenige Strecken handelt, die aufgrund dessen weggelassen werden mussten, wird die Aussagekraft der Vermessungen nur gering beeinträchtigt und ist als akzeptabel anzusehen. Im Kapitel 3.3 Limitierende Faktoren zu den Vermessungen wurde alles genau beschrieben.

¹ Nach Rücksprache mit PD Dr. Dr. Hopfenmüller: Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Medizinischen Fakultät Charité – Campus Benjamin Franklin

5.1.3 Kritik an der Altersbestimmung

Die Altersbestimmung erfolgt oft indirekt durch die Angabe der Scheitel-Steiß-Länge (SSL, Kobayashi und Inoue 1961). Sie ist jedoch durch die unterschiedlichen Körperkrümmungen der Embryonen und Föten als ungenau anzusehen (Hinrichsen 1990). Nach Streeter (1920) sollte das tatsächliche Schwangerschaftsalter die Stufe des Entwicklungsstadiums am besten wiedergeben. Die Reifestadien der Föten variieren jedoch oftmals stark, sodass diese Methode nicht zwangsläufig ausreicht. Eine Altersbestimmung durch die Angaben von Kopfparameter, wie den Kopfumfang (Fescina 1983, Mongelli et al. 2005) oder den Biparietalabstand (Laing und Stevenson 1986), führte nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Berndt (1997) gab als Grund dafür an, dass durch eine Schädelverformung während der Aborte die Resultate verfälscht werden. Nach Mongelli et al. (2005) lässt sich die Angabe des Kopfumfanges und der Oberschenkellänge nur im dritten Trimenon durchführen. Ihre Untersuchungen wurden an Ultraschallaufnahmen gemacht, wodurch das Problem der Verformung des Schädels während der Geburt entfiel. Dubiel et al. (2008) und Zaidi et al. (2009) hatten ebenfalls an dreidimensionalen Ultraschallaufnahmen gleich vier Parameter zur Reifebestimmung an einer großen Anzahl schwangerer Frauen unterschiedlichen Gestationsalters eingesetzt. Ihre Vermessungen erfassten den Biparietalabstand, den Kopfumfang, den Bauchumfang und die Oberschenkellänge. Genauere Angaben waren dadurch zwar möglich, aber auch diese Methode erlaubt nicht, alle Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Berndt (1997) führte auf, dass die Ernährung, genetische Dispositionen, das soziale Umfeld und das Geschlecht zusätzlich die Entwicklungsstufe beeinflussen können. Stark (1975) gab an, dass die Körperlängen in der Embryonalphase sehr variabel sind, was zur Erschwerung der Altersbestimmung beiträgt. Todd (1931) hatte dargelegt, dass Aborte häufig aufgrund von Missbildungen stattfinden und das, auch wenn sichtbare Defekte ausgeschlossen werden können, pathologische Entwicklungsstände trotzdem denkbar sind. Es ist außerdem möglich, das fetale Alter röntgenologisch durch die Angabe des Verknöcherungszustandes zu ermitteln (Kjaer 1990). Diese Methode ist jedoch ebenfalls nicht genau genug (Berndt 1997).

Bei den Aufhellungspräparaten ist das Alter der Embryonen und Föten aufgrund der Protokolle bekannt. Bei fast allen Präparaten kann jedoch ein Unterschied zwischen dem von der SSL zu erwartenden Alter nach den Tabellen von Hinrichsen (1990) und Sadler (2003) (hier zusammengefügt in Tabelle 1) und dem tatsächlichen Alter erkannt werden. Dies zeigt die Schwierigkeit einer pränatalen Altersbestimmung direkt auf. Aufgrund der Tatsache, dass Hinrichsen (1990) und Sadler (2003) Durchschnittswerte mehrerer Embryonen und Föten

genommen haben, sind diese Angaben als zuverlässiger anzusehen. Sie werden daher in dieser Arbeit zur Orientierung verwendet. Hern (1984) hatte aufgeführt, dass es keine absolute Sicherheit bezüglich der Altersbestimmung gibt und dass Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden müssen, was letztendlich auch für die Präparate dieser Arbeit gilt.

5.1.4 Kritik am Untersuchungsverfahren

Am Untersuchungsverfahren ist zu kritisieren, dass es sich um Momentaufnahmen potenziell unterschiedlicher Entwicklungsabläufe handelt. So sind die Vergleiche unterschiedlicher Reifestadien immer auch Vergleiche unterschiedlicher Individuen (Duenhoelter et al. 1979). Davies und Richardson (1981) führten auf, dass Ultraschalluntersuchungen aufgrund der Schwierigkeit genormter Untersuchungsparameter bei lebenden Föten schwer zu realisieren sind. Rotten et al. (2002) hatten dennoch zwei- und dreidimensionale kephalometrische Ultraschalluntersuchungen mit verifizierbaren Ergebnissen durchgeführt.

5.2 Fehleranalyse

5.2.1 Fehlerquellen aufgrund anatomischer Gegebenheiten

Eine Normierung der Positionsfestlegung der Mandibula zur Maxilla ist postnatal durch den Okklusionskontakt möglich (Broadbent 1937). Pränatal gibt es kein Referenzsystem. Die Kiefer werden nach den Aborten in vorliegender Position belassen und fixiert. Potenzielle Ungenauigkeiten müssen in Kauf genommen werden (Berndt 1997). Dieses wurde in Kapitel 3 Material und Methode und bei den Befunden erwähnt.

Weiterhin sind entwicklungsbedingte Unterschiede im Wachstum der paarig angelegten Knochen möglich. Levihn (1967) beschrieb diese Problematik bei Röntgenbildern an der Mandibula. Durch die in dieser Arbeit durchgeführten beidseitigen Vermessungen in der Norma lateralis fällt dieses Diskussionsthema auch für die anderen paarig angelegten Knochen weg. Es hat sich gezeigt, dass die Knochen zumeist seitenähnliche Entwicklungen vollziehen. Durch die gemeinschaftliche Interpretation wurde ein direkter Seitenvergleich

durchgeführt. Die daraus resultierende doppelte Anzahl an Vermessungen trug zusätzlich zur höheren Aussagekraft der Befunde bei.

5.2.2 Vergleich der Genauigkeit der Vermessungen bei Strecken und Winkeln

Um bei den Eintragungen der Punkte für die Vermessungen eine möglichst genaue Positionierung zu erreichen, wurde dieses zu unterschiedlichen Tageszeiten insgesamt vier Mal unabhängig voneinander durchgeführt. Weiterhin erfolgten Farb-, Helligkeits- und Kontrastveränderungen der jüngsten drei Aufhellungspräparate (vorgehen nach Jäger et al. 1989), sowie Veränderungen der Größe aller Bilder. Vor allem durch die teilweise starken Vergrößerungen der Strukturen konnten die Punkte so genau positioniert werden, dass keine Abweichungen von mehr als 0,1 mm der mehrfach durchgeführten Positionierungen der Punkte auftraten. Nach diesem exakten Vorgehen konnten die Vermessungen einmalig mit genauer Zentrierung folgen. Um dies zu gewährleisten, mussten die Referenzpunkte bei der Positionierung für die Vermessungen ebenfalls vergrößert werden.

5.2.3 Ungenauigkeit bei der Identifizierung graziler Strukturen

Beim ersten Erscheinen von Knochenkernen ist eine Differenzierung vom verdichteten Mesenchym zum Knochen schwer. Um diese eindeutig voneinander unterscheiden zu können, sind spezielle Untersuchungsmethoden nötig. Die 3D-Rekonstruktionen, die hier als ergänzendes Messmaterial zur frühen Entwicklungsphase verwendet wurden, sind dafür geeignet. Der Anforderung der guten Darstellung lateraler Knochenstrukturen konnten die Aufhellungspräparate ab 60 mm SSL problemlos entsprechen. Davor waren sie schwerer vom verdichteten Mesenchym zu unterscheiden. Die Vermessungen an den 3D-Rekonstruktionen, welche von 19 mm SSL bis 53 mm SSL vorlagen, haben dann aufzeigen können, dass die Positionierungen der Punkte an den Aufhellungspräparaten vor 60 mm SSL richtig sein müssen. Die Werte entsprachen einander annähernd.

5.3 Diskussion der Befunde und Vergleich mit anderen Arbeiten

5.3.1 Gesamtbetrachtung

Die Vermessungen am neuen Basispunkt Sqz', der im Kapitel 3 Material und Methoden als lateral und oberhalb des Viscerocraniums gelegener alternativer Basispunkt zum S-Punkt ermittelt wurde, sind wegen dessen anderer Lokalisation nur eingeschränkt mit anderen Arbeiten vergleichbar. Diese werden daher als modifizierte Vermessungen zur herkömmlichen Kephalometrie nach Broadbent (1937) betrachtet.

Nach der Auswertung der Befunde kann ausgesagt werden, dass ein allometrisches Wachstumsverhalten zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) nach 85 mm SSL beziehungsweise ab der 12. Schwangerschaftswoche (SSW) für die Längenvermessungen gegeben ist. Eine ausgeprägte Konstanz der Werte ist ebenfalls zu erkennen. Sie geht aus der geringen Streuung der Punkte bei den Befunden hervor. Dies stimmt mit den Beobachtungen anderer Untersuchungen überein (Scammon und Calkins 1929, Kobayashi und Inoue 1961, Burdi 1965, Levihn 1967, Houpt 1970, Kvinnsland 1971, Anagnostoupoulou et al. 1988, Trenouth 1984, 1985, Berndt 1997, Morimoto et al. 2008).

Bei den Größenvermessungen sind die Werte schon wesentlich diskontinuierlicher und bei den Abstandsvermessungen kann kaum noch von Konstanz gesprochen werden. Lozanoff und Diewert (1989) hatten durch Berechnungen mit der sogenannten Finite-Elemente-Methoden dreidimensionale Computergraphiken erstellt, die die Entwicklung der Anteile des craniofacialen Systems berechneten. Die Größen- und Abstandsvermessungen liefern darüber hinaus Informationen zum Wachstum. Aus ihnen kann geschlussfolgert werden, dass die einzelnen Knochenanteile und insbesondere die Regionen zwischen den Knochen großen individuellen Entwicklungsunterschieden unterliegen. Es muss jedoch gleichzeitig ein Ausgleich dieser unterschiedlichen Wachstumsmuster über die vermessenen vertikalen, sagittalen und transversalen Ebenen des Schädels hinweg stattfinden. Diese Folgerung resultiert aus der Tatsache, dass die Längenvermessungen einer konstanten Erhöhung der Werte unterliegen. Es wurden bisher keine Untersuchungen mit Größen- und Abstandsvermessungen wie hier durchgeführt. Folglich gibt es auch keine Vergleichsdaten.

Trotz der Tatsache, dass die Beurteilung einzelner Abschnitte des Beobachtungszeitraums aufgrund einer zu geringen Anzahl von Daten statistisch wenig Aussagekraft hat¹, sind doch einige Entwicklungstendenzen auffällig. Diese werden im Folgenden beschrieben, sind jedoch kritisch zu betrachten.

Die Werte bei den Befunden nehmen initial oftmals stärker zu. Besonders oft zwischen 65 mm bis 85 mm SSL, was der 10. bis 12. SSW entspricht. Ein ausgeprägter Wachstumsschub des craniofacialen Systems dieser Periode wird in der Literatur immer wieder bestätigt (Macklin 1914, Lewis 1920, Müller und O’Rahilly 1980, Diewert 1985, Morimoto et al. 2008). Die Streuung der Punkte bis 60 mm SSL, was in etwa der 10. SSW entspricht, ist allgemein ausgeprägter als danach. Diskontinuität im Wachstumsverhalten der frühen Entwicklungsphase liegt nahe. Zur Überprüfung dieser Beobachtung kann wieder die Literatur herangezogen werden. Es wird eine ausgeprägte Form- und Größenveränderung zwischen der sechsten und 10. bis 12. SSW aufgeführt. Diese gehen mit Diskontinuität und stärkeren individuellen Unterschieden im Wachstum einher (Macklin 1914, Lewis 1920, Müller und O’Rahilly 1980, Diewert 1985).

Bei den Befunden der Abstandsvermessungen ist ebenfalls zu erkennen, dass die Werte oftmals bis 65 mm SSL zunehmen. Sie werden danach wieder kleiner. Dafür verantwortlich könnte ein stärkeres Wachstum der Weichgewebe zwischen den Knochen bis etwa 65 mm SSL sein. Daraus folgend ist zu vermuten, dass sich die Wachstumsfugen der Knochen intensiver aufeinander zu bewegen. Es ist bekannt, dass die embryonalen und frühfötalen Knorpelzentren des craniofacialen Systems wachsen, als Platzhalter für eine geregelte Entwicklung dienen und während der weiteren Entwicklung zunehmend verschwinden (Symons 1954, Baume 1961, Hinrichsen 1990, Kjaer 1992, Sperber 1992). Dies könnte ein Grund für diese Beobachtung sein.

Einige Vermessungen nehmen mit der SSL an Streubreite zu. Dieser Effekt ist jedoch im Beobachtungszeitraum bis 160 mm SSL noch gering ausgeprägt. Berndt (1997) hatte Vermessungen an Föten bis 250 mm SSL durchgeführt und eine ausgeprägtere Erhöhung beobachtet. Sie erklärte es sich damit, dass mit zunehmendem Alter der Föten genetisch festgelegte Entwicklungsprozesse dominieren. Diese Aussage wird durch die Ergebnisse dieser Arbeit unterstützt. Sardi et al. (2007) hatten das späte pränatale und frühe postnatale craniofaciale Wachstum an einer größeren Anzahl von Exemplaren speziell im Hinblick auf Allometrie dreidimensional untersucht. Sie haben zunehmende Divergenzen nur im Bereich

¹ Nach Rücksprache mit PD Dr. Dr. Hopfenmüller: Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Medizinischen Fakultät Charité – Campus Benjamin Franklin

der craniofacialen Hohlräume feststellen können. Diese Studie spricht folglich gegen die Ausprägung individueller Wachstumsmuster im pränatalen und frühen postnatalen Alter. Es ist bekannt, dass sich individualspezifische Entwicklungsabläufe mit der Dentition zunehmend manifestieren (Ricketts et al. 1989, Kahl-Nieke 2001).

Die Messwerte der rechten Seite an den paarig angelegten Knochen des Os frontale und des Os parietale unterscheiden sich teilweise stark von denen der entsprechend linken Seite. Interindividuelle Entwicklungsunterschiede oder Messfehler in so starkem Ausmaße sind kaum denkbar. Auch sind pathologische Prozesse als potenzielle Ursache dafür von vornherein ausgeschlossen worden. Als wahrscheinlichster Grund kann eine Verformung der Schädel während der Aborte (= headmolding) angenommen werden, da insbesondere das Os frontale und das Os parietale davon betroffen sind.

Für alle anderen paarig angelegten Knochen kann eine symmetrische Entwicklung angegeben werden. Besonders das Os Nasale, die Maxilla und die Mandibula stechen mit ihren seitenähnlichen Werten hervor. Kleine Unterschiede zeigen jedoch, dass die Validität der Vermessungen höher ist, wenn sie auf beiden Seiten durchgeführt werden, als an Fernröntgenseitenbildern, wo Überlagerungen der Knochen vorliegen (Levihn 1967, Berndt 1997).

5.3.2 Längenvermessungen

Alle Längenvermessungen nehmen im Beobachtungszeitraum konstant und allometrisch um das Vier- bis Fünffache zu. Dies wird von zahlreichen Autoren gleichermaßen angegeben (Scammon und Calkins 1929, Burdi 1965, Levihn 1967, Houpt 1970, Kvinnsland 1971, Burdi et al. 1988, Anagnostoupoulou et al. 1988, Berndt 1997, Morimoto et al. 2008).

5.3.3 Größenvermessungen einzelner Knochen

Bei den Größenvermessungen fällt auf, dass die Knochen einer ausgeprägten Längenzunahme um das Zehn- bis Zwölffache im Beobachtungszeitraum unterliegen. Insbesondere bis 85 mm SSL nehmen die Werte stark zu, was durch den oben erwähnten Wachstumsschub dieser Entwicklungszeit erklärt werden kann (Macklin 1914, Burdi 1965, Diewert 1985). Aber auch danach kann oftmals ein viel höheres Inkrement als die der SSL und der Längenvermessungen

aus den Befunden abgeleitet werden. Der Grund dafür ist, dass bei den Größenvermessungen, im Gegensatz zu den Längenvermessungen, die Räume zwischen den Knochen nicht mit vermessen werden. Dies führt zu geringeren Ausgangswerten, welche eine ausgeprägte Längenzunahme vorgeben können. Ist beispielsweise der Ausgangswert 1 mm statt 2 mm, dann beträgt die gesamte Größenzunahme gleich doppelt so viel. Kleine Unterschiede bei niedrigen Ausgangswerten können also schon beträchtliche Auswirkungen auf den angegebenen Faktor der gesamten Längenzunahme haben. Aus den Quotientendarstellungen bei den Befunden ist jedoch zu ersehen, dass die einzelnen Knochen oftmals eine höhere Wachstumsrate als die SSL haben. Von allen Vermessungen liegt dies bei den Größenvermessungen am stärksten ausgeprägt vor. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die einzelnen Knochen in den vermessenen Ebenen die ausgeprägteste Erhöhung der Werte aller durchgeführten Vermessungen haben. Eine hohe pränatale Wachstumsrate der Knochen wird auch in der Literatur angegeben (Fell 1956, Enlow 1990, Hinrichsen 1990, Sadler 2003)

5.3.4 Abstandsvermessungen zwischen den Knochen

Viele Autoren nehmen bei ihren Aufführungen Bezug auf Vereinigungen wichtiger Knochen und deren potenziellen Zusammenhang mit der Ausbildung pathologischer Abweichungen (Fulton 1957, Baume 1961, Iizuka 1973, Kjaer 1975, 1993, Rodriguez et al. 1997, Radlanski et al. 2004, Endo et al. 2007). Von den Abstandsvermessungen wird erwartet, dass sie Auskünfte über den allgemeinen Vereinigungszeitpunkt bzw. die hauptsächliche Vereinigungszeitspanne der Anteile des craniofacialen Systems ermöglichen. Die Kenntnisse darüber könnten bei der Frühdiagnostik von Fehlentwicklungen wichtig sein. Möglicherweise stellen sie sogar eine wertvolle Ergänzung zur pränatalen Ultraschalluntersuchung nach Rotten et al. (2002) dar, welche speziell der Auffindung von Syndromen dient. Weiterhin sollen die Abstandsvermessungen Informationen darüber liefern, wie die Verschmelzungen das generelle Wachstumsverhalten der Knochen beeinflussen. Eine Quantifizierung der Distanzen aller craniofacialen Knochen zueinander, wie in dieser Arbeit, wurde bisher noch nicht durchgeführt. Daher gibt es keine Vergleichsdaten.

Eine große Diskontinuität der Befunde ist bei den Abstandsvermessungen auffällig. Dass sie über den Beobachtungszeitraum hinweg abnehmen, kann jedoch erkannt werden. Dynamische

und heterogene Entwicklungen der Weichgewebe und der Wachstumsfugen zwischen den Knochen könnten dafür verantwortlich sein. Ein weiterer Grund ergibt sich aus der Tatsache, dass bei den Abstandsvermessungen die Werte klein sind. Geringe Unterschiede bei den Präparaten führen folglich schon zu größeren Differenzen. Auch kann die Methode der Abstandsvermessungen selbst kritisiert werden, da die Form der Krümmungen der Knochen die Werte stark beeinflusst. Ein besseres Verfahren zur Vermessung der Abstände der Knochen zueinander gibt es jedoch nicht. Gewisse Ungenauigkeiten müssen also in Kauf genommen werden.

Die meisten Knochen fusionieren zwischen einer Scheitel-Steiß-Länge (SSL) von 75 mm bis 120 mm, was als hauptsächliche Vereinigungszeitspanne angegeben werden kann. Der hauptsächliche Vereinigungszeitpunkt liegt dann bei einer SSL von 95 mm.

Die Knochen wachsen und verlagern sich entsprechend nach ihrer Zusammenführung weiter. Bedenkt man, dass bei den Vermessungen eine ausgeprägte Erhöhung der Werte bis 85 mm SSL registriert wurde, dann kann hier ein Zusammenhang zwischen den Wachstumsgeschwindigkeiten und den Fusionszeiten vermutet werden. Die Tatsache, dass die meisten Knochen ab 95 mm SSL, also kurz darauf, schon über Suturen fusioniert sind, kann der Grund für eine Abnahme der Wachstumsgeschwindigkeit sein. Dadurch, dass die Knochen keinen Platz mehr haben, sich in alle Richtungen auszudehnen, nimmt entsprechend dieser Annahme die Wachstumsrate allgemein ab. Belege für diese These sind in der Literatur nicht zu finden.

5.3.5 Winkelvermessungen

Die Winkel verändern sich im Beobachtungszeitraum nicht. Dieses Ergebnis stimmt mit denen anderer Untersuchungen überein (Burdi 1965, Kvinnsland 1971, Johnston 1974, Berndt 1997, Morimoto et al. 2008). Für die oftmals stärkere Streuung der Punkte sind individuelle Entwicklungsunterschiede, am ehesten verantwortlich zu machen. Eine weitere Beeinflussung ist durch die im Kapitel 3 Material und Methoden eingeräumte Fehlertoleranz von 10 % der Gesamtbreite des Schädels bei der Positionierung des Punktes Sqz' möglich.

Oftmals ist bei den Befunden der Winkelvermessungen ein polygonaler Kurvenverlauf zu erkennen, was daraufhin deutet, dass sich die Winkel im Beobachtungszeitraum mehrfach verändern. Solch eine Dynamik könnte ebenfalls ein Grund für die breite Streuung der Punkte

sein. Ob dies tatsächlich so ist, kann jedoch aufgrund zu weniger Vermessungen der einzelnen Entwicklungsabschnitte des beobachteten Zeitraums statistisch nicht erfasst werden¹. Es wurden auch keine genaueren Untersuchungen durchgeführt, die diese Beobachtung bestätigen.

5.4 Ergebnisse der Untersuchungen

Burdi (1965) hatte bei seinen Untersuchungen dargelegt, dass die pränatale Genese des Gesichts eine nach anterior und kaudal gerichtete Entwicklung aufweist. Durch die hier durchgeführten vertikalen und sagittalen Vermessungen, sowie Winkelvermessungen in der Norma lateralis, werden diese Angaben überprüft. Auch potenzielle Rotationen der Kiefer sind ein Diskussionsthema. Weiterhin folgen hier Analysen von lokalen Wachstumsunterschieden, Proportions- und Konstanzverhältnissen, besonderen Auffälligkeiten der Vermessungen sowie der Entwicklung der Hohlräume. Dieser kategorischen Analyse der Befunde liegen auch wieder Bezüge auf die Ergebnisse anderer Autoren bei.

5.4.1 Sagittale Entwicklung des Gesichts in der Norma lateralis

Die sagittalen Ausdehnungen der Kiefer und des Obergesichtes (Sqz'-N) nehmen bis 65 mm Scheitel-Steiß-Länge (SSL) verhältnismäßig stärker zu als die SSL selbst. Die Beurteilung einzelner Entwicklungsabschnitte muss jedoch aufgrund geringer statistischer Repräsentanz weniger Vermessungen kritisch betrachtet werden¹. Diewert (1985), die sich ausführlich mit der Entwicklungsphase bis zur 10. Schwangerschaftswoche (SSW) von Embryos und Föten befasste, gab jedoch Gleiches an. Für diesen Zeitraum wird auch eine stärkere Längenzunahme der Mandibula als die der Maxilla aufgeführt (Retzius 1904, Sicher 1915, Harris 1967, Burdi 1969, Humphrey 1969, Wragg 1970, Shih et al. 1974, Diewert 1985, Trenouth 1985, Bareggi et al. 1995, Kjaer 1997, Morimoto et al. 2008). Für die Zeit danach geben Ford (1956), Burdi (1965, 1969), Kvinnsland (1971) und Berndt (1997) eine gleiche Wachstumsrate zur SSL an, was hier annähernd bestätigt werden kann.

¹ Nach Rücksprache mit PD Dr. Dr. Hopfenmüller: Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Medizinischen Fakultät Charité – Campus Benjamin Franklin

Aus den Befunden ist zu ersehen, dass der Unterkiefer zumeist etwas länger ist als der Oberkiefer. Die Wachstumsrate ist nach 65 mm SSL annähernd gleich, mit leichter Tendenz zum stärkeren Wachstum des Unterkiefers. Eine gleiche Wachstumsrate in der Sagittalebene für das zweite Trimenon wurde auch von Levihn (1967), Anagnostoupoulou et al. (1988) und Berndt (1997) angegeben. Burdi (1969), Kvinnsland (1971) und van den Eynde et al. (1992) führten ein stärkeres sagittales Wachstum des Oberkiefers auf. Mestre (1959) und Kobayashi und Inoue (1961) hatten sogar ein ausgeprägteres Unterkieferwachstum in der Länge beobachtet. Aufgrund der geringen Unterschiede der Messwerte dieser Untersuchung und unter Berücksichtigung der oben erwähnten potenziellen Einflussfaktoren ist es nicht möglich, dem einen oder dem anderen Autor eindeutig zuzustimmen.

In der Literatur wird angegeben, dass sich der Unterkiefer in der 8. bis 10. SSW prognath einstellt (Retzius 1904, Harris 1967, Trenouth 1985, Kjaer 1997). Der Winkel N-Spa-Gn, gibt die sagittale Position der Kiefer zueinander wieder. Bei den Vermessungen der 3D-Rekonstruktionen sind die Werte von diesem Winkel von 15° auf 5° abgesunken. Eine stärkere Entwicklung der Mandibula nach anterior einhergehend mit einer prognathen Einstellung, wie in der Literatur beschrieben, wäre also möglich. Eindeutig hergeleitet kann dies jedoch aufgrund einer mangelhaften statistischen Repräsentanz weniger Vermessungen¹ bei den 3D-Rekonstruktionen nicht.

Während manche Autoren angeben, dass vom dritten bis fünften Schwangerschaftsmonat der Oberkiefer seine prognathe Stellung wieder einnimmt (Ford 1956, Burdi 1969, Humphrey 1971, Kvinnsland 1971, Diewert 1983, 1985, Anagnostoupoulou et al. 1988, van den Eynde et al. 1992), führen andere ein konstantes Lageverhältnis für diesen Zeitraum auf (Björk 1955, Brodie 1955, Stramrud 1959, Koski 1960, Kvinnsland 1971, Radlanski et al. 1996, Berndt 1997). Der Winkel N-Spa-Gn liegt bei den Aufhellungspräparaten zwischen 15° und 25°. Eine Tendenz zur Änderung ist aus den Befunden nicht abzuleiten. Ein konstantes Lageverhältnis der Kiefer zueinander kann daraus ersehen werden. Durch höhere Werte als bei den 3D-Rekonstruktionen ist eine Angleichung der sagittalen Position der Kiefer zueinander zu vermuten. Die ausgeprägte Streuung der Punkte bei den Befunden und die unsichere Lage des Unterkiefers schränkt die Aussagekraft der Befunde jedoch ein. Eine zunehmend prognathe Einstellung des Oberkiefers, wie von einigen Autoren angegeben (Ford

¹ Nach Rücksprache mit PD Dr. Dr. Hopfenmüller: Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Medizinischen Fakultät Charité – Campus Benjamin Franklin

1956, Humphrey 1971, Diewert 1983, 1985, Anagnostoupoulou et al. 1988), kann hier nicht eindeutig ausgeschlossen werden.

Die Winkel N-Sqz'-Spa und N-Sqz'-Gn geben die sagittalen Positionen der Maxilla und der Mandibula zum Basispunkt Sqz' wieder. Eine Veränderung dieser ist aus den Befunden nicht ersichtlich. Burdi (1965) und Kvinnsland (1971), die den Punkt S der Schädelbasis für diese Vermessungen verwendeten, hatten ebenfalls keine Umgestaltungen erkennen können. Sie führten weiterhin auf, dass die pränatale Orientierung der Kiefer zur Schädelbasis schon annähernd die der postnatalen ist. Für die zentrale Region der Squama temporalis kann innerhalb des beobachteten Zeitraums auch hier eine gleichbleibende, pränatale Ausrichtung zu den Kiefern angegeben werden.

Auch der Winkel N-Go-Gn, welcher ein Ausdruck der horizontalen Neigung und der verhältnismäßigen Länge der Mandibula ist, zeigte keine Veränderungen. Eine singuläre Rotation des Unterkiefers nach Trenouth (1985) kann hier also nicht erkannt werden. Diese Aussage stimmt mit den Beobachtungen von Kvinnsland (1971) zwar überein, muss jedoch wieder aufgrund ausgeprägter Streubreiten der Werte bei den Winkelvermessungen kritisch betrachtet werden.

Die sagittale Ausdehnung des Gesichtes wurde vom Punkt Sqz' aus zum Ober- (Sqz'-N), Mittel- (Sqz'-Spa) und Untergesicht (Sqz'-Gn) in drei Ebenen vermessen. Ein analoges Wachstum zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) und eine konstante Erhöhung der Werte auf das Vier- bis Fünffache von 5 mm auf 20 mm bis 25 mm wurde dabei registriert. Eine gleichmäßige Entwicklung des Gesichtes nach anterior hatte auch Kvinnsland (1971), Ishimaru (1984), Kjaer (1992) und Silau et al. (1994) angegeben. Auch hier muss jedoch wieder ergänzend erwähnt werden, dass statt mit dem Punkt S mit dem Punkt Sqz' gearbeitet wurde.

Bei den ältesten Föten haben die Kiefer eine Länge von 10 mm bis 15 mm. Am Ende des Beobachtungszeitraums beträgt die sagittale Ausdehnung des Os temporale, Pars squamosa vom Punkt Sqz aus nach anterior 10 mm. Eine Überlagerung der Squama zum Oberkiefer ist nicht ersichtlich. Durch das Wachstum der Squama temporalis kann die Differenz bis 20 mm bzw. 25 mm der Ausdehnung des Ober- und des Mittelgesichts also erklärt werden. Sie kann jedoch für diese Anteriorverlagerung von 10 mm bis 15 mm nicht alleine verantwortlich gemacht werden, da Vermessungen am S-Punkt der Sella turcica die gleiche Entwicklung zeigen (Kvinnsland 1971, Ishimaru 1984, Kjaer 1992 und Silau et al. 1994, Morimoto et al. 2008).

Dass die Mandibula ihre sagittale Position zur Maxilla höchstens geringfügig verändert, wurde oben durch den Winkel N-Spa-Gn dargelegt. Es kann hier also eine gemeinsame Verlagerung des Ober- und des Unterkiefers nach anterior um 10 mm bis 15 mm im Beobachtungszeitraum angegeben werden. In der Literatur wird diese Beobachtung ebenfalls bestätigt (Kvinnslund 1971, Ishimaru 1984, Kjaer 1992 und Silau et al. 1994, Morimoto et al. 2008). Die Winkelvermessungen geben jedoch keine ausreichenden Angaben bezüglich der Entwicklung der Mandibula nach anterior an. Berndt (1997) hatte den Abstand des Atlas zur Mandibula daher zusätzlich vermessen und eine entsprechende Vergrößerung gesehen. Die Vermessungen dieser Arbeit zeigen ebenfalls eine Zunahme des retromandibulären Abstandes zum Atlas (Go-Aa) von 12 mm. Zur endgültigen Beweisführung haben Berndt (1997) jedoch noch Abstands- und Größenvermessungen anderer Knochen dieser Region gefehlt, welche hier durchgeführt wurden. Dass der retromandibuläre Raum sich nicht auf andere Weise hätte vergrößern können, wie etwa durch eine Verlagerung des Atlas nach dorsal, zeigen die Abstandsvermessungen des Atlas zum Os occipitale. Diese haben im Beobachtungszeitraum nur geringfügig zugenommen. Die Größe des Atlas selbst ist in sagittaler Ebene von 1 mm auf 8 mm angestiegen. Eine stärkere Drift des Os occipital zusammen mit dem Atlas nach posterior wurde ebenfalls ausgeschlossen, da sich dann der Raum zwischen dem Os temporale, Pars squamosa und dem Os occipitale stärker vergrößert hätte. Dieser nimmt jedoch nur um etwa 8 mm zu, was auch der Zunahme der sagittalen Ausdehnung des Atlas entspricht. Mit diesen zusätzlichen Daten wird eine Beweisführung bezüglich der Entwicklung des Unterkiefers nach anterior ausreichend erbracht. Ford (1956) und Trenouth (1985) machen ein nach anterior gerichtetes Wachstum des Meckel-Knorpels und später die Ausbildung der Kondylen für diese Verlagerung nach anterior verantwortlich.

Es findet auch eine Entwicklung nach dorsal statt. Diese posteriore Entwicklung des Schädels in der Sagittalen wird durch die Strecke Sqz'-Ocp wiedergegeben. Auffällig ist, dass sie noch stärker zunimmt als die anteriore, sagittale Gesichtsentwicklung. Aufgrund der breiten Streuung kann der Betrag der höheren Wachstumsrate nur in Bereichen angegeben werden. Er liegt etwa, wie bei den Befunden ermittelt, bei 20 % bis 60 %. Eine stärkere Entwicklung des Schädels nach dorsal wurde von Berndt (1997) auch in der zweiten Hälfte des zweiten Trimenons, vom S-Punkt aus gemessen, beobachtet. Burdi (1965) hatte für die gleichen Vermessungen im gleichen Zeitraum wie Berndt (1997) jedoch keine Unterschiede festgestellt. Wahrscheinlich sind die Knorpel, die sich in der Region der Schädelbasis entwickeln, für diese diskontinuierliche Entwicklung verantwortlich (Burdi 1965, Enlow

1990, Jeffery und Spoor 2004). Das sich in dieser Region bildende Os temporale, Pars petrosa wies bei den Befunden sehr heterogene Werte auf, was ebenfalls zur Diskontinuität beigetragen haben könnte. Die Ursache für die stärkere Entwicklung des Schädels nach dorsal ist in der Anzahl der Knochen, welche von Sqz' aus liegen, zu vermuten. Während nach anterior nur das Os temporale, Pars squamosa und die Maxilla aufzuzählen sind, liegen nach dorsal, das Os temporale, Pars squamosa, das Os temporale, Pars petrosa und das Os occipitale. Ein weiterer Grund für die stärkere Entwicklung nach dorsal könnte auch durch die Entwicklung der Protuberantia occipitalis externa, welche im Beobachtungszeitraum stark zunimmt und an dessen äußerer Kontur der Referenzpunkt Ocp lokalisiert ist, gegeben sein.

5.4.2 Vertikale Entwicklung des Gesichts in der Norma lateralis

Es ist bekannt, dass das Verhältnis der anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung (N-Gn) zur posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung (S-Go) und zur SSL konstant ist (Burdi 1965, Kvinnsland 1971, Berndt 1997, Morimoto et al. 2008). Statt mit S-Go wurde hier mit Sqz'-Go gearbeitet. Ein konstantes Verhältnis der anterioren, vertikalen zur posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung und zur Scheitel-Steiß-Länge (SSL) ist jedoch auch in dieser Arbeit gegeben. Es liegt bei 2 : 1.

Die posteriore, vertikale Ausdehnung der Mandibula, ausgedrückt durch die Strecke Mdps-Go, erfährt im gleichen Maße eine Erhöhung der Werte wie die posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung (Sqz'-Go). Die Hohlräume und der kondyläre Knorpel, die im kondylären Komplex ab einer SSL von 25 mm bis 65 mm entstehen (Symons 1952, Baume 1962 Diewert 1985, Mjör und Fejerskov 1986, Kitamura 1989, Dibbets 1990 Merida et al. 1999, Radlanski et al. 1999) und sich danach Platz verdrängend entwickeln (Moffet 1966, Van der Linden et al. 1987, Kitamura 1989, Baume 1962, Dibbets 1990, Merida et al. 1999, Radlanski et al. 1999, Carranza et al. 2006), werden bei der posterioren, vertikalen Ausdehnung der Mandibula nicht vermessen, da sie sich kranial vom Punkt Mdps (Mandibula, posterior, superior) gelegen entwickelt. Die Entwicklung der Kondylen haben hiernach keinen Einfluss auf die posteriore, vertikale Gesichtsausdehnung. Die Distanz Sqz'-Go müsste dann nämlich stärker zunehmen als Mdps-Go, was sie nicht tut. Dies sollte dann auch für Vermessungen der posterioren, vertikalen Ausdehnung am Punkt S der Schädelbasis gemessen gelten, da hier ein analoges Verhältnis zu Sqz'-Go ermittelt wurde.

Aus den Winkelvermessungen geht hervor, dass sich der Kieferwinkel, ausgedrückt durch Go-Me-Mdps, nicht verändert. Er liegt konstant bei 140°. Daraus kann abgeleitet werden, dass etwaige Veränderungen der anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung nicht im Zusammenhang mit Veränderungen des Kieferwinkels zu bringen sind. Dies wird in der Literatur bestätigt (Burdi 1969, Kvinnsland 1971, Berndt 1997, Kjaer 1997, Morimoto et al. 2008).

Der Winkel ML-NL, der die Neigung des Oberkiefers zum Unterkiefer wiedergibt, steigt bei den Befunden von unter 0° auf über 15° bis 65 mm SSL an und liegt danach zwischen 10° und 25°. Ein Winkel von 15° bis 30° Grad ist auch der Literatur zu entnehmen (Retzius 1904, Burdi 1969, Diewert 1985, Trenouth 1985, Kjaer 1997, Morimoto et al. 2008). Die Beobachtung, dass der Winkel ML-NL von 0° auf über 15° bis 65 mm SSL ansteigt, korreliert mit dem Wissen, dass sich der Oberkiefer von der 7. bis 10. Schwangerschaftswoche, während des sekundären Gaumennahtverschlusses dreht und aufrichtet (Diewert 1983, Kjaer 1992, Radlanski et al. 1994). Die endgültige Beweisführung zu diesem Zusammenhang ist im Rahmen dieser Arbeit wieder durch eine zu geringe Anzahl an Vermessungen einzelner Abschnitte nicht möglich¹.

Weiterhin ist aus den Befunden zu entnehmen, dass die kaudale Teilstrecke der anterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung, ausgedrückt durch Sp'-Gn, anfänglich gleich lang ist wie die kraniale, ausgedrückt durch N-Sp'. Ab 65 mm SSL ist Sp'-Gn dann 45 % länger als N-Sp' und am Ende des Beobachtungszeitraums ist dann die kaudale anteriore, vertikale Gesichtsausdehnung um 75 % ausgeprägter als die kraniale. Nach dem hier beobachteten Zeitraum nähern sich die Werte wieder an, wobei die kaudale Distanz Sp'-Gn immer etwas länger als die kraniale N-Sp' bleibt (Berndt 1997). Es ist prinzipiell möglich, dass unsichere Lagen der Unterkiefer die Vermessungen der kaudalen Teilstrecken verfälschen. Diewert (1983) und Radlanski et al. (1994) hatten eine voneinander unabhängige Entwicklung der Mandibula und des nasomaxillären Komplexes vor allem in der Vertikalebene in der frühen Entwicklungsphase angegeben. Dadurch und durch die intervenierende Zunge (Trenouth 1985, Rodriguez et al. 1997) wird auch die schnell stattfindende sekundäre Gaumenhebung begünstigt. Dies könnte erklären, warum bei den Befunden Sp'-Gn plötzlich ab 65 mm SSL, um 45 % länger ist als N-Sp'. Eine Rotation des Unterkiefers um eine transversale Achse nach anterior bis zum Einsetzen der Entwicklung des kondylären Knochens, also vor 65 mm

^{1,2} Nach Rücksprache mit PD Dr. Dr. Hopfenmüller: Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Medizinischen Fakultät Charité – Campus Benjamin Franklin

SSL kann ebenfalls für diese Entwicklung verantwortlich sein (Bardeen 1910, Symons 1952, Baume 1962, Diewert 1985, Kitamura 1989, Dibbets 1990, Merida et al. 1999, Radlanski et al. 1999). Für diese Annahme spricht, dass die Werte der posterioren, vertikalen Ausdehnung der Mandibula bis 65 mm SSL nahezu gleich geblieben sind. Es ist auch nicht ausgeschlossen, dass beide Entwicklungen für die sprunghafte Vergrößerung von Sp'-Gn verantwortlich sind. Zu beachten ist jedoch, dass dies wieder eine Beurteilung von Abschnitten ist². Ebenso spricht hierfür die Tatsache, dass sich der Winkel ML-NL von -10° auf 10° bis 25° in diesem Zeitraum eingestellt hat.

Nach einer SSL von 65 mm erhöhen sich die Werte der anterioren und posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung gleichmäßig und der Winkel ML-NL bleibt konstant, sodass eine weitere Drehung um eine transversale Achse unwahrscheinlich ist. Gleiches wurde von Berndt (1997) bei Föten von 95 mm SSL bis 202 mm SSL beobachtet. Sie schlussfolgerte eine gleichmäßige Entwicklung des Unterkiefers nach kaudal, was nach den Ergebnissen dieser Arbeit schon ab 65 mm SSL, also kurz nach der Gaumenhebung, der Fall sein dürfte.

Es wird in der Literatur auch eine gemeinsame Rotation des Ober- und des Unterkiefers nach anterior um eine transversale Achse in der ersten Hälfte der Fetalperiode angegeben (Brodie 1941, Björk 1947, Burdi 1965, Trenouth 1984, 1985). Aus den Befunden geht hervor, dass sich der Winkel ML-Sqz'-N, welcher Ausdruck der Neigung des Unterkiefers zur Strecke Sqz'-N ist, geringfügig vergrößert. Gleiches wurde für NL-Sqz'-N, der die Neigung des Oberkiefers zur Strecke Sqz'-N wiedergibt, registriert. Die Möglichkeit einer gemeinsamen Rotation liegt also vor. Diese Veränderung ist jedoch so geringfügig, dass diesbezüglich hier keine eindeutige Aussage getroffen werden kann.

Auffällig bei den Befunden ist, dass eine ausgeprägtere Vergrößerung des Abstandes zwischen dem Os frontale und dem Os parietale zum Os sphenoidale und zum Os zygomaticum beidseitig bis 85 mm SSL gemessen wurde. Danach findet eine Verkleinerung dieser Abstände bis zum Ende des Beobachtungszeitraums auf Ausgangsniveau statt. Zu vermuten wäre, dass eine Verlagerung des Os sphenoidale und des Os zygomaticum nach kaudal bis 85 mm SSL stattfindet, beziehungsweise eine Verlagerung nach kranial dieser Knochen ausbleibt. Eine ausgeprägtere Verlagerung des Os parietale und des Os frontale nach kranial ist weniger wahrscheinlich, da sich die Abstände dieser beiden Knochen zum Os temporale, Pars squamosa und zum Os occipitale gleichmäßig verkleinert haben. Diese Knochen geben keine Indizien zu größeren Lageveränderungen. Da diese Vermessungen hier erstmals durchgeführt wurden, gibt es keine Vergleichsdaten diesbezüglich.

5.4.3 Transversale und vertikale Entwicklung in der Norma frontalis

In der Norma frontalis wurden zusätzlich zu den Größenvermessungen auch neuartige Winkelvermessungen durchgeführt, welche die bevorzugte Wachstumsrichtung der Knochen aufdecken sollen. Nach den Auswertungen der Befunde ist eine gleichmäßige Entwicklung der Mandibula, des Os zygomaticum und des Os frontale in den vermessenen Ebenen herleitbar. Lediglich die Maxilla weist eine geringfügig stärkere Wachstumstendenz nach kranial auf. Eine stärkere Entwicklung der Nasenhöhlen in der vertikalen Ebene (Chatellier et al. 1959, Linder 1960, Kitai et al. 2004) kann dafür verantwortlich sein.

Der innere Orbitaabstand, ausgedrückt durch die Distanz Ormd'-Orms', hat sich im Beobachtungszeitraum von 2 mm auf 6 mm verdreifacht. Nach der hier beobachteten Entwicklungsperiode wird ein konstanter innerer Orbitaabstand bei 10 mm liegend beschrieben (Burdı 1988, Berndt 1997).

Eine etwas höhere maximale transversale Ausdehnung des Os frontale, ausgedrückt durch Frld-Frls, gegenüber der maximalen transversalen Ausdehnung des Mittelgesichts, ausgedrückt durch Zld-Zls und der Orbitaregion, ausgedrückt durch Orld-Orls, ist bei den Befunden auffällig. Die Orbitaregion und das Mittelgesicht nehmen etwa gleichstark von 6 mm auf über 35 mm zu. Die transversale Ausdehnung des Os frontale erhöht sich bis auf 40 mm im Beobachtungszeitraum. Für die stärkere Breitenentwicklung des Neurocraniums gegenüber dem Viscerocranium ist die Gehirnentwicklung verantwortlich zu machen (Enlow 1990). Berndt (1997) hatte bei Föten bis 202 mm SSL festgestellt, dass die maximale transversale Ausdehnung der Orbitaregion dann auch stärker zunimmt als die des Mittelgesichts. Dies deutet darauf hin, dass sich der kaudale Anteil des Gehirns später entwickelt. Der nach kranial zunehmende Abstand der Ossa frontalia zueinander, wie es bei den Aufhellungspräparaten vorliegt, deutet ebenfalls darauf hin. Eine ausgeprägtere Entwicklung des Neurocraniums gegenüber dem Viscerocranium ist bekannt (Enlow 1990, Sadler 2003, Morimoto et al. 2008). Diese Entwicklung kann hier bestätigt werden.

5.4.4 Entwicklung der Hohlräume und der Konkavitäten

Einige konkave Formen des Schädels wurden ebenfalls vermessen. Dazu gehören die Hohlräume der Orbita, die gemeinsame Wölbung der Maxilla mit dem Os zygomaticum sowie die inneren Wölbungen der Mandibula. Diese wurden bei den Befunden auf maximale Tiefe und maximalen transversalen Durchmesser hin untersucht. Die Werte nehmen um das Drei- bis Zehnfache, meistens jedoch um das Vier- bis Achtfache zu. Diese ausgeprägte Streubreite deutet auf eine diskontinuierliche oder individuell sehr unterschiedliche Entwicklung der Konkavitäten hin. Vergleichsdaten zur Bestätigung dieser Beobachtung gibt es in der Literatur nicht.

Die Nasenhöhle wurde auf ihre maximale vertikale, ausgedrückt durch die Distanz Tn-Spa, und ihre transversale Ausdehnung, ausgedrückt durch die Distanz Apd-Aps, hin vermessen. Das hier festgestellte konstante Wachstumsverhältnis zur SSL konnte auch schon von Burdi (1965) beobachtet werden. Im Beobachtungszeitraum haben sich die Werte in der Vertikalebene auf 6 mm erhöht, was auch beim Os nasale der Fall ist. Die anteriore, vertikale, kraniale Gesichtsausdehnung, wiedergegeben durch die Distanz N-Sp', hat auf 10 mm zugenommen, was annähernd auch die vertikale Ausdehnung der Nasenhöhle zusammen mit dem sich in ihr entwickelnden Os nasale wiedergibt. Eine zusammenhängende Entwicklung der Nasenhöhle und der anderen Anteile des Mittelgesichtes wurde schon von Chatellier et al. (1959) und Linder (1960) beschrieben. Wie in der Literaturrecherche aufgeführt, ist vor allem das knorpelige Nasenseptum für eine physiologische vertikale und sagittale Entwicklung der Nasenhöhle wichtig. Dies gilt für den gesamten nasomaxillären Komplex (Schultz 1918, Scott 1953 Howe et al. 2004, Kitai et al. 2004). Die Vermessungen dieser Arbeit bestätigen diese Zusammenhänge.

Die transversalen Vermessungen ergaben einen Anstieg der Werte auf 7,5 mm bis zum Ende des Beobachtungszeitraums. Auch wurde eine gleiche Erhöhung des inneren Orbitaabstandes, ausgedrückt durch die Distanz Ormd'-Orms', registriert. Berndt (1997) hatte Gleiches beobachtet und eine zusammenhängende Entwicklung vermutet. Die physiologische Entwicklung der Nasenhöhle ist demnach auch für die transversale Entwicklung angrenzender Regionen wichtig. Dies wird in der Literatur bestätigt (Schultz 1918, Scott 1953 Howe et al. 2004, Kitai et al. 2004).

5.5 Schlussbetrachtung

Auf die in der Einleitung gestellte Frage, warum weitere Untersuchungen zum pränatalen craniofacialen Wachstum notwendig sind, wird hier noch mal kurz eingegangen. Ein Grund dafür sind sicherlich die unterschiedlichen Ergebnisse der Autoren. Der Diskussion ist zu entnehmen, dass individuelle Entwicklungsunterschiede der Embryos und Föten (Macklin 1914, Lewis 1920, Müller und O’Rahilly 1980, Diewert 1985, Berndt 1997) und die Tatsache, dass Fehlentwicklungen nie ganz ausgeschlossen werden können (Todd 1931), für Abweichungen bei den Resultaten verantwortlich sein können. Die Auswahl der Präparattechnik ist nach Greiner et al. (2007), der keine wesentlichen Unterschiede bei kephalometrischen Vermessungen an Computertomogrammen und Fernröntgenseitenbildern festgestellt hat, weniger ausschlaggebend. Nie ganz auszuschließen sind Ungenauigkeiten bezüglich der Altersbestimmung (Hern 1984). Ein Gesetz der Statistik besagt, dass die Genauigkeit von Ergebnissen mit der Anzahl der Untersuchungsobjekte ansteigt (Müller et al. 2005, PD Dr. Dr. Hopfenmüller). So hat u. a. Kjaer (1990) eine aufwendige Studie der Schädelbasis an 145 Föten durchgeführt. Einerseits kann diese Arbeit als sehr aussagekräftig angesehen werden, andererseits ist ein so hoher Aufwand nicht generell zu erwarten. Ein sorgfältiges Vorgehen sollte jedoch bei allen Forschern vorausgesetzt werden können und kann hier nicht als Grund für Abweichungen bei den Ergebnissen herhalten. Direkte Vergleiche der Arbeiten sind auch durch ungenormte Versuchsaufbauten und unterschiedliche Herangehensweisen der Autoren erschwert. Andererseits ermöglichen gerade unterschiedliche Herangehensmethoden neue Sichtweisen und Erkenntnisse und sind daher wichtig. In den meisten Punkten kephalometrischer Untersuchungen sind sich die Autoren jedoch trotzdem einig. Nach den Gesetzen der Statistik (Müller et al. 2005) steigt dadurch die Wahrscheinlichkeit, dass diese Aussagen dann auch tatsächlich zutreffen. Es werden also noch in Zukunft kephalometrische Untersuchungen nötig sein, um bestehendes Wissen zu festigen, um Kontroversen weiter zu bereinigen und letztendlich um neue Kenntnisse zu erlangen, was vor allem durch Innovationen erreicht wird.

Der Diskussion ist zu entnehmen, dass viele Kenntnisse der Wissenschaft Bestätigung erfahren konnten. Beiträge zur Bereinigung mancher Kontroversen sind ebenfalls Bestand der Debatte. Auch haben die Ergebnisse dieser Untersuchung zu neuen Erkenntnissen geführt. Einige Hypothesen, welche durch weitere Forschungsarbeiten entsprechend gegengeprüft werden sollten, konnten ebenfalls aufgestellt werden.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, Wachstum, lokale Wachstumsunterschiede und Verlagerungen der Schädelgesichtsknochen zu untersuchen. Modifizierte und neue Vermessungstechniken wurden dabei neben den herkömmlichen kephalometrischen Messmethoden nach Broadbent (1937) verwendet.

Benutzt wurden 14 Aufhellungspräparate von 35 mm Scheitel-Steiß-Länge (SSL) bis 150 mm SSL und dreidimensionale computergestützt hergestellte Rekonstruktionen histologischer Serienschnittpräparate von Embryonen und jungen Föten von 19 mm SSL bis 53 mm SSL. Es folgten dann Vermessungen von frontal und lateral. Die lateralen Vermessungen wurden bei den Aufhellungspräparaten zu Kontrolle und zur Erhöhung der Validität beidseitig durchgeführt. Herkömmliche, modifizierte und neue Strecken- und Winkelvermessungen waren dabei Gegenstand der Untersuchungen. Als Bezugsebene diente die SSL.

Ergebnisse:

1. Es waren am Punkt Sqz' gleichermaßen verifizierbare Vermessungen möglich wie am S-Punkt der Schädelbasis.
2. Ein diskontinuierlicher Wachstumsschub bis 65 mm bzw. 85 mm SSL, was der 10. bis 12. Schwangerschaftswoche (SSW) entspricht, wurde oft beobachtet.
3. Ein allometrisches und konstantes Wachstumsverhalten zur SSL war nach 85 mm SSL beziehungsweise ab der 12. SSW für die Längenvermessungen gegeben.
4. Die Größenvermessungen der einzelnen Knochen nahmen im Beobachtungszeitraum etwa doppelt so stark zu wie die Längenvermessungen des gesamten Schädels.
5. In der Zeitspanne von 75 mm bis 120 mm SSL fand bei den meisten Knochen eine Vereinigung statt. Am häufigsten fusionierten sie bei 95 mm SSL.
6. Die Winkelvermessungen veränderten sich im Beobachtungszeitraum kaum, was auf eine frühe Konsolidierung der Schädelgeometrie hinweist.

7. Die Mandibula war zumeist etwas länger und hatte vor allem bis 65 mm SSL (10. SSW) eine höhere Wachstumsrate in der sagittalen Ebene als die Maxilla.

8. Die sagittalen Positionen des Oberkiefers und des Unterkiefers zum Basispunkt Sqz' sind gleichbleibend.

9. Lageveränderungen der Kiefer zueinander waren nicht ersichtlich.

10. Eine Rotation des Unterkiefers nach anterior bis 65 mm SSL (10. SSW) wurde beobachtet. Eine gemeinsame Rotation der Kiefer nach anterior um eine transversale Achse über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg war aus den Vermessungen abzuleiten.

11. Vom Punkt Sqz' aus wurde eine gleichmäßige Entwicklung des Gesichtes nach anterior beobachtet. Dafür sind Wachstumsprozesse und eine Verlagerung der Kiefer nach anterior verantwortlich zu machen.

12. Die Entwicklung des Mittelgesichts nach dorsal vom Punkt Sqz' aus, war noch etwas stärker ausgeprägt als die nach anterior.

13. Die Proportionen zwischen der anterioren vertikalen Gesichtsausdehnung zur posterioren, vertikalen Gesichtsausdehnung bleiben im Beobachtungszeitraum konstant.

14. Eine auffallend starke Vergrößerung des Abstandes zwischen dem Os frontale und dem Os parietale zum Os sphenoidale und zum Os zygomaticum bis 85 mm SSL ist beidseitig zu beobachten. Danach verkleinern sich diese Abstände wieder.

15. Die neuen Winkelvermessungen in der Norma frontalis ergaben eine gleichmäßige Entwicklung der Mandibula, des Os zygomaticum und des Os frontale in den vermessenen Ebenen. Bei der Maxilla wurde eine geringfügig stärkere Wachstumstendenz nach kranial registriert.

16. Eine höhere maximale transversale Ausdehnung des Os frontale, gegenüber der maximalen transversalen Ausdehnung des Mittelgesichts und des äußeren Orbitaabstands lag vor. Der äußere Orbitaabstand und die maximale transversale Ausdehnung des Mittelgesichts nehmen im Beobachtungszeitraum gleichermaßen zu.

17. Die Dimensionen der Hohlräumen bzw. Wölbungen nehmen im Beobachtungszeitraum diskontinuierlich zu.

18. Die Vermessungen der Nasenhöhle ließen eine zusammenhängende Entwicklung mit der vertikalen Entwicklung des Os nasale und der transversalen Entwicklung des inneren Orbitaabstandes vermuten.

7 Summary

The aim of this thesis was to analyse growth, local differences in growth and dislocations of craniofacial bone. Modified and new measurement techniques were applied in addition to conventional cephalometric testing methods according to Broadbent (1937).

Fourteen whole mount preparations ranging from 35 mm to 150 mm crown-rump-length (CRL) and 3D reconstructions of histological serial sections of embryos and fetuses sized 19 mm to 53 mm CRL were used for this study. Frontal and lateral measurements were performed by computer. For reasons of validity and control, the lateral measurements were conducted on both sides of the whole mount specimens. Conventional, modified and new measurements of distances and angles were applied. CRL served as a means of reference plane.

Findings:

1. Equally verifiable measurements were possible at point Sqz' as there are at point S at the base of the skull.
2. A discontinuous growth spurt up to the stages of 65 mm CRL respectively 85 mm CRL was found in most cases, which corresponds to postnatal development in the 10th to the 12th week of pregnancy.
3. From 85 mm CRL or the 12th week of pregnancy respectively, an allometric and constant growth behaviour in comparison to the CRL was found.
4. The increase in size of the single bones was approximately twice as much as the increase in length of the whole skull during the observation period. This is due to the fact, that the bones expand into connective tissue space.
5. The bones primarily joined between 75 mm and 120 mm CRL, which was most frequently observed in stage of 95 mm CRL.

6. The angle measurements hardly changed during the observation period, which points towards an early consolidation of the cranium geometry.
7. The mandible was usually slightly longer and had a higher growth rate in the sagittal plane than the maxilla, especially up to the stage of 65 mm CRL (10th week of pregnancy).
8. The sagittal positioning of the maxilla and the mandible towards the Sqz' base point remained unchanged.
9. Positional changes of the jaws were not apparent.
10. Up to stage 65 mm CRL (10th week of pregnancy) anterior rotation of the mandible was observed. A rotation of both jaws towards the anterior around a transversal axis deduced from the measurements was during the observation period.
11. There was a constant development of the face towards the anterior in relation to point Sqz'. Growth processes and positional changes of the jaws towards the anterior were responsible for this development.
12. The development of the midface in dorsal direction from point Sqz' was slightly more distinct than observed towards anterior.
13. The proportion of the anterior vertical expansion and the posterior vertical expansion of the face remained constant in the observation period.
14. A strikingly strong enlargement of the distance between the frontal and the parietal bones to the sphenoid and to the zygomatic bones can be observed on both sides up to the stage 85 mm CRL. In stages beyond 85 mm CRL, these distances diminish again.
15. The new angle measurements in the norma frontalis showed a continuous development of the mandible, the zygomatic and the frontal bones were in different planes. In the maxilla, a slightly larger growth tendency towards the cranial structure was discovered.
16. There was larger maximum transversal expansion in the frontal bone compared to the maximum expansion of the midface and the distance of orbitae. The distance of orbitae and

the maximum transversal extension of the midface increased to the same extent during the observation period.

17. The dimensions of both, cavities and concavities respectively, discontinuously increase in the observation period.

18. The measurements of the nasal cavities allowed the assumption of a correlated development together with the vertical development of the nasal bone and the transversal development of the distance between the two sites of orbita.

8 Literaturverzeichnis

Amundson, R.: Embryology and evolution 1920 – 1960: worlds apart? *Hist. Philos. Life. Sci.* 22 (3) (2000), 335 – 352

Anagnostoupoulou, S.; Karamaliki, D. D.; Spyropoulos, M. N.: Observations on the growth and orientation of the anterior cranial base in the human foetus. *Eur. J. Orthodont* 10 (1988), 143 – 148

Angle, Edward, H.: The Upper First Molar as a Basis of Diagnosis in Orthodontia. *Dent. Magazine* 1 (1906), 421 – 439

Arey, L. B.: *Developmental anatomy*. W. B. Saunders Company, Philadelphia and London 1954

Bach – Petersen, S.; Kjaer, I.: Ossification of lateral components in the human prenatal cranial base. *J. Craniofac. Gen. and Dev. Biol.* 13 (1993), 76 – 82

Baume, L. J.: Le rôle de l' experimentation en orthodontie. *Rev. Belge sc. Dent* 14 (1959), 567

Baume, L. J.: Principles of cephalometric development revealed by experimental biology. *Am. J. Orthod.* 47 (1961), 881

Baume, L. J.: Ontogenesis of the human temporomandibular joint 1. Development of the condyles. *J. Dent. Res.* 41 (1962), 1327 – 1339

Bardeen, Ch. R.: *Die Entwicklung des Skeletts und des Bindegewebes*. Hirzel Bd. 1, Leipzig 1910

Bareggi, R.; Sandrucci, M. A.; Baldini, G.; Grill, V.; Zweyer, M.; Narducci, P.: Mandibular growth rates in human fetal development. *Arch Oral Biol.* 40 (2) (1995), 119 – 125

Ben-Bassat, Y.; Brin, I.: Skeletal and dental patterns in patients with severe congenital absence of teeth. *Am J. Orthod Dentofacial Orthop.* 135 (3) (2009), 349 – 356

Berndt, U. A.: Kephalometrische Untersuchungen zur pränatalen Craniomorphogenese des Menschen anhand von lateralen und frontalen Fernröntgenaufnahmen menschlicher Feten von 95 – 236 mm SSL. Zahnmed. Diss., FU Berlin 1987

Birch, R. H.: Foetal retrognathia and the cranial base. Angle Orthod. 38 (1968), 231

Björk, A.: The Face in Profile. Sven Tandlak. Tidskr. 40 (1947), 56

Björk, A.: Cranial Base Development. Am. J. Orthod. 41 (1955), 198 – 226

Björk, A.; Skieller, V.: Wachstum und Entwicklung des maxillären Komplexes. Inf Orthod. Kieferorthop. 16 (1) (1984), 9 – 52

Blehschmidt, E.: Mechanische Genwirkungen. Musterschmidt, Göttingen 1948

Blehschmidt, E.: Anatomie und Ontogenesen des Menschen. Quelle & Meyer, Heidelberg 1978

Bollobas, E.: The body and processes of the fetal maxilla. Acta Morphol. Hung. 32 (3-4) (1984), 217 – 230

Böcker, F. W., Becker, R.: Zahnentwicklung und Kieferwachstum. Das deutsche Zahnärztebl. 14/15 (1965), 454 – 462

Bontemps, C.; Cannistra, C.; Hannecke, V.; Michel, P.; Fonzi, L.; Barbet, J. P.: The first appearance of Meckel's cartilage in the fetus. Bull Group Internat. Rech. Sci.. Stomatol. odontol. 43 (3) (2001), 94 – 99

Broadbent, B. H.: A New X – Ray Technique and Its Application to Orthodontia. Angle Orthod. 1 (1931), 45 – 46

Broadbent, B. H.: Bolton Standards and Technique in Orthodontic Practice / The face of the normal child. Angle Orthod. 7 (1937), 183 – 208

Brodie, A. G.: On the Growth Pattern of the Human Head from the Third Month to the Eighth Year of Life. *Am. J. Anat.*. 68 (1941), 209 – 262

Brodie, A. G.: Behavior of normal and abnormal facial growth patterns. *Am. J. Orthod. Oral Surg.* 27 (1941), 663

Brodie, A. G.; Ortiz, M. H.: On the Growth of the Human Head from Birth to the Third Month of Life. *Anat. Rec.* 103 (1949), 311 – 33

Brodie, A. G. Jr.: The Behavior of the Cranial Base and Its Components as Revealed by Serial Cephalometric Röntenograms. *Angel Orthod.* 25 (1955), 148 – 160

Burdi, A. R.: Sagittal growth of the nasomaxillary complex during the second trimester of human prenatal development. *J. Dent. Res.* 44 (1965), 112 – 125

Burdi, A. R.: Cephalometric analyses of the human upper facial region during the last two trimester of gestation. *Am. J. Anat.* 125 (1969), 113 – 122

Burdi, A. R., Silver, R. G.: Sexual differences in closure of the human palatal shelves. *Cleft Palate J.* 6 (1969), 1 – 7

Burdi, A. R.; Lawoton, T. J., Grosslight, J.: Prenatal pattern emergence in early human facial development. *Cleft Palate J.* 25 (1988), 8 – 15

Carey, E.: Studies in the dynamics of histogenesis. *Anat. omical. Record* 19 (1920), 199 – 235

Carranza, M. L.; Carda, C.; Simbrón, A.; Quevedo, M. C.; Celaya, G.; de Ferraris, M. E.: Morphology of the lateral pterygoid muscle associated to the mandibular condyle in the human prenatal stage. *Acta odontol. Latinoam.* 19 (1) (2006), 29 – 36

Caruntu, I. D.; Morarasu, C.; Burlui, V.; Ciobanu, I.: Morphological features in the embryological development of the anterior arch of the mandible. *Rev. Med. Chir. Soc. Med. Nat. Iasi.* 105 (4) (2001), 790 – 794

Chatellier, J.: Le palais ogival est – il développé au détriment des fosses nasales. *Rev. Stomat. Paris* 60, (1959), 444 – 447

Christensen, L. R.; Kjaer, I.; Graem, N.: Comparison of human dental and craniofacial maturation on prenatal profile radiographs. *Europ. J. Orthod.* 15 (2) (1993), 149 – 154

Cirillo, G.; Baldioli, P.; Mazzone, R.; Foggetti, D. R. G.; Zatteri, R.; Rabbia, C.; De Lucchi, R.: Use of nuclear magnetic resonance in cranio – facial pathology. Prelimin. study. *Minerva Stomatol. Italian* 38(3) (1989), 307 – 316

Clara, M.: *Entwicklungsgeschichte des Menschen*. Quelle & Meier, Heidelberg 1949

Coben, S. E.: The Integration of Facial Skeletal Variants. A Serial Cephalometric Roentgenographic Analysis of Craniofacial Form and Growth. *Am. J. Orthod.* 41 (1955), 407 – 434

Davies, P.; Richardson, R. E.: A rigorous comparison of real time and B scan cephalometry. *Br. j. Obstet. Gynaecol.* 88 (1981), 1223 – 1228

DeCoster, L.: Une nouvelle ligne de référence pour l'analyse des télé – radiographies sagittales en orthodontie. *Rev. Stomat.* 11 (1951), 937

Dibbets, J. M. H.: Introduction to the Temporomandibular joint. In: *Facial Growth*, 3rd edition, W B Saunders Company, Philadelphia 1990

Diewert, V. M.: A cephalometric study of orofacial structures during secondary palatal closure in the rat. *Arch Oral. Biol.* 19 (1974), 303 – 315

Diewert, V. M.: Contributions of differential growth of cartilages to changes in craniofacial morphology. In Dixon AD, Sarnat BG (editors): *Factors and mechanisms influencing bone growth*. Alan R Liss, New York 1982, 229 – 249

Diewert, V. M.: A morphometric analysis of craniofacial growth and changes in spatial relations during secondary palatal development in human embryos and fetuses. *Am. J. Anat.* 167 (4) (1983), 495 – 522

Diewert, V. M.: Development of human craniofacial morphology during the late embryonic and early fetal periods. *Am. J. Orthod.* 88 (1) (1985), 64 – 76

Diewert, V. M.; Lozanoff, S.: Growth and morphogenesis of the human embryonic midface during primary palate formation analyzed in frontal sections. *J. Craniofac Gen. and Dev. Biol.* 13 (3) (1993), 162 – 183

Dimitriadis, A. S.; Haritani, K. A.; Antoniadis, K.; Ekonomou, L.: The human skull base angle during the second trimester of gestation. *Neuroradiology* 37 (1995), 68 – 71

Dixon, A. D.: The development of the Jaws. *Dent. Pract.* 9 1958, 10

Dixon, A. D.; Sarnat, B. G.: Normal and abnormal bone growth basic and clinical research. Alan. R. Liss., Inc., New York 1985

Doskocil, M.: Role of cartilage in the development of the mandible in man. *Acta Universitatis Medical Vol. 33, Carolinae* 1988, 437 – 462

Doskocil, M.: Mechanism of the reduction of Meckel's cartilage in man. *Folia Morphol. (Praha)*. 37 (1) (1989), 113 – 118

Dubiel, M.; Krajewski, M.; Pietryga, M.; Tretyn, A.; Breborowicz, G.; Lindquist, P.; Gudmundsson, S.: Fetal biometry between 20-42 weeks of gestation for Polish population. *Ginekol Pol.* 79 (11) (2008), 746 – 753

Duenhoelter, J. H.; Santos, R. R.; Reisch, J. S.: Fetal cephalometry:reliability and error sources. *Arch Gynecol.* 228 (1 – 4) (1979), 170 – 171

Dursy, E.: Zur Entwicklungsgeschichte des Kopfes des Menschen und der höheren Wirbeltiere. H Laupp, Tübingen 1869

Endo, T.; Ozoe, R.; Kojima, K.; Shimooka, S.: Congenitally missing mandibular incisors and mandibular symphysis morphology. *Angle Orthod.* 77 (6) (2007), 1079 – 1084

Enlow, D. H.: *Facial Growth*. 3rd edition, W. B. Saunders Company, Philadelphia 1990

Fell, H. B.: *Skeletal Development in Tissue Culture*, In Bourne, G. H.: *The Biochemistry and Physiology of Bone*. Academic Press 401, New York 1956

Fescina, R. H.: Intrauterine and extrauterine growth of cranial perimeter in term and preterm infants. A longitudinal study. *Am. J. Obstet Gynecol* 15 (1983), 928 – 932

Ford, E. H. R.: Growth of the foetal skull. *J. Anat.* 90 (1956), 63 – 72

Ford, E. H. R.: Growth of the human cranial base. *Am. J. Orthod.* 44 (1958), 498 – 506

Fuchs, H.: Über die Knorpelbildung im Deckknochen, nebst Untersuchungen und Betrachtungen über Gehörknöchelchen, Kiefer und Kiefergelenk der Wirbeltiere. *Arch Anat.* 1 (1909), 1 – 256

Fulton, J. T.: Closure of the human palate in embryo. *Am. J. Obstet Gynecol* 74 (1957), 179 – 182

Furstmann, L.: The early development of the human temporomandibular joint. *Am. J. Orthod.* 49 (1963), 672 – 682

Gaunt, W. A.; Gaunt, P. N.: *Three dimensional reconstruction in biology*. Pitman Medical Publications, London 1978

Giffoni, S. D.; Gonçalves, V. M.; Zanardi, V. A.; Lopes, V. L.: Angular analysis of corpus callosum in 18 patients with frontonasal dysplasia. *Arq Neuropsiquiatr.* 62 (2004), 195 – 198

Goret, N. M.: The mandibular symphysis of the newborn. Histologic and microradiographic study. *Rev. Stomat. Chir Maxillofac. French* 83 (5) 1982, 266 – 272

Goret, N. M.; Dhem, A.: The mandibular body of the human fetus. Histologic analysis of the basilar part. *Anat. Embryol* 169 (3) (1984), 231 – 236

Greiner, M.; Greiner, A.; Hirschfelder, U.: Variance of landmarks in digital evaluations: comparison between CT – based and conventional digital lateral cephalometric radiographs. *J. Orofac. Orthop. English German* 68 (4) (2007), 290 –298

Gross, H.: Histologische Untersuchung über das Wachstum der Kieferknochen beim Menschen. *Dt. Zahnheilkd. Leipzig* 89 (1934), 1 – 70

Harris, J. W. S.: Experimental studies on closure and cleft formation in the secondary palate. *Sci. Basis Med. Ann. Rev.* (1967), 356 – 369

Hasund, A., Jenatschke, F. Norderval, K., Thunold, K., Wisth P. J.: *Klinische Kephalmetrie für die Bergen-Technik.* University of Bergen, Norway 1973.

Hern, W. M.: Correlation of fetal age and measurements between 10 and 20 weeks of gestation. *Obstet. Gynecol.* 63 (1984), 26 – 32

Hinrichsen, N. K.: *Humanembryology* Springer, Berlin 1990

His, W.: *Unsere Körperform.* F C W Vogel, Leipzig 1874

Hoffmann – Axthelm: *Lexikon der Zahnmedizin.* Quintessenz Verlag GmbH, Berlin 1995

Haupt, M. I.: Growth of the craniofacial complex of the human fetus. *Am. J. Orthod.* 58 (1970), 373 – 383

Howe, A. M.; Hawkins, J. K.; Webster, W. S.: The growth of the nasal septum in the 6 – 9 week period of foetal development – Warfarin embryopathy offers a new insight into prenatal facial development. *Aust. Dent. J.* 49 (4) (2004), 171 – 1776

Huibers, M.; Papatsonis, D. N.: Prenatal diagnosis of alobar holoprosencephaly, by use of ultrasound and magnetic resonance imaging in the second trimester. *J. Matern Fetal Neonatal Med.* 1 (2009), 1-3

Humphrey, T.: The relation between human fetal mouth opening reflex and closure of the palate. *Am. J. Anat.* 125 (1969), 317 – 344

Humphrey, T.: The Development of oral and facial motor mechanisms in human fetuses and their relation to craniofacial growth. *J. Dent. Res.* 50 (1971), 1428 – 1441

Iizuka, T.: Stage of the closure of the human palate. *Okajimas Folia Anat. Jpn.* 50 (1973), 249 – 258

Ishimaru, T.: Developmental studies on the palatine bone in the human skull. With special references to the development of its nasal surface. *Hokkaido Igaku Zasshi Jpn.* 59 (1984), 299 – 311

Jäger, A.; Döler, W.; Bockermann, V.; Steinhöfel, N.; Radlanski, R. J.: Anwendung digitaler Bildverarbeitungstechniken in der Kephalemetrie. *Dtsch. Zahnärztl. Z.* 44, München (1989), 184 – 186

Jeffery, N.: A high-resolution MRI study of linear growth of the human fetal skull base. *Neuroradiology* 44 (4) (2002), 358 – 366

Jeffery, N.; Spoor, F.: Ossification and midline shape changes of the human fetal cranial base. *Am. J. Phys. Anthropol.* 123 (1) (2004), 78 – 90

Johnston, L. E.: A cephalometric investigation of the sagittal growth of the second trimester fetal face. *Anat. Rec.* 178 (1974), 623 – 630

Kahl – Nieke, B.: Einführung in die Kieferorthopädie. 2. Auflage, Verlag: Urban & Fischer, München 2001

Kaneta, M.: On the Meckel's cartilage. *Acta Anat. Nipponica* 36 (1961), 539 – 543

Kirsch, T.: Röntgenologische Studie am fetalen Unterkiefer. *Dtsch. Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde* 23 (1955), 5 – 6

Kitai, N.; Iguchi, Y.; Takashima, M.; Murakami, S.; Kreiborg, S.; Kamiji, T.; Takada, K.: Craniofacial morphology in an unusual case with nasal aplasia studied by roentgencephalometry and three – dimensional CT scanning. *Cleft Palate Craniofac. J.* 41 (2) (2004), 208 – 213

Kitamura, H.: *Embryology of the mouth and related structures.* Maruzen Co. Ltd., Toyo 1989

Kier, L.: The infantile sella turcica. *Am. J. Röntgenology, Radium therapy and nuclear medicine* 102 (1968), 747 – 767

Kjaer, I.: Histochemical investigation on the symphysis ment in the human fetus related to fetal skeletal maturation in the hand and foot. *Acta Anat. Basel* 93, (1975), 606 – 633

Kjaer, I.: Formation and early prenatal location of the human mental foramen. *Scand J. Dent. Res.* 97 (1) (1989), 1 – 7

Kjaer, I.: Prenatal skeletal maturation of the human maxilla. *J. Craniofac. Gen. and Dev. Biol.* 9 (3) (1989), 257 – 264

Kjaer, I.: Radiographic determination of prenatal basicranial ossification. *J. Craniofac. Gen. and Dev. Biol.* 10 (2) (1990), 113 – 123

Kjaer, I.: Ossification of the human fetal basicranium. *J. Craniofac. Gen. and Dev. Biol.* 10 (1) (1990), 29 – 38

Kjaer, I.: Human prenatal palatal shelf elevation related to craniofacial skeletal maturation. *Europ. J. Orthod.* 14 (1) (1992), 26 – 30

Kjaer, I.: The development and morphology of the incisive fissure and the transverse palatine suture in the human fetal palate. *J. Craniofac. Gen. and Dev. Biol.* 13 (1993), 24 – 34

Kjaer, I.: Mandibular movements during elevation and fusion of palatal shelves evaluated from the course of Meckel's cartilage. *J. Craniofac. Gen. and Dev. Biol.* 17 (2) (1997), 80 – 85

Kobayashi, S.; Inoue, N.: Radiological observation on the development and growth of the Japanese fetal cranium. *Bull M & D Univ. B, Tokyo* 1961, 165 – 190

Koski, K.: Some Aspects of the Growth of the Cranial Base and the Upper Face. *Odont. Tidskr.* 68 (1960), 344 – 358

Kvinnslund, S.: A preliminary report on the angulous changes of the cranial base in human foetuses. *Det. kgl. Norske. Videnskabers selskaps forhandl.* 40 (1967), 55

Kvinnslund, S.: The sagittal growth of the foetal cranial base. *Acta odontol. Scand.* 29 (1971), 699 – 715

Laing, F. C.; Stevenson, W. M.: Estimating gestational age from biparietal diameter: a simple formula (Letter). *J. US Med.* 5 (1986), 44 – 48

Lee, S. K.; Kim, Y. S.; Lim, C. Y.; Chi, J. G.: Prenatal growth pattern of the human maxilla. *Acta Anat. Basel* 145 (1992), 1 – 10

Lee, S. K.; Kim, Y. S.; Jo, Y. A.; Seo, J. W.; Chi, J. G.: Prenatal development of cranial base in normal Korean fetuses. *Anat. Rec.* 246 (4) (1996), 524 – 534

Lee, S. K.; Kim, Y. S.; Oh, H. S.; Yang, K. H.; Kim, E. C.; Chi, J. G.: Prenatal development of the human mandible. *Anat. Rec.* 263 (3) (2001), 314 – 325

Levihn, W. C.: A cephalometric roentgenographic cross – sectional study of the craniofacial complex in fetuses from 12 weeks to birth. *Am. J. Orthod.* 53 (1967), 822 – 848

Lewis, W. H.: The cartilaginous skull of a human embryo twentyone mm in length. *Contr Embryol. Carneg. Instn.* 9 (1920), 299 – 324

Linder – Aronson, S.: A Comparison between Mouth and Nose Breathers with Respect to Occlusion and Facial Dimensions. *Odont. Revy.* 11 (1960), 343 – 376

Liu, J.; Qi, J.; Zhu, J.; Zhang, L.; Liang, Y.; Ning, Q.; Luo, X.: Effects of Retinoic Acid on the Expressions of Vangl1 and Vangl2 in Mouse Fetuses. *J. Neurogenet.* 15 (2008), 1-12

Lorentowicz – Zagalak, M.; Przystanska, A.; Wozniak, W.: The development of Meckel's cartilage in staged human embryos during the 5th week. *Folia Morphol. (Warsz)* 64 (1) (2005), 23 – 28

Lozanoff, S.; Diewert, V. M.: A computer graphics program for measuring two- and three-dimensional form change in developing craniofacial cartilages using finite element methods. *Comput Biomed Res.* 22 (1) (1989), 63-82

Lozanoff, S.; Deptuch, J. J.: Implementing Boissonnat's method for generating surface models of craniofacial cartilages. *Anat. Rec.* 229(4) (1991), 556-564

Macklin, C. C.: The skull of a human fetus of 40 mm. *Am. J. Anat.* 16 (1914), 317 – 426

Mall, F. P.: On ossification centers in human embryos less than one hundred days old. *Am. J. Anat.* 5 (1906), 433 – 438

Mall, F. P.: Determination of the Age of Human Embryos and Fetuses In *Human Embryologie*. Philadelphia 1910, 180 – 201

Mandarim – de – Lacerda, C. A.; Urania – Alves, M.: Growth allometry of the human face: analysis of the osseous component of the mid and lower face in Brazilian fetuses. *Ann Anat.* 175 (5) (1993), 475 – 479

Martinez, G.; Caltabiano, C.; Leonardi, R.; Caltabiano, M.: Histomorphology of secondary cartilage in human fetal mandibles. *Minerva Stomatol. Italian* 46 (1 – 2) (1997), 39 – 43

Merida – Velasco, J. R.; Rodriguez – Vazquez, J. F.; Merida – Velasco, J. A.; Sanchez – Montesinos, I.; Espin – Ferra, J.; Jimenez – Collado, J.: Development of the human temporomandibular joint. *Anat. Rec.* 255 (1) (1999), 20 – 33

Mestre, J. C.: A cephalometric appraisal of cranial and facial relationships at various stages of human fetal development. *Am. J. Orthod.* 45 (1959), 473

Mjör, I. A.; Fejerskov, O.: Human Oral Embryology and Histology, Development of the mandible. Munksgaard, Copenhagen 1986, 285 – 295

Moffet, B. C.: The morphogenesis of the Temporomandibular joint. *Am. J. Orthod.* 52 (1966), 401 – 415

Mongelli, M.; Chew, S.; Yuxin, N. G.; Biswas, A.: Third – trimester ultrasound dating algorithms derived from pregnancies conceived with artificial reproductive techniques. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 26 (2) (2005), 129 – 131

Mooney, M. P.; Siegel, M. I.; Kimes, K. R.; Todhunter, J.: A test of two midfacial growth models using path analysis of normal human fetal material. *Cleft Palate J.* 26 (2) 1989, 93 – 99

Mooney, M. P.; Siegel, M. I.; Kimes, K. R.; Todhunter, J.: Premaxillary development in normal and cleft lip and palate human fetuses using three – dimensional computer reconstruction. *Cleft Palate Craniofac. J.* 1991 28 (1), 49 – 53

Morimoto, N.; Ogihara, N.; Katayama, K.; Shiota, K.: Three – dimensional ontogenetic shape changes in the human cranium during the fetal period. *J. Anat.* 212 (5) (2008), 627 – 635

Müller, T.; Rost, H.-P.; Wolf, D.: Das große Mathematikbuch. Vemag Verlag, Köln 2005

Müller, F.; O’Rahilly, R.: The human chondrocranium at the end of the embryonic period, with particular reference to the nervous system. *Am. J. Anat.* 159 (1980), 39 – 58

Noback, C. R.; Robertson, G. G.: Sequences of appearance of ossification centers in the human skeleton during the first five prenatal month. *Am. J. Anat.* 89 (1951), 1 – 28

Orliaguet, T.; Darcha, C.; Dechelotte, P.; Vanneuville, G.: Meckel's cartilage in the human embryo and fetus. *Anat. Rec.* 238 (4) 1994, 491 – 497

Pelo, S.; Tassiello, S.; Boniello, R.; Gasparini, G.; Longobardi, G.: A new method for assessment of craniofacial malformations. *J. Craniofac. Surg.* 17 (6) (2006), 1035 – 1039

Radlanski, R. J.; Jäger, A.: Computergestützte 3-D Rekonstruktionen zur Darstellung embryonaler Gestaltentwicklung. *Wiss. Z. Ernst – Moritz – Arndt – Univ. Greifswald* 39 (1990), 68, 69

Radlanski, R. J.; Kjaer, I.; Vastardis, H.; Renz, H.: Morphometric studies on the fetal development of the human mandible. *Fortschr. Kieferorthop.* 55 (2) (1994), 77 – 83

Radlanski, R. J.; Opitz, C.; Berndt, U.: Cephalometric investigations concerning the geometry of the viscerocranium of human anencephalic fetuses. *J. Orofac. Orthop.* 57 (3) (1996), 186 – 193

Radlanski, R. J.; Lieck, S.; Bontschev, N. E.: Development of the human temporomandibular joint. Computer – aided 3D – reconstructions. *Europ. J. Oral Sci.* 107 (1) (1999), 25 – 34

Radlanski, R. J.; Klarkowski, M. C.: Bone remodeling of the human mandible during prenatal development. *J. Orofac. Orthop.* 62 (3) (2001), 191 – 201

Radlanski, R. J.; Renz, H.; Muller, U.; Schneider, R. S.; Marcucio, R. S.; Helms, J. A.: Prenatal morphogenesis of the human mental foramen. *Europ. J. Oral Sci.* 110 (6) (2002), 452 – 459

Radlanski, R. J.: Prenatal craniofacial morphogenesis: four – dimensional visualization of morphogenetic processes. *Orthod. Craniofac. Res.* 6 (2003), 89 – 94

Radlanski, R. J.; Renz, H.; Klarkowski, M. C.: Prenatal development of the human mandible. 3D reconstructions, morphometry and bone remodelling pattern, sizes 12 – 117 mm CRL. *Anat. Embryol.* 207 (3) (2003), 221 – 232

Radlanski, R. J.; Emmerich, S.; Renz, H.: Prenatal morphogenesis of the human incisive canal. *Anat. Embryol.* 208 (4) (2004), 265 – 271

Radlanski, R. J.; Renz, H.; Lajvardi, S.; Schneider, R. A.: Bone remodeling during prenatal morphogenesis of the human mental foramen. *Europ. J. Oral Sci.* 112 (4) (2004), 301 – 10

Radlanski, R. J.; Renz, H.: Genes, forces, and forms: mechanical aspects of prenatal craniofacial development. *Dev. Dyn.* 235 (5) (2006) 19 – 29 / *Orthod. Fench* 78 (4) (2007) 233 – 48

Radlanski, R. J.; Renz, H.: Insular dentin formation pattern in human odontogenesis in relation to the scalloped dentino – enamel junction. *Ann Anat.* 189 (3) (2007), 243 – 250

Richany, S. F.; Bast, T. H.; Anson, B. J.: The development of the first brachial arch in man and the fate of Meckels Cartilage. *Q Bull Northwestern U Med School* 30 (1956), 331 – 355

Ricketts, R. M.; Bench, R. B.; Gugino, C. F.; Hilgers, J. J.; Schulhof, R. J.: Übersetzung und Bearbeitung der deutschen Auflage: Heideborn M. Bioprogressive Therapie, Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg 1988

Rodriguez – Vazquez, J. F.; Merida – Velasco, J. R.; Merida – Velasco, J. A.; Sanchez – Montesinos, I.; Espin – Ferra, J.; Jimenez – Collado, J.: Development of Meckel's cartilage in the symphyseal region in man. *Anat. Rec.* 249 (2) (1997), 249 – 254

Roelfsema, N. M.; Grijseels, E. W.; Hop, W. C.; Wladimiroff, J. W.: Three – dimensional sonography of prenatal skull base development. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 29 (4) (2007), 372 – 377

Rohen, Lütjen – Drecol: Funktionelle Embryologie, Die Entwicklung der Funktionssysteme des menschlichen Organismus, Schattauer, Stuttgart 2002

Romeis, B.: Mikroskopische Technik. Urban Verlag, München; Wien; Baltimore 1989

Rotten, D.; Levailant, J. M.L; Martinez, H.; Ducou le Pointe, H.; Vicaut, E.: The fetal mandible: a 2D and 3D sonographic approach to the diagnosis of retrognathia and micrognathia. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 19 (2) (2002), 122 – 130

Sadler, Thomas, W.: Medizinische Embryologie, Die normale menschliche Entwicklung und ihre Fehlbildungen. Thime, Stuttgart 2003

Sappe, P. C.: Traite d'anatomie descriptive. Librairie de crochard, Paris 1876

Sardi, M. L.; Ventrice, F.; Ramirez, R. F.: Allometries throughout the late prenatal and early postnatal human craniofacial ontogeny. *Anat. Rec.* 290 (9) (2007), 1112 – 1120

Scammon, R. E.; Calcins L. A.: The development and growth of the external dimensions of the human body in the fetal period. University of M Press, Minneapolis 1929

Schultz, A. H.: Relation of the External Nose to the Bony Nose and Nasal Cartilages in Whites and Negroes. *Amer. J. Phys. Anthropol.* 1 (1918), 329 – 338

Scott, J. H.: The growth of the human face. *Proc. Roy. Soc. Med. London* 47 (1954), 91

Scott, J. H.: Craniofacial regions – A contribution to the study of facial growth. *D. Practitioner* 5 (1955), 208 – 214

Sicher, H.: Die Entwicklung des sekundären Gaumen beim Menschen. *Anat. Anz.* 47 (1915), 513 – 523; 545 – 562

Sherwood, T. F.; Mooney, M. P.; Sciote, J. J.; Smith, T. D.; Cooper, G. M.; Siegel, M. I.: Cranial base growth and morphology in second – trimester normal human fetuses and fetuses with cleft lip. *Cleft Palate Craniofac. J.* 38 (6) (2001), 587 – 96

Shih, L.; Trasler, D. G.; Fraser, F. C.: Relation of mandible growth to palate closure in mice. *Teratology* 9 (1974), 191 – 202

Silau, A. M.; Njio, B.; Solow, B.; Kjaer, I.: Prenatal sagittal growth of the osseous components of the human palate. *J. Craniofac. Gen. and Dev. Biol.* 14 (4) (1994), 252 – 256

Simon, P. W.: Grundzüge einer systematischen Diagnostik der Gebissanomalien nebst Darbietung einer neuen Einteilung auf Grund der gnathostatischen Untersuchungsmethoden. Verlag von Herrmann Meusser, Berlin 1922

Sinowatz, F. J.; Seitz, M.; Bergmann, U.; Petzoldt, J. F.: Embryologie des Menschen. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln 1999

Skrzat, J.; Holiat, D.; Walocha, J.: A morphometrical study of the human palatine sutures. *Folia Morphol. (Warsz)*. 62 (2) 2003, 123 – 127

Sperber, Geoffrey, H.: *Embryologie des Kopfes*. Quintessenz, Berlin 1992

Starck, D.: *Embryologie*, Thieme, Stuttgart 1975

Stramrud, L.: External and Internal Cranial Base: A Cross – sectional Study of Growth and of Association in Form. *Acta odontol. Scand*. 17 (1959), 239 – 266

Streeter, G. L.: Weight, Sitting Height, Head Size, Foot Length, and Menstrual Age of the Human Embryo. *Contr. Embryol. Carneg. Instn*. 11 (1920), 143 – 170

Symons, N. B. B.: The Development Of The Human Mandibular Joint. *J. Anat*. 86 (1952), 326 – 333

Symons, N. B. B.: The Attachment Of The Muscles Of Mastication. *Brit. D. J*. 96 (1954), 76 – 81

Toldt, C.: Über die Altersbestimmung menschlicher Embryonen. *Prag Med. Wschr*. 4 (1879), 121 – 40

Todd, T. W.: Orthodontik value of rechearch and observation in development growth of the face. *Angle Orthod*. 1 (1931), 67 – 69

Töndury, G.: On the embryology and pathogenesis of harelip. *Acta Anat*. 11 (1950), 300 – 328

Trenouth, M. J.: Sape changes during human fetal craniofacial growth. *J. Anat*. 139 (1984), 639 – 651

Trenouth, M. J.: Changes in jaw relationships during human fetal craniofacial growth. *Br. J. Orthod*. 12 (1985), 33 – 39

Vacher, C.; Onolfo, J. P.; Lezy, J. P.; Copin, H.: The growth of the maxilla in humans. What place for the premaxilla? *Rev. Stomat. Chir Maxillofac.* 102 (3 – 4) (2001), 153 – 158

Van den Eynde, B.; Kjaer, I.; Solow, B.; Graem, N.; Kjaer, T. W.; Mathiesen, M.: Cranial base angulation and prognathism related to cranial and general skeletal maturation in human fetuses. *J. Craniofac. Gen. Biol.* 12 (1992), 22 – 32

Van der Linden, E.; Burdi, A. R.; De Johngh, H. J.: Critical periods in the prenatal morphogenesis of the human lateral pterygoid muscle, the mandibular condyle, the articular disk, and medial articular capsule. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* 91 (1987), 22 – 28

Van Erum, R.; Mulier, M.; Carels, C.; de Zegher, F.: Short stature of prenatal origin: craniofacial growth and dental maturation. *Europ. J. Orthod.* 20(4) (1998), 417 – 425

Virapongse, C.; Shapiro, R.: Computer tomography in the study of the development of the skull base: 1. Normal morphology. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 9 (1985), 85 – 94

Wendler, D.; Bertolini, R.; Röhner, O.: Die embryonale Entwicklung des Canalis mandibulae beim Menschen. *Sympos Oral – Anat.* 1, Rostock 1990

Woo, J. K.: Ossification and growth of the human maxilla, premaxilla and palate bones. *Anat. Rec.* 105 (1949), 737 – 761

Wragg, L. E.; Klein, M.; Steinvorth, G.; Warpeha, R.: Facial growth accommodating secondary palate closure in rat and man. *Arch Oral Biol.* 15 (8) (1970), 705 – 719

Zaidi, S.; Shehzad, K.; Omair, A.: Sonographic foetal measurements in a cohort of population of Karachi. *Pakistan. J. Pak. Med. Assoc.* 59 (4) (2009), 246 – 249

Zangemeister, W.: Die Altersbestimmung des Fötus nach graphischer Methode. *Z Geburtsh. Gynäk.* 69 (1911), 127 – 142

Zuckermann, S.: Age Changes in the Basicranial of the Human Skull. *Am. J. Phys. Anthropol.* 13 (1955), 521

Zumpano, M. P.; Richtsmeier, J. T.: Growth – related shape changes in the fetal craniofacial complex of humans (*Homo sapiens*) and pigtailed macaques (*Macaca nemestrina*): a 3D – CT comparative analysis. *Am. J. Phys Anthropol.* 120 (4) 2003, 339 – 351

9 Danksagung

Meine Danksagung gilt in erster Linie Herrn Prof. Dr. Dr. Ralf J. Radlanski. Er hat mir das Thema dieser Dissertation überlassen und den Weg zum wissenschaftlichen Arbeiten bereitet. Seine Hilfsbereitschaft, Freundlichkeit und Geduld haben mir geholfen, die richtige Einstellung und Motivation zu erhalten, die zur Bewältigung einer Doktorarbeit nötig sind. Auch seine Sekretärin, Frau Beate Lion, möchte ich für ihre Zuvorkommenheit dankend erwähnen.

Weiterhin danke ich Gazmend Ismaili. Er ist System- und Datentechniker und stand mir bei technischen Fragen und Problemen immer gerne mit Rat und Tat zur Seite.

Herrn Dr. rer. nat. Herbert Renz möchte ich dafür danken, dass er mir bei computertechnischen Fragen speziell zum Thema geduldig die richtige Richtung gewiesen hat.

Frau Barbara Danielowski und Frau Irene Schwarz danke ich dafür, dass sie mir bei der Zusammenstellung der 3D-Rekonstruktionen der Serienschnittpräparate geholfen haben.

Einen herzlichen Dank auch an die Universität Turku in Finnland, speziell an die verantwortliche Kooperationspartnerin Frau K. Heikinheimo., PD der Abteilung: Oral and Maxillofacial Surgery. Von dort stammen die Aufhellungspräparate.

Herr PD Dr. Dr. W. Hopfenmüller hat mir bei einem Gespräch die Grenzen des statistisch Machbaren gewiesen. Dafür möchte ich ihm danken.

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Erklärung

„Ich, Agron Gruda, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Herkömmliche, modifizierte und neue Messmethoden zur kephalometrischen Untersuchung der pränatalen craniofacialen Morphogenese des Menschen anhand von bilateralen und frontalen Darstellungen von 3D-Rekonstruktionen und von Aufhellungspräparaten menschlicher Embryonen und Föten von 19 mm SSL bis 145 mm SSL, selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Berlin, den

14 April 2010



(Agron Gruda)