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

Über das Wachstum des Clivus
Röntgenkephalometrische Streckenmessungen an 173 Schädeln

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Markus Schopf
aus Frankfurt am Main

Marburg, 2012

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

Referent: Prof. Dr. J.M.H. Dibbets
Korreferent:

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis
1. Einführung....5
1.1. Definition der Begriffe....6
1.2. Die Wachstumstheorien....6
1.3. Die Schädelbasis....11
1.3.1. Das Wachstum der Schädelbasis....11
1.3.2. Das Wachstum der Synchondrosis spheno-occipitalis....12
1.3.3. Das Wachstum der Pars basilaris des Os occipitale....13
1.3.4. Das Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus....13
1.4. Darstellungen des Wachstums....13
1.5. Ziel der Arbeit....17
2. Material und Methoden....19
2.1. Material....19
2.1.1. Röntgenbilder, Durchzeichnungen und kephalometrische Messungen....19
2.1.2. Überlagerung von Grafiken....21
2.2. Methoden....24
2.2.1. Messmethoden....24
2.2.2. Anatomische Übersicht....25
2.2.3. Definition der anatomischen Messpunkte und Strukturen....27
2.2.4. Übersicht über die Messlinien und die konstruierten Punkte....29
2.2.5. Altersbestimmung....34
2.2.6. Geschlecht....36
2.2.7. Statistische Methoden....37
2.2.7.1. Bildung von Altersklassen und Berechnung von Mittelwerten....38
2.2.7.2. Streudiagramme....39
2.2.7.3. Boxplots....40
2.2.8. Methodenfehler....42
3. Ergebnisse....43
3.1. Methodenfehler der Zeichnungen nach Dahlberg....43
3.2. Graphische Darstellung der Streckenlängen....44
4. Diskussion....70
4.1. Betrachtung des Materials....70
4.2. Betrachtung der Methoden....71
4.2.1. Betrachtung der Durchzeichnungen....71
4.2.2. Betrachtung der anatomischen und der konstruierten Punkte und Strecken....71
4.2.3. Betrachtung der Wachstumskurven....71
4.3. Betrachtung der Ergebnisse der Pars basilaris des Os occipitale....72
4.3.1. Pars basilaris des Os occipitale....72
4.3.1.1. Die vertikale Ebene....73
4.3.1.2. Die horizontale Ebene....77
4.3.1.3. Zusammenfassung des Wachstums der Pars basilaris des Os occipitale....77
4.3.2. Der sphenoidale Teil des Clivus....78
4.3.2.1. Der Körper und der Sinus des sphenoidalen Anteil des Clivus in der vertikalen Ebene....79
4.3.2.2. Die horizontale Ebene....84
4.3.2.3. Die Sella turcica....86

4.3.2.4. Zusammenfassung des sphenoidalen Anteils des Clivus....88
4.4. Der Clivus als Gesamtstruktur....89
4.4.1. Das Längenwachstum....89
4.4.2. Die Abknickung der Schädelbasis....96
4.4.3. Die Synchondrosis spheno-occipitalis....99
5. Zusammenfassung....104
5.1. Summary....106
6. Literaturverzeichnis....108
7. Anhang Boxplots....116
7.1. Boxplots der Strecke a....116
7.2. Boxplots der Strecke b....117
7.3. Boxplots der Strecke c....118
7.4. Boxplots der Strecke d....119
7.5. Boxplots der Strecke e....120
7.6. Boxplots der Strecke f....121
7.7. Boxplots der Strecke g....122
7.8. Boxplots der Strecke h....123
7.9. Boxplots der Strecke i....124
7.10. Boxplots der Strecke j....125
7.11. Boxplots der Strecke k....126
7.12. Boxplots der Strecke l....127
7.13. Boxplots der Strecke n....128
7.14. Boxplots der Strecke o....129
7.15. Boxplots der Strecke Basion - Sella....130
8. Anhang Extrapolationen....131
8.1. Extrapolation der Strecke a....131
8.2. Extrapolation der Strecke b....132
8.3. Extrapolation der Strecke c....133
8.4. Extrapolation der Strecke d....134
8.5. Extrapolation der Strecke e....135
8.6. Extrapolation der Strecke f....136
8.7. Extrapolation der Strecke Basion bis Sellamitte....137

1. Einführung

Als Clivus wird die dorsal abfallende knöcherne Struktur bezeichnet, die die vordere von der hinteren Schädelgrube trennt. Der Clivus besteht aus zwei Teilen. Der untere Anteil wird von der Pars basilaris des Os occipitale gebildet, der obere vom Corpus des Os sphenoidale. Dabei steht der Clivus in direkter Nachbarschaft zu mehreren wichtigen anatomischen Strukturen. Die Pons schmiegt sich dorsal an die Pars basilaris des Os occipitale und an den Corpus des Os sphenoidale an. Die ventrale Seite der Pars basilaris grenzt an die Tonsilla pharyngea. Der präfrontale Kortex lagert sich dem kranialen Anteil des Os sphenoidale auf, das wiederum mit der Sella turcica die Hypophyse umschließt.
Der Clivus hat als knöcherne Struktur des mittleren Schädels mehrere wichtige Aufgaben. Er dient als räumliche Trennung von Hirn und Rachenraum. Zudem unterstützt er neuronale Strukturen und hat somit eine Schutzfunktion. Auch sorgt er als Pfeiler im mittleren Schädelanteil für Stabilität. Weiterhin werden Anteile des Clivus (dazu zählen insbesondere Basion und Sella) im Rahmen kephalometrischer Untersuchungen als diagnostische Landmarken genutzt.

Die zentrale Lage des Clivus stellt dabei ein Wachstumselement des Mittelgesichts dar. Die Synchondrosis spheno-occipitalis wurde von vielen Wissenschaftlern in ihrem Wachstumsverhalten untersucht. Der Umgebung um die Synchondrosis spheno-occipitalis herum wurde aber deutlich weniger Aufmerksamkeit gewidmet, und so existieren im Schrifttum nur wenige Arbeiten über die postnatalen Form- und Größenänderungen der Clivusregion. Um die in früheren Arbeiten gewonnenen Daten interpretieren zu können erscheint es sinnvoll, im Vorfeld einheitliche Definitionen zu schaffen. Die meisten Wachstumsprozesse bauen Knochen zielgerichtet um. Mikroskopisch betrachtet, wird zum einen Knochen aufgebaut, wobei Osteoblasten die kollagene Matrix synthetisieren und dessen Kalzifizierung überwachen - man nennt das Deposition. Zum anderen werden aber auch knöcherne Strukturen durch die Osteoklasten aufgelöst und abgetragen - man nennt das Resorption.

Ohne die gezielte Knochenabtragung werden Knochen in ihren Umbauprozessen

stark gehemmt. Dieses Phänomen wird sogar therapeutisch genutzt, um Knochenabbau zu verhindern. Die Behandlung mit Bisphosphonaten wird gegen Knochentumore und Osteoporose erfolgreich eingesetzt [Bartl et al (2006)] und basiert hauptsächlich auf der Osteoklastenhemmung. Knochen ist also ein dynamischer Strukturkörper, welcher Auf-, Um- und Abbauprozessen unterliegt. Häufig wurde in wissenschaftlichen Arbeiten auch das Wachstum der Schädelbasis gesunder Menschen mit dem von Erkrankten verglichen. Entwicklungsstörungen, wie das Down-Syndrom, beeinflussen das Wachstum (Niessen, 2001). Dabei stellt sich die Frage, in wie weit die Form des Knochens genetisch definiert ist und welche Einflüsse Weichgewebe, wie das Gehirn, auf die Formgebung des Knochens haben.

1.1. Definition der Begriffe

Es gibt viele Wachstumstheorien, auf die im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen wird. Aber selbst die Definition des Begriffs „Wachstum“ an sich ist in Fachtexten uneinheitlich gebraucht worden, was an unterschiedlichen Theorien oder den Ansichten der Autoren liegen kann. In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse im Hinblick auf die Wachstumstheorien nach Moss bzw. Enlow, welche im nachfolgenden Text erörtert werden, betrachtet.

1.2. Die Wachstumstheorien

Im Schrifttum finden sich eine größere Anzahl von Theorien und Erklärungen über Wachstumsprozesse, wobei unterschiedlichen anatomischen Strukturen zentrale Bedeutung zugewiesen wird.

Die Theorie der funktionellen Matrix wurde von Moss aufgestellt. Er erörtert seine Theorie in mehreren Arbeiten, Moss (1964) und Moss und Salentijin (1969). Er unterscheidet dabei zwei funktionelle Matrizes.

- Die periostale funktionelle Matrix ist dadurch gekennzeichnet, dass verbundene knöcherne Gewebe durch Apposition und Resorption in ihrer Form verändert werden. Aus diesen Veränderungen ergibt sich eine direkte Formveränderung des Knochens. Der Knochen verändert also, begünstigt durch die physiologischen Faktoren, eigenständig seine Form, ohne dass

dabei genetische Faktoren eine direkte Rolle spielen „...there are no genes for bones...“ (Moss-Salentijn, 1997). Weiterhin schreibt Moss: „Let us summarize now the principal differences between the two types of functional matrices. The proof of these assertions is given subsequently.

- 1. Periosteal matrices act directly on microskeletal units. They do so primarily by the processes of osseous deposition or resorption, or by effecting peri- or enchondral accretionary growth processes. They produce changes only in the size and shape (form) of their specific microskeletal units. We call such growth processes transformations.“ (Moss ML, 1971)

  Im Grunde bezieht sich Moss hier auf die periostalen Matrizes, die er für die Veränderungen von Größe und Form verantwortlich macht. Diese Matrices bewirken durch die Anfügung und Resorption von knöchernem Material eine Veränderung des Knochens. Diese Veränderungen betreffen nur einen kleinen Teil des Skeletts, daher bezeichnet er sie als mikroskelettal.

- 2. Capsular matrices act directly on macroskeletal units, or more properly, on entire functional components, which happen to be embedded completely within a specific capsule (neurocranial, orbital, orofacial). They do not act by the processes of osseous deposition or resorption, nor by affecting cartilage directly. They do not alter the shape or size of the skeletal units, but they do change their location in space. Such growth processes are called translations.“ (Moss ML, 1971)

  Moss fasst, abhängig von der Funktion, Strukturen zu einer sogenannten kapsulären Matrix zusammen. Diese Matrices betreffen somit einen größeren, der einzelnen Struktur übergeordneten Funktionsraum, wie z.B. den Gehirnschädel. Durch die Matrix wird eine Veränderung der Position verursacht, es wird kein Einfluss auf das Wachstum, die Größe oder die Form des Knochens genommen.

Enlow stellte 1968 seine Theorie des äquivalenten Wachstums vor, welche in seinem „Handbook of facial growth (1990)“ erörtert wird. Enlow bezeichnet diese, sich beeinflussenden Teile mit dem Begriff „Counterpart“, was sinngemäß „gleichwertiges Gegenstück“ bedeutet. Wachstum in einer dieser Gegenstücke hat die Beeinflussung der benachbarten Zonen zur Folge. Es herrscht dabei ein Gleichgewicht zwischen den einzelnen Segmenten, weil sie sich gegenseitig beeinflussen. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Wachstumsmechanismen in den verschiedenen Segmenten voneinander.
Enlow verwendet in seinem Buch verschiedene Begriffe, welche auch in dieser Arbeit Verwendung finden und anhand unterschiedlicher Zeichnungen der Mandibula erläutert werden sollen. In den Zeichnungen wird die Wachstumsrichtung durch einen Pfeil markiert. Der Knochen in seiner Ausgangssituation wird mit Hilfe einer Schraffur dargestellt. Der graue Knochen zeigt das Endresultat an. Um die Qualität des Wachstums wiedergeben zu können, wird Knochenaufbau durch ein „+“ und Knochenabbau durch ein „–“ dargestellt (siehe Abb. 1.1.).

Remodeling

Unter Remodeling ist die Apposition und Resorption eines Knochens zu verstehen, wobei Apposition und Resorption Wachstumsprozesse darstellen. Knochenmaterial wird zur bestehenden knöchernen Struktur hinzugefügt oder von der vorhandenen Struktur abgetragen. Jede Formveränderung eines Knochens ist auf Umbauprozesse zurückzuführen, die aus der Substanzanlagerung und dem Substanzabtrag bestehen Somit stellt das Remodeling einen Wachstumsmechanismus dar.
Dabei kann bestimmtes Knochenmaterial, das einer anatomischen Struktur des Knochens zugeordnet wurde, später zu einer anderen anatomischen Struktur des Knochens gehören. Remodeling wird nötig, weil der Knochen im Wachstum nicht einfach größer skaliert werden kann, denn die Formveränderung und die Verlagerung haben auch funktionelle Bedeutung. Durch Remodeling wird sowohl das äußere Erscheinungsbild als auch die innere Struktur des Knochens geprägt.

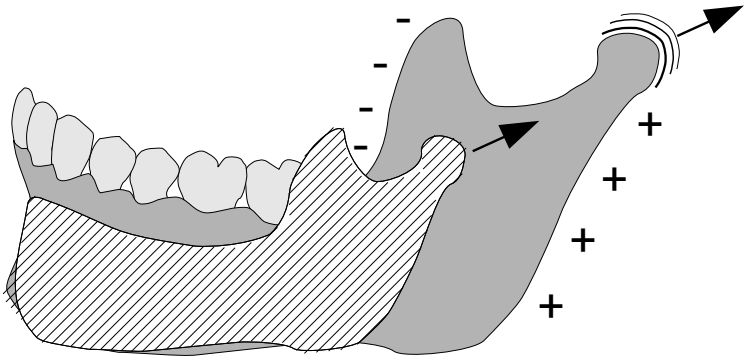


Abbildung 1.1.

Skizze des Remodelings der Mandibula. (nach Enlow [1990]). Die schraffierte Knochenstruktur stellt die Ausgangssituation, die graue Knochenstruktur die Endsituation dar. Die + Symbole stehen für den Knochenapposition, die – Symbole für den Knochenabtrag. Die Pfeile verdeutlichen mit den Konturlinien die Wachstumsrichtung.

Relocation

Während des Wachstums werden die einzelnen Anteile eines Knochens in ihrer relativen Position „bewegt“. Diese Bewegung wird durch den Begriff Relocation gekennzeichnet und wird durch Remodeling ermöglicht. Relocation ist somit die Verlagerung einer Teilstruktur des Knochens durch Anlagerung an der einen und Resorption auf der anderen Seite. Dabei treten auch Volumenveränderungen der von der Relocation betroffenen Struktur auf. Somit ist Relocation ein Wachstumsmechanismus.

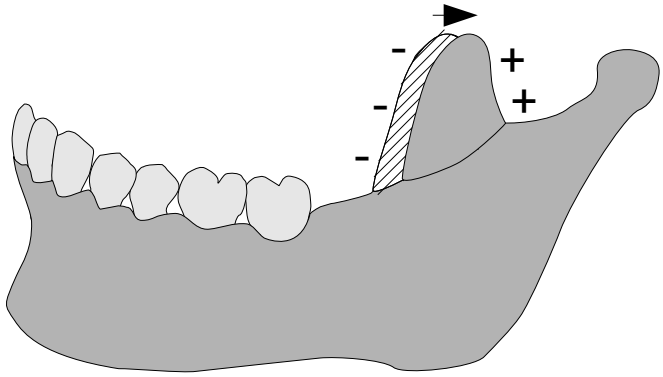


Abbildung 1.2.

Skizze der Relocation des Processus coronoideus (nach Enlow [1990]). Die schraffierte Knochenstruktur stellt die Ausgangssituation, die graue Knochenstruktur die Endsituation dar. Die + Symbole stehen für den Knochenapposition, die – Symbole für den Knochenabtrag. Der Pfeil verdeutlicht die Wachstumsrichtung.

Displacement

Wächst ein Knochen, vergrößert er sich und schiebt sich selbst damit in eine andere Position. Dies wird als primäres Displacement verstanden. Aber auch die Nachbarstrukturen beeinflussen durch ihr Wachstum die Position des Knochens. Dies wird mit dem Begriff „sekundäres Displacement“ beschrieben.

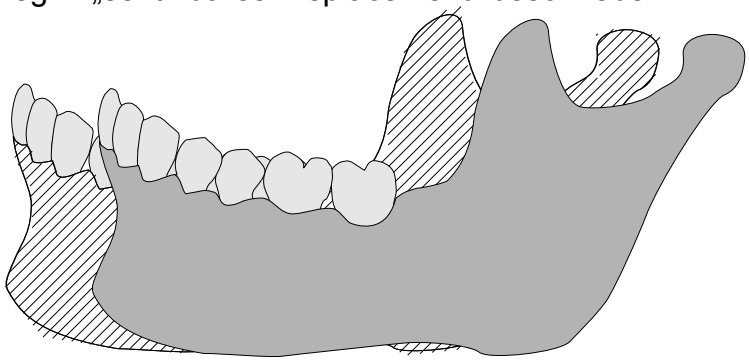


Abbildung 1.3.

Skizze des Displacements der Mandibula (nach Enlow [1990]). Die graue Knochenstruktur stellt die Ausgangssituation, die schraffierte Knochenstruktur die Endsituation dar, wobei ein Displacement nach ventral stattfindet.

Ein Aspekt, welcher viele Autoren beschäftigt, ist die Frage, wo Wachstum stattfindet. Letzten Endes hängen Wachstumsrichtung und Ausmaß eines Wachstumsprozesses immer von den gewählten Referenzpunkten ab. Dabei sollten die Referenzpunkte möglichst präzise bestimmbar sein, um Fehler möglichst gering zu halten. Alle Aussagen über die Wachstumsrichtung und über das Ausmaß des Wachstums hängen ganz oder zumindest teilweise davon ab.

1.3. Die Schädelbasis

Nach der Erörterung der Grundlagen des Wachstums und Erläuterung der verwendeten Begriffe soll kurz auf die speziellen Gegebenheiten im Bereich der Schädelbasis eingegangen werden. Über das Wachstum der Schädelbasis existieren eine Vielzahl von Publikationen, während nur wenige Untersuchungen den Clivus betreffen.

1.3.1. Das Wachstum der Schädelbasis

Die Schädelbasis wurde in vielen wissenschaftlichen Arbeiten untersucht (Arat et al

[2001], Axelsson et al. [2004], Baer und Nanda [1977], Bishara und Jacobsen [1985], Björk [1955], Gilda [1974], Harnet et al. [2004], Henneberke und Prahl-Andersen [1994], Hoyte [1971], (Untersuchung an Schweinen), Israel [1973], King [1952], Koski [1960], Lang und Issing [1989]), darunter die Abmessungen des Clivus, aber auch die Sella turcica.

Auch Winkelmessungen, wie die von Ford (1958), sind oft Gegenstand wissenschaftlicher Erörterungen. Dibbets (1980) stellte die Frage, in wie weit das Wachstum der Schädelbasis von anderen Faktoren abhängig ist. Zu den beeinflussenden Faktoren können sowohl das Gehirn als auch der Pharyngealraum gerechnet werden. Baer und Nanda (1977) fragten sich, warum Teile der Schädelbasis ein skelettales Wachstumsmuster aufweisen. Schließlich wurden Teile der Schädelbasis entweder dem skelettalen oder dem neuronalen Wachstumsmuster zugeordnet. Das skelettale Wachstumsmuster ist durch das Wachstum des Skeletts charakterisiert. Im Gegensatz zu dem neuronalen Muster, welches durch das Wachstum von Gehirngewebe charakterisiert wird, stagniert das skelettale Wachstum deutlich später. Enlow (1990) sieht in dem Bereich der Schädelbasis ein gegenseitiges Displacement der Knochen, was dazu führt, dass sich die Knochen in ihrem Wachstum in Abhängigkeit zueinander anpassen. Zudem beschreibt er ein dorsales Remodeling am Os sphenoidale.

1.3.2. Das Wachstum der Synchondrosis spheno-occipitalis

Die Synchondrosis spheno-occipitalis ist in so weit interessant, als sie von manchen Autoren als Träger des Längenwachstums des Clivus angesehen wird, z.B. von Baume (1957).

Melsen (1974) beschrieb Veränderungen der Synchondrosis spheno-occipitalis mit Hilfe von Autopsieuntersuchungen. Sie stellte fest, dass die Synchondrosis spheno-occipitalis zuerst an der endokranialen Seite verknöchert.

Zudem gibt es eine große Bandbreite an wissenschaftlichen Arbeiten, welche den Verknöcherungszeitpunkt untersuchen (Adams und Harkness [1977], Baer und Nanda [1977], Björk [1955], Melsen [1974], Meneses [1994], Moss und Salentijin [1969] sowie Powell und Brodie [1963]). Dabei ist die Streuung der Ergebnisse in den Arbeiten relativ groß. Sie reicht von einer Verknöcherung mit 13 bis 14 Jahren in der

Arbeit Madeline und Elster (1995) bis 24 Jahren Björk (1955), wobei Axelsson et al. (2004) einen Abwärtstrend in der Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis in den wissenschaftlichen Arbeiten ausmachten. In der jüngeren Literatur wird ihrer Ansicht nach eine frühere Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis beschrieben als Björk sie angibt. Über die Rolle während des Wachstums stellte Koski (1968) detailierte Überlegungen an. Dabei stellte sich die Frage, wie das Wachstum der Synchondrosis spheno-occipitalis die Nachbarstrukturen beeinflusst und ob das Längenwachstum der Schädelbasis einzig und allein davon abhängig gemacht werden kann.

1.3.3. Das Wachstum der Pars basilaris des Os occipitale

Das Os occipitale liegt sowohl dem Gehirn als auch dem Pharyngealraum an. Diese Tatsache ist in soweit interessant, als diese Strukturen ein unterschiedliches Wachstum zeigen. Hallmeyer (2008) fand, dass das Wachstum der Pars basilaris des Os occipitale früher stagniert als das Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus.

1.3.4. Das Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus

Das Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus hält laut Hallmeyer (2008) deutlich länger an als das Wachstum des Os occipitale. Die anatomische Nachbarschaft zum Pharyngealraum und zum Gehirn, aber auch zur Hypophyse und zum Chiasma opticum, macht den sphenoidalen Anteil des Clivus zu einer interessanten Struktur.

1.4. Darstellungen des Wachstums

Die Schulmedizin führte die ersten gut dokumentierten Untersuchungen über das menschliche Wachstum vor etwa 150 Jahre durch. Sie löste die Naturheilkunde in den folgenden Jahrzehnten allmählich ab. Die evidenzbasierte Forschung nahm an Bedeutung zu. Eines der Bücher, welches sich mit den Proportionen des Menschen beschäftigt, wurde von Windle (1892) verfasst. Er analysierte die menschlichen Proportionen im Hinblick auf die Wissenschaft und die Kunst und verwendete folgende Grafik (siehe Abb. 1.4.1.), welche die Veränderungen der proportionalen

Verhältnismäßigkeiten zeigt. Aus dieser Grafik wird auch deutlich, dass wir wie große Kinder, nicht aber wie ein erwachsener Mensch aussehen würden, wenn sich die proportionalen Verhältnisse nicht verändern würden.

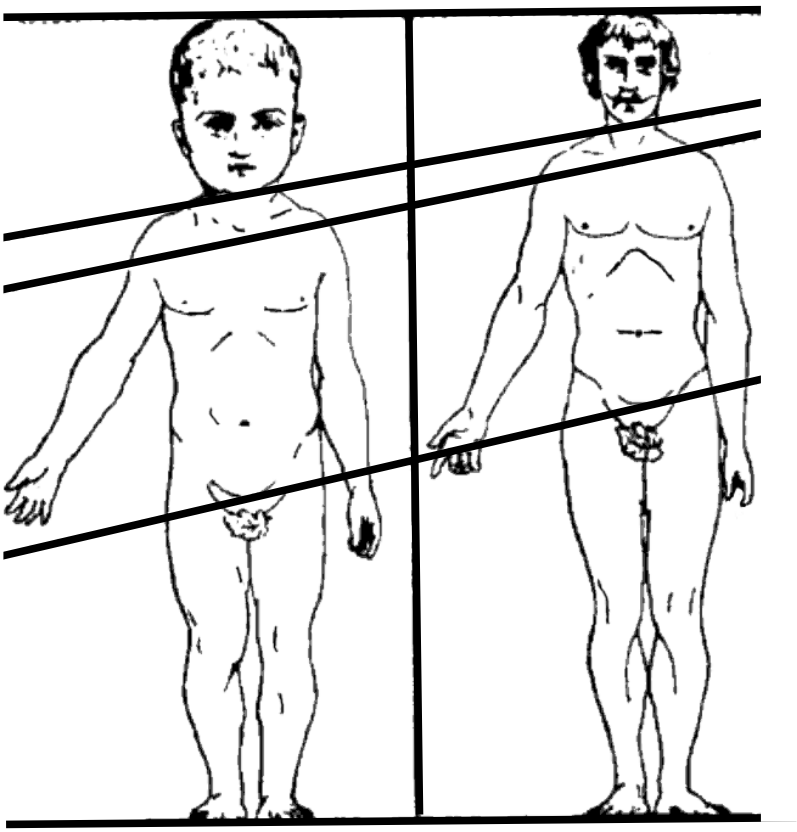


Abbildung 1.4.1. Die unterschiedlichen Proportionen von einem Kind und einem Erwachsenen bei Darstellung gleicher Körpergröße (nach Lange), modifizierte Zeichnung nach: The Proportions of the Human Body, Windle (1892).

Im Laufe der wissenschaftlichen Untersuchungen wurden zahlreiche Wachstumskurven aufgestellt. Die erste große Untersuchung über Wachstum von Kindern wurde um 1893 von Key durchgeführt. Dabei wurden 18.000 Schulkinder in Schweden untersucht [zit. in Stratz (1923)]. Stratz (1923) untersuchte an 60 Kindern das Größenwachstum und verglich seine Daten mit denen von Key (aus dem Jahr 1893) und Lange (aus dem Jahr 1903). Er stellte fest, dass seine Daten nur geringe Unterschiede zu denen von Key und Lange aufwiesen: „Im großen und ganzen zeigen die drei Zahlenreihen viel Übereinstimmung, so besonders auch in dem stärkeren Wachstum der Mädchen zwischen dem 11. und 15. Jahre."

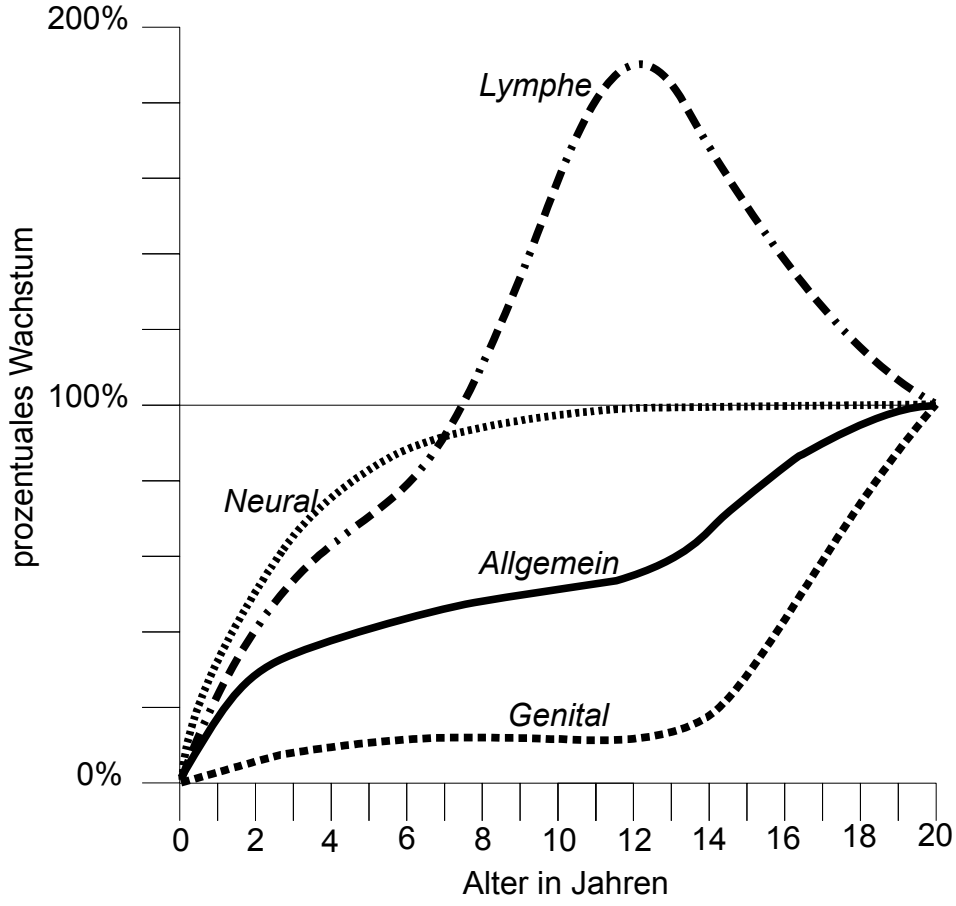


Abbildung 1.4.2. Die Wachstumskurven nach Scammon von 1930. Quelle: Aus dem Kapitel: „The measurement of the body in childhood" aus: Harris et al. (1930).

Auch Scammon (1930) untersuchte das Wachstum von Menschen im Kindes- bis ins Erwachsenenalter und fasste seine Ergebnisse 1930 in gewebsspezifischen Wachstumskurven zusammen (siehe Abb. 1.4.2.), welche für viele wissenschaftliche

Untersuchungen bedeutend waren: „With this research the scientific and medical world gained its first accurate understanding that in terms of chemical composition. The organic body is not a closed system. It receives and liberates materials constantly.“ (aus Scammons "Introduction" to Boyd, 1980); 1980, zit. In Bogin 1999). Bei seinen Untersuchungen zeigte sich, dass das Wachstum des Gehirns früher beendet wird als das Wachstum des Skeletts. Baer und Harris (1969) beziehen sich im Hinblick auf die unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten ebenfalls auf die Grafik von Scammon (siehe Abb. 1.4.2.). Sie wollten damit auf das charakteristische Wachstum der einzelnen Strukturen aufmerksam machen. Dieser deutliche Unterschied wird auch aus der nachfolgenden Abbildung ersichtlich, wobei die Datensätze der Centers for Disease Control and Prevention (CDC) und Dekaban et al. (1978) in einer Grafik zusammengefasst wurden. Die Centers for Disease Control and Prevention sind Behörden, welche dem Gesundheitsministerium in den USA unterstellt sind. Sie übernehmen die gesundheitliche Überwachung der amerikanischen Bevölkerung und erheben auch Statistiken über die Körpergröße der Bevölkerung während des Wachstums. Diese Messungen sind online verfügbar (siehe unter: www.cdc.gov) und stammen aus dem Jahr 2000. Aktuelle Daten über das Wachstum des Gehirns stammen von Dekaban et al. (1978). Diese Autoren erfassten das Wachstum des Gehirns über Gewichtsmessungen. Sie verwendeten für ihre Untersuchungen die Gehirne von 2773 Männern und 1963 Frauen. Aus der Abbildung 1.4.3. wird ersichtlich, dass mit ca. 9 bis 10 Jahren das Gehirngewicht nicht mehr deutlich zunimmt. Damit ist auch das Wachstum des Gehirns nahezu abgeschlossen.

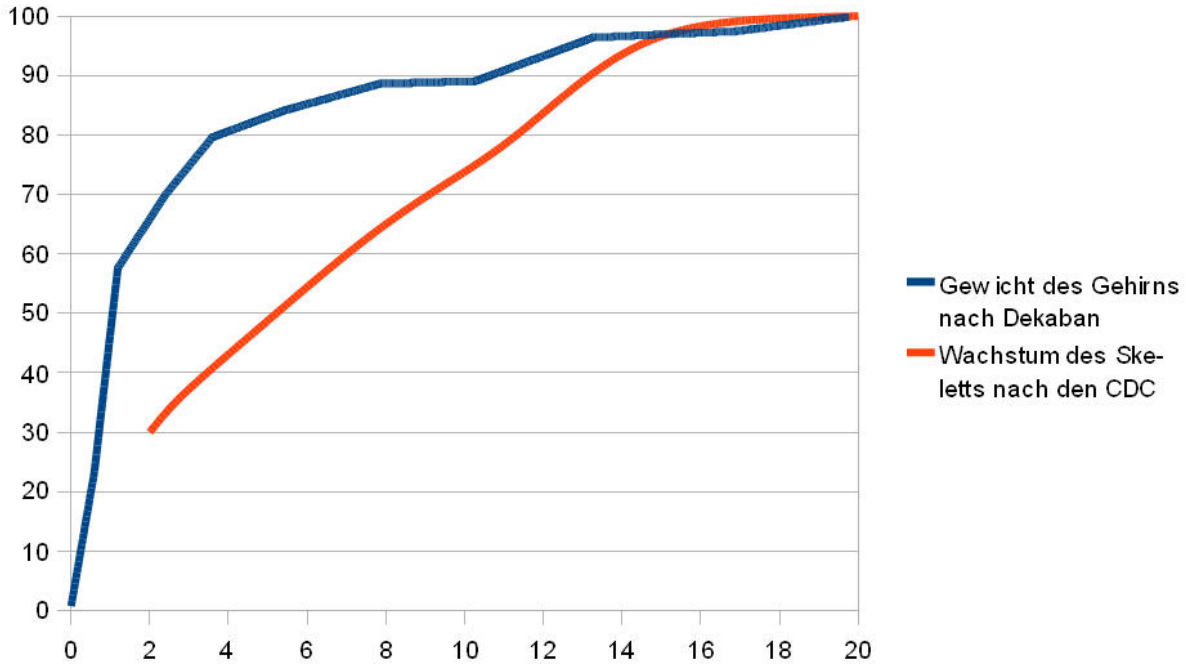


Abbildung 1.4.3. Berechnete relative Kurve für das neuronale Wachstum (Gewicht) von (Dekaban et al. 1978) und relative Kurve der Körperlänge (skelettales Wachstum) nach den CDC (2000).

Auf der x-Achse ist das Alter in Jahren zu sehen, die Skalierung reicht von der Geburt bis in das Erwachsenenalter von 20 Jahren. Die y-Achse nimmt das prozentuale Wachstum ein. Dabei wird der niedrigste Wert im Datensatz mit 0%, der höchste Wert den 100% gleichgesetzt.

Die Wachstumskurve für das Gewicht des Gehirns zeigt, dass das Gehirn deutlich schneller wächst als das Skelett. Im Alter von 8 Jahren ist das Wachstum des Gehirns mit fast 90% nahezu abgeschlossen. Im gleichen Alter hat das menschliche Skelett erst 60% seines Wachstums erreicht.

In der vorliegenden Arbeit werden die relativen Kurven von Dekaban et al. (1978) und der CDC (2000) als Referenzkurven für das skelettale und das neuronale Wachstumsmuster verwendet.

1.5. Ziel der Arbeit

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, durch eine Analyse von Messstrecken im Bereich des Clivus zu Informationen über das Wachstum dieses Bereiches beizutragen. Die Arbeit stellt dabei eine Ergänzung einer früheren Arbeit von

Hallmeyer (2008) über die wachstumsbedingten Veränderungen im Bereich des Clivus dar, die durch anguläre Messungen analysiert worden waren. Die Synthese der Streckenmessungen der vorliegenden Arbeit und der Winkelmessungen von Hallmeyer (2008) soll zu einer erweiterten Kenntnis der Wachstumsvorgänge des Clivus beitragen.

Ein weiteres Ziel der Arbeit ist die Untersuchung der unterschiedlichen Wachstumsmuster mit Hilfe von Wachstumskurven, wie sie von den CDC (2000) und Dekaban et al. (1978) erstellt wurden. Die skelettale Wachstumskurve der CDC (2000) und die neuronale Wachstumskurve [Dekaban (1978)] dienen als Referenz für das unterschiedliche gewebsspezifische Wachstum und zeigen auch die mögliche Beeinflussung auf, welche sich aus dem Wachstum ergibt.

2. Material und Methoden

2.1. Material

2.1.1. Röntgenbilder, Durchzeichnungen und kephalometrische Messungen

Die vorliegende Arbeit verwendet Durchzeichnungen von Fernröntgenseitenbildern mazerierter Schädel. Die Röntgenbilder waren ein Teil der Schädelsammlung der Abteilung für Kieferorthopädie des Zentrums für Zahn–, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Marburg. Mittlerweile befindet sich die Sammlung an der Universität Groningen.
Die Durchzeichnungen wurden von Hallmeyer als Basis für ihre Dissertation (2008) an der Universität Marburg in der Abteilung für Kieferorthopädie erstellt, wobei in ihrer Arbeit die anatomischen Strukturen im Clivusbereich durch Winkelmessungen analysiert wurden. Die von Hallmeyer erstellten Durchzeichnungen liefern gleichzeitig die Referenzpunkte für die in der vorliegenden Arbeit analysierten Strecken. Zudem wurden ihre Durchzeichnungen um 5 weitere Strecken ergänzt.

Ursprünglich wurde die Sammlung der Schädel, die aus Indien stammen, von der Abteilung für Kieferorthopädie der Universität Groningen erworben und zu Forschungszwecken bis zur Schließung der Abteilung im Jahre 1990 verwendet. Prof. Dr. J.M.H. Dibbets, Leiter der Kieferorthopädischen Abteilung der Groninger Universität, kaufte die Schädelsammlung samt Röntgenbildern auf und stellte sie der Abteilung für Kieferorthopädie der Universität Marburg für wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung.

Ursprünglich umfasste die Schädelsammlung 236 Schädel, wobei in einer Spanne von wenigen Monaten bis hin zum Greis alle Altersklassen vertreten sind. Die Sammlung hat jedoch im Laufe der Zeit an Umfang verloren, da manche Schädel für Forschungszwecke an andere Wissenschaftler abgegeben wurden. Andere Schädel liegen in Einzelsegmenten vor. Diese Schädel wurden im Rahmen wissenschaftlicher Untersuchungen bereits an der Universität Groningen zerteilt.

In Groningen wurden von allen Schädeln Röntgenbilder angefertigt, wobei die Anzahl und die Art der Bilder stark differieren; maximal liegen 26, mindestens aber 2 Aufnahmen vor. Von den meisten Schädeln wurden Fernröntgenseitenaufnahmen mit und ohne Mandibula angefertigt. Diese stellen die Grundlage für diese Arbeit dar.

Die meisten Schädel wurden in einen konventionellen Kephalostaten eingespannt und geröntgt. Der größte Anteil der Fernröntgenseitenbilder wurde auf diese Weise erstellt.
Die Detailgenauigkeit der Aufnahmen wurde durch eine höhere Belichtungszeit und den Verzicht auf Verstärkerfolien verbessert. Der Focus-Objekt-Abstand betrug 355 cm, der Objekt-Film-Abstand 20 cm. Daraus resultiert für diese Röntgenaufnahmen ein Vergrößerungsfaktor von 5,6%.
8 Fernröntgenseitenbilder weisen eine Vergrößerung von 2% auf (Greiner, 2000). Diese Schädel konnten nicht in die Arretierung des Kephalostaten eingespannt werden, da sie zu groß für den Haltemechanismus waren. Diese Schädel wurden mit einem Podest oder mit Hilfe von Watterollen positioniert und geröntgt.
Auch bei diesen Aufnahmen wurde ein Focus-Objekt-Abstand von 355 cm eingehalten. Die geringere Verzerrung der Bilder ergibt sich aber aus dem niedrigeren Objekt-Film-Abstand, da hier der Schädel dem Film direkt anlag.
Die durchgezeichneten Stecken wurden zuerst vermessen und anschließend mit Hilfe eines Korrekturfaktors von 0,947 bzw. 0,980 auf die reale Größe heruntergerechnet.

Mehrere Aufnahmen waren für die Untersuchung nicht geeignet, was sich durch nicht korrekt eingestellte Röntgenaufnahmen und das teilweise zu geringe Alter der Schädel erklären lässt. Manche Datensätze waren auch unvollständig, wobei die Fernröntgenseitenbilder oder die Durchzeichnungen fehlten. Prof. Kunter führte im Jahr 1995 eine Inspektion der Schädelsammlung durch. Aus der Begutachtung der Schädel wurde ersichtlich, dass 6 Schädel von dem Rest der Sammlung divergieren. Nach Analyse der gewonnenen Daten wurden diese Schädel bei der Auswertung nicht berücksichtigt, da sie sich auf Grund ihrer überdurchschnittlichen Größe nicht für diese Untersuchung eigneten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Schädel zu einer anderen ethnischen Gruppe gehören. Eine Berücksichtigung der

Messwerte dieser Schädel hätte die statistische Auswertung der Messergebnisse beeinflussen und zu einer Verzerrung der Datenstruktur führen können.

Ein weiterer zahnloser Schädel war für diese Untersuchung ebenfalls ungeeignet, da er der einzige Schädel mit einem willkürlich festgelegten Alter von 60 Jahren in der Messreihe war. Die Messwerte dieses Schädels wurden ebenfalls aus dem Datensatz entfernt. Ferner blieben sechs Schädel unberücksichtigt, bei denen zwar eine Streckenmessung, aber keine präzise Altersbestimmung durchgeführt worden war. Insgesamt wurden in diese Arbeit die Durchzeichnungen von 173 Fernöntgenseitenbildern ausgewertet (n=173).

2.1.2. Überlagerung von Grafiken

In den Überlagerungen der einzelnen Grafiken sind insgesamt 2 bzw. 3 Strecken eingezeichnet, alle Überlagerungen sind identisch skaliert und zeigen auf der x-Achse das Alter von 0 bis 20 Jahren. Die y-Achse zeigt das errechnete Wachstum von zwei Messungen in Prozent von 0 bis 100% an. Die erste Messung betrifft das Hirngewicht, die zweite Messung die Körperlänge. Es handelt sich dabei um die Grafiken 4.3.1.1.2 bis 4.3.1.1.4. und 4.3.2.1.2. bis 4.3.2.1.4., sowie 4.4.1.3., welche Überlagerungen mit Strecken der vorliegenden Arbeit beinhalten.

1. Skelettale Wachstumskurve der CDC (2000)
   Die Daten der CDC sind online verfügbar und lagen in digitaler Form vor. Die Daten für Männer und Frauen wurden zusammengerechnet und gemittelt. Anschließend konnten die Messwerte für die Erstellung einer relativen Wachstumskurve genutzt werden.

2. Wachstumskurve des Gehirns nach Dekaban et al. (1978)

   Die Messungen von Dekaban et al. wurden mit Hilfe von 20000 Autopsieberichten durchgeführt. Die Gehirne, welche keinerlei pathologische Verletzung aufwiesen, wurden im frischen Zustand gewogen. Aus dieser Anzahl wurden 2773 Männer und 1963 Frauen ausgewählt und in 23 Altersgruppen unterteilt. Die Altersgruppen reichten von der Geburt bis zum Alter von 86 Jahren (oder höher).

   Für die vorliegende Arbeit wurden die Messungen von Dekaban et al. (1978) wurden ausgelesen und in eine Tabelle eingetragen. Die Messwerte für Männer und Frauen wurden gemittelt und anschließend in Prozent umgerechnet. Dem höchsten Wert wurden 100%, dem niedrigsten Wert 0 % zugeordnet. Danach erfolgte die Umsetzung in ein x/y Diagramm.

3. Die Wachstumskurven dieser Arbeit wurden mit Hilfe von SPSS Version 12 erstellt. Es mussten mehrere Anpassungen durchgeführt werden:

   - Mit SPSS 12.0 ist eine Ausgabe der einzelnen Graphen in x und y Werte in einer Tabelle nicht möglich. Für einen adäquaten Vergleich war dies jedoch zwingend erforderlich. Die Graphen wurden zuerst in Bilder umgewandelt. Dabei wurde die unveränderte Grafik aus dem Programm SPSS übernommen und in ein Grafikprogramm eingefügt. Das Bild beträgt dabei 499 x 499 Pixel.

   - Die Daten dieser Dissertation besitzen keine Messergebnisse für den Zeitraum zwischen 0 und 0,5 Jahren. Um einen exakten und möglichst unverzerrten Vergleich mit den anderen Daten von Dekaban et al. (1978) (welche bei der Geburt anfangen) und der CDC (2000) (die Datensätze fangen nicht bei der Geburt an) zu liefern, musste der Graph aus den vorhandenen Messstrecken für diesen Zeitraum extrapoliert werden. Dies geschah durch die lineare Verlängerung der einzelnen Graphen um 0,5 Jahre. Da das Wachstum der gemessenen Strecken am Anfang linear ansteigt, war die Extrapolation ohne weiteres möglich. Weiterhin endet der Datensatz von Dekaban et al. (1978) im Alter von 20 Jahren. Somit wird der Rahmen für das Alter von 0 bis 20 Jahren vorgegeben. Die Extrapolationen können im Anhang

der Arbeit betrachtet werden.

- Die um 0,5 Jahre verlängerten Messstrecken wurden anschließend mit Hilfe der Software Unscan-It Demoversion 6.1 digitalisiert und dabei sowohl in x und y Werte als auch in Prozent umgerechnet. Dabei wurden die Strecken mit einer Punktzahl von 268 bis 271 Punkten digitalisiert.

- Die x-Achse gibt das Alter von 0 bis 20 Jahren an.

- Die y-Achse gibt das Wachstum in Prozent wieder, wobei der tiefste Punkt 0 und der höchste Punkt des Graphen 100% darstellt.

Die Überlagerungsgrafiken mit den x und y Werten wurden mit Open Office Version 3.0 erstellt. Eine Überlagerung von Strecken mit geringem Wachstum von unter 3 mm fand nicht statt, da hier die Zeichenungenauigkeit von 1 mm eine zu große Rolle spielen könnte. Die Strecken wurden mit einer folgenden Anzahl von Punkten digitalisiert:

Strecke a	: 271 Punkte (siehe Abb. 8.1.1.)
Strecke b	: 268 Punkte (siehe Abb. 8.1.2.)
Strecke c	: 272 Punkte (siehe Abb. 8.1.3.)
Strecke d	: 265 Punkte (siehe Abb. 8.1.4.)
Strecke e	: 279 Punkte (siehe Abb. 8.1.5.)
Strecke f	: 268 Punkte (siehe Abb. 8.1.6.)
Strecke Basion bis Sella-Mitte	: 271 Punkte (siehe Abb. 8.1.7.)

2.2. Methoden

2.2.1. Messmethoden

Die Durchzeichnungen der Fernröntgenaufnahmen wurden von Hallmeyer (2008) in der Abteilung für Kieferorthopädie der Universität Marburg im Rahmen ihrer Dissertation erstellt und mit Hilfe eines Lineals und eines Druckbleistiftes (Minendicke 0,35 mm, Härte HB) auf Acetatfolie angefertigt.
Die Strecken wurden mit Hilfe einer digitalen Schieblehre (Modell Tesa DigiCal RS232 classic) gemessen und anschließend über ein Datenkabel in den Computer eingespeist. Auch die nachträglich hinzugefügten Linien wurden auf diese Weise erstellt und vermessen.
Bei den Messungen kam eine digitale Schieblehre zum Einsatz, für die folgende Messgenauigkeiten angegeben werden:

Anzeigegenauigkeit:	0,005 mm		
Genauigkeit Fehlergrenze:	0,02 mm	auf	100 mm
	0,03 mm	über	100 mm

Es wurden insgesamt 173 Zeichnungen zur Datenerhebung vermessen. Zur Fehlerbestimmung der Zeichengenauigkeit wurden 20 zufällig ausgewählte Fernröntgenseitenbilder von Hallmeyer erneut durchgezeichnet und vermessen, ohne dass die Zeichnungen oder Ergebnisse der Erstmessung vorlagen.
Zudem wurden 20 Durchzeichnungen zufällig ausgewählt und vermessen, um die Ablesegenauigkeit zu bestimmen. Auch hier lagen die Ergebnisse der Erstmessung nicht vor. In beiden Fällen kam zur statistischen Auswertung die Formel nach Dahlberg (1940) zum Einsatz. Diese wird nochmals in Abschnitt 2.2.8. beschrieben.

2.2.2. Anatomische Übersicht

Der Clivus setzt sich aus zwei knöchernen Teilen zusammen, der kraniale Teil besteht aus dem Corpus des Os sphenoidale mit der Sella turcica, der kaudale Anteil aus der Pars basilaris des Os occipitale mit dem Basion. Beide Teile ergeben den Clivus als Gesamtstruktur, wobei besonders die Pons einen direkten Kontakt zu dem Clivus besitzt. In dieser Arbeit wurden beide Teile des Clivus anhand von Strecken vermessen, um deren Wachstum zu bestimmen. Dabei geben die Messstrecken die idealisierte Grundform des Clivus wieder, wobei der ventrale Teil des sphenoidalen Anteils des Clivus in dieser Untersuchung auf Grund der starken Krümmung nur teilweise berücksichtigt werden konnte.
Die Abbildung 2.2.2.1. stellt ein Fernröntgenseitenbild eines Schädels dar. Um einen anatomischen Überblick über den Clivus und dessen Nachbarstrukturen zu erhalten, wurde beide Anteile des Clivus in das Röntgenbild eingezeichnet.

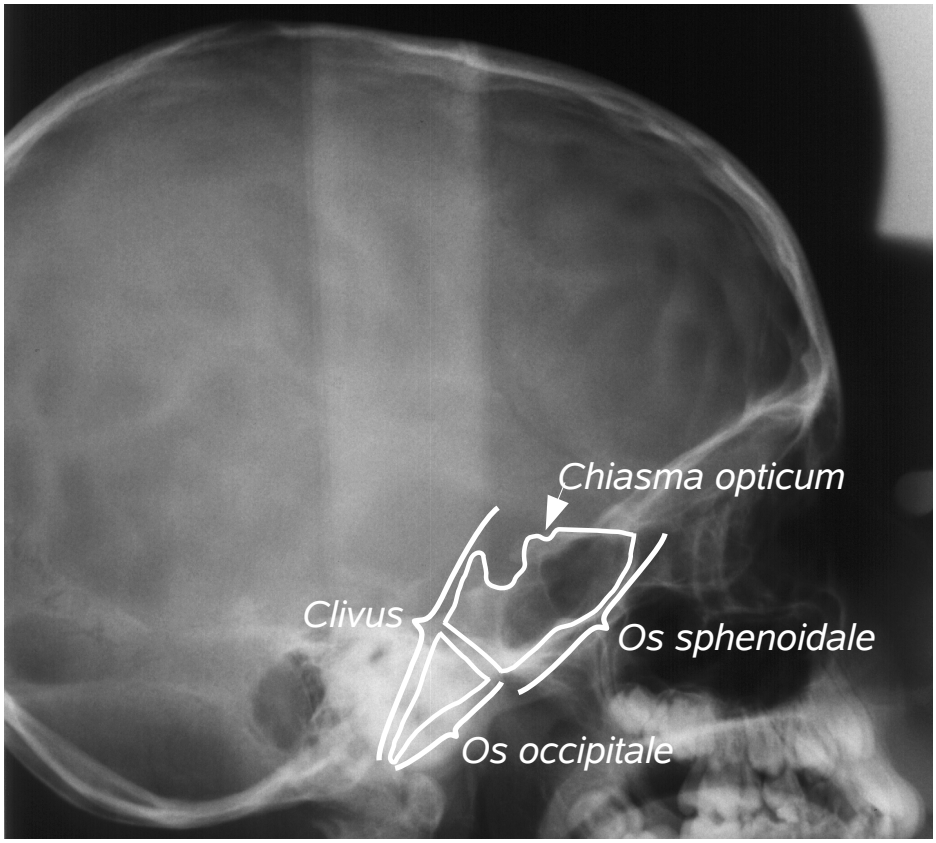


Abbildung 2.2.2.1. Beschriftete Umrisszeichnung des Clivus auf einem Fernröntgenseitenbild.

Abbildung 2.2.2.2. zeigt eine Durchzeichnung des Clivus auf Basis eines Fernröntgenseitenbildes.

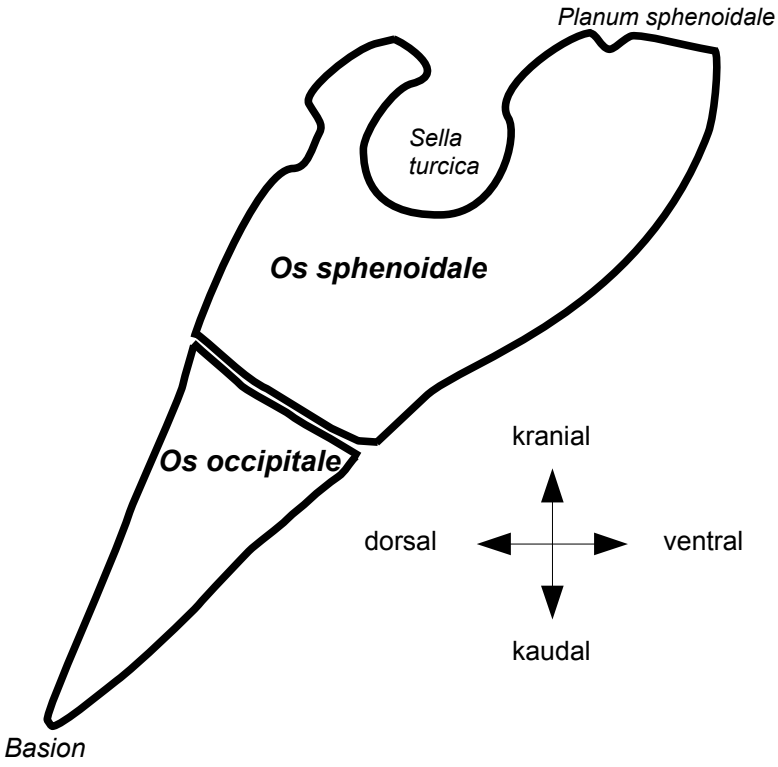


Abbildung 2.2.2.2. Umrisszeichnung des Clivus auf Basis eines Fernröntgenseitenbildes.

2.2.3. Definition der anatomischen Messpunkte und Strukturen

Mit Hilfe der im Röntgenbild dargestellten anatomischen Strukturen wurden folgende Messpunkte erstellt und anschließend als Basis für die Streckenmessung genommen.

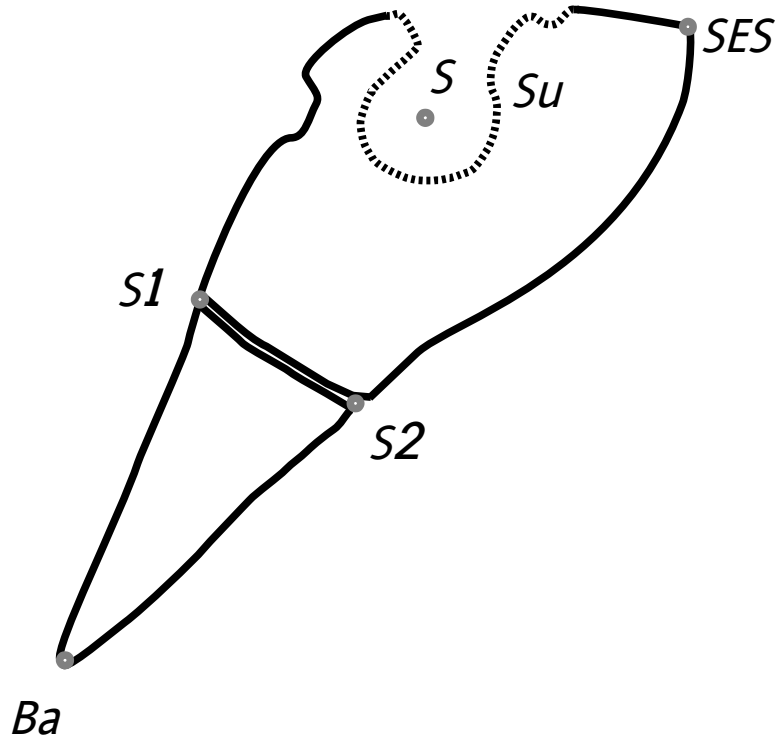


Abbildung 2.2.3.1. Zeichnerische Darstellung des Clivus mit zugehörigen anatomischen Messpunkten auf Grundlage von Fernröntgenseitenbildern.

Basion	(Ba)	Der am weitesten dorsal gelegene Punkt am Vorderrand des Foramen occipitale magnum
Sellamitte	(S)	Dieser Punkt stellt den Mittelpunkt der Sella turcica dar
Spheno ethmoidale	(SES)	Schnittpunkt des Planum sphenoidale mit der Fazies posterior des Os ethmoidale. Dieser Punkt entspricht der Begrenzung zwischen Sphenoid und Ethmoid
Sellaumriss	(Su)	Umriss der Sella turcica (Strichlinie siehe Abb. 2.2.3.1.)

Synchondrosis 1	(S1)	Endokraniale Begrenzung der Synchondrosis spheno-occipitalis
Synchondrosis 2	(S2)	Pharyngeale Begrenzung der Synchondrosis spheno-occipitalis

Um das Auffinden der anatomischen Strukturen in den Röntgenbildern zu erleichtern, wurden bereits in Groningen die wichtigsten anatomischen Referenzpunkte mit Metallkugeln markiert. Diese sind auf Grund ihrer Röntgenopazität in den Röntgenbildern als Aufhellung sichtbar.
Es waren jedoch weder alle Schädel noch alle anatomischen Strukturen und / oder Messpunkte, die für diese Arbeit herangezogen wurden, mit den Metallkügelchen markiert worden. Daher stellen diese Metallkugeln lediglich ein röntgenologisches Hilfsmittel dar.

Von den für diese Arbeit relevanten Punkten war nur das Basion mit einer Metallkugel gekennzeichnet worden. Alle anderen Punkte in dieser Arbeit wurden von Hallmeyer (2008) graphisch in den Durchzeichnungen erfasst.

2.2.4. Übersicht über die Messlinien und die konstruierten Punkte

Als Grundgerüst für die einzelnen Messstrecken wurden auf der Basis der anatomischen Punkte bzw. Konturen Linien eingezeichnet, wobei Schnittpunkte entstehen. Für die Arbeit wurden die von Hallmeyer erstellten Durchzeichnungen verwendet und durch zusätzliche Linien ergänzt.

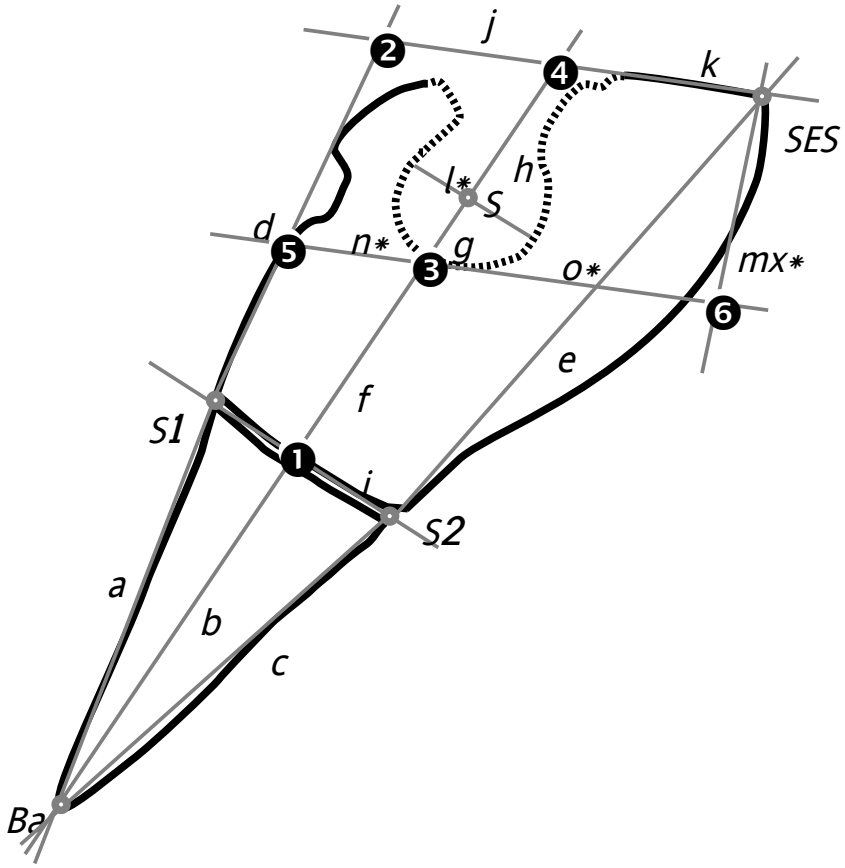


Abbildung 2.2.4.1. Darstellung des Clivus mit zugehörigen kephalometrischen Messpunkten und Strecken auf Grundlage von Fernröntgenseitenbildern.

Durch die eingezeichneten Linien ergeben sich folgende Schnittpunkte:

Punkt 1	Schnittpunkt der Linien Halbierende (b,f,g,h) und i
Punkt 2	Schnittpunkt der Linien d und jk
Punkt 3	Schnittpunkt der Linien Halbierende (b,f,g,h) und no
Punkt 4	Schnittpunkt der Linien h und jk
Punkt 5	Schnittpunkt der Linien d und n
Punkt 6	Schnittpunkt der Linien mx und o

Definition der Linien bzw. Strecken:

Strecke a Diese Strecke verbindet die anatomischen Punkte Basion und S1. Sie beschreibt das Längenwachstum des dorsalen Anteils der Pars basilaris des Os occipitale.

Halbierende

Diese Linie verläuft durch die anatomischen Punkte Basion und Sella und wird bis zum Schnittpunkt mit der Linie kj verlängert. Sie kann in die Teilstrecken b, f, g und h unterteilt werden. Die Strecke beschreibt die gesamte Länge des Clivus.

Strecke b Diese Strecke ist Teil der Linie Halbierende und verläuft von Basion bis zum Schnittpunkt mit der Linie i, dem konstruierten Punkt 1. Die Strecke beschreibt die Länge des mittleren Anteils der Pars basilaris des Os occipitale.

Strecke c Diese Strecke verbindet die anatomischen Punkte Basion und S2. Sie beschreibt die Länge des ventralen Anteils der Pars basilaris des Os occipitale.

Strecke d Strecke d ist eine Tangente an die dorsale Kontur des sphenoidalen Teils des Clivus, verlängert bis zum Schnittpunkt mit der Linie jk, dem konstruierten Punkt 2.
Die Strecke beschreibt die Länge des dorsalen Anteils des Os sphenoidale.

Strecke e Diese Strecke verbindet die anatomischen Punkte S2 und SES. Sie beschreibt die Länge des pharyngealen Anteils des Os sphenoidale.

Strecke f Strecke f ist eine Teilstrecke der Linie Halbierende. Diese Strecke verläuft von der Synchondrosis spheno-occipitalis bis zum Boden der Sella turcica (zwischen den konstruierten Punkten 1 und 3). Sie beschreibt die Länge des mittleren Anteils des sphenoidalen Teils des Clivus.

Strecke g Strecke g ist eine Teilstrecke der Linie Halbierende zwischen der Sellamitte (Punkt S) und dem konstruierten Punkt 3. Die Strecke beschreibt die Höhe des kaudalen Teils der Sella turcica.

Strecke h Strecke g ist eine Teilstrecke der Linie Halbierende. Diese Strecke verläuft durch die anatomischen Punkt S und den konstruierten Punkt 4. Die Strecke beschreibt die Höhe des kranialen Teils der Sella turcica.

Strecke i Diese Strecke verbindet die anatomischen Punkte S1 und S2. Die Strecke beschreibt die Länge der Synchondrosis spheno - occipitalis.

Strecke jk Strecke jk ist eine Tangente vom Punkt SES an den kranialen Abschnitt des Os sphenoidale, verlängert bis zum Schnittpunkt mit der verlängerten Linie d, dem konstruierten Punkt 2. Sie kann in die Teilstrecken j und k aufgeteilt werden.

Strecke j Diese Strecke ist eine verlängerte Tangente vom Punkt SES an den kranialen Abschnitt des sphenoidalen Teils des Clivus vom Schnittpunkt mit der Linie bfgh, dem konstruierten Punkt 4 bis zum Schnittpunkt mit der verlängerten Linie d, dem konstruierten Punkt 2. Die Strecke beschreibt die Länge des dorsokranialen Abschnitts des sphenoidalen Teils des Clivus.

Strecke k Strecke k ist eine Tangente vom Punkt SES an den kranialen

Abschnitt des Os sphenoidale, verlängert bis zum Schnittpunkt mit der verlängerten Linie bfgh, dem konstruierten Punkt 4. Die Strecke beschreibt die Länge des ventrokranialen Abschnitts des Os sphenoidale.

Strecke l — Diese Strecke ist eine Senkrechte zur Linie Halbierende durch Punkt S bis zur ventralen bzw. dorsalen Begrenzung der Sellakontur. Diese Strecke beschreibt die sagittale Ausdehnung der Sella turcica.

Linie lx — Diese Hilfslinie ist eine Senkrechte der Linie Halbierende im Punkt S und wurde nicht vermessen. Die Strecke lx wurde dann eingezeichnet, wenn die knöcherne Begrenzung der Sella turcica die Linie l im dorsalen Anteil nicht begrenzen konnte. Um dennoch die Größe der Sella turcica in die Messungen einzubeziehen, wurde eine Parallele zur Strecke Halbierende eingezeichnet, welche die knöcherne Begrenzung der Sella turcica idealisiert wiedergibt.

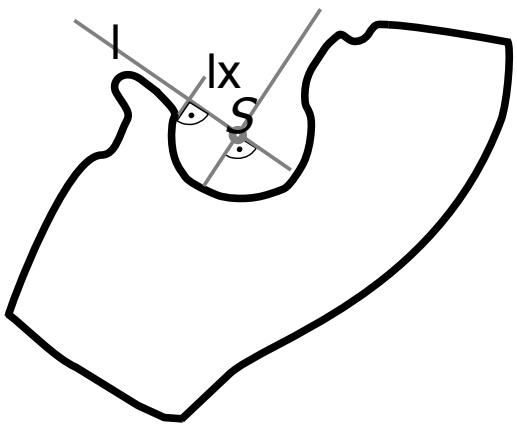


Abbildung 2.2.4.2. Darstellung der Hilfslinie lx.

Linie mx: Hilfslinie als Senkrechte auf der Linie jk im Punkt SES. Diese Strecke wurde nicht vermessen. Die Strecke mx ist ein zeichnerisches Hilfsmittel. Sie dient lediglich zur exakten Ausrichtung der Linie no, um eine Parallelität zwischen den Linien no und jk zu gewährleisten.

Linie no Parallele zur Linie jk als Tangente an den Boden der Sella turcica.
Mit der Linie d bildet sie den Schnittpunkt 5, mit der Linie mx den Schnittpunkt 6. Sie kann in die Teilstrecken n und o aufgeteilt werden. Die Strecke no beschreibt die horizontale Ausdehnung des sphenoidalen Teils des Clivus in der Knochenmitte.

Strecke n Strecke auf der Linie no zwischen dem konstruierten Punkt 6 und dem Schnittpunkt der Linie no mit der Linie Halbierende (dem konstruierten Punkt 3). Diese Linie beschreibt die horizontale Ausdehnung des dorsalen Abschnitts des Os sphenoidale in der Knochenmitte.

Strecke o Strecke auf der Linie no zwischen dem konstruierten Punkt 6 und dem Schnittpunkt der Linie no mit der Linie Halbierende (dem konstruierten Punkt 3). Diese Linie beschreibt die horizontale Ausdehnung des ventralen Abschnitts des Os sphenoidale in der Knochenmitte.

Strecke S-Ba Diese Strecke verbindet den anatomischen Punkt Basion mit dem Mittelpunkt der Sella turcica, dem Punkt S. Sie beschreibt die Höhe des Clivus.

2.2.5. Altersbestimmung

Eine Altersbestimmung der einzelnen Schädel wurde 1990 von Prof. Dibbets und im Jahre 2000 von Greiner in Marburg vorgenommen. Als Grundlage für die Altersbestimmung diente die Dentition, da dies in einer Gruppe von Kindern und Jugendlichen eine relativ genaue Bestimmung des Alters der Probanden erlaubte und andere verlässliche Altersangaben nicht zu erheben waren. Dies liegt daran, dass das Alter zum Zeitpunkt des Todes unbekannt war und die Schädel ohne Dokumentation gekauft wurden.

Die Alterseinteilung erfolgte in neun Gruppen nach dem Modell des „Step Function Age“ (SFA). Das „Step Function“-Modell, welches von Dibbets entwickelt wurde, beruht auf den Grundlagen eines Modells von Moorrees und Kent (1978). Dabei werden die unterschiedlichen Wachstumsphasen der Gebissentwicklung intraoral beurteilt, wobei es Wechsel- und Ruhephasen gibt. In den Wechselphasen ändert sich die Dentition, in den Ruhephasen gibt es keine Änderung aus intraoraler Sicht siehe Tab. 2.2.5.

Im Rhythmus von 2,5 Jahren wechseln sich die beiden Phasen ab. Aus der Anzahl der durchgebrochenen Milch- und/oder permanenten Zähne lässt sich das Alter relativ genau einschätzen. Je nach Gebissentwicklungsphase und der Anzahl vorhandener Zähne wird zu dem chronologischen Alter die entsprechende Anzahl von Monaten hinzu addiert, wobei jedem permanenten durchgebrochenen Zahn 2 bzw. 2,5 Monate zugewiesen werden. Im „Step Function age“ gibt es folgende Gebissentwicklungsphasen:

Phase der Gebissentwicklung	**Alter in Jahren**	**Durchbruchsanzahl / Zeit**	**SFA**
Milchzahneruption	0 – 2 ½	20 Zähne innerhalb von 2 Jahren	½ Jahre +1 Monat pro Zahn
1 Ruhephase Milchzähne vollständig durchgebrochen	2 ½ - 5		
1 Wechselphase	5 – 7 ½	12 Zähne innerhalb von 30 Monaten	5 Jahre + 3 Monate pro Zahn
2. Ruhephase Erster Molar und bleibende Schneidezähne im Durchbruch	7 ½ – 10		
2. Wechselphase Zahnwechsel in den Stützzonen, Durchbruch zweiter Molar	10 – 12 ½	16 Zähne innerhalb von 30 Monaten	10 Jahre + 2 Monate pro Zahn
Zähne der Stützzonen und zweite Molaren vollständig durchgebrochen	12 ½ – 17 ½		
Dritter Molar im Durchbruch	18		
Dritter Molar vollständig durchgebrochen	20		
Abrasionen horizontaler Knochenabbau	Über 30		

Tabelle 2.2.5. Die Bestimmung des dentalen Alters.

Es wurden zwei Altersbestimmungen für die Schädelsammlung durchgeführt. Greiner erfasste das Schädelalter im Jahre 2000, die Ergebnisse ihrer Arbeit wurden auch für diese Dissertation übernommen. Alle Schädel, für welche in der Arbeit von Greiner keine Altersbestimmung durchgeführt wurde, sind in der ersten Altersbestimmung im Jahre 1990 von Dibbets erfasst worden. Fehlten die Altersangaben nach Greiner, wurden diese durch die von Dibbets erfassten Daten ergänzt.

Das „Step Function age“-Modell ist im Hinblick auf Schädel von Kindern und

Jugendlichen recht praktisch und erlaubt eine gute Altersbestimmung, weil das dentale und das chronologische Alter in der Regel eine hohe Korrelation aufweisen.
Das Schädelalter junger Erwachsener wurde mit Hilfe der Weisheitszähne ermittelt. Dabei war entscheidend, in welchem Durchbruchszustand sich die Weisheitszähne befanden.
Die Schädel der Erwachsenen wurden hinsichtlich der vollständig durchgebrochenen Weisheitszähne und bereits vorhandener Abrasionen untersucht. Ein weiteres Kriterium für die Altersbestimmung der Erwachsenenschädel war der mit zunehmendem Alter entstehende Knochenabbau. Hier unterscheiden sich die jugendlichen und die erwachsenen Schädel deutlich voneinander.
Das tatsächliche Alter lässt sich allerdings mit Hilfe der Zahnabrasion und dem Knochenabbau bei Erwachsenen nur grob schätzen. Die individuellen Lebensumstände beeinflussen diese Faktoren der Altersbestimmung erheblich.
Von daher sind die Abrasion der Zähne und der Knochenabbau keine verlässlichen Kriterien für eine Altersbestimmung und die Altersklassifizierungen im Erwachsenenalter ungenauer als die der übrigen Schädel.

2.2.6. Geschlecht

Im Jahr 1995 führte Prof. Kunter, Anthropologe an der Universität Giessen, eine Geschlechtsbestimmung der Schädelsammlung durch. Diese war jedoch erst ab einem Alter von 14 Jahren möglich und erwies sich als sehr schwierig, weil nur selten charakteristische Unterscheidungsmerkmale für eine geschlechtsspezifische Bestimmung gefunden werden konnten. Von den 173 in dieser Arbeit untersuchten Schädeln sind 19 dem männlichen Geschlecht, 15 dem weiblichen zugeordnet worden. Den restlichen 139 Schädeln konnten damals keine eindeutigen geschlechtsspezifischen Merkmale zugeordnet werden.
Die meisten Schädel hatten keine eindeutigen Referenzstrukturen, an denen man das Geschlecht hätte bestimmen können. Andere Schädel waren einfach zu jung, um eine sichere Aussage über ihr Geschlecht treffen zu können.

Da von den 173 Schädeln in dieser Arbeit nur 34 Schädel (19,65 %) eindeutigen Geschlechts sind, wurde auf eine geschlechtsdifferenzierte Auswertung der Daten

verzichtet.
Die Geschlechterverteilung spielt aber eine Rolle in Bezug auf die Altersverteilung, da mehr männliche als weibliche Schädel in der Altersgruppe der Erwachsenen vorkommen. Durchschnittlich sind Männer etwas größer als Frauen und besitzen damit auch einen größeren Schädel. Als Folge davon ist eine Verzerrung der Datenstruktur wahrscheinlich.
Dies ist bei jeder Auswertung der Daten zu berücksichtigen. Messergebnisse der Erwachsenen können daher lediglich unter Vorbehalt betrachtet werden.

2.2.7. Statistische Methoden

Die ermittelten Daten wurden sowohl mit Excel 2000 als auch mit Open Office 3.0 gespeichert und verarbeitet. Für die statistischen Tests und die Erstellung der Diagramme wurde das Statistikprogramm SPSS (Version 12.0) verwendet.
Die Streudiagramme der einzelnen Strecken wurden in Abhängigkeit zum Alter mit SPSS Version 12.0 erstellt. Auch die Einteilung der im Rahmen der Ergebnisdarstellung erstellten Boxplots erfolgte mit Hilfe der 8 Altersklassen. Bei der Erstellung der Diagramme wurde auf eine einheitliche Skalierung geachtet.

2.2.7.1. Bildung von Altersklassen und Berechnung von Mittelwerten

Um einen Überblick über die gesammelten Datenmengen zu erhalten und Gruppenvergleiche durchführen zu können, wurden 8 Altersklassen gebildet, die in Tabelle 2.2.7.1. aufgeführt werden.

Altersklasse	**Altersintervall [Jahre]**	**Mittelwert [Jahre]**	**Anzahl der Schädel**
1. Altersklasse	0 bis 2 Jahre	1	17
2. Altersklasse	2 bis 4 Jahre	3,4	34
3. Altersklasse	4 bis 6 Jahre	5,7	22
4. Altersklasse	6 bis 8 Jahre	7,3	28
5. Altersklasse	8 bis 10 Jahre	9,1	22
6. Altersklasse	10 bis 12 Jahre	11,0	22
7. Altersklasse	12 bis 18 Jahre	13,6	15
8. Altersklasse	18 bis 30 Jahre	24,3	19

Tabelle 2.2.7.1. Altersklassen.

Die Bildung der Altersklassen erfolgte für die Kinder in einem Intervall von 2 Jahren. Die Gruppen 7 und 8 der Jugendlichen und Erwachsenen sind durch ein größeres Intervall bestimmt, da in der Alterspanne von 12 bis 30 Jahren in der Marburger Schädelsammlung weniger Schädel zur Messung zur Verfügung standen als in den übrigen Altersgruppen.
Da in jeder Gruppe ausreichend Messergebnisse vorhanden sein sollten, wurden die Altersintervalle so gewählt, dass mindestens 15 Schädel einer Gruppe zugeordnet werden konnten. Da allerdings mit dem Erreichen der Adoleszenz keine nennenswerten Wachstumsprozesse zu erwarten sind, konnte für die Altersklasse der Erwachsenen ein größeres Intervall gewählt werden, ohne dass dadurch die Messergebnisse verfälscht wurden.

Für jede gemessene Einzelstrecke der Schädel wurden in jeder Altersklasse der Mittelwert und die Standardabweichung errechnet. Der Mittelwert ist das arithmetische Mittel der Messwerte und berechnet sich aus der Summe der

Messwerte, dividiert durch deren Anzahl. Der Mittelwert ist ein Lagemaß, d.h. er beschreibt die Lage einer Verteilung. Die Standardabweichung gibt eine Information über die Streuung der Messwerte.
Die Bezeichnung der Gruppe in den Diagrammen leitet sich vom jeweiligen Mittelwert für das dentale Alter ab. Mit Hilfe der Altersklassen konnten die Boxplots erstellt werden.

2.2.7.2. Streudiagramme

Streudiagramme beschreiben graphisch die Beziehung zwischen zwei Variablen - hier dem Alter und den gemessenen Strecken – und geben Hinweise auf Zusammenhänge zwischen den beiden Variablen.
Die Streudiagramme in dieser Arbeit wurden mit Hilfe des Programms SPSS 12.0 bearbeitet und erstellt. Die unterschiedlichen Strecken wurden dabei auf die y-Achse, das Alter auf die x-Achse aufgetragen.

Um einen direkten Vergleich der Diagramme untereinander zu ermöglichen, bedarf es einer einheitlichen Skalierung. Daher sind alle Streudiagramme sowohl in der Größe als auch in der Skalierungseinteilung identisch.

Auf den y-Achsen wurden die Mittelwerte der Streckenlänge in mm eingetragen, hier beträgt das Intervall immer 25 mm. Auf der x-Achse wurden das dentale Alter in Jahren nach dem Marburger Modell „Step Function Age“ eingetragen. Das Alter reicht dabei von 0 bis 30 Jahre. Das Modell „Step Function Age“ ist in dieser Arbeit bereits unter Punkt 2.2.5 näher erläutert worden.

Zur besseren Übersicht der Streudiagramme wurde einen Anpassungskurve in die Diagramme eingefügt. Diese Trendkurve ermöglicht eine visuelle Einschätzung der Messpunkte und stellt eine nichtparametrische Glättfunktion nach der Loess-Methode dar. Im statistischen Programm SPSS V12.0 wurden 50% der Punkte für die Anpassung verwendet.

2.2.7.3. Boxplots

Boxplots - auch Box-Whisker-Plots genannt – stellen in einem Diagramm eine Reihe numerischer Daten graphisch dar. Aus ihnen sind neben dem Medianwert die Streuung und die Extremwerte einer Messreihe abzulesen. Die Boxplots wurden mit Hilfe des Programms SPSS 12.0 erstellt. Die unterschiedlichen Boxplots wurden auf die 8 Altersklassen verteilt.
Auf den y-Achsen wurde die Mittelwerte der Streckenlänge in mm eingetragen worden, hier reicht die Skala von 0 bis 50 mm. Auf der x-Achse wurden die 8 Altersklassen in Jahren eingetragen. Ein modifizierter Boxplot besteht aus mehreren Elementen, aus ihm lassen sich sowohl der Medianwert als auch die Streuung ablesen.

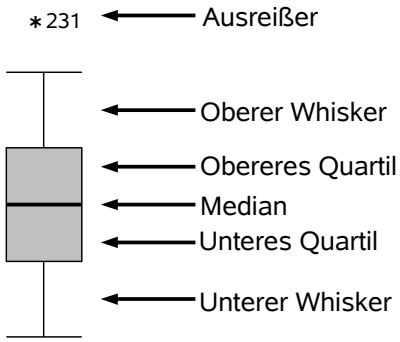


Abbildung 2.2.7.3. Darstellung und Erläuterung eines Boxplots (aus Tukey 1977).

Der Medianwert beschreibt die Lage der Verteilung aller Messwerte dieser Altersklasse und ist gleichbedeutend mit einem 0,5 Quartil. Der Abstand zwischen dem oberen und dem unteren Quartil wird als Interquartilabstand bezeichnet und umfasst 50% der Messdaten.

Der Whisker beträgt in seiner Länge maximal das 1,5-fache des Interquartilsabstands. Es gibt immer einen oberen und einen unteren Whisker. Jeder Wert, welcher außerhalb oder unter dieser Grenze liegt, wird separat in das Diagramm als Ausreißer eingetragen. Diese Ausreißer werden vom Programm separat dargestellt und mit der zugehörigen Fallnummer gekennzeichnet. Gibt es keine Werte außerhalb der Whisker, so wird die Länge des Whiskers durch den

maximalen bzw. minimalen Messwert in der Altersklasse festgelegt.

Mit Hilfe der Boxplots wurden die Datensätze auf Ausreißer überprüft, anschließend wurden diese aus dem Datensatz entfernt. Die Boxplots sind im Anhang der Arbeit für jede Strecke zusammengestellt und stellen den Datensatz nach Entfernung der Ausreißer dar.

2.2.8. Methodenfehler

Zur Bestimmung der Methodenfehler wurden 20 Fernröntgenseitenbilder zufällig ausgewählt. Zur Überprüfung der Messgenauigkeit wurden die 20 Fernröntgenseitenbilder nochmals vermessen und anschließend mit Hilfe der Formel nach Dahlberg (1940) ausgewertet, wobei die Ergebnisse der Erstmessung nicht vorlagen.

Zur Bestimmung der Fehler innerhalb der Zeichnungen wurden 20 Fernröntgenseitenbilder zufällig ausgewählt und erneut durchgezeichnet. Auch hier waren weder die ersten Messergebnisse noch die ersten Zeichnungen einsehbar.

$$MF = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$$

MF = Methodenfehler
d = Differenz der Messwerte
n = Anzahl der Zweitmessungen

Der Methodenfehler nach Dahlberg beschreibt die Schwankungsbreite der Messwerte bezogen auf den eigentlichen Betrag der Messstrecke.

3. Ergebnisse

3.1. Methodenfehler der Zeichnungen nach Dahlberg

Der Fehler für die Wiederholung der Zeichnung und der doppelten Messung wurde mit Hilfe der Dahlberg-Formel für jede einzelne Strecke ermittelt und in Tab. 3.1.1. dargestellt.

Stecke	Streckenanzahl	Zeichenfehler in mm
a	20	0,706
b	20	0,793
c	20	0,468
d	20	1,073
e	20	1,341
f	20	0,902
g	20	0,890
h	20	0,924
i	20	0,869
j	20	1,047
k	20	0,960
l	20	0,414
n	20	1,030
o	20	1,745
Gesamt	280	13,16
Durchschnitt	20	0,94

Tabelle 3.1.1. Die Zeichengenauigkeit nach Dahlberg.

Als Ergebnis kann von einer durchschnittlichen Zeichengenauigkeit von 0,94 mm ausgegangen werden.

3.2. Graphische Darstellung der Streckenlängen

3.2.1. Wachstumsdiagramm Strecke a

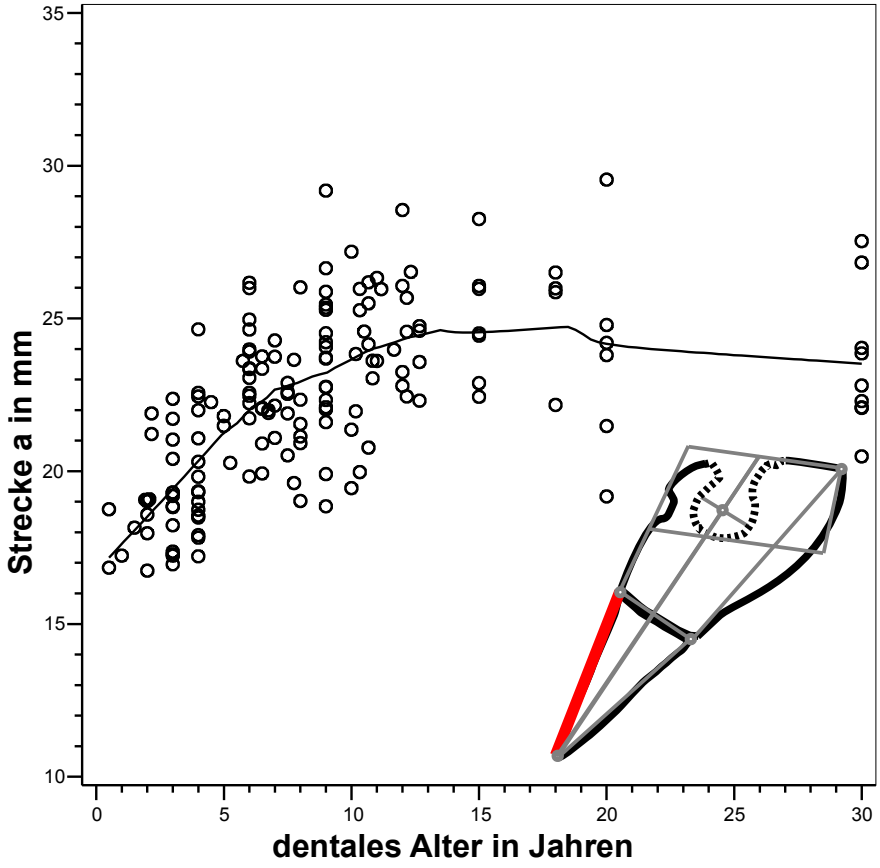


Abbildung 3.2.1.1. Strecke a (rote Linie) verbindet die anatomischen Punkte Basion und S1 miteinander und zeigt die Länge des endokranialen Anteils der Pars basilaris des Os occipitale in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke a lässt sich in 3 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 7,5 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 5,5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 73,0 % der gesamten Längenzunahme.

Das zweite Segment betrifft das Alter zwischen ca. 7,5 und ca. 13 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 2 mm zu verzeichnen. Auf

dieses Segment entfallen ca. 27,0 % der gesamten Längenzunahme.

Das dritte Segment beginnt im Alter von ca. 13 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist keine Längenzunahme zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 0 % der gesamten Längenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke a, das heißt des endokranialen Anteils der Pars basilaris des Os occipitale, beträgt ca. 7,5 mm.

3.2.2. Wachstumsdiagramm Strecke b

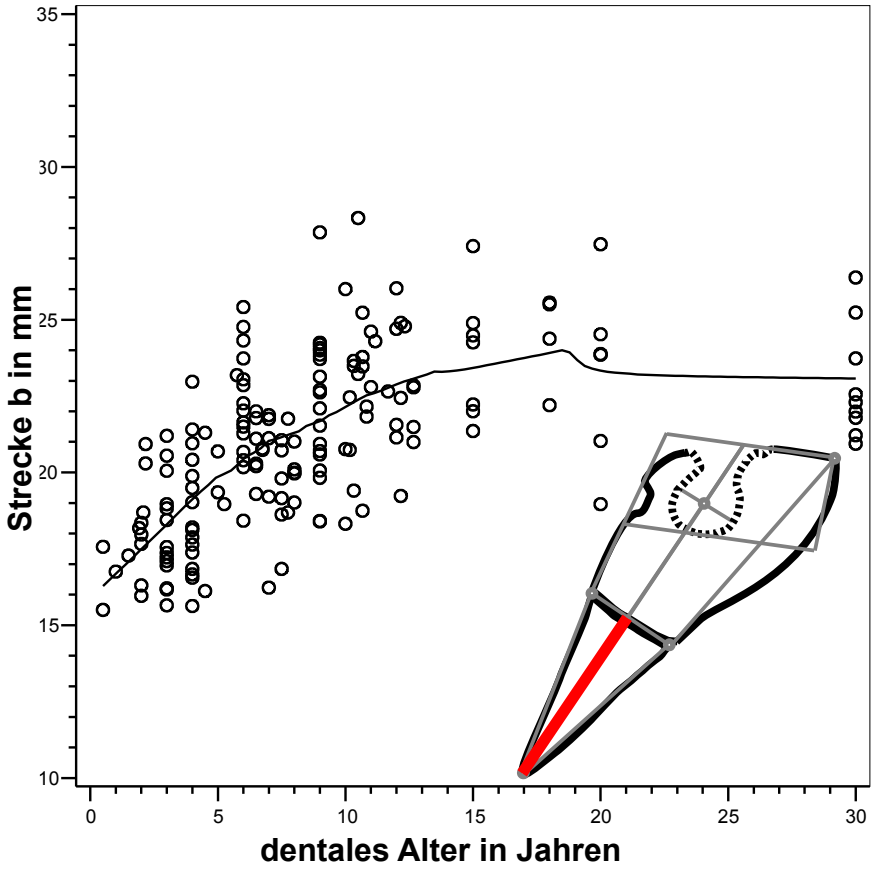


Abbildung 3.2.2.1. Strecke b (rote Linie) verbindet den anatomischen Punkt Basion und den konstruierten Punkt 1 miteinander und zeigt die Länge des mittleren Teils der Pars basilaris des Os occipitale in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke b lässt sich in 3 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 7 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 71,5 % der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment betrifft das Alter zwischen ca. 7 und ca. 13 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 2 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 28.5 % der Gesamtlängenzunahme.

Das dritte Segment beginnt im Alter von ca. 13 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist keine Längenzunahme zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 0 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke b, das heißt des mittleren Anteils der Pars basilaris des Os occipitale, beträgt ca. 7 mm.

3.2.3. Wachstumsdiagramm Strecke c

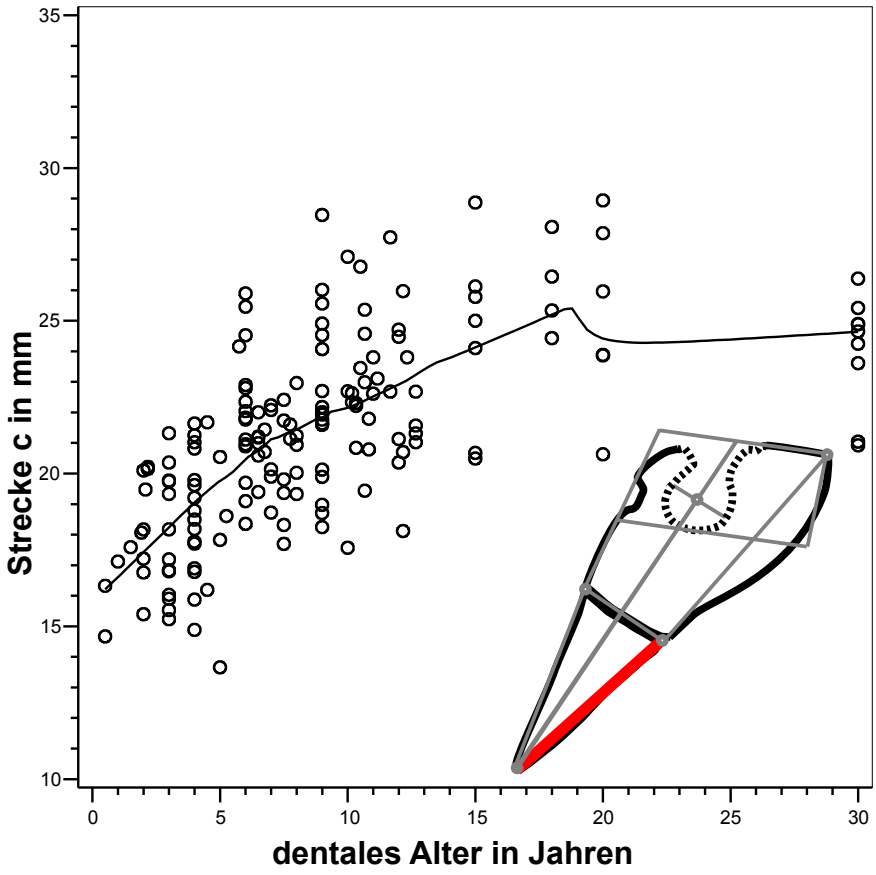


Abbildung 3.2.3.1.Strecke c (rote Linie) verbindet die anatomischen Punkte Basion und S2 miteinander und zeigt die Länge des pharyngealen Teils der Pars basilaris des Os occipitale in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke c lässt sich in 3 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 6,5 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 4,5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 60 % der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment betrifft das Alter zwischen ca. 6,5 und ca. 15 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 3 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 40 % der Gesamtlängenzunahme.

Das dritte Segment beginnt im Alter von ca. 15 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist keine Längenzunahme zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 0 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke c, das heißt des pharyngealen Anteils der Pars basilaris des Os occipitale, beträgt ca. 7,5 mm.

3.2.4. Wachstumsdiagramm Strecke d

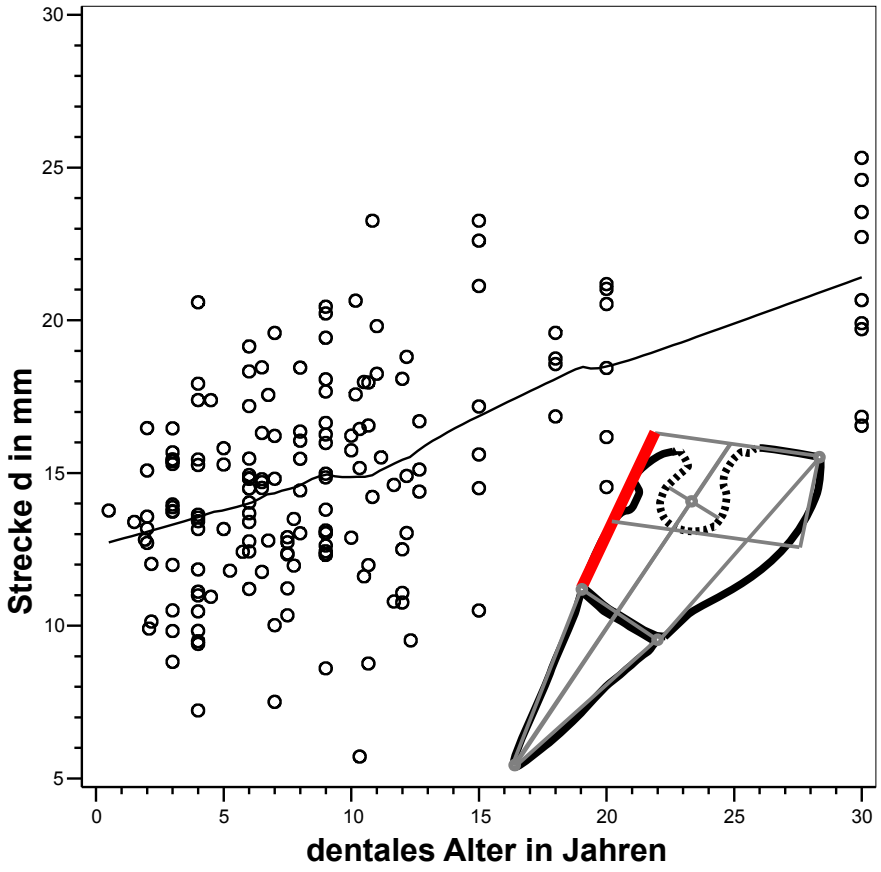


Abbildung 3.2.4.1. Strecke d (rote Linie) verbindet den anatomischen Punkt S1 und den konstruierten Punkt 2 miteinander und zeigt die Länge des dorsalen Teils des sphenoidalen Anteils des Clivus in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke d, das heißt des endokranialen Anteils des sphenoidalen Teils des Clivus, zeigt bis zum Alter von 20 Jahren eine lineare Längenzunahme von ca. 9,5 mm.

3.2.5. Wachstumsdiagramm Strecke e

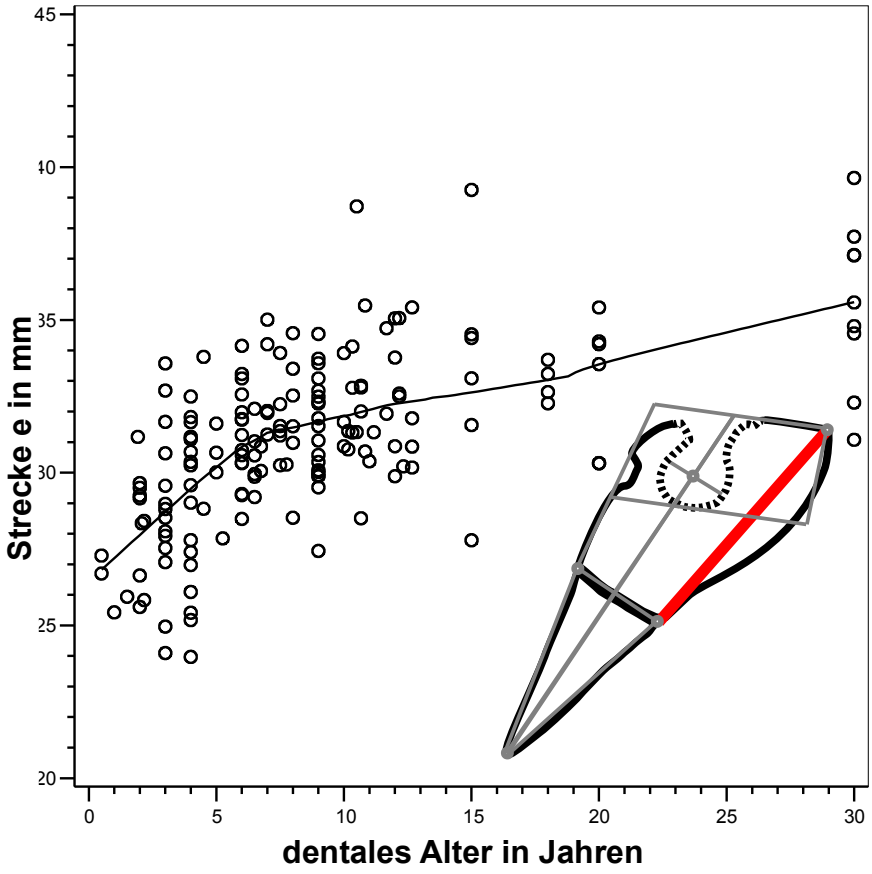


Abbildung 3.2.5.1. Strecke e (rote Linie) verbindet die anatomischen Punkte S1 und SES miteinander und zeigt die Länge des pharyngealen Teils des sphenoidalen Anteil des Clivus in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke e lässt sich in 2 Segment aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 7 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 59 % der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment beginnt im Alter von ca. 8 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 3,5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment

entfallen ca. 41 % der Gesamtlänge.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke e, das heißt des pharyngealen Anteils des sphenoidalen Teils des Clivus, beträgt ca. 8,5 mm.

3.2.6. Wachstumsdiagramm Strecke f

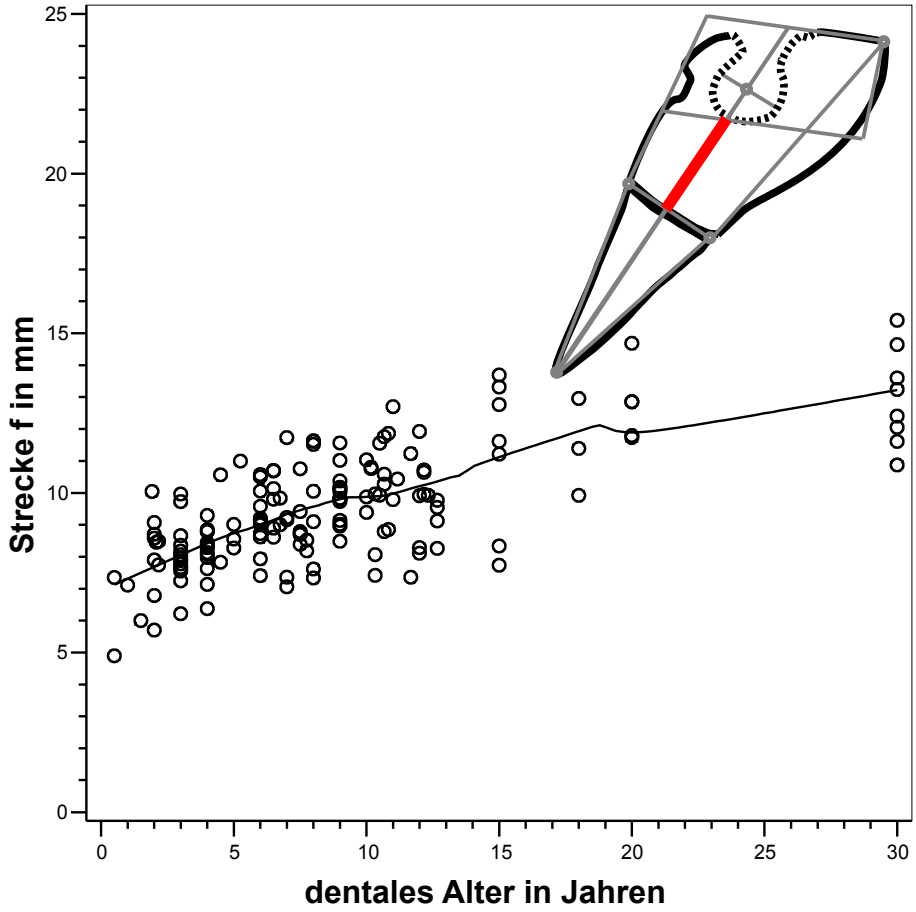


Abbildung 3.2.6.1. Strecke f (rote Linie) verbindet die konstruierten Punkte 1 und 3 miteinander und zeigt die Länge des mittleren Teils des sphenoidalen Anteils des Clivus in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke f, das heißt des mittleren Anteils des sphenoidalen Teils des Clivus, zeigt bis zum Alter von ca. 20 Jahren eine lineare Längenzunahme von ca. 6 mm.

3.2.7. Wachstumsdiagramm Strecke g

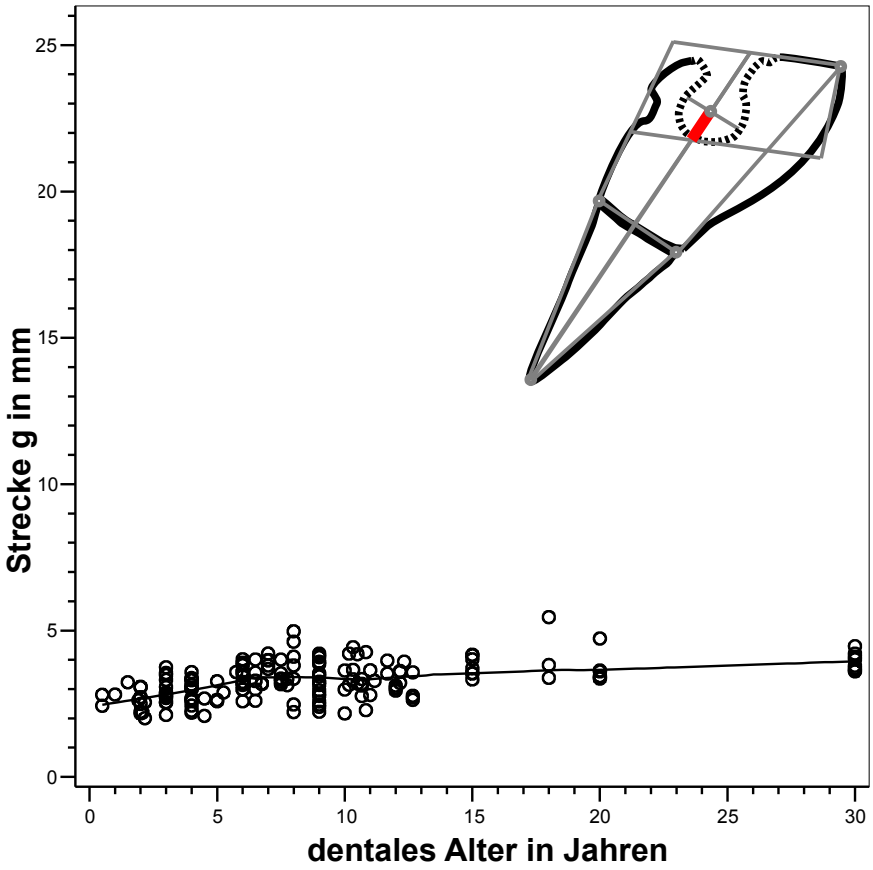


Abbildung 3.2.7.1. Strecke g (rote Linie) verbindet den konstruierten Punkt 3 und den anatomischen Punkt S (Sella) miteinander und zeigt die Höhe des kaudalen Teils der Sella turcica in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke g lässt sich in 2 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 7 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 1 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 100 % der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment beginnt im Alter von ca. 7 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist keine Längenzunahme zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 0 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke g, das heißt des kaudalen Anteils der Sella turcica, beträgt ca. 1 mm.

3.2.8. Wachstumsdiagramm Strecke h

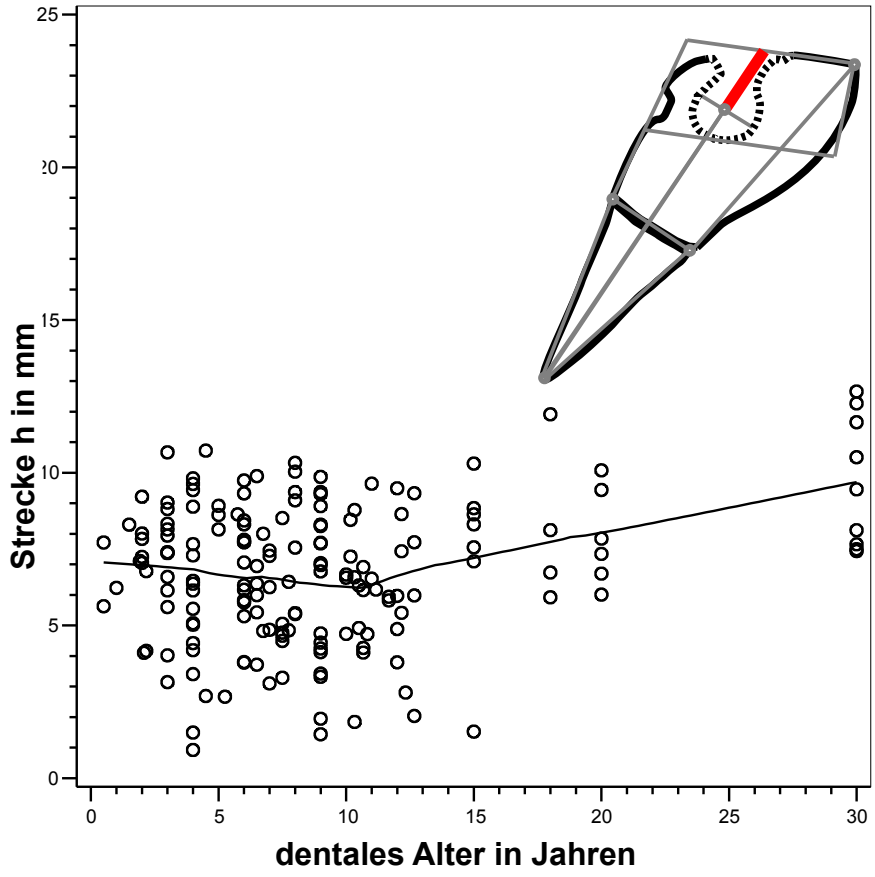


Abbildung 3.2.8.1. Strecke h (rote Linie) verbindet den anatomischen Punkt S (Sella) und den konstruierten Punkt 4 miteinander und zeigt die Höhe des kranialen Teils der Sella turcica in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Strecke h lässt sich in 2 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 10 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenabnahme von ca. 1 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen -33,3 % der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment beginnt im Alter von ca. 10 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine Längenzunahme um 3 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 66,6 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme bis in das Erwachsenenalter der Strecke h, die Strecke von der Mitte der Sella turcica bis zur Höhe des Planum sphenoidale, beträgt 2 mm.

3.2.9. Wachstumsdiagramm Strecke i

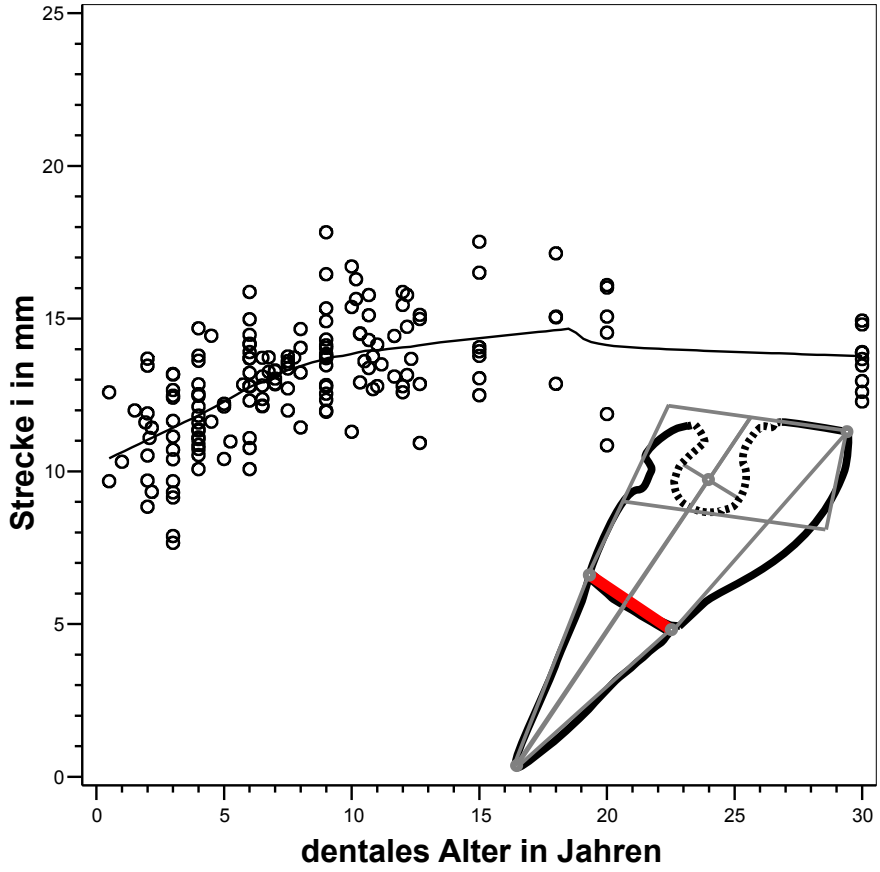


Abbildung 3.2.9.1. Strecke i (rote Linie) verbindet die anatomischen Punkte S1 und S2 miteinander und zeigt die Länge Synchondrosis spheno-occipitalis in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke i lässt sich in 3 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 7 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 3 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 75% der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment endet im Alter von ca. 12 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine Längenzunahme um 1 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 25 % der Gesamtlängenzunahme.

Das dritte Segment beginnt ab dem 12. Lebensjahr, hier ist keine Längenzunahme zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 0 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke i, das heißt der Synchondrosis spheno-occipitalis, beträgt ca. 4 mm.

3.2.10. Wachstumsdiagramm Strecke j

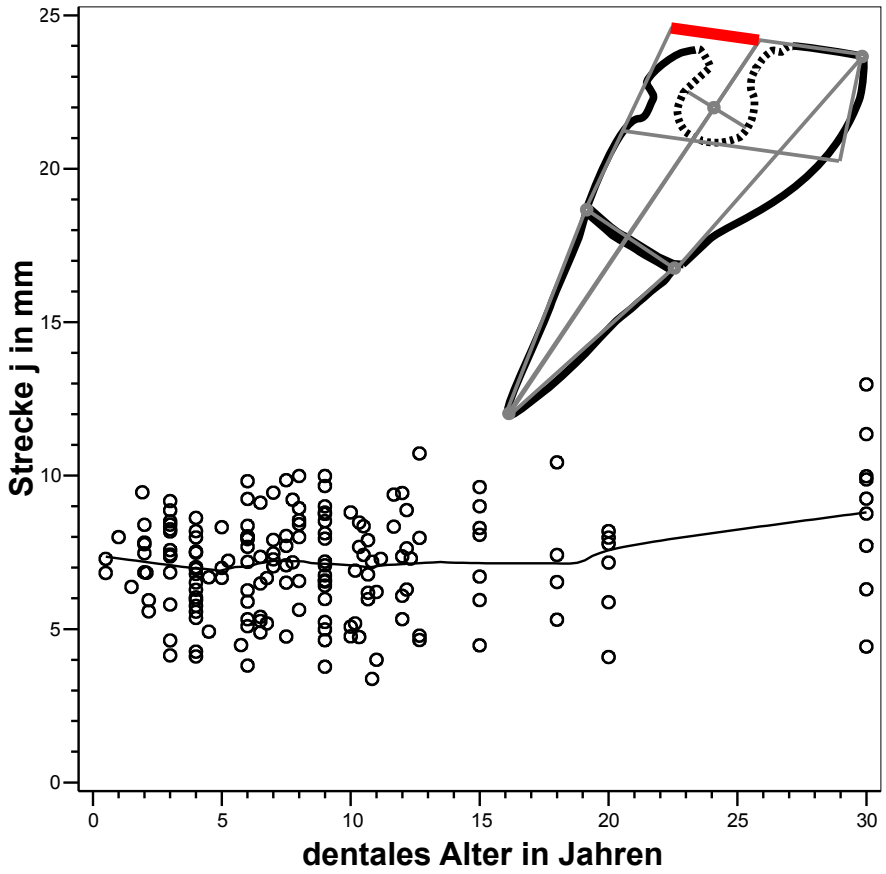


Abbildung 3.2.10.1. Strecke j (rote Linie) verbindet die konstruierten Punkte 2 und 4 miteinander und zeigt die Länge des dorsokranialen Teils des sphenoidalen Anteils des Clivus in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke j, das heißt des dorsokranialen Abschnitts des sphenoidalen Teils des Clivus, zeigt bis zum Alter von ca. 20 Jahren keine Längenzunahme.

3.2.11. Wachstumsdiagramm Strecke k

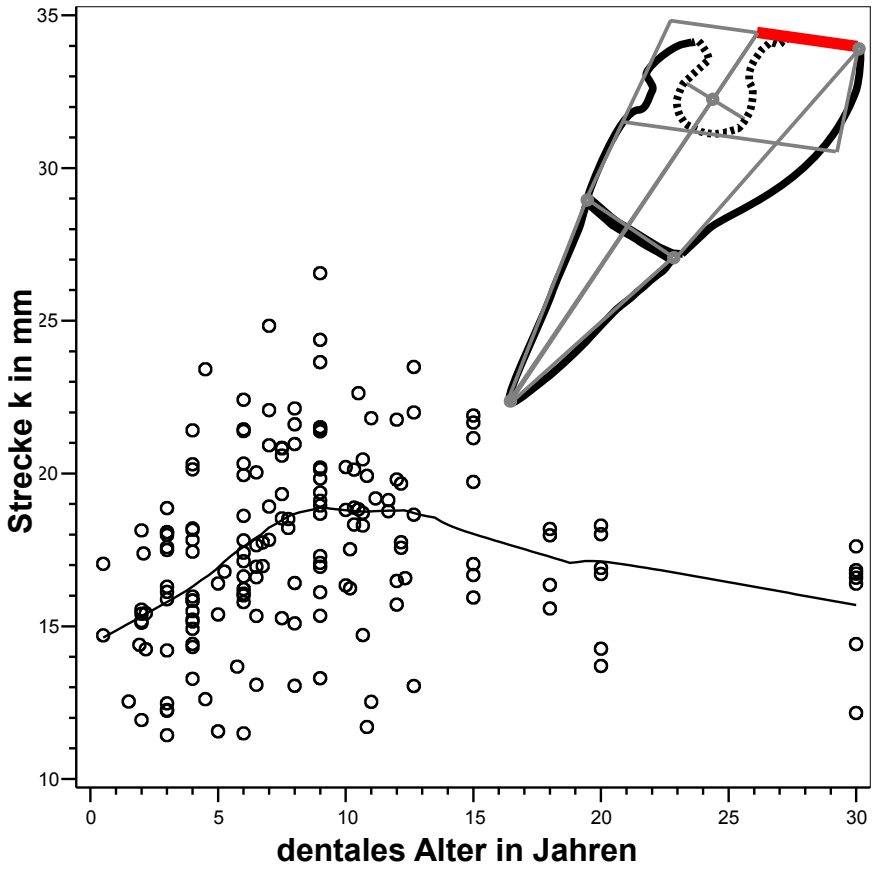


Abbildung 3.2.11.1. Strecke k (rote Linie) verbindet den konstruierten Punkt 4 und den anatomischen Punkt SES miteinander und zeigt die Länge des ventrokranialen Teils des sphenoidalen Anteils des Clivus in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke k lässt sich in 3 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

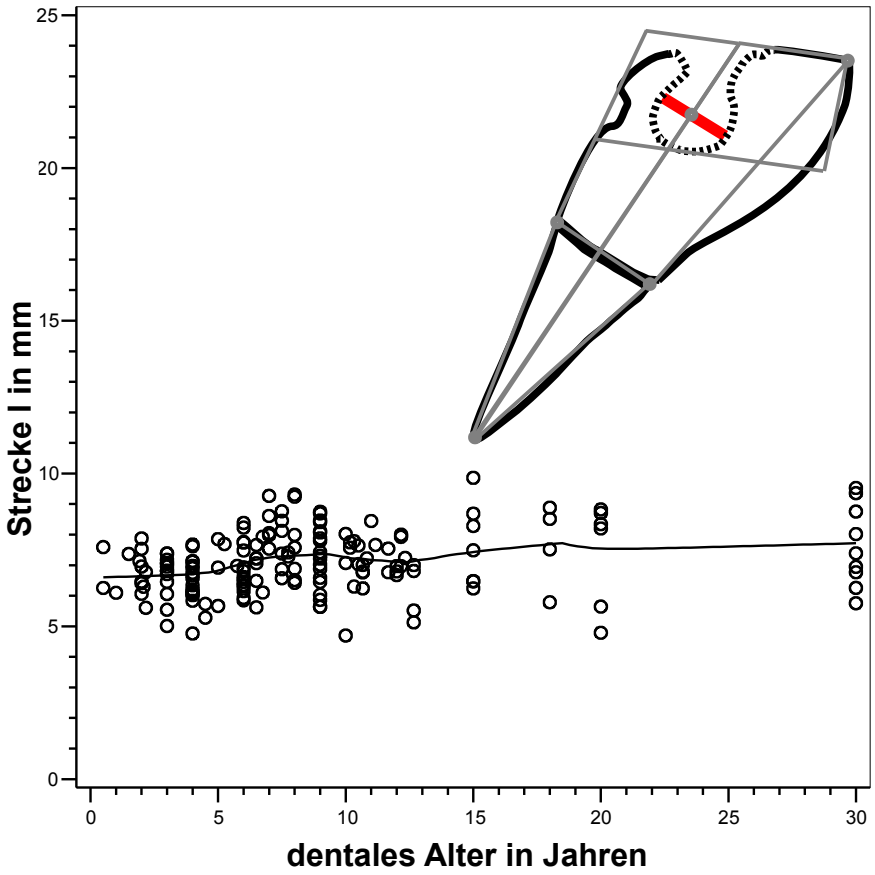
Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 8 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 4,5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 100 % der Gesamtlänge.

Das zweite Segment betrifft das Alter zwischen ca. 8 und ca. 12 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist keine Längenveränderung zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 0 % der Gesamtlängenzunahme.

Das dritte Segment betrifft das Alter zwischen ca. 12,5 und ca. 18 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenabnahme von ca. 4,5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. -100 % der Gesamtlänge.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke k, das heißt des endokranialen Anteils des sphenoidalen Teils des Clivus, beträgt ca. 0 mm.

3.2.12. Wachstumsdiagramm Strecke l



3.2.12.1. Strecke l (rote Linie) verbindet als Senkrechte zur Linie Halbierende den dorsalen und den ventralen Anteil der Sella turcica und zeigt den Durchmesser der Sella turcica in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke l, das heißt des Durchmessers der Sella turcica, zeigt bis zum Alter von ca. 20 Jahren eine lineare Längenzunahme von ca. 1mm.

3.2.13. Wachstumsdiagramm Strecke n

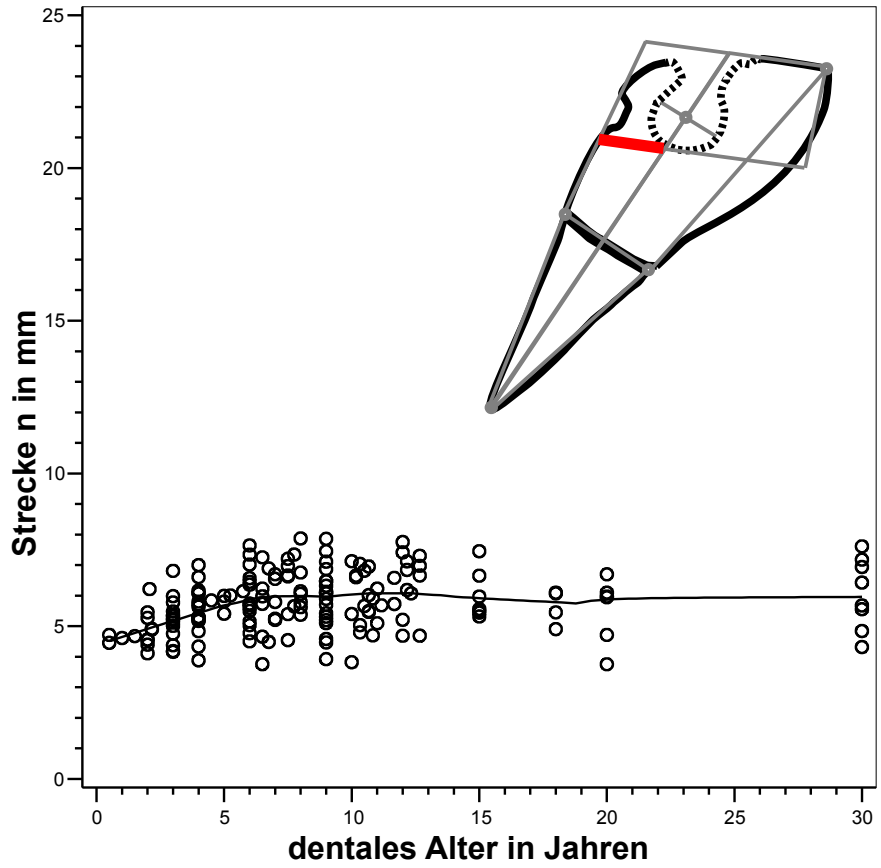


Abbildung 3.2.13.1. Strecke n (rote Linie) verbindet die konstruierten Punkte 5 und 3 miteinander und zeigt die Länge des dorsalen Teils des sphenoidalen Anteils des Clivus in der Knochenmitte in Abhängigkeit vom dentalen Alter.

Die Wachstumskurve der Strecke n lässt sich in 2 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 6,5 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 1 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 100 % der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment beginnt im Alter von ca. 6,5 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist keine Längenänderung zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 0 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke n, das heißt die horizontale Ausdehnung

des dorsalen Abschnitts des sphenoidalen Teils des Clivus in der Knochenmitte, beträgt ca. 1 mm.

3.2.14. Wachstumsdiagramm Strecke o

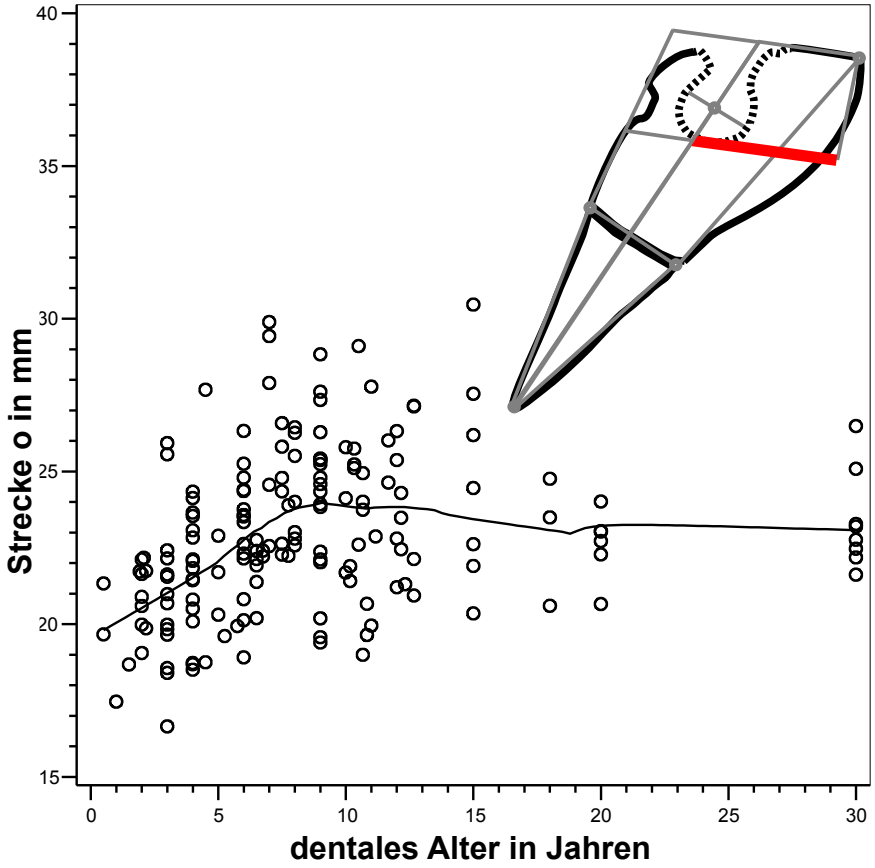


Abbildung 3.2.14.1. Strecke o verbindet die konstruierten Punkte 3 und 6 miteinander und zeigt die Länge des ventralen Teils des sphenoidalen Anteils des Clivus in der Knochenmitte in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

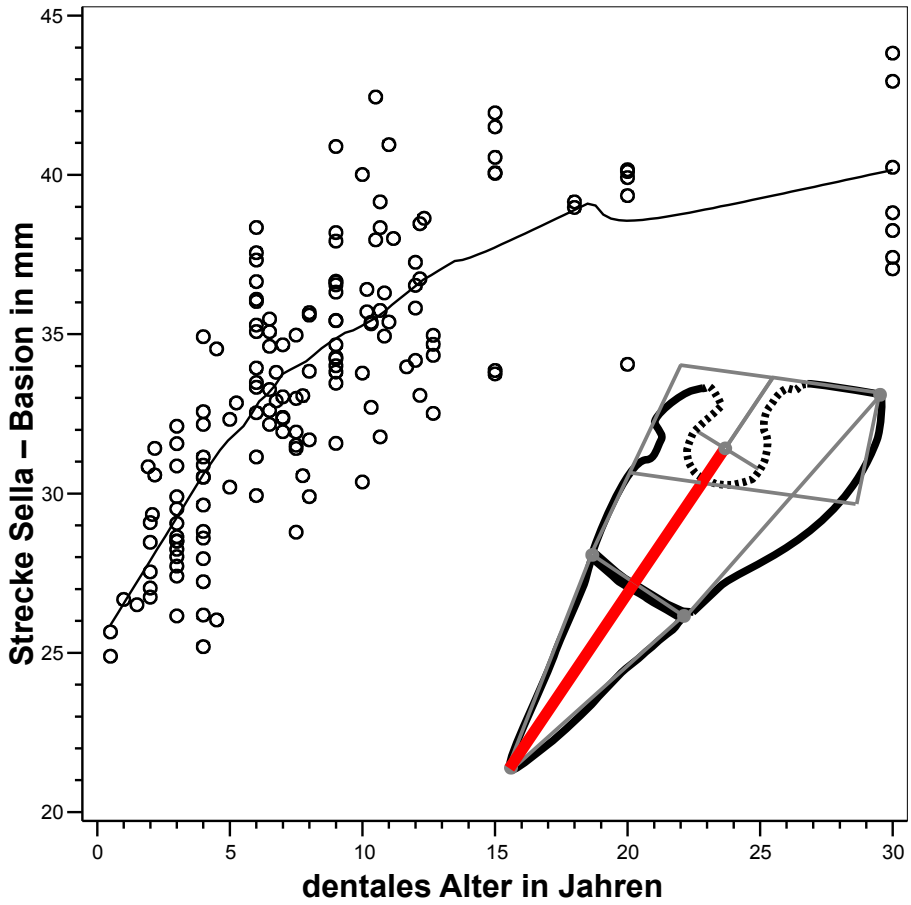
Die Wachstumskurve der Strecke o lässt sich in 2 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 9 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 4 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 87,5 % der Gesamtlängenzunahme.

Das zweite Segment beginnt im Alter von ca. 9 Jahren und endet im Erwachsenenalter. Dabei fällt die Kurve um ca. 0,5 mm ab. Auf dieses Segment entfallen -12,5 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke n, das heißt die horizontale Ausdehnung des ventralen Teils des sphenoidalen Anteils des Clivus in der Knochenmitte, beträgt ca. 3,5 mm

3.2.15. Wachstumsdiagramm Strecke Sella - Basion



3.2.15. Strecke Sella - Basion verbindet die anatomischen Punkte Sella und Basion miteinander und zeigt die Höhe des Clivus in Abhängigkeit vom dentalen Alter. Die Linie ist in einer kleinen Darstellung des Clivus rot markiert.

Die Wachstumskurve der Strecke Sella - Basion lässt sich in 3 Segmente aufteilen, die Maß- und Altersangaben wurden aus dem Streudiagramm abgelesen:

Das erste Segment reicht bis zum Alter von ca. 8 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 8 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 61,5 % der Gesamtlänge.

Das zweite Segment betrifft das Alter zwischen ca. 8 und ca. 17 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist eine lineare Längenzunahme von ca. 5 mm zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen ca. 38,5 % der Gesamtlängenzunahme.

Das dritte Segment beginnt im Alter von ca. 17 Jahren. In diesem Teilabschnitt ist keine Längenzunahme zu verzeichnen. Auf dieses Segment entfallen 0 % der Gesamtlängenzunahme.

Die gesamte Längenzunahme der Strecke Sella – Basion, also die Längenzunahme des Clivus von Basion bis zur Mitte der Sella turcica, beträgt, ca. 13 mm.

Die Gesamtlänge von Basion bis zur Mitte der Sella turcica beträgt im ausgewachsenen Zustand ca. 38 mm .

4. Diskussion

4.1. Betrachtung des Materials

Es wurden in dieser Arbeit Fernröntgenseitenbilder (FRS) von 173 Schädeln unterschiedlichen Alters durchgezeichnet und ausgewertet. Besonders in der Kieferorthopädie werden FRS-Aufnahmen zur Beurteilung des Schädelwachstums herangezogen. Da diese Aufnahmen eine zweidimensionale bildliche Darstellung in der horizontalen und der vertikalen Ebene ermöglichen, geben sie keine Informationen über die transversale Ebene wieder. Daher muss immer berücksichtigt werden, dass den Aufnahmen die dritte Dimension fehlt.

Sowohl im frühen Kindesalter als auch im Erwachsenenalter standen weniger Schädel zur Verfügung. Daher ist die Aussagekraft der Daten im frühen Kindesalter und im Erwachsenenalter als geringer zu werten. Dennoch wurde in dieser Arbeit versucht, eine Prognose für das Erwachsenenalter zu erstellen, welche jedoch auf Grund der Datenmengen mit Bedacht interpretiert werden sollte.

Die nachträglich durchgeführte dentale Altersbestimmung gibt nicht das exakte chronologische Alter wieder. Das Alter der Schädel selbst ist nicht näher bekannt. In der Querschnittsstudie lässt sich das Wachstum nur durch unterschiedliche Individuen beschreiben.

Fernröntgenaufnahmen haben, bildtechnisch verursacht, immer eine Überlagerung von Strukturen zur Folge. Die Dichte der Knochen nimmt mit dem Alter zu, so dass die Röntgenopazität der Knochen im Alter ebenfalls zunimmt.

Dieses physiologische Phänomen kann besonders im Bereich der Synchondrosis spheno-occipitalis dazu führen, dass die Messpunkte im Alter schlechter erkannt werden können. Daraus ergeben sich unter Umständen größere Ungenauigkeiten in diesem Messbereich, da hier die zunehmende Knochendichte die Strukturüberlagerung besonders stark beeinflussen kann.

4.2. Betrachtung der Methoden

4.2.1. Betrachtung der Durchzeichnungen

Der Methodenfehler der Durchzeichnungen beträgt 0.94 mm [0,41 mm bis 1,7 mm (Tab. 3.1.1.1.)].
Zudem fällt der Fehler der Zeichengenauigkeit bei kurzen Strecken, wie der Strecke l (der Senkrechten zur Linie Halbierende durch Punkt S bis zur ventralen bzw. dorsalen Begrenzung der Sellakontur, welche die sagittale Ausdehnung der Sella turcica beschreibt) besonders stark ins Gewicht, weshalb dies in den Aussagen über das Wachstum in solchen Fällen berücksichtigt werden muss.

4.2.2. Betrachtung der anatomischen und der konstruierten Punkte und Strecken

Anatomische Landmarken sind Punkte, die sich in einem Röntgenbild am besten feststellen lassen. Mit Hilfe der Punkte wurden Linien konstruiert, deren Schnittpunkte zu weiteren Streckenmessungen herangezogen wurden. Dabei ist jedoch die Qualität der Messpunkte unterschiedlich zu bewerten. Die Ursache liegt an der zunehmenden Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis. Dieser natürliche Wachstumsprozess verstärkt die Röntgenopazität des Knochens. Dadurch werden die Strukturen der Synchondrosis spheno-occipitalis mit zunehmendem Alter schlechter einschätzbar. Diese Tatsache sollte auch bei Linien berücksichtigt werden, bei denen Punkte einen direkten oder indirekten Teil der Strecke darstellen. Dazu zählen die Linien a, b, c, d, e, f und i. MRT-Untersuchungen können hier einen besseren Aufschluss über die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis geben, da hier die Überlagerung der knöchernen Strukturen kaum eine Rolle spielt.

4.2.3. Betrachtung der Wachstumskurven

Die Wachstumskurven, welche in der Arbeit für die Überlagerung verwendet wurden, stammen von Dekaban et al. (1978) und den Center for Disease Control and Prevention (CDC) (2000). Scammon war hier Pionier und Vorreiter, denn er zeigte mit seinen Wachstumskurven sehr deutlich das unterschiedliche neuronale und skelettale Wachstum auf (in “The Measurement of Man“ von Harris et al (1930)).

Da weder seine Datensätze noch seine Methoden dargelegt werden konnten, wurde auf Daten zurückgegriffen, welche diese Kriterien erfüllen. So wurden die Datensätze von Dekaban et al. (1978) und den CDC (2000) für den Vergleich herangezogen.

4.3. Betrachtung der Ergebnisse der Pars basilaris des Os occipitale

Die nachfolgenden Grafiken basieren auf den Daten von Dekaban et al. (1978) und der CDC (2000). Die neuronale Wachstumskurve stammt von Dekaban et al. (1978), die skelettale Wachstumskurve von den CDC (2000). Sie wurden in einer identisch skalierten Grafik zusammengeführt und mit den identisch skalierten Strecken der vorliegenden Arbeit überlagert.

4.3.1. Pars basilaris des Os occipitale

Das Os occipitale wird an seinem kaudalen Ende durch den Punkt Basion „Ba“ begrenzt, das als eine recht stabile anatomische Landmarke angesehen wird, da die direkt benachbarten Strukturen keine große Formveränderung zulassen. Dazu zählen das Gehirn und der Pharyngealraum (Dibbets, 1980). Die Schädelbasis ist, rein anatomisch betrachtet, die Verknüpfungsstelle zwischen dem Gehirn und dem Gesichtsschädel. Auf das unterschiedliche Streckenwachstum wird in den nachfolgenden Erörterungen genauer eingegangen.

4.3.1.1. Die vertikale Ebene

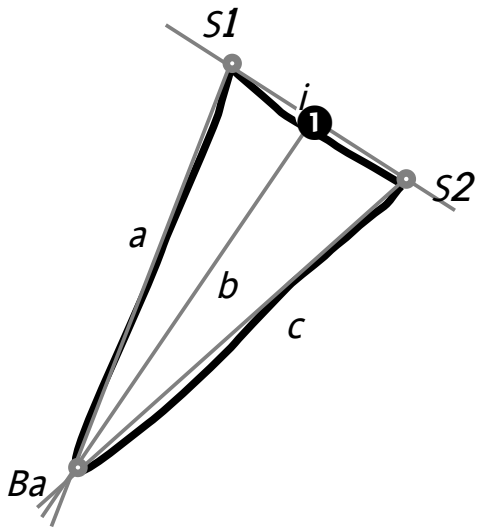


Abbildung 4.3.1.1.1. Die Pars basilaris des Os occipitale mit den Strecken a, b, c und i, sowie die Punkte 1, S1, S2 und Basion im Überblick.

Die Pars basilaris des Os occipitale besitzt 3 vertikale Messstrecken, Strecken a, b und c. Diese wurden mit den folgenden Überlagerungsgrafiken dargestellt.

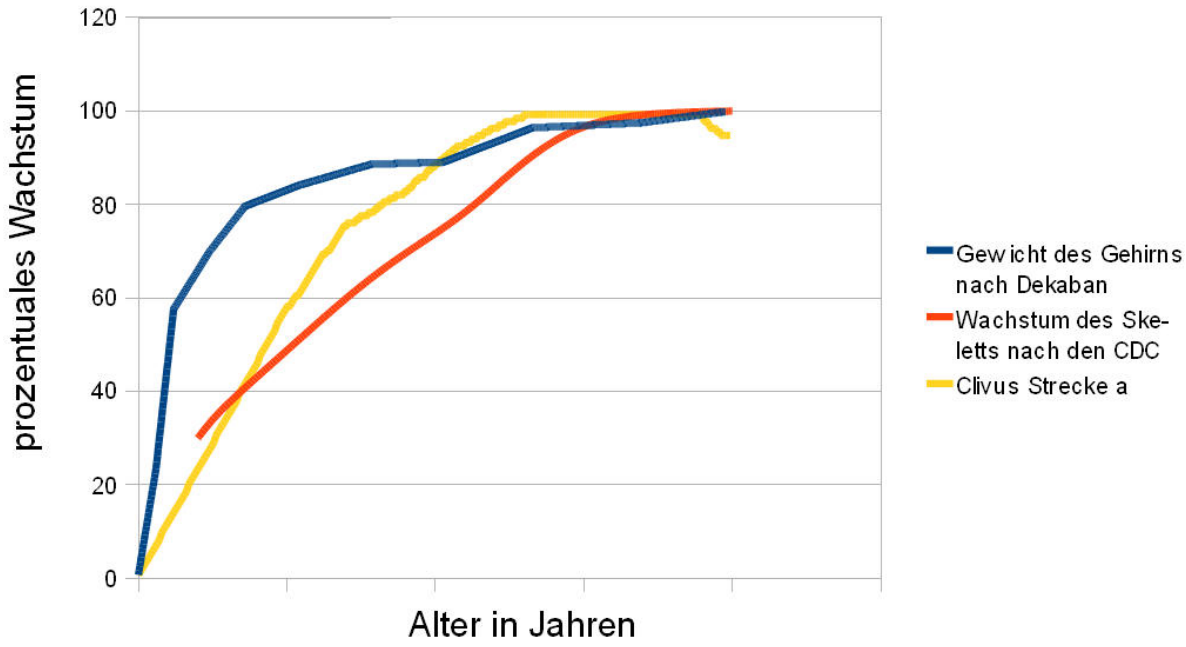


Abbildung 4.3.1.1.2. Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven für das neuronale Wachstum (Hirngewicht), das skelettale Wachstum (Körperlänge) und das Längenwachstum der Strecke a.

Durch die Kurvenüberlagerungen wird sichtbar, wie sich die Pars basilaris des Os occipitale in seinem Wachstum verhält. Die Strecke a liegt in ihrem Wachstumsverhalten deutlich über der skelettalen Wachstumskurve CDC (rote Kurve) aber unter der neuronalen Wachstumskurve von Dekaban et al. (blaue Kurve). Eine mögliche Erklärung wäre die Beeinflussung des Wachstums durch die direkt anliegende Pons. Dabei ist der endokraniale Anteil (Strecke a) am frühesten, der pharyngeale Anteil (repräsentiert durch die Strecke c, siehe Abb. 4.3.1.1.4.) am spätesten in seinem vertikalen Längenwachstum abgeschlossen. Die Strecke b (siehe Abb. 4.3.1.1.3) liegt zwischen dem endokranialen und dem pharyngealen Anteil, ihre Wachstumskurve verläuft deutlich flacher als die der Strecke a. Die Strecke b zeigt deutliche Ähnlichkeiten in ihrem Verlauf zu der skelettalen Wachstumskurve der CDC (2000).

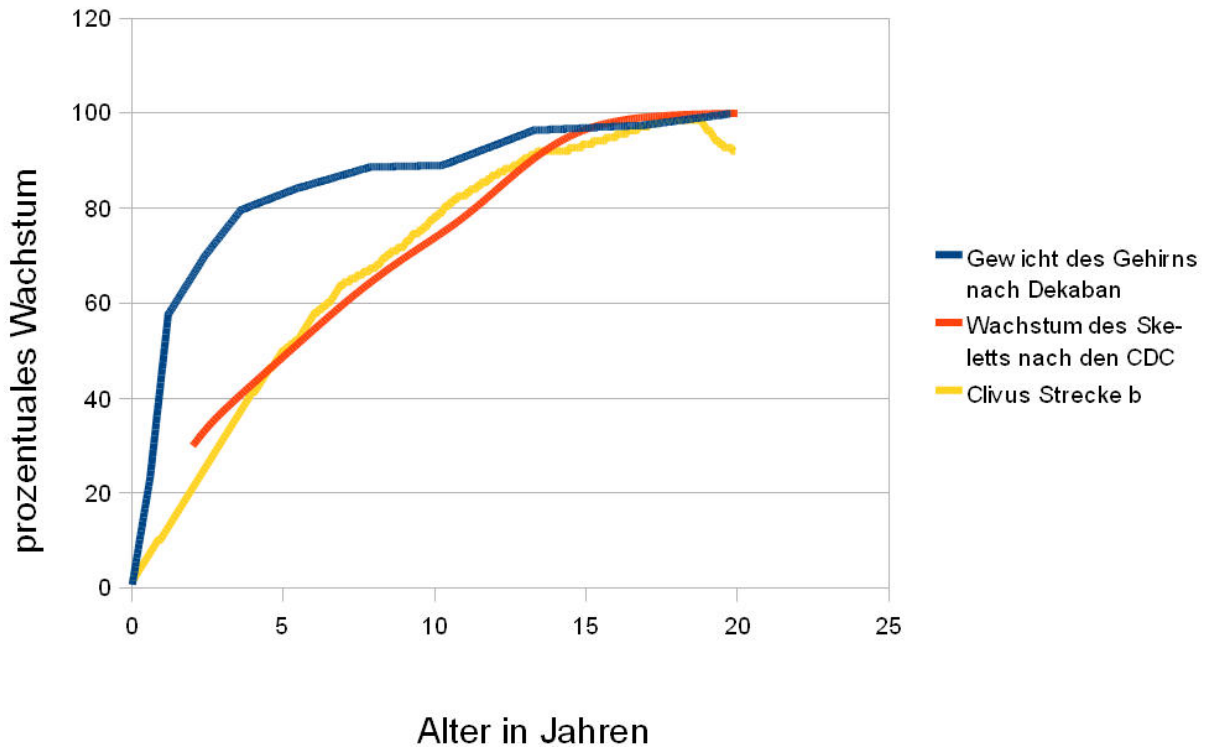


Abbildung 4.3.1.1.3 Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven für das neuronale Wachstum (Hirngewicht), das skelettale Wachstum (Körperlänge) und das Längenwachstum der Strecke b.

Die Wachstumskurve der Strecke c, der Pars basilaris des Os occipitale, zeigt das

späteste Längenwachstum an. Da dieser Anteil die Grenze zum Rachen darstellt, ist das pharyngeale Längenwachstum der Pars basilaris des Os occipitale erst nach dem Längenwachstum des endokranialen Anteils abgeschlossen. Anzumerken ist, dass die Kurve etwas unter der Kurve der CDC liegt. Dies könnte damit erklärt werden, dass die Kurve im Alter von 18 Jahren etwas zu steil verläuft und im Anschluss nach dem 18. Lebensjahr erneut abfällt, da im Erwachsenenalter die Kurve bis zum 30. Lebensjahr fällt. Negatives Wachstum ist sehr unwahrscheinlich, somit ist davon auszugehen, dass das Wachstum der Strecke c nach dem 15. Lebensjahr abgeschlossen ist. Das Wachstumsverhalten der Strecke c ist der skelettalen Wachstumskurve der CDC sehr ähnlich, das Wachstumsverhalten somit skelettal.

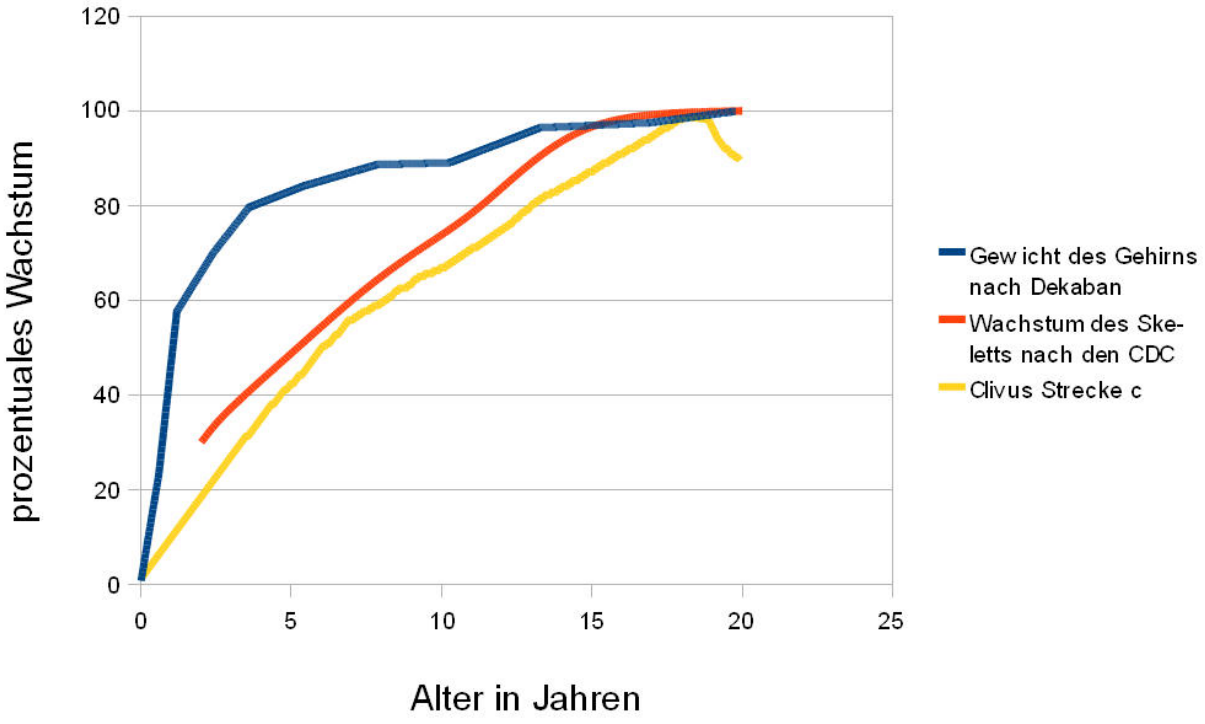


Abbildung 4.3.1.1.4. Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven für das neuronale Wachstum (Hirngewicht), das skelettale Wachstum (Körperlänge) und das Längenwachstum der Strecke c.

Es kann also nach den Messergebnissen der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen werden, dass die Pars basilaris des Os occipitale ein differenziertes Wachstum besitzt. Der endokraniale Anteil wird wahrscheinlich durch das Wachstum

der Pons beeinflusst. Die Wachstumskurven der Strecken b und c zeigen eine Ähnlichkeit mit der skelettalen Wachstumskurve der CDC (2000).

Das Os occipitale wäre somit ein Diener zweier Herren (Dibbets, 1980). Es erfüllt beide Anforderungen, welche an es gestellt werden. Das wäre zum Ersten der Aufbau eines Gehäuses mit Schutzfunktion für das Gehirn. Zum Zweiten besteht eine weitere Aufgabe für das Os occipitale darin, durch sein Wachstum bei der Ausformung der oberen Atemwege entscheidend beizutragen. Broseghini (2003) wies in ihrer Arbeit darauf hin, dass sich der Pharyngealraum vergrößert. Dies lässt sich gut mit der Theorie der funktionellen Matrix von Moss (1964) in Einklang bringen. Jede funktionelle Einheit wächst zweckmäßig und besitzt ein eigenständiges Wachstumsmuster. An der Schnittstelle dieser beiden funktionellen Einheiten müssen demnach zwei unterschiedliche Wachstumsmuster aufeinander treffen und innerhalb einer einzigen Struktur vereint werden. Diese Vermutung wird durch die vorliegenden Messergebnisse dieser Arbeit gestützt.

Das Wachstum der Pars basilaris des Os occipitale ist im jugendlichen Alter zwischen 12 und 15 Jahren abgeschlossen. Dies geht aus den Grafiken 3.2.1.1., 3.2.1.2., und 3.2.1.3 hervor. Zu diesem Schluss kam auch Hallmeyer (2008) in ihrer Arbeit. Thilander und Ingervall (1973) stellten fest, dass das Wachstum der Pars basilaris des Os occipitale dazu führen kann, dass der Schädelbasiswinkel (N-S-Ba) abnimmt. Kerr und Adams (1988) stellten fest, dass die Länge der Schädelbasis auch die Angle-Klasse beeinflussen kann. Zudem kann laut Coben (1998) der Schädelbasiswinkel Auswirkungen auf die kieferorthopädische Behandlung haben.

4.3.1.2. Die horizontale Ebene

Die Wachstumskurve der Strecke i ist die einzige horizontale Messstrecke der Pars basilaris des Os occipitale. Diese Strecke zeigt, dass nach dem 12. Lebensjahr (siehe Abb. 3.2.9.1) kein nennenswertes horizontales Wachstum des Clivus mehr stattfindet.

4.3.1.3. Zusammenfassung des Wachstums der Pars basilaris des Os occipitale

Das Wachstum der Pars basilaris des Os occipitale ist, bezogen auf den gesamten Längenzuwachs, sehr gleichmäßig. Es kann schon recht früh, im Alter zwischen 13 und 15 Jahren, als beendet betrachtet werden. Durch die Umgebung ist ein Remodeling der Pars basilaris des Os occipitale nur eingeschränkt möglich. Daraus folgt, dass die Form des Knochens im jugendlichen Alter als relativ stabil angesehen werden kann. Hallmeyer (2008) kommt in ihrer Arbeit zum gleichen Schluss.

Der endokraniale Anteil der Pars basilaris des Os occipitale wächst schneller als der pharyngeale. In der vertikalen Ebene hält das Wachstum länger an als das Wachstum in der horizontalen Ebene. Es zeigte sich in der Untersuchung zudem, dass die vertikale Ebene auch ein größeres Gesamtwachstum besitzt als die horizontale.

4.3.2. Der sphenoidale Teil des Clivus

Der sphenoidale Teil des Clivus besitzt mehrere anatomische Nachbarn, dazu zählen der Pharyngealraum und das Gehirn, aber auch die Hypophyse und das Chiasma opticum. Die Abbildung (4.3.2.1.) gibt eine Übersicht über die horizontalen und vertikalen Messstrecken.

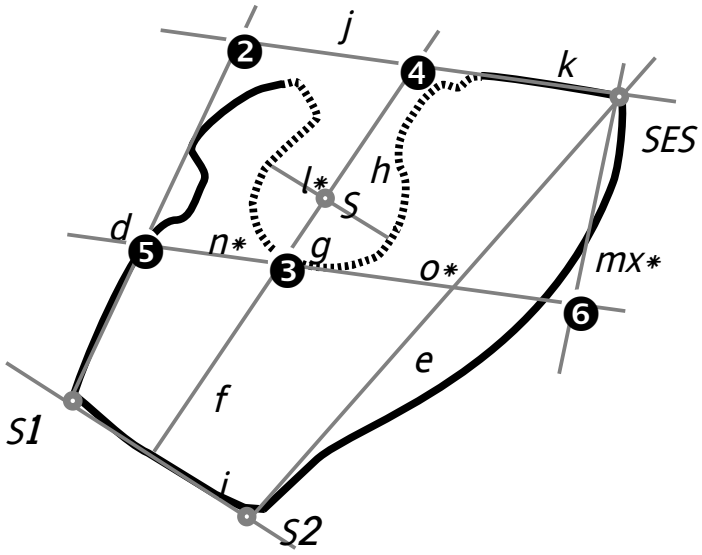


Abbildung 4.3.2.1. Übersicht über den sphenoidalen Teil des Clivus.

4.3.2.1. Der Körper und der Sinus des sphenoidalen Anteil des Clivus in der vertikalen Ebene

In der Vertikalen wurde das Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus durch die Messstrecken d, e, f, g und h bestimmt. Die Strecke i wurde bereits im vorherigen Kapitel behandelt. Die Strecke d (siehe Abb. 3.2.4.1.) markiert den endokranialen Anteil des sphenoidalen Teils des Clivus. Teilweise definiert durch den Punkt S1 muss bei der Interpretation der Strecke vorsichtig vorgegangen werden, da dieser Punkt röntgenologisch schlecht zu erkennen ist. Die Strecke d ist zudem winkelabhängig, da sie durch den Winkel des Planum sphenoidale beeinflusst wird. Verantwortlich dafür ist die Tangente jk, welche sich an das Planum sphenoidale schmiegt. Die Strecke k (siehe Abb. *3.2.11.1.)* in dieser Arbeit liefert für das Planum sphenoidale ein atypisches Wachstumsbild und kann auf Grund dieses Verlaufs nicht verglichen werden. Die Linie o (siehe Abb.*3.2.14.1.)* hingegen zeigt in dieser Arbeit deutliches Wachstum an, sie ist aber nicht mit der Tangente des Planum sphenoidale vergleichbar, weil sie andere Referenzpunkte besitzt.

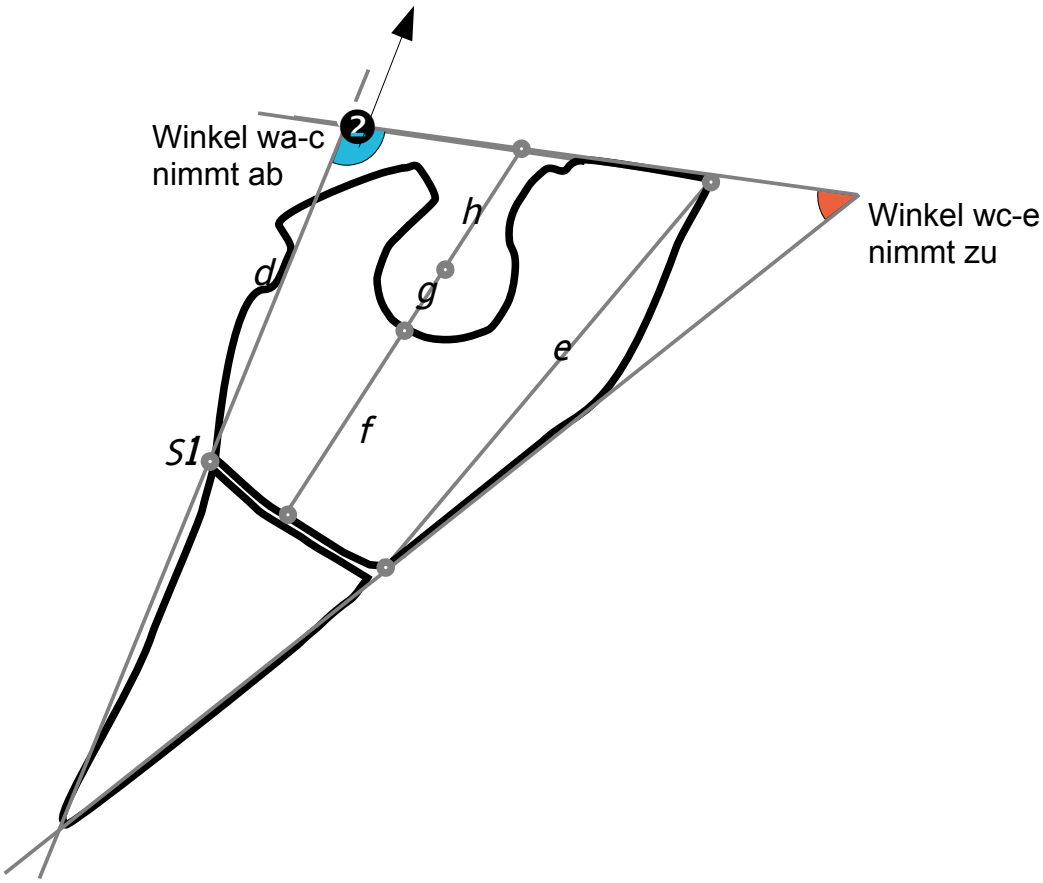


Abbildung 4.3.2.1.1. Übersicht über den Punkt 2 und dessen Aufwärtsbewegung, Grafik nach Hallmeyer (2008). Die Strecken d, e, f, g, und h aus der vorliegenden Arbeit wurden zusätzlich in die Grafik eingefügt.

Laut Hallmeyer (2008) veränderten sich die entscheidenden Winkel wa-c und wc-e in ihrer Arbeit. Sie konnte eine Abnahme des Winkels wa-c beobachten. Dadurch kann Streckenwachstum gemessen werden, welches unter Umständen gar nicht vorlag.
Der Wachstumsverlauf der Strecke d entspricht am ehesten der Kurve der CDC (2000). Allerdings lassen sich abschließend wenig zuverlässige Aussagen über das Wachstum der Strecke d machen. Die Grafik 4.3.2.1.1 soll die mögliche Beeinflussung durch die Veränderung der Winkel verdeutlichen. Der Punkt 2 wird durch die Winkelveränderungen nach oben bewegt. Dies kann durch eine Rotationsbewegung erklärt werden, welche allerdings durch die reinen Streckenmessungen nicht nachgewiesen werden kann.

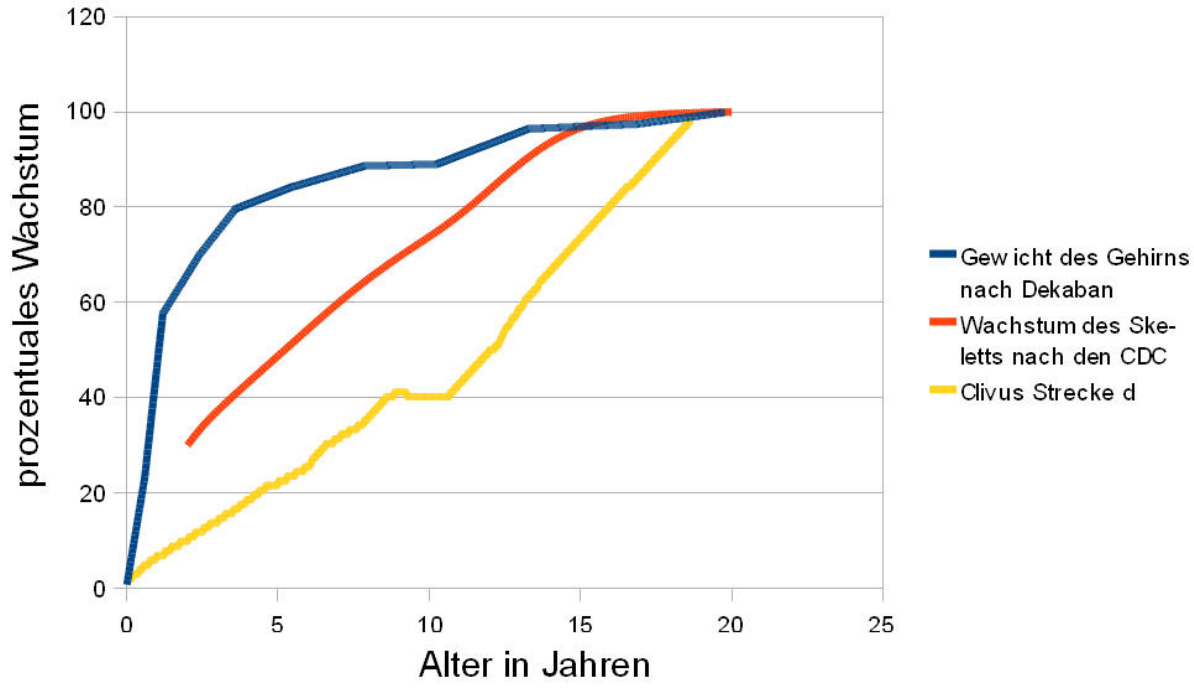


Abbildung 4.3.2.1.2. Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven für das neuronale, das skelettale Wachstum und das Längenwachstum der Strecke d.

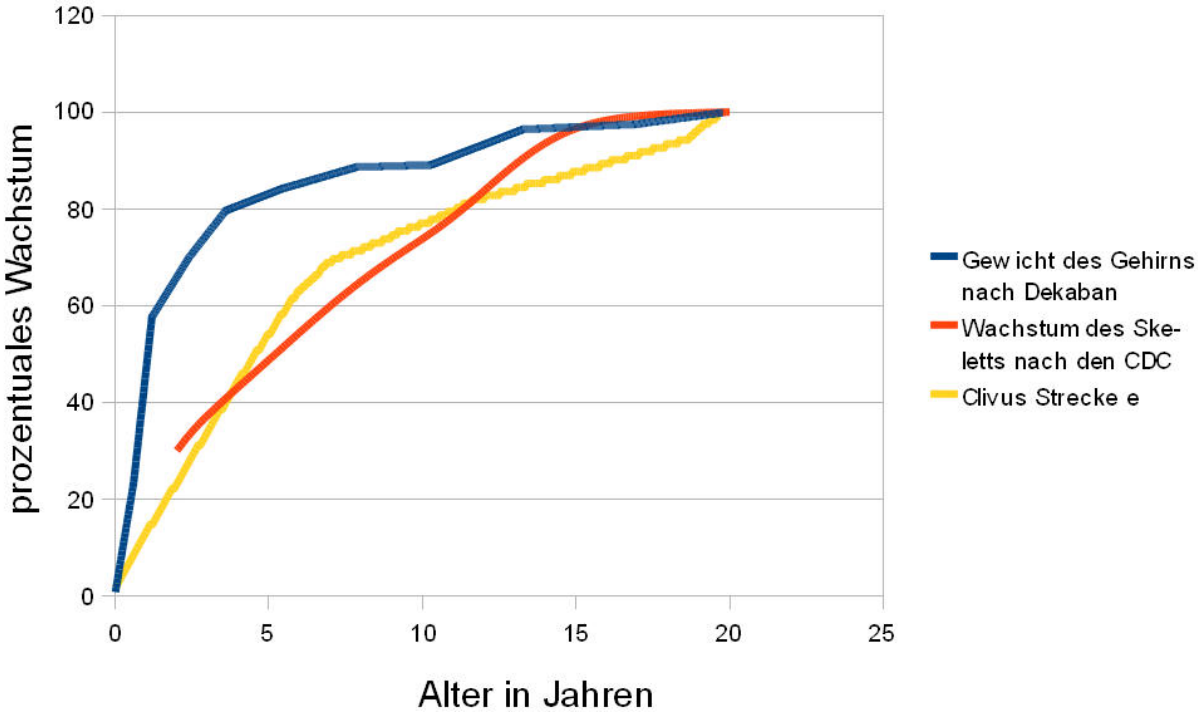


Abbildung 4.3.2.1.3. Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven für das Gehirnwachstum, das skelettale Wachstum und das Längenwachstum der Strecke e.

Die Strecke e steht für das Wachstum des pharyngealen Anteils des sphenoidalen Teils des Clivus. Sie ist durch den Punkt S2 teilweise definiert. Eine Interpretation der Strecke sollte mit Bedacht erfolgen, da der Punkt S2 röntgenologisch schlecht zu erkennen ist. Auch sollte man berücksichtigen, dass die Strecke nicht ganz in der vertikalen Ebene liegt, da das Planum sphenoidale mit dem Punkt SES eine horizontale Wachstumsrichtung zeigt. Eine Zuordnung zum skelettalen Wachstumsmuster ist mit Bedacht vorzunehmen. Wahrscheinlich wird die Wachstumskurve vom Wachstum des Planum sphenoidale mit beeinflusst, weshalb die Strecke das Wachstum in vertikaler und teilweise horizontaler Richtung beschreibt. Es zeigt sich jedoch klar ein Wachstum bis in das Erwachsenenalter. Die Strecke f teilt den sphenoidalen Teil des Clivus in der vertikalen Ebene. Definiert durch mehrere Punkte und Strecken ist sie gut erkennbar. Die Strecke entspricht in ihrer Winkelunabhängigkeit und ihrer vertikalen Lage am ehesten dem reinen vertikalen Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus. Tendenziell hat die Strecke f ein skelettales Wachstumsmuster.

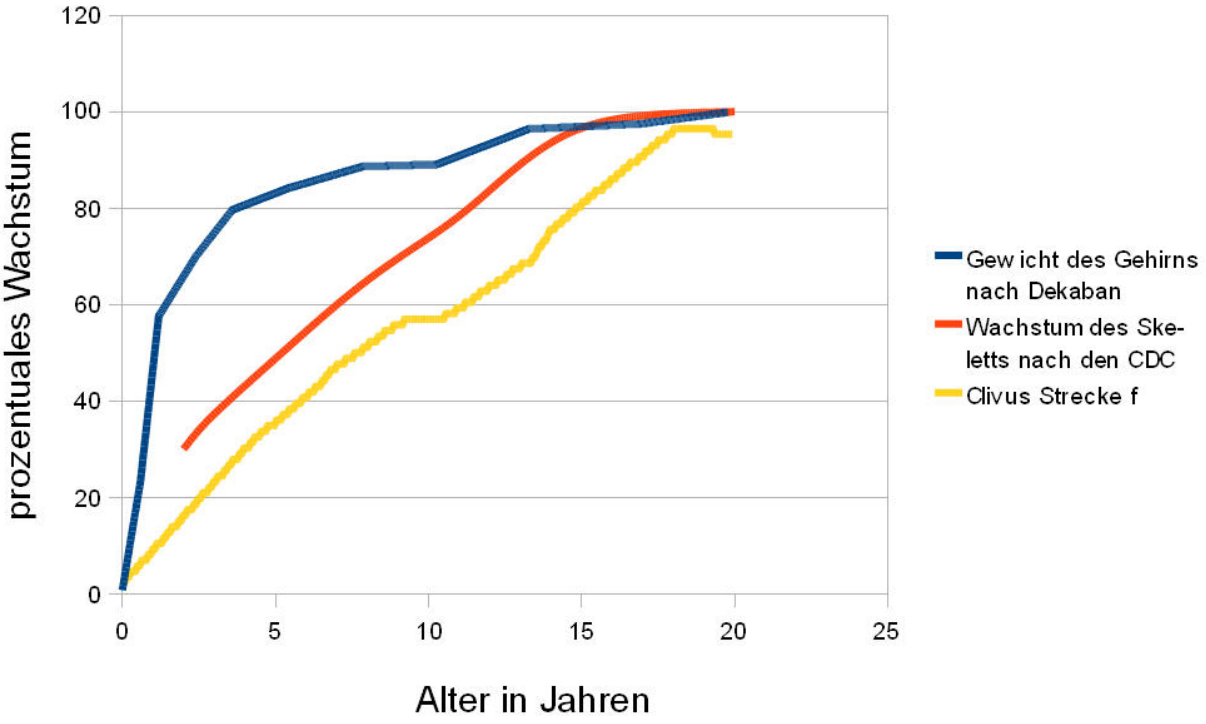


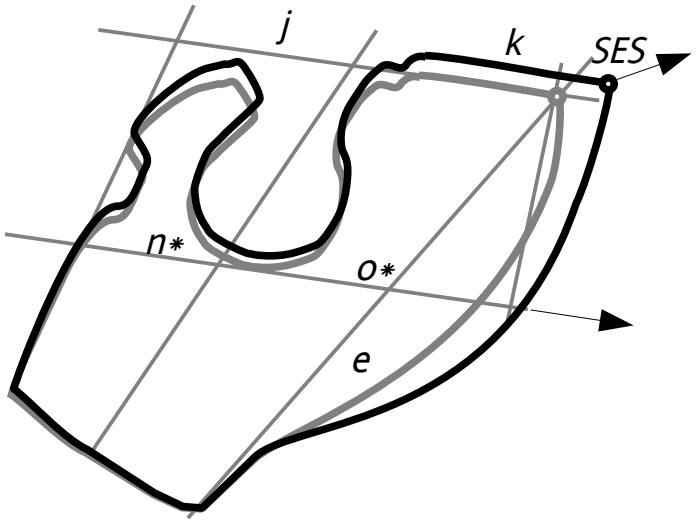
Abbildung 4.3.2.1.4. Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven für das Gehirnwachstum, das skelettale Wachstum und das Längenwachstum der Strecke f.

Latham (1972) stellte in seiner Arbeit fest: „... that the distance between sella and the spheno-occipital synchondrosis stayed relatively constant after the age of 6 month.“ Diese Aussage stimmt nicht mit dem skelettalen Wachstumsmuster der Strecke f in der vorliegenden Arbeit überein.

Eine Erklärung für die Aussage von Latham kann auf der Basis der vorliegenden Daten also nicht gegeben werden.

4.3.2.2. Die horizontale Ebene

Die horizontalen Strecken im ventralen Bereich des Clivus sind die Strecken k (siehe Abb. 3.2.11.1.) und o (siehe Abb. *3.2.14.1.)* In der Diskussion wird hier die Stecke o an Stelle der Strecke k verwendet, da die Strecke k ein atypisches Wachstumsmuster zeigt, was wahrscheinlich auf den Datensatz zurückzuführen ist. Eine Übersicht der Strecken liefert die Grafik 4.3.2.2.1. Teilweise spielt aber auch die Strecke e eine Rolle, da sie durch das horizontale Wachstum des Planum sphenoidale mit beeinflusst wird. Das horizontale Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus wird durch die Strecke o belegt. Durch die Ausformung des Sinus sphenoidalis verlagert sich der Punkt SES nach ventral.



4.3.2.2.1. Ausformung des Sinus sphenoidalis und Ventralverschiebung des Punktes SES. Die ventrale Ausformung des Sinus wird durch die Messstrecke o und die Messstrecke e verdeutlicht.

Hallmeyer (2008) beschreibt in ihrer Diskussion auch eine mögliche Ventralverlagerung des Mittelgesichts zusammen mit Wachstum des Sinus sphenoidalis. Der sphenoidale Anteil des Clivus wächst am Punkt SES besonders horizontal, was durch Messstrecke o dargestellt werden kann. Die Messstrecke o verbindet indirekt den Boden der Sella turcica mit dem Punkt SES (die Verbindung zum Punkt SES ist deshalb indirekt, weil hier über eine Hilfsstrecke, mx genannt, der

Bezug zum Punkt SES hergestellt wird). Interessant ist auch, dass die Strecke n (siehe Abb. *3.2.13.1.)* aber auch die Strecke j (siehe Abb. *3.2.10.1.)* in dieser Arbeit ein geringes Wachstum besitzen. Sie sind die horizontalen Messstrecken, welche in direkter Nähe zur Sella turcica am endokranialen Bereich liegen. In dieser Arbeit kann eine Ausformung des Sinus sphenoidalis beobachtet werden. Die Ausformung geht parallel mit einer Ventralverlagerung des Punktes SES einher. Man könnte an eine Beeinflussung des Mittelgesichts durch die Ausformung des Sinus sphenoidalis denken. Allerdings kann eine derartige Aussage aus den vorliegenden Messergebnisse nicht getroffen werden.

Melsen (1974) beschreibt Remodeling durch Knochenapposition an dem endokranialen Anteil des sphenoidalen Teils des Clivus. Die einzige Strecke, welche für einen Vergleich herangezogen werden kann, ist die Strecke n. Ihr Längenwachstum beträgt 1 mm. Durch das sehr geringe Wachstum kann keine klare Aussage über ein Remodeling am dorsalen Anteil des sphenoidalen Teils des Clivus getroffen werden. Mit der Annahme, dass sich die Lage des Punktes Sella nicht ändert, könnte auch ein geringfügiges Remodeling im dorsalen Bereich erklärt werden. Allerdings ist die Lagesicherheit des Punktes Sella in der Literatur umstritten (siehe Abschnitt. 4.3.2.3.).

4.3.2.3. Die Sella turcica

Axelsson et al. (2004) beschreiben in einer röntgenologischen Untersuchung die Veränderungen der Sella turcica. Im Gegensatz zu ihren Untersuchungen, in denen in der Vertikalen kein Wachstum und in horizontalen Ebene Wachstum festgestellt werden konnte, wurde in der vorliegenden Untersuchung für beide Ebenen ein geringes Wachstum gefunden. Allerdings mussten Axelsson et al. (2004) in ihrer Untersuchung einräumen, dass die große Formenvielfalt der Sella turcica

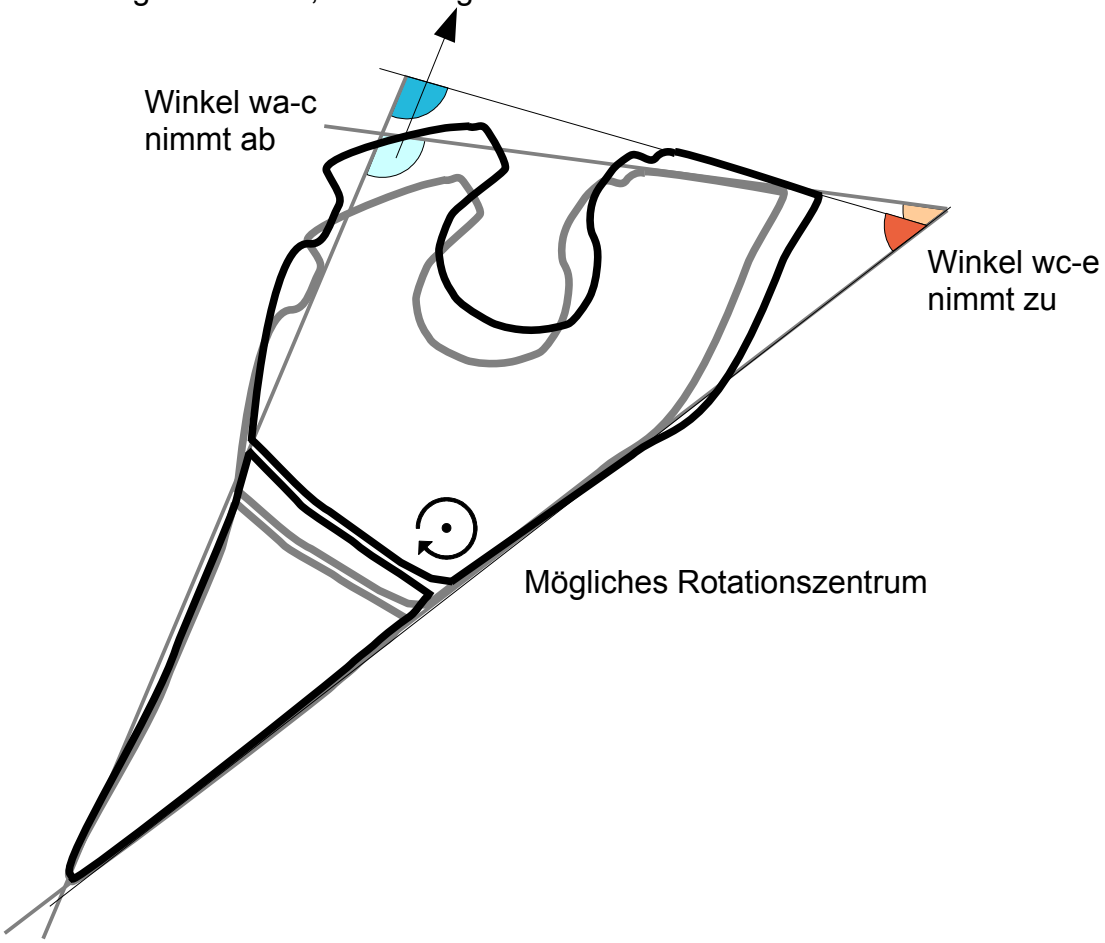


Abbildung 4.3.2.3. Winkel und Streckenmessungen in einer Grafik kombiniert. Es entsteht eine Rotation des Corpus sphenoidalis des Clivus nach dorso-kranial.

die Messergebnisse beeinträchtigt haben könnte. Ihre Einwände sind sicherlich berechtigt und sollten auch in der Interpretation dieser Arbeit berücksichtigt werden, in der die Messstrecken g (siehe Abb. 3.2.9.1.) und l (siehe Abb. 3.2.12.1.) eine Information über das Wachstum der Sella turcica, die Strecken j (siehe Abb. 3.2.10.1), n (siehe Abb. 3.2.13.1.) und k (siehe Abb. 3.2.11.1) über das periphere

Wachstum des Anteils der Sella turcica geben (siehe Abb. 4.3.2.2.1.).

Die Strecken g und l aber auch n zeigen ein geringfügiges, die Strecken j und k hingegen kaum oder gar kein Längenwachstum. In dieser Arbeit zeigt sich, dass die Veränderungen der Region der Sella turcica bis in das Erwachsenenalter anhalten. Betrachtet man die Peripherie um die Sella turcica herum fällt auf, dass sich die Messstrecken d und h aber auch k bis in das Erwachsenenalter verändern. Allerdings lassen die Strecken keine genauen Rückschlüsse auf die exakten Formveränderungen zu, da die Referenzpunkte der Linien an andere anatomische Regionen gekoppelt sind. Dass sich die Region um die Hypophyse bis in das Erwachsenenalter verändert, bestätigen die Untersuchungen von Lang und Issing (1989) sowie Lang und Zeitler-Zapf (1993). Aber auch die Ergebnisse von Axelsson et al. (2004) zeigen eine Veränderung bis ins Erwachsenenalter. Die Dimensionen der Sella turcica selbst, welche durch die Strecken g und l ermittelt wurden, sind schon mit ca. 9 Jahren stabil, so wie es auch von Powell und Brodie (1963) beschrieben wurde.
Außerdem bemerkte Ford (1958): „It is probable that the pituitary fossa and point (tuberculum sellae) also move upward during growth... . Björk observed that the tuberculum sellae arises during growth relative to the nasion sella line.“ Die Messergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen ebenfalls vertikales Wachstum in der Ebene (Strecken f, d, und e). Ob sich eine Veränderung der Position des Punktes Sella in Relation zu anderen Referenzpunkten, wie der Nasion Sella Linie, ergibt, mag dahin gestellt sein. Zumindest aber wächst der Abstand von Basion zu Sella. Baume (1961) kommt zu dem Schluss, dass der Punkt Sella nicht als stabiler Referenzpunkt für Wachstumsüberlagerungen dienen kann, weil sich die proportionalen Verhältnisse durch das unterschiedliche Wachstum von Gehirn und Mittelgesicht ändern. Werden die Winkelveränderungen Hallmeyers (2008) und die Streckenmessungen kombiniert, ergibt sich durch die Winkelveränderungen eine Rotationsbewegung, welche mit einer Aufwärtsbewegung des Punktes „Sella“ einhergeht.

4.3.2.4. Zusammenfassung des sphenoidalen Anteils des Clivus

Der sphenoidale Anteil des Clivus wächst bis in das Erwachsenenalter. Zudem richtet sich der sphenoidale Anteil des Clivus durch das Wachstum wahrscheinlich mit einer Rotationsbewegung nach dorso-kranial auf. Die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis erfolgt nicht im frühen jugendlichen Alter sondern wahrscheinlich mit ca. 15 Jahren. Das Os sphenoidale scheint in seinem Wachstum kaum vom Gehirn beeinflusst zu werden und kann durch sein lang anhaltendes Wachstum einen Counterpart für das Wachstum des Mittelgesichts darstellen.

4.4. Der Clivus als Gesamtstruktur

4.4.1. Das Längenwachstum

Über die Längenentwicklung des Clivus gibt es relativ viele Arbeiten (Arat et al. [2001], Axelsson et al. [2004], Baer und Nanda [1977], Bishara und Jacobsen [1985], Björk [1955], Gilda [1974], Harnet et al. [2004], Henneberke und Prahl-Andersen [1994], Hoyte [1971] (Untersuchung an Schweinen), Israel [1973], Lang und Issing [1989], King [1952], Koski [1960], Melsen [1969 und 1980], Roche et al. [1977]). Allerdings lassen die teilweise anders gewählten Referenzpunkte nur vorsichtige Interpretationen zu. Scammons relative Wachstumskurven werden noch einmal in der nachfolgenden Grafik (siehe Grafik 4.4.1.1.) dargestellt:

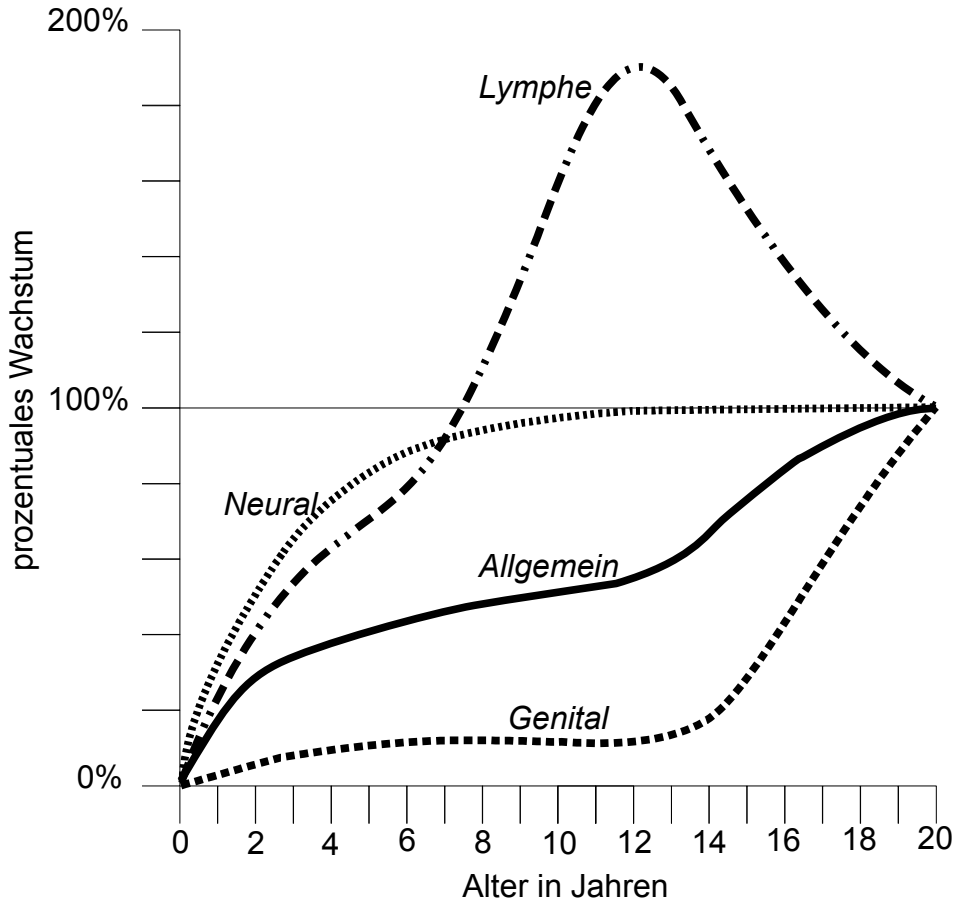


Abbildung 4.4.1.1. Modifizierte Darstellung der Wachstumskurven nach Scammon von 1930. Quelle: Aus dem Kapitel: „The measurement of the body in childhood“ in: Harris et al. (1930).

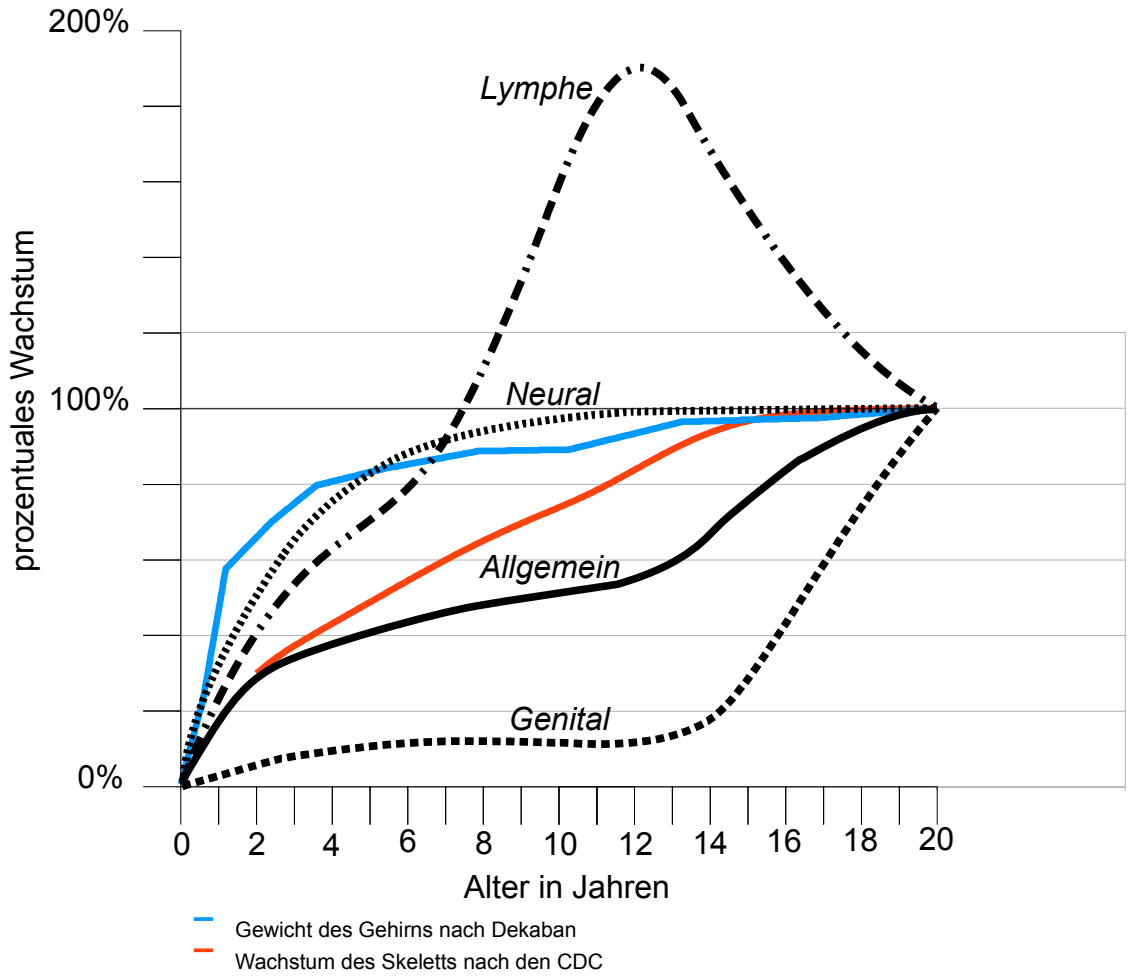


Abbildung 4.4.1.2. Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven, skelettal von den CDC (2000) rot, neuronal von Dekaban et al. (1978) hellblau und Scammon (1930) schwarz, wobei bei Scammon (1930) zwischen Lymphe, Neural, Allgemein und Genital unterschieden werden muss.

Scammon beschäftigte sich mit Wachstumsvorgängen und den daraus resultierenden Veränderungen. Ein Vergleich der Wachstumskurven der CDC (2000), Dekaban et al. (1978) und Scammon (1930) zeigt, dass die skelettale Wachstumskurve einen abweichenden Verlauf von der Kurve der CDC (2000) aufweist. Dies wird in der Abbildung 4.4.1.2. dargestellt. Eine Erklärung dafür wäre die unterschiedliche Herangehensweise der Untersuchungen. So wurden bei Scammon (1930) nicht nur das chronologische Alter sondern auch andere Faktoren, wie die sekundären Geschlechtsmerkmale [Malina et al. (2004)], zur Einordnung der Messergebnisse hinzugezogen. Diese Aussage lässt sich, wenn auch sehr verkürzt,

in der Beschreibung von Scammons Grafik im Buch von Harris et al (1930) wiederfinden. Die Messergebnisse der CDC (2000) beziehen sich auf das rein chronologische Alter. Da in der vorliegenden Arbeit ebenfalls nur das chronologische Alter eine Rolle spielt, sind andere Faktoren, wie die sekundären Geschlechtsmerkmale, für den Wachstumsvergleich unstatthaft.

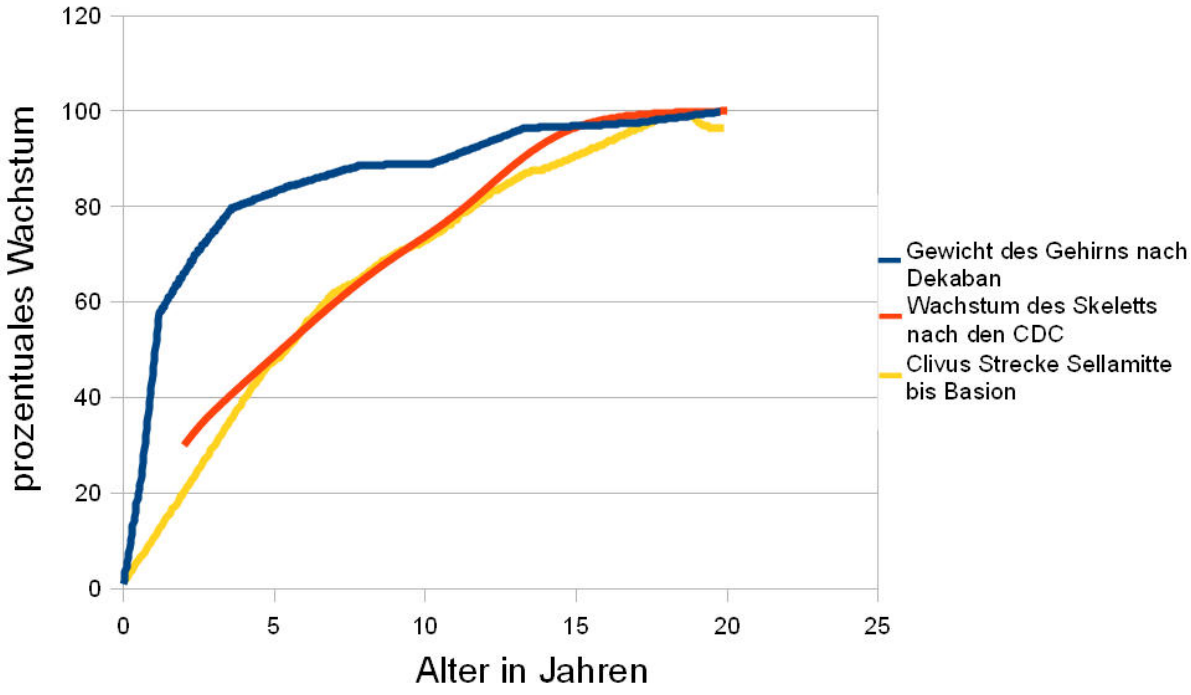


Abbildung 4.4.1.3. Überlagerungsgrafik der Wachstumskurven für das neuronale Wachstum, das skelettale Wachstum und das Längenwachstum der Strecke S-Ba.

Die Überlagerungszeichnung (siehe Abbildung 4.4.1.3.) zeigt die starke Ähnlichkeit zwischen der Strecke Sella - Basion (S-Ba) und der skelettalen Wachstumskurve der CDC (2000). Es wird zudem Wachstum bis in das 18. Lebensjahr angezeigt. Arat et al. (2001) haben vertikal ein deutliches Wachstum des Clivus festgestellt, was sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit deckt. Die direkten Messungen für die Länge des Clivus mittels Schieblehre von Lang und Issing (1989) an menschlichen Schädeln passen gut zu der Längenentwicklung der Strecke Sella - Basion (Ba-S) in dieser Arbeit. Die Untersuchung schließt jedoch auch die dorsokraniale Spitze des Clivus mit ein. Die Werte von Lang und Issing (1989) sind gleichzeitig relativ niedrig im Vergleich zu anderen Arbeiten, wie z.B. den Ergebnissen von Baer und Nanda (1977) oder Björk (1955). Allerdings sind direkte Messungen mit der Schieblehre frei

von Fehlern der bildgebenden Verfahren. Verzeichnungen oder der Vergrößerungsfaktor fehlen bei derartigen Messungen vollständig. Daher sollte ihnen der Vorzug gegeben werden. Sehr ähnliche Messergebnisse der Basion-Sella-Linie wurden auch in der Untersuchung von Harnet et al. (2007) festgestellt, auch wenn die Streckenmessungen in deren Arbeit nur bis zum Alter von 7 Jahren reichten.
Divergenzen mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit gibt es im Vergleich zu den Messungen von Krmpotic-Nemanic et al. (2005). Sie stellten ein Wachstum des Clivus bis zum Alter von ca. 10 Jahren fest. Sowohl die Ergebnisse von Arat et al. (2001) als auch von Bishara et al. (1984) sind geschlechtsspezifisch; so endet in der Arbeit von Arat et al. (2001) das Streckenwachstum der Strecke Sella - Basion mit 15 Jahren für Mädchen und mindestens 18 Jahre für Jungen. Auch Hahn von Dorsche et al. (1999) stellten ein Längenwachstum der Linie Basion-Sella bis zum Alter von mindestens 15 Jahren fest. Danach konnten sie kein weiteres Wachstum der Strecke Basion-Sella feststellen. Dies steht im Widerspruch zu den Resultaten der vorliegenden Arbeit. Sowohl Arat et al. [2001], Bishara et al. [1984], Bishara und Jacobsen [1985] als auch El-Batouti et al. [1994] sowie Henneberke und Prahl-Andersen [1994] konnten beim Wachstum geschlechtsspezifische Unterschiede nachweisen. Arat et al. [2001], Bishara und Jacobsen [1985], Baer und Nanda [1977] sowie Lang und Issing [1989 stellten ein Wachstum des Clivus mindestens bis in das Erwachsenenalter fest. Powell und Brodie (1963) kamen zum gleichen Schluss. Koski (1960) stellte ein Wachstum des Clivus (Strecke Sella - Basion) bis in das Alter von mindestens 15 Jahren fest und meinte zudem, dass es möglicherweise auch danach noch Wachstum geben könnte. Die Aussagen von Powell und Brodie stimmen gut mit den Messergebnissen der vorliegenden Arbeit überein. Die Längenuntersuchungen der Strecke Sella - Basion an normal gewachsenen Adulten, welche von Baer und Nanda (1977) publiziert wurden, stimmen tendenziell gut mit den Werten der vorliegenden Arbeit überein, sind aber größer als die Werte, welche in dieser Arbeit ermittelt wurden. Baer und Nanda (1977) verglichen ihre Ergebnisse wiederum mit Kisling sowie Babineau und Kronman und stellten fest, dass deren Messwerte noch deutlich größer waren. Dies könnte auf die fehlende Korrektur des Vergrößerungsfaktors zurückzuführen sein. Zudem bemerkten sie, dass das Längenwachstum des Clivus ein skelettales Wachstumsmuster aufweist. Sie konnten aber keine Erklärung dafür finden: „Why the third segment, the length of the clivus,

adheres to the somatic pattern of growth, is left unexplained.“ (Baer und Nanda, 1977). Interessant ist hier die Aussage „somatic pattern of growth“. Der Begriff „somatisch“ bezieht sich auf das gesamte Wachstum des Körpers und nicht nur auf das Skelett. Wahrscheinlich wurden aber hier das allgemeine Wachstumsmuster und das skelettale direkt in Beziehung gesetzt, um die unterschiedlichen Wachstumsmuster darzustellen.

In dieser Arbeit wurde für die Strecke Basion - Sellamitte ein skelettales Wachstumsmuster ermittelt. Alle Aussagen lassen sich durch die Messergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen.

Hier sollte allerdings eine differenzierte Betrachtung erfolgen, welcher Anteil des Clivus bis in das Erwachsenenalter wächst. Schließlich ist das Wachstum der Pars basilaris des Os occipitale mit etwa 12 Jahren nahezu beendet, wobei der endokraniale Anteil in seinem Wachstumsende eine Vorreiterrolle spielt. Der pharyngeale Anteil wächst langsamer.

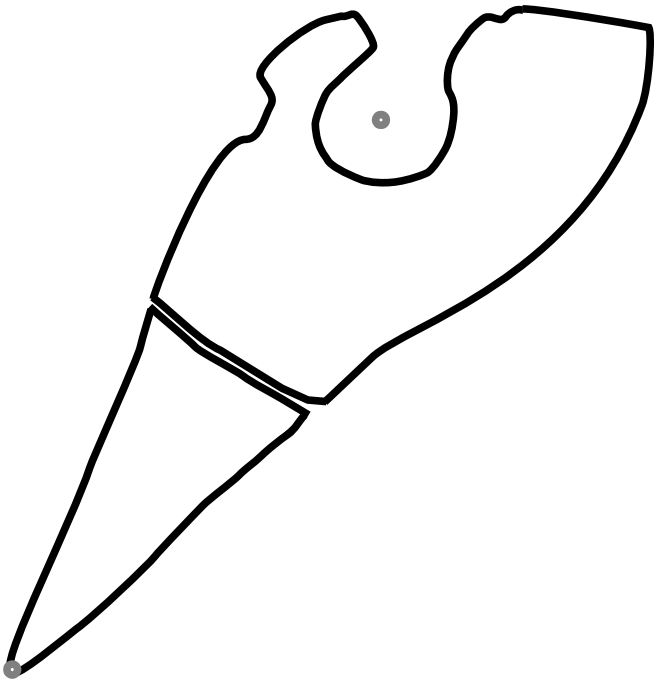


Abbildung 4.4.1.4. Die Pars basilaris des Os occipitale (schraffiert dargestellt) zeigt ein nahezu vollständig abgeschlossenes Wachstum mit etwa 12 Jahren.

Nakamura et al. (1972) fassten eine Aussage von Brodie in ihrer Arbeit zusammen: „Brodie, Jr. found that the incremental growth of the cranial base conforms quite closely to the neural pattern of growth, which is characterized by a gradual

decelleration from birth to 7 – 10 years... . He also states that in a less striking manner cranial bone growth is allied to general body growth patterns.“ Nakamura et al. sehen diese Aussage durch ihre Messergebnisse bestätigt. Sie beziehen sich dabei auf den endokranialen und den pharyngealen Anteil des Os sphenoidale. Leider geht aus ihrer Arbeit nicht genau hervor, wie die Überlagerungszeichnungen erstellt und die Datensätze zur Überlagerung verwendet wurden.
Bastir et al. (2006) stellten überrascht fest, dass die Mittellinie der Schädelbasis ein länger anhaltendes Wachstum besitzt: „...it seems surprising that the neurobasiscranial complex as a whole achieves size maturity earlier than some of its components i.e. the midline cranial base.“
Auch Griffiths et al. (2004) kamen zu dieser Aussage: „ This provides support for the theory that in some regions of the skull factors other than brain growth influence bone development“, und Hoyte (1971) kam in einer Untersuchung an Schweinen ebenfalls zu diesem Schluss. Das vertikale Wachstum wird im Erwachsenenalter eher durch den sphenoidalen Teil des Clivus beeinflusst als durch die Pars basilaris des Os occipitale. Dies ist in so weit interessant, als oft vom Clivus als einer Gesamtstruktur gesprochen wird und diese Verallgemeinerung die Verantwortlichkeit des einzelnen Knochens für das Wachstum in der Vertikalen außer Acht lässt.

So sagt Ford (1958): „However, analysis shows that individual parts of the base have either the neural or the general skeletal growth rate, but not an intermediate one.“ „...the first and the third segment, from sella turcica to basion, have the general skeletal growth rate....“ So wurde es auch von Henneberke und Prahl-Andersen (1994) beschrieben, welche ebenfalls die Strecke Sella - Basion nutzten: „...cranial base growth in girls participating in this study, follows a general pattern of somatic growth similar to that of stature.“
In der vorliegenden Arbeit zeigt die Messstrecke a kein rein skelettales Wachstumsmuster. Es ist davon auszugehen, dass eine Beeinflussung der Pars basilaris des Os occipitale durch das Wachstum der Pons vorliegt. Die Beobachtungen auf den gesamten Clivus zu übertragen, ist aus Sicht der vorliegenden Messergebnisse nicht unkritisch. Es sollte berücksichtigt werden, dass wir den Wachstumscharakter einer Region nicht durch eine einzige Messstrecke festlegen können. Dies zeigen die Messungen der Strecke a (Strecke zwischen den

Punkten Basion „Ba“ und „S1“). Sie steht für das Wachstum des endokranialen Teils der Pars basilaris des Os occipitale.
Natürlich kann man dem Clivus als einer einheitlichen Struktur (welche er ja de facto nicht ist, weil er aus zwei unterschiedlichen Knochen besteht) ein skelettales Wachstumsmuster zuordnen, wenn man von Basion nach Sella misst, allerdings bleiben die Feinheiten bei dieser groben Zuordnung verborgen.
Bereits Baer (1954) sowie Baer und Nanda (1977) stellten fest, dass der Schädel sowohl ein skelettales als auch ein neuronales Wachstumsmuster besitzt, und auch Bastir et al. (2006) bestätigen in ihrer Untersuchung, dass sich proportionale Änderungen durch das Wachstum ergeben.

Beeinflussende Faktoren sind möglicherweise sowohl das Gehirn als auch der Pharynx. „Growth of the cranial base during its development is regulated by at least two different influences from the brainstem and the pharynx (Dibbets, 1980).“ Nanda et al. (1955) wiesen in ihrer Arbeit ebenfalls darauf hin: „Since all dimensions do not grow at the same relative rate, the form of the face is, of necessity, changed.“ Melsen kam in einer Untersuchung 1980 zu dem Schluss, dass das Wachstum des Gehirns auch Auswirkungen auf das Wachstum der Schädelbasis besitzt: „ It is suggested, on the basis of the present study, that not only the size but also the shape of the cranial base is influenced by the size of the brain.“ Sie stellte in dieser Untersuchung auch ein minderes Wachstum der Strecke Sella - Basion bei Anencephalie und Microcephalie fest.
Die Messstrecke a zeigt eine wahrscheinliche Beeinflussung durch die Pons im Bezug auf das Wachstumsverhalten der Pars basilaris des Os occipitale auf. Daher können die Aussagen von Melsen (1980) und Dibbets (1980) bestätigt werden. Enlow (1990) sah das Wachstum des Os sphenoidale als Gegenstück („Counterpart“) zum Wachstum des Mittelgesichts. So sah es auch Koski (1960) und beschrieb, dass auch Stramrud zu einem ähnlichen Resultat kam. Die Aufgabe des „Counterparts“ kann aber nur der sphenoidale Teil des Clivus bis in das Erwachsenenalter erfüllen.
Thilander (1995) merkte allerdings auch an, dass viele Faktoren auf das Wachstum der Schädelbasis Einfluss nehmen können. Die hier festgestellten Einflüsse dürften demnach nicht das Gesamtbild der möglichen Einflüsse darlegen.

4.4.2. Die Abknickung der Schädelbasis

Viele Untersuchungen bestätigen eine Abnahme des Schädelbasiswinkels (Baer [1954], Björk [1955], George [1978]). So nimmt der Winkel (N-S-Ba) in der Arbeit von George (1978) um etwa 15° ab, seine Untersuchung betrifft dabei eine Altersspanne von der Geburt bis zum Alter von 5 Jahren, 9 Monaten. Die Abknickung der Schädelbasis wurde aber auch von Baer (1954) an Ratten untersucht. Der Gesichtsschädel und der Hirnschädel wachsen sowohl beim Tier (Baer 1954) als auch beim Menschen (Baer und Nanda [1977], Enlow [1990]) unterschiedlich. Zu diesem Ergebnis kamen auch Nakamura et al. (1972). Der Gehirnschädel schützt das Gehirn und wächst als Folge auch in Abhängigkeit mit dem Gehirn mit, während dem Gesichtsschädel ein skelettales Wachstum zugesprochen wird (Baer [1954], Enlow [1990]). Björk (1955) sieht aber auch einen Zusammenhang zwischen dem Schädelbasiswinkel und der Rotation des Clivus, wobei er sowohl eine rückwärts als auch eine vorwärts gerichtete Rotation des Clivus als individuelles Merkmal sieht. Im Alter von 10 Jahren ist laut Björk (1955) die Schädelbasis vollständig abgeknickt. Er merkte zudem an, dass sich nach dem neuronalen Wachstum die Schädelbasis kaum verändert und somit in ihrem Wachstum abgeschlossen ist. Dabei spielt der Schädelbasiswinkel laut Sielaff (1991) eine entscheidende Rolle für die Gesichtsentwicklung. Er stellte fest, dass bei einem kleineren Schädelbasiswinkel eine prognathere und bei einem großen eine mehr retrognathe Gesichtsentwicklung stattfindet. Melsen (1974) vermutete, dass sich das Os occipitale nach dorsokranial aufrichtet. Sie führte dazu sowohl das divergierende Wachstum an der Synchondrosis spheno-occipitalis als auch die Vorgänge des Remodelings an.

Allerdings wird auch deutlich, dass sich aus den unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten, welche auch von Bastir et al. (2006) für den menschlichen Gesichts- und Hirnschädel untersucht wurden, eine Veränderung der Form ergeben muss.
Watanabe und Madeira (1977 – Abstr.) schrieben „Growth of the brain and upright posture seem to be the factors most responsible for the post-natal flexion of the cranial base.“
In der vorliegenden Arbeit kann durch das unterschiedliche Wachstumsverhalten der

Strecken der Schluss gezogen werden, dass sich daraus eine Formveränderung des Clivus während des Wachstums ergibt. Im Hinblick auf den Clivus bedeutet es, dass sowohl das Gehirn als auch das Mittelgesicht das Wachstum des Clivus beeinflussen. In der Arbeit Hallmeyer (2008) zeigen die gemessenen Winkel, dass sich die vergleichbaren Winkel der Strecken a, b und c nicht verändern. Die nachfolgende Grafik bindet die Winkelmessungen von Hallmeyer (2008) und die Streckenmessungen der vorliegenden Arbeit ein.

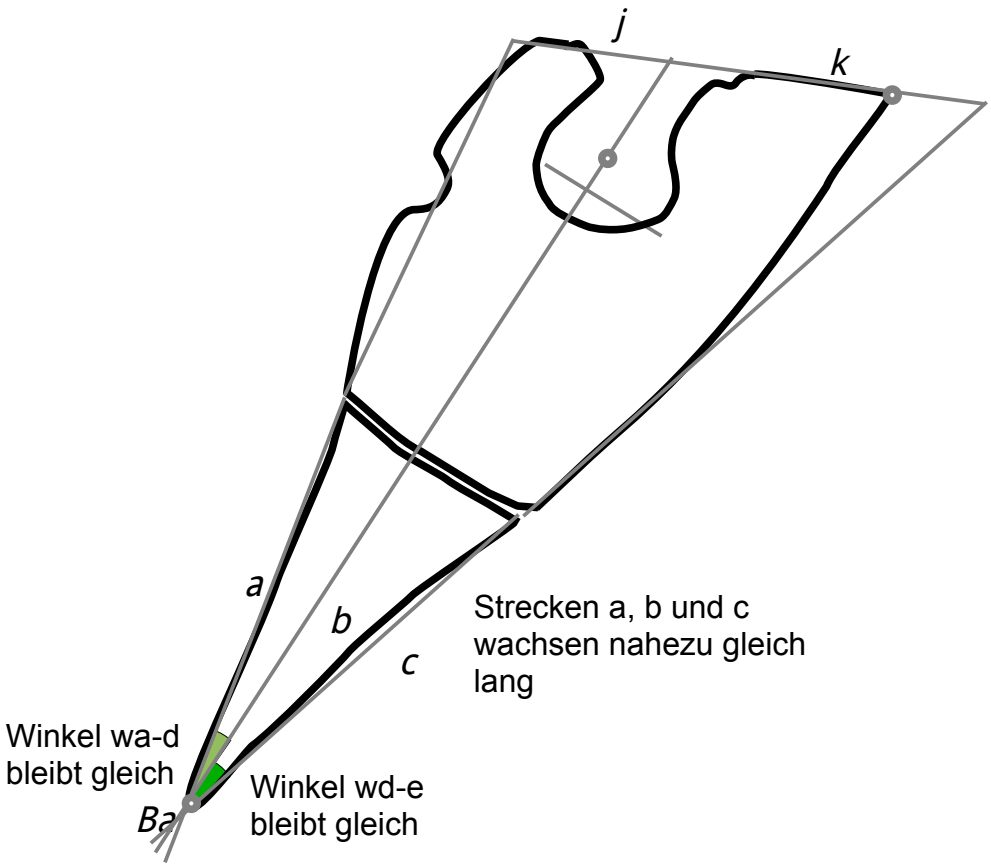


Abbildung 4.4.2.1. Die Winkel wa-d und wd-e wurden mit den Strecken a, b und c in eine Gesamtgrafik eingefügt. Es wird deutlich, dass die Pars basilaris des Os occipitale weder durch Winkelveränderungen noch durch das Wachstum an sich eine Abknickung der Schädelbasis verursachen kann.

Es ist daher eher unwahrscheinlich, dass von dem Os occipitale ein Abknicken der Schädelbasis ausgeht. Auch Hallmeyer (2008) erklärt die Abknickung durch eine mögliche Rotation des Os sphenoidale und zieht für die Begründung die

Winkelmessungen heran. Sie sieht zudem ein frühes Wachstumsende der Pars basilaris des Os occipitale: „ Der occipitale Anteil des Clivus unterliegt sehr geringen Veränderungen im Laufe des Wachstums und kann sehr früh als stabil angesehen werden.“ In der vorliegenden Arbeit können aus den Winkelmessungen von Hallmeyer (2008) (Winkel wa-c und wc-e) und den Streckenmessungen d, e und f die Schlussfolgerungen gezogen werden, dass eine Rotation des sphenoidalen Anteils des Clivus, und damit ein Aufrichten des Clivus, die einzige Wachstumsbewegung ist, welche alle Messergebnisse plausibel und umfassend erklären kann. Da sich durch die Rotation eine Veränderung der Form ergeben muss liegt es nahe, dass eine Kompensation der Abknickung der Schädelbasis durch das unterschiedliche Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus und der Pars basilaris des Os occipitale erfolgt. Weiterhin könnte dies auch einen direkten Einfluss auf die kieferorthopädische Behandlung haben, wie es Dahan (1977) feststellte: „Das Keilbein... … kann durch seine Fortsätze sowohl die Lage des Oberkiefers als auch auf die des Unterkiefers beeinflussen.“

4.4.3. Die Synchondrosis spheno-occipitalis

Schon über einen längeren Zeitraum haben sich Forscher in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten mit der Synchondrosis spheno-occipitalis befasst (Adams und Harkness 1971). Von mehreren Autoren wurden unterschiedliche Thesen geäußert, welche Rolle die Synchondrosis spheno-occipitalis während des Wachstums für die Entwicklung des Schädels spielt. Diese Erörterungen sind bis heute Gegenstand von Untersuchungen (Adams und Harkness [1971], Baer und Nanda [1977], Moss und Salentijin [1969] sowie Powell und Brodie [1963]), und die Bedeutung der Synchondrosis spheno-occipitalis für das Wachstum des Gesichtsschädels ist noch nicht vollständig geklärt. Viele Wissenschaftler sehen in der Synchondrosis spheno-occipitalis einen effektiven Mechanismus des Längenwachstums der Schädelbasis. Scott et al. (1956) sahen im Knorpelwachstum den entscheidenden Faktor des Wachstums, da durch den Knorpel eine Verdrängung stattfindet: „The separating force is provided by growth of the septal cartilage and orbital contents“. Und 1957 schrieb Scott: „The chief mechanism which separates the bones along this system is growth of the brain and of the cartilage between the body and the graeter wings of the sphenoid“. Baume (1957) beschrieb sogar ein autonomes Knorpelwachstum.

Andere Autoren hingegen wiesen der Knorpelfuge eine passivere Haltung zu. Weder bei Enlow (1990) noch bei Moss (1955) sowie Moss und Salentijin (1969) werden Suturen als determinierende Elemente für das Wachstum der Schädelbasis gesehen. Diese Ansichten stehen sich gegenüber und sind sich in ihren Aussagen nahezu konträr.

Melsen (1974) untersuchte mit unterschiedlichen Methoden die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis. Sie kam zu dem Schluss, dass die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis bei Jungen im Alter von 13 bis 16 und bei Mädchen im Alter von 11 bis 14 Jahren stattfindet, wenn die Verknöcherung mittels Laminographie untersucht wird. Ihre Untersuchung an Autopsiematerial ergab eine Verknöcherung im Alter von 13 bis 18 Jahren für Jungen und 12 bis 16 Jahre für

Mädchen. Von Adams und Harkness (1971) wurde ein Abwärts-Trend in Bezug auf das Alter der Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis festgestellt. Meneses et al. führten 1994 eine MRT-Untersuchung über die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis durch, und ihre Resultate stimmen gut mit denen von Melsen überein. Sie kamen zu der Schlussfolgerung, dass die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis zwischen 14 und 16 Jahren stattfindet.

Die durchgeführten Untersuchungen zur Schädelbasis haben unterschiedliche Methoden und Ansatzpunkte:

Björk untersuchte (1955) kleinwüchsige Personen und stellte dabei fest, dass mit einer Synostose der Synchondrosis spheno-occipitalis das Längenwachstum des Clivus stagniert. Brodie (1941) bemerkte allerdings auch, dass sich bei Fehlentwicklungen des Gesichts die Deformationen mit dem Wachstum nicht verschlimmern sondern proportional gleich bleiben.

Diese Proportionalität ist äußerst interessant und als Beispiel in dieser Arbeit mögen die Strecken a, b und c gelten, welche fast identisches Gesamtwachstum besitzen, obwohl der zeitliche Ablauf des Wachstums unterschiedlich ist.

Du Brul und Laskin (1961) untersuchten durch herbeigeführte Synostosen an Rattenschädeln das Wachstum. Bei Synostose von Suturen trat keine deutliche Formänderung auf. Bei Synostose der Synchondrosis spheno-occipitalis hingegen schon, wobei sie feststellten, dass deren Schädelform eher mit der einer Spezies mit aufrechtem Gang verglichen werden konnte.

Ingervall und Thilander (1970) stellten fest: „... the synchondrosis was always closed at higher ages (16 years 3 months and older).“ In einer weiteren Arbeit von Thilander und Ingervall (1973) untersuchten sie das Wachstum der Synchondrosis spheno-occipitalis. Sie stellten eine beginnende Verknöcherung mit 12-13 Jahren fest, während die Synchondrosis spheno-occipitalis erst mit 16-17 Jahren komplett verknöchert war. Ford (1958) beschrieb, dass Wachstum an der Synchondrosis spheno-occipitalis bis in das Erwachsenenalter stattfindet.

Die unterschiedlichen Ansätze und Interpretationen, welche in den wissenschaftlichen Arbeiten dargelegt werden, liefern unterschiedliche Ergebnisse, welche sich teilweise aus den komplexen Wachstumsvorgängen ergeben. Denn selbst der Ort, an dem die Messung vorgenommen wird, beeinflusst das Ergebnis: „The closure of the cerebral part of the synchondrosis was found to occur some 1 ½

– 2 years before the closure in the lower part (Melsen 1974).“
Das gleiche Ergebnis findet sich übrigens auch in einer Untersuchung von Heinkele und Ewers (1989). In der Arbeit an Affen (Cercopithececus aethiops) wurden auch Vergleiche zur Zahn- und Körperentwicklung gezogen: „Der Synchondrosenschluss beginnt gegen Ende des späten Wechselgebissalters und kommt nach Erreichen des Erwachsenenalters zum Abschluss. Er setzt in kranialen Synchondrosenanteilen an und schreitet nach kaudal fort, wobei die Synchondrose nicht vollständig verknöchert sondern einzelne Restknorpelbezirke bis ins hohe Alter persistieren“ (Heinkele und Ewers [1989)]. Diese Aussage passt gut zu den Untersuchungsergebnissen von Powell und Brodie (1963). Auch in der vorliegenden Arbeit zeigt sich die beschriebene Verknöcherung von endokranial ab dem Alter von etwa 12 Jahren.

Die von mehreren Autoren (Heinkele und Ewers [1989], Melsen [1969] und [1972]) beschriebene Verknöcherung von endokranial nach pharyngeal kann bereits ein Grund für die abweichende Messergebnisse wissenschaftlicher Arbeiten sein. Ein weiterer Grund könnte in den geschlechtsspezifischen Unterschieden liegen, die Melsen (1974) sowie Powell und Brodie (1963) in ihren Arbeiten darlegen. Somit können unterschiedliche Interpretationen eine Folge der unterschiedlichen Perspektive sein, je nachdem, mit welchen Methoden die Schließung der Synchondrosis spheno-occipitalis betrachtet wird. Die unterschiedlichen Methoden sollten in Bezug auf ihre Aussagekraft gegenübergestellt werden. Als mögliche Untersuchung steht dabei die Analyse von identischem Material mit unterschiedlichen Methoden im Vordergrund.

Aber auch die unterschiedlichen Definitionen des Begriffs „Verknöcherung“ der einzelnen Autoren sind nicht unproblematisch und abhängig von der Methode. Im histologischen Material ist oft die erste Knochenbrücke als Verknöcherung zu sehen, radiologisch hingegen spielt die Dichte die entscheidende Rolle. Allein daraus ergeben sich deutliche Unterschiede in Bezug auf die Definition. So kann der Begriff „Verknöcherung“ nicht in jedem Fall verwendet werden, auch wenn dies von vielen Autoren so praktiziert wird. Der großen Bandbreite an Aussagen über die Verknöcherung und das damit verbundene große Zeitintervall liegen wohl eher unterschiedliche Definitionen und die unterschiedlichen Methoden zu Grunde als

tatsächliche wachstumsbedingte Abweichungen. Eine differenzierte Aussage könnte durch eine Gegenüberstellung der Methoden, wie oben angesprochen, erfolgen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuten eher darauf hin, dass die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis mit etwa 15 Jahren erfolgt, wobei der Wert von 15 Jahren geschlechtsunspezifisch ist und eine Mittelung aus männlichen und weiblichen Individuen darstellt. Der endokraniale Teil zeigt dabei eine frühere Verknöcherung als der pharyngeale, so wie es Melsen (1974) in ihrer Arbeit beschreibt. Auch Powell und Brodie (1963) kamen in einer Untersuchung zum gleichen Schluss.
Diese Aussage konnte in der vorliegenden Arbeit durch die Überlagerungsgrafik der Strecke a mit der Wachstumskurve der CDC (2000) belegt werden. Das Wachstum des Gehirns und das Wachstum des Pharyngealraums stoßen in diesem Bereich aufeinander. Die Messstrecken a, b und c zeigen ein differenziertes Wachstum mit unterschiedlichen Wachstumsmustern an. Die Strecke i, welche die Synchondrosis spheno-occipitalis der Länge nach von ventral nach kaudal misst, ist durch die Überlagerung der Strukturen im Röntgenbild eher unzuverlässig und daher nicht unbedingt aussagekräftig. Während die Pars basilaris des Os occipitale mit etwa 12 Jahren im Wachstum nahezu abgeschlossen ist, zeigt der sphenoidale Teil des Clivus ein anderes Wachstumsmuster, sein Wachstum hält bis in das Erwachsenenalter an. Es gibt nur zwei Erklärungsmöglichkeiten dafür:

1. Es handelt sich um Wachstum, das von dieser Wachstumsfuge ausgeht. Die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis wäre dann aber nicht im Kindesalter (mit 10 bis 12 Jahren) abgeschlossen, weil das Längenwachstum des sphenoidalen Teils des Clivus noch anhält.
2. Die Synchondrosis spheno-occipitalis verknöchert im Kindesalter (von 10 bis von 12 Jahren). Es findet deutliches Remodeling statt, wodurch der sphenoidale Teil des Clivus in seiner Form deutliches Längenwachstum zeigt. Dies wirft allerdings die Frage auf, in wie weit das Remodeling Wachstum ermöglichen kann. Es ist aber möglich, das Längenwachstum des sphenoidalen Teils des Clivus allein durch Remodeling zu erklären.

Wahrscheinlich handelt es sich beim Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus

um eine Kombination aus beiden Effekten. Dafür sprechen die Winkelveränderungen von Hallmeyer (2008) und die Steckenmessungen der vorliegenden Arbeit. In dieser können allerdings keine Aussagen darüber getroffen werden, wann die Synchondrosis spheno-occipitalis verknöchert, da eine Bestimmung des Verknöcherungszeitpunktes anhand der Röntgenbilder nicht möglich war. Die vorliegenden Messergebnisse legen aber die Vermutung nahe, dass die Verknöcherung mit etwa 15 Jahren einsetzt und sich bis in das frühe Erwachsenenalter fortsetzt. Mit dieser Schlussfolgerung wäre das Wachstum des sphenoidalen Teils des Clivus und die vielen Wachstumsprozesse, z.B. um die Sella turcica herum, gut zu erklären. Andere Möglichkeiten wären zwar denkbar, es müsste aber relativ viel Remodeling stattfinden, um derartige Formveränderungen hinreichend zu erklären.

5. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Wachstum des Clivus. Hierbei stehen weniger die Längenmessungen im Vordergrund als eher die Frage, mit welchem Wachstumsmuster (skelettal oder neural) die einzelnen Strecken wachsen. Die Arbeit zeigt, dass diverse, in anderen wissenschaftlichen Arbeiten gemachte Aussagen über das Wachstum des Clivus in Frage zu stellen sind.

Mit Hilfe der Durchzeichnungen von 173 Röntgenbildern wurden der occipitale und der sphenoidale Teil des Clivus vermessen und ausgewertet. Der Vergrößerungsfaktor wurde herausgerechnet, anschließend wurden die Messungen auf Ausreißer überprüft. Danach erfolgte die Erstellung von Wachstumskurven.

Der occipitale Teil des Clivus hat mehrere Wachstumszonen; der endokraniale Anteil hat ein dem Neuralen ähnliches Muster, der pharyngeale Anteil hat ein eher skelettal ähnliches Wachstumsmuster, wobei alle Strecken sich in ihrer Endlänge kaum unterscheiden. Das Wachstum des occipitalen Teils des Clivus ist mit etwa 12 Jahren nahezu abgeschlossen. Da während des Wachstums weder Winkelveränderungen noch starke Unterschiede im Längenwachstum auftreten, kann der occipitale teil des Clivus nicht am Abknicken der Schädelbasis beteiligt sein.

Der sphenoidale Teil des Clivus ist, bedingt durch sein lang anhaltendes, dem skelettalen Wachstum ähnlichen Wachstumsmuster, ein Counterpart des Mittelgesichts und zeigt Wachstum bis in das Erwachsenenalter. Gleichzeitig kann der sphenoidale Anteil des Clivus eine kompensatorische Leistung erfüllen. Die Leistung besteht darin, Wachstumsprozesse anderer benachbarter Strukturen bis in das Erwachsenenalter auszugleichen. Der sphenoidale Anteil des Clivus richtet sich durch das Wachstum wahrscheinlich mit einer Rotationsbewegung nach dorso-kranial auf.

Die **Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis** dürfte, im Gegensatz zu den in der Literatur üblichen Angaben, nicht im Alter von 10 bis 12 Jahren stattfinden, da das Wachstum des sphenoidalen Anteils des Clivus bis in das Erwachsenenalter reicht. Wahrscheinlich beginnt die Verknöcherung der Synchondrosis spheno-occipitalis mit ca. 15 Jahren. Aus den Röntgenbildern lässt sich kein direkter Verknöcherungszeitpunkt ableiten.

Das Wachstum des Clivus ist sehr spezifisch und wird teilweise durch das Gehirn und teilweise durch den Pharynx beeinflusst. Der Clivus wächst sowohl mit einem neuralen als auch mit einem skelettalem Wachstumsmuster. In keinem Fall dominiert der Clivus die umliegenden Strukturen sondern reagiert eher auf funktionelle Reize seiner Umgebung. Diese kompensatorischen Leistungen erfüllt er zweistufig. Das Os occipitale ist mit seinem endokranialen Anteil ein kompensatorisches Element für das neurale Wachstum. Der sphenoidale Anteil des Clivus und der mittlere sowie der pharyngeale Anteil des Os occipitale bilden die kompensatorischen Elemente für das skelettale Wachstum.

5.1. Summary

This Thesis explores the growth of the Clivus. Not the size of the measured distances were the focus of this study but rather the analysis of the different patterns of skeletal and neural growth. It appeared that several accepted interpetations on the growth of the Clivus may be questioned.

Tracings of 173 cephalograms from macerated skulls were made. The occipital part and the sphenoid part of the Clivus were traced, and also the spheno-occipital synchondrosis. The radiographic enlargement, inherent to all röntgen projections, was corrected. The data were checked on outliers. Growth curves were constructed and compared to neural and skeletal population curves.

The occipital part of the Clivus has a number of growth zones. The endocranial segment has a neural growth pattern, the pharyngeal segment has a skeletal growth pattern. The growth of the occipital part of the Clivus is almost completed around 12 years of age. Since after birth no major changes occurred in the angulation of the occipital bone, and no obvious differences in lenght occured either, the occipital part of the Clivus cannot be the mechanism that caused flexion of the skull base.

The sphenoid part of the Clivus has, as a result of its longer skeletal growth pattern, an influence on the shape of the midface. Its growth continued until adulthood. Simultaneously, the sphenoid part of the Clivus compensated other growth processes of the skull until adulthood. During this growth period a rotation in a dorso-cranial direction can take place.

The ossification of the spheno-occipital synchondrosis is not likely to take place in childhood (10-12 years), as is often reported in the literature. The growth of the sphenoid part of the Clivus in the present study clearly continued until adulthood. The ossification of the spheno-occipital synchondrosis started at or around 15 years of age.

The growth of the Clivus is very special as it is partly influenced by the brain and partly by the pharynx. The Clivus has two patterns of growth, a neural and a skeletal one. The Clivus does not dominate the surrounding structures, it rather responds to functional stimuli of its environment. There are two compensatory elements: the endocranial part of the occipital bone is a compensatory element for neural growth, the pharyngeal part of the occipital bone and the sphenoid part of the Clivus are

compensatory elements for skeletal growth.

6. Literaturverzeichnis

Adams D, Harkness M 1972
Histological and radiographic study of the spheno-occipital synchondrosis in Cynomolgus monkeys, Macaque Irus.
Anat Rec 172, 127 - 136

Arat M, Köklü A, Ozdiler E, Rübendüz M, Erdoğan B 2001
Craniofacial growth and skeletal maturation a mixed longituial study.
Eur J Orthod 23, 355-361

Axelsson S, Storhaug K, Kjaer I 2004
Post-natal size and morphology of the sella turcica. Longitudinal cephalometric standards for Norwegians between 6 and 21 years of age.
Eur J Orthod 26, 597 - 604.

Baer M J 1954
Patterns of growth of the skull as revealed by vital straining.
Human Biology 26, 80 – 126

Baer M J, Harris J E 1969
A commentary on the growth of the human brain and skull.
Am J Phys Anthropol 39 – 44

Baer M, Nanda SK 1977
A commentary on the growth and form of the cranial base.
Symposion on development of the basicranium,
Bosma JF (ed.), DHEW Publications No. (NIH) 77-989, p. 515 - 536

Bartl R, von Tresckow E, Bartl C 2006
Bisphosphonat-Manual: Wirkungen - Indikationen – Strategien.
Springer Verlag

Bastir M, Rosas A, O'Higgins P 2006
Craniofacial levels and the morphological maturation of the human skull.
J Anat 209, 637 – 654

Baume L J 1957
Experimentelle Erforschung der Skelett-Morphogenese mit spezieller Berücksichtigung der Schädelentwicklung.
Sachweiz Mschr Zhkde 67, 673 – 684

Baume L J 1961
Principles of cephalofacial development revealed by experimental biology.
Am J Orthod 47, 881-901

Bishara SE, Jacobsen JR 1985
Longitudinal changes in three normal facial types.
Am J Orthod 88, 466 – 502

Bishara SE, Peterson LC, Bishara EC 1984
Changes in facial dimensions and relationships between the ages of 5 and 25 years.
Am J Orthod 85, 238 – 252

Björk A 1955
Cranial base development. A follow-up x-ray study of the individual variation in growth occurung between the ages of 12 and 20 years and ist relation to brain case and face development.
Am J Orthod 41, 198 – 225

Bogin B 1999
Patterns of Human Growth, second edition.
Cambridge University Press 1999

Bondevik O 1995
Growth changes in the cranial base and the face: a longitudinal cephalometric study of linear and angular changes in adult Norwegians.
Eur J Orthod. 1995 17, 525 - 532.

Brodie A G 1941
On the growth patterns of the human head from the third month to the eight year of life.
Am J Anat 68, 209 – 262

Brodie AG 1959
Wie wir den Gesichtsschädel erforschten.
Fortschr Kieferorthop 20, 105 – 117

Broseghini B 2003
Das Wachstum des Pharyngealraumes. Eine laterale röntgenkephalometrische Untersuchung auf Grund einer Schädelsammlung.
Diss Marburg 2003

Centers for Disease Control and Prevention.
http://www.cdc.gov

Coben SE 1998
The spheno-occipital synchondrosis: the missing link between the profession's concept of craniofacial growth and orthodontic treatment.
Am J Orthod Dentofacial Orthop 114, 709 – 712

Dahan J 1977
Das Keilbein: sein diagnostischer und prognostischer Wert in der Therapie der Kieferverlagerungen.
Fortschr Kieferorthop 38, 261 - 271

Dahlberg G 1940
Statistical methods for medical and biological students.
Interscience Publ., New York

Dekaban AS 1978
Changes in brain weights during the span of human life: Relation of brain weights to body heights and body weights.
Ann Neurol 345-356.

Dibbets JMH 1980
The cranial base – interface between functional matrices.
Ned Studieweek, p. 135 - 142

Dibbets JMH 2007
Wachstumsprozesse und -mechanismen 1.
Skript zur Vorlesung, Version 0.92
Klinik für Kieferorthopädie, Universität Marburg

du Brul EL, Laskin DM 1961
Preadaptive potentialities of the mammalian skull: An experiment in growth and form.
J Anat 109, 117 - 132

El-Batouti A, Øgaard B, Bishara SE 1994
Longitudinal cephalometric standards for Norwegians between the ages of 6 and 18 years.
Eur J Orthod 16, 501 – 509

Enlow DH 1990
Handbook of facial growth, 3. Ed.
Saunders, Philadelphia

Enlow DH, Hunter WS 1968
The growth of the face in relation to the cranial base.
Rep Congr Eur Orthod Soc 44, 321 - 335

Ford EHR 1958
Growth of the human cranial base.
Am J Orthod 44, 498 – 506

George SL 1978
A longitudinal and cross-sectional analysis of the growth of the postnatal cranial base angle.
Am J Phys Anthropol 49, 171 - 178

Gilda JE 1974
Analysis of linear facial growth
Angle Orthod 44, 1 – 14

Greiner P 2000
Die Frankfurter Horizontale – Eine anatomisch- röntgenkephalometrische Untersuchung zur Lageveränderung von Porion und Orbita während des Wachstums.
Diss Marburg

Griffiths PD, Wilkinson ID, Variend S, Paley MN, Whitby E 2004
Differential growth rates of the cerebellum and posterior fossa assessed by post mortem magnetic resonance imaging of the fetus: implications for the pathogenesis of the chiari 2 deformity.
Acta Radiol 45, 236 – 242

Hahn von Dorsche S, Fanghänel J, Kubein-Meesenburg D, Nägerl H, Hanschke M 1999
Interpretation of the vertical and longitudinal growth of the human skull.
Ann Anat. 181, 99-103

Hallmeyer S 2008
Über das Wachstum des Clivus.
Diss. Marburg

Harnet JC, Lombardi T, Lutz JC, Meyer P, Kahn JL 2007
Sagittal craniofacial growth evaluated on children dry skulls using V2 and V3 canal openings as references.
Surg Radiol Anat 29, 589 – 594

Harris JA, Jackson CM, Paterson DG, Scammon RE 1930
The Measurement Of Man.
University of Minnesota Press, Minneapolis

Heinkele M, Ewers R 1989
Die Synchondrosis sphenooccipitalis – eine fluoreszenz- und polarisationsmikroskopische Untersuchung am Cercopithecus-aethiops-Affen.
Fortschr Kieferorthop 50, 493 – 505

Henneberke M, Prahl-Andersen B 1994
Cranial base growth for Dutch boys and girls: a multilevel approach.
Am J Orthod Dentofacial Orthop 106, 503 - 512

Herring SW, Ochareon P 2005
Bone – special problems of the craniaofacial region.
Orthod Craniofacial Res 8, 174 - 182

Hoyte DAN 1971
Mechanisms of growth in the cranial vault and base.
J Dent Res 50, Suppl 6, 1447 -1461

Ingerval B, Thilander B 1972
The human spheno-occipitalis synchondrosis.
I. The time of closure appraised macroscipically.
Acta Odont Scand 30, 349 - 356

Israel H 1973
Age Factor and the Pattern of Change in Craniofacial Structures.
Am J Phys Anthrop 39, 111 - 128

Kerr W J S, Adams C P 1988
Cranial base and jaw relationship.
Am J Phys Anthropol 77, 213 – 220

King EW 1952
A roentgenographic study of the pharyngeal growth.
Angle Orthod 22, 23 – 37

Koski K 1960
Some aspects of the growth of the cranial base and the upper face.
Odontologisk Tidskrift 68, 344 – 358

Koski K 1968
Cranial growth centers: Facts or fallacies?
Am J Orthod 54, 566 – 583

Krmpotic-Nemanic J, Vinter I, Kelovicz Z, Marusic A 2005
Postnatal changes of the clivus.
Ann Anat 187, 277 – 280

Lang J, Issing P 1989
Über Messungen am Clivus, den Foramina an der Basis cranii externa und den oberen Halswirbeln.
Anat Anz 169, 7 – 34

Lang J, Zeitler-Zapf P 1993
Über das relative postnatale Wachstum der Bodenregionen der Fossae craniales.
Neurochirurgia 36, 179 – 183

Latham RA 1972
The sella point and postnatal growth of the human cranial base.
Am J Orthod. 61, 156 - 162

Madeline L A, Elster A.D. 1995
Suture closure in the human chondrocranium: CT assessment.
Radiology 196, 747 - 756

Malina R M, Bouchard C, Bar-Or O 2004
Growth, Maturation, and physical activity, second edition.
Human Kinetics, Champaign IL

Melsen B 1969
Time of closure of the spheno-occipital synchondrosis determinded on dry skulls. A radiographic craniometric study.
Acta Odont Scand 27, 73 – 90

Melsen B 1972
Time and mode of closure of the spheno-occipital synchondrosis determinded on on human autopsy material.
Acta Anat 83, 112 – 118

Melsen B 1974
The cranial base.
Acta Odont Scand, 32, Suppl 62, 1- 127

Melsen B, Melsen F 1980
The Cranial Base in Anencephaly and Microcephaly Studied Histologically.
Teratology 22, 271 - 277

Meneses M, Laude M, Casero LG 1994
L'age de fermature de la jonction spheno-occipitale du clivus. Determination par I.R.M.
Bull Ass Anat 78, 27 – 29

Moorrees CFA, Kent RL 1978
A step function model using tooth counts to assess the development timing of the dentition.
Anals Hum Biol 5, 55 – 68

Moss M L 1964
The functional matrix
in Kraus B, Reidel R: Educational vistas in orthodontics.
Lea & Febinger, Philadelphia, 85 – 98

Moss ML, Salentijin L 1969
The primary role of function matrices in facial growth.
Am J Orthod 55, 566 - 577

Moss ML, Salentijin L 1997
Melvin L. Moss and the Functional Matrix.
J Dent Res 76 (12) 1814 - 1817

Nakamura S, Savara B, Thomas D, 1972
Norms and size and anual increments of the sphenoid bone from four to sixteen years.
Angle Orthod 42, 35 – 44

Nanda RS 1955
The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms.
Am J Orthod 41, 658 – 673

Powell TV, Brodie AG 1963
Closure of the spheno-occipital synchondrosis.
Anat Rec 147, 15 – 23

Pritchard JJ, Scott JH, Girgis FG 1956
The structure and development of the cranial and favial sutures.
J Anat 90, 73 – 85

Roche AF, Lewis AB, Wainer H, McCartin R 1977
Late elongation of the cranial base.
J Dent Res 56, 802 - 808

Scott JH 1956
Growth at facial sutures.
Am J Orthod 42, 381 – 387

Scott JH 1957
The growth in width of the facial skeleton.
Am J Orthod 43, 366 – 371

Sielaff R 1991
Die Schädelbasisknickung – ein bestimmender Faktor für die Gesichtsschädelentwicklung?
Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd 79, 365 - 373

Stratz CH 1923
Der Körper des Kindes für Eltern, Erzieher, Ärzte und Künstler.
Ferdinand Enke, Stuttgart

Thilander B 1995
Basic mechanisms of craniofacial growth.
Acta Odont Scand 53, 13- 151

Thilander B, Ingervall B 1973
The human spheno occipital synchondrosis II. A hiostological and microradiographic study of its growth
Acta Odont Scand 31, 323- 336

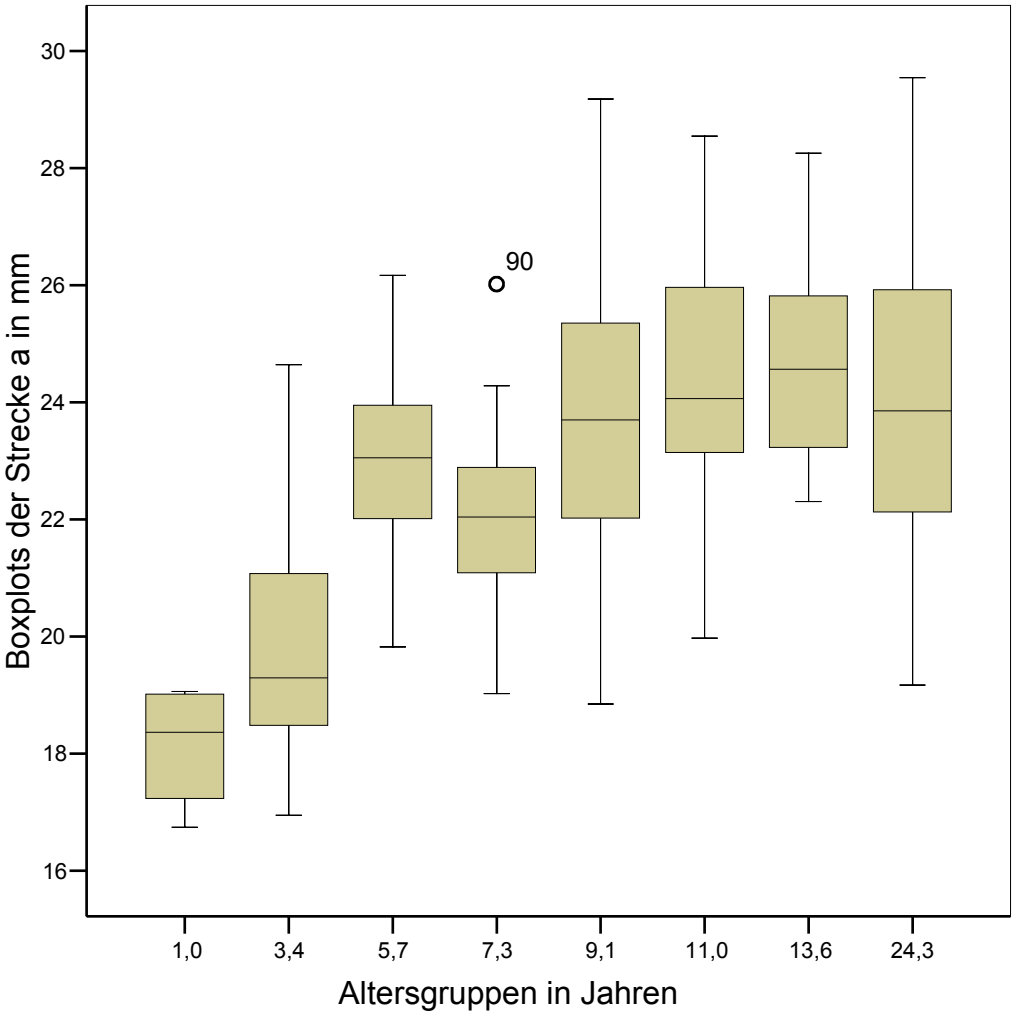
Tukey J W 1977
Exploratory data analysis.
Addison-Wesley, Reading, Mass.

Watanabe IS, Madeira MC 1977
[The clivus-sphenoidale angle in children (postnatal flexion of the cranial base)]
Rev Bras Pesqui Med Biol 10, 325-329. German. Abstract.

Windle BCA 1892
The Proportions of the Human Body.
Bailliére, Tindall and Cox, London

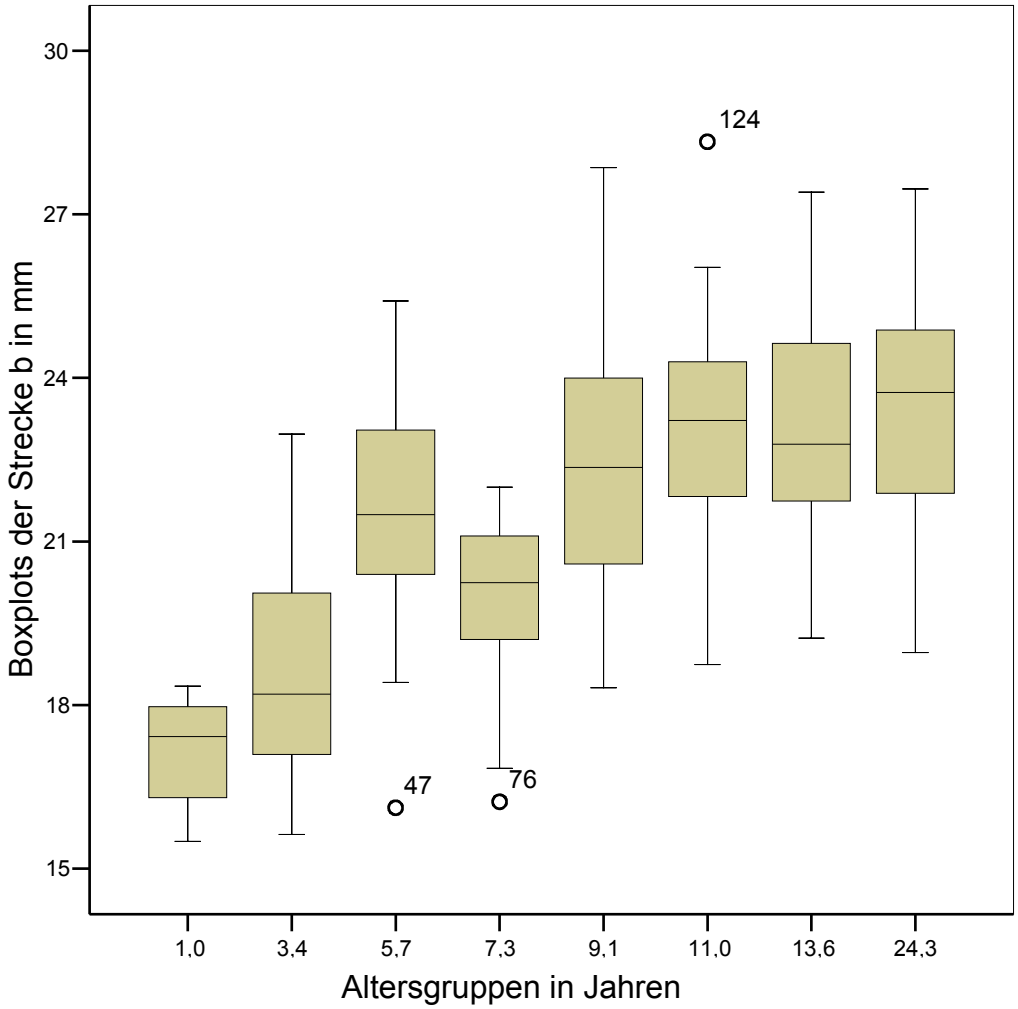
7. Anhang Boxplots

7.1. Boxplots der Strecke a



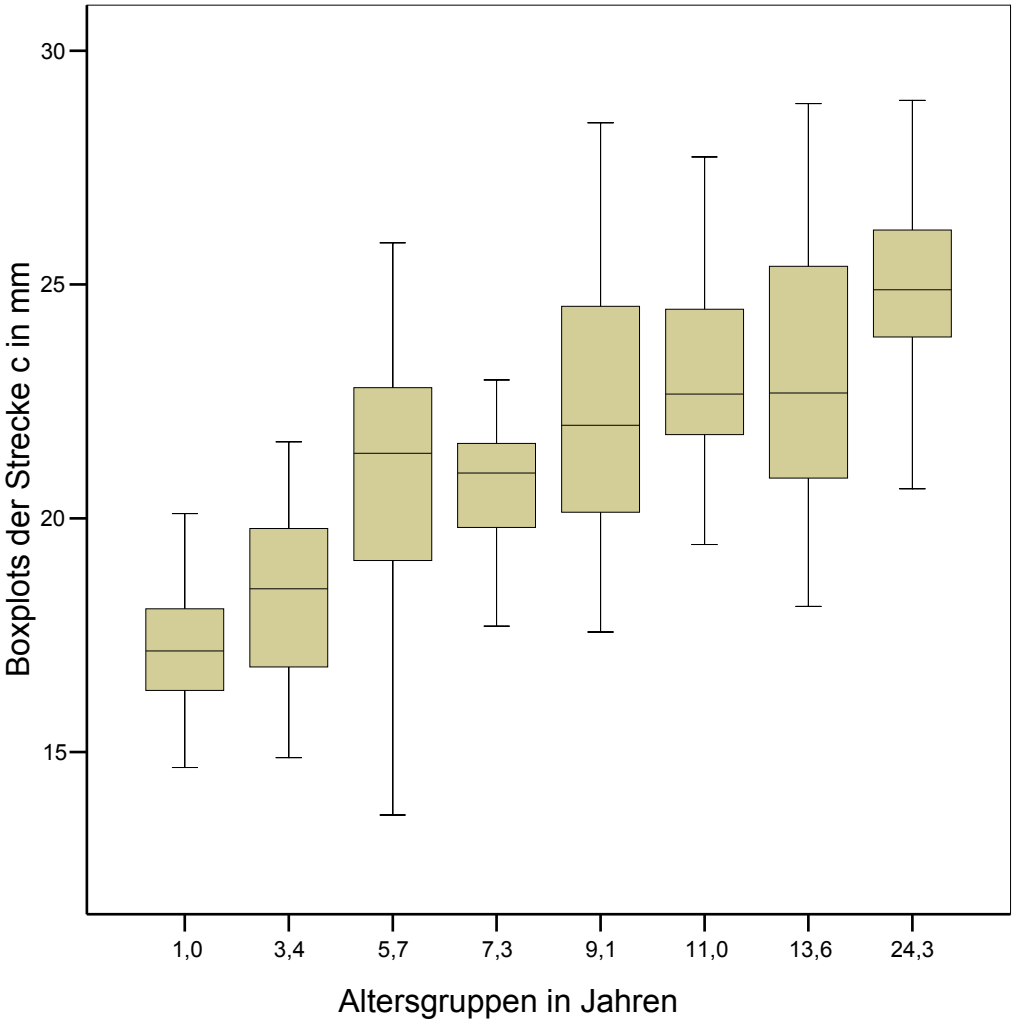
Grafik 7.1. Boxplots der Strecke a nach Entfernung der Ausreißer

7.2. Boxplots der Strecke b



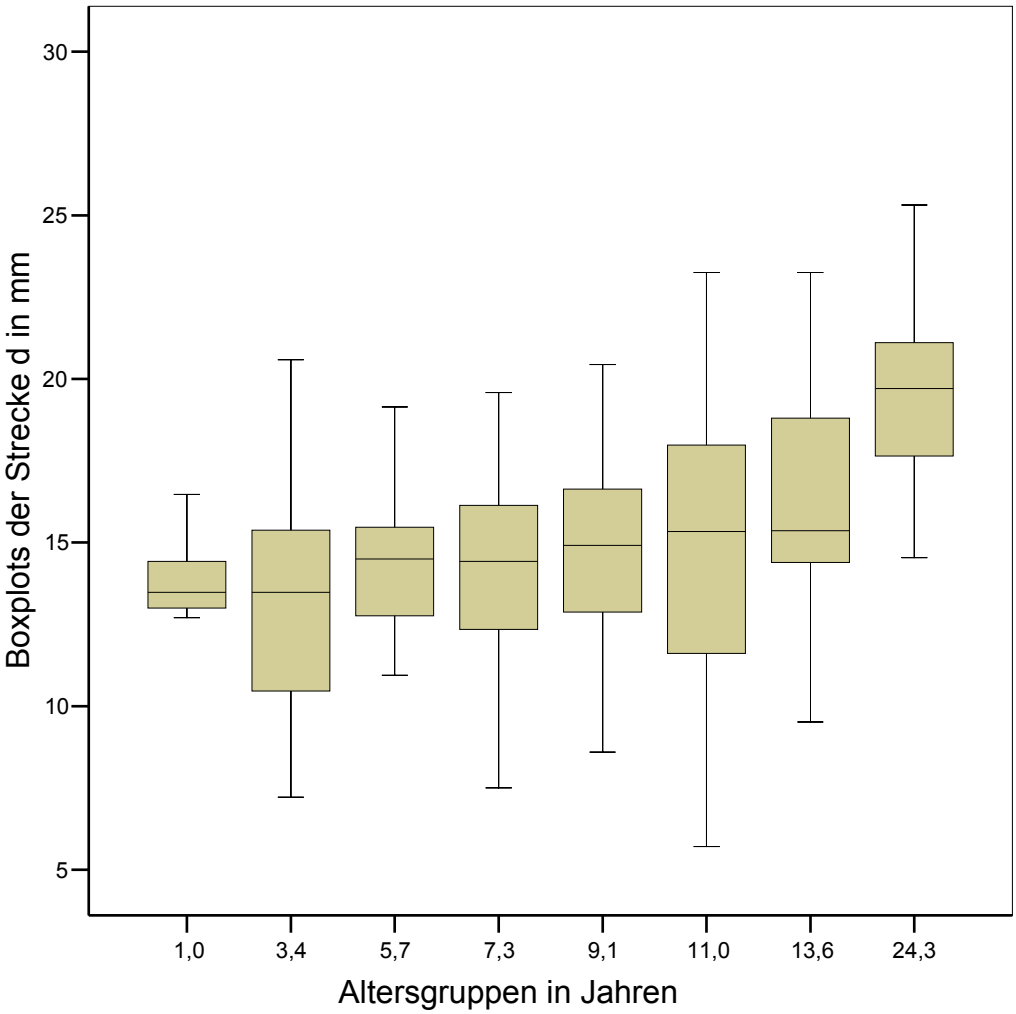
Grafik 7.2. Boxplots der Strecke b nach Entfernung der Ausreißer

7.3. Boxplots der Strecke c



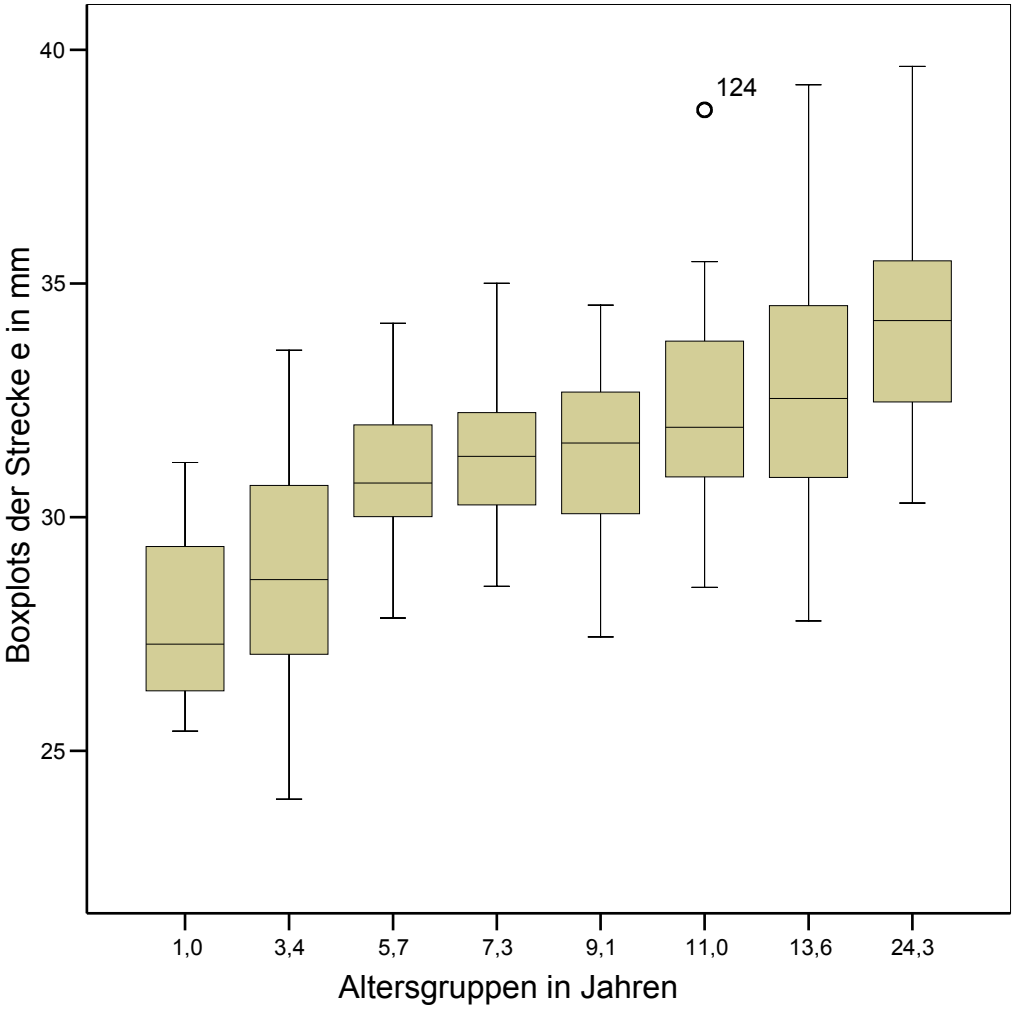
Grafik 7.3. Boxplots der Strecke c nach Entfernung der Ausreißer

7.4. Boxplots der Strecke d



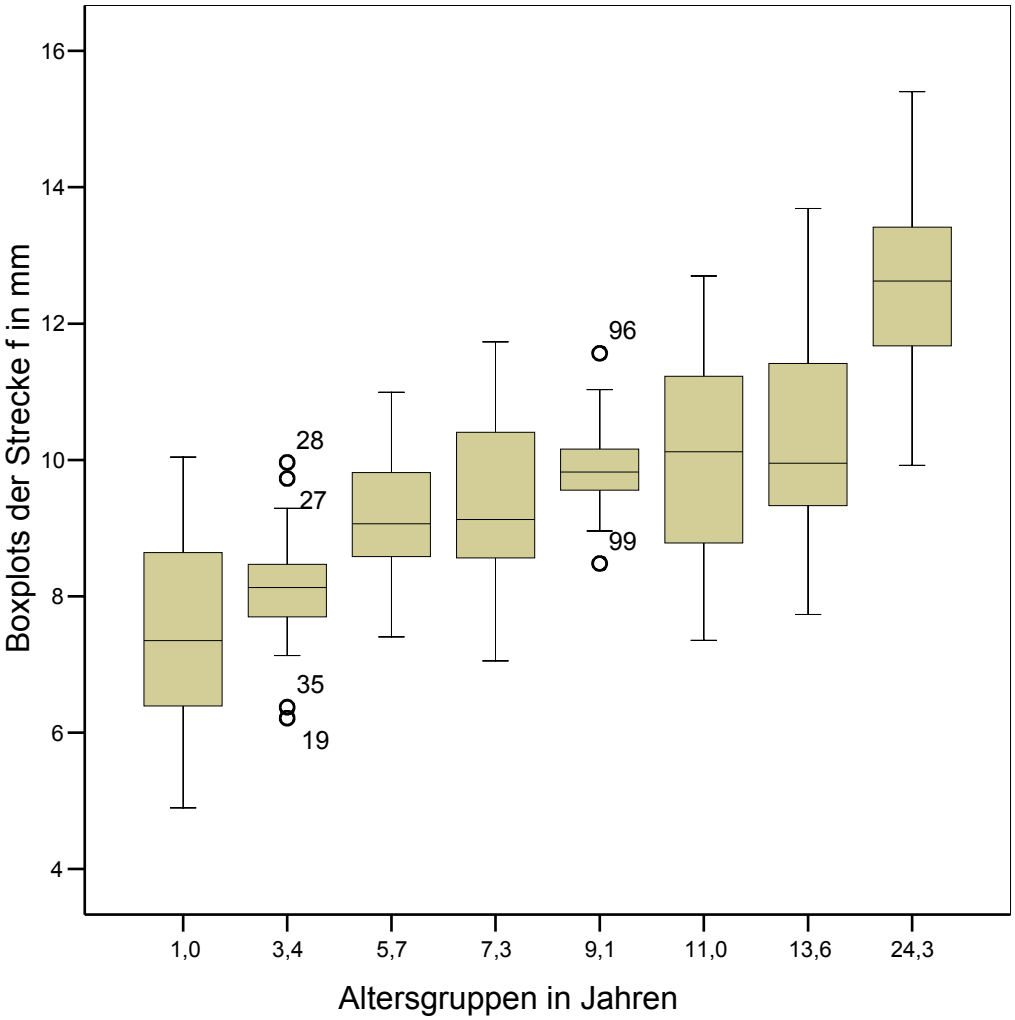
Grafik 7.4. Boxplots der Strecke d nach Entfernung der Ausreißer

7.5. Boxplots der Strecke e



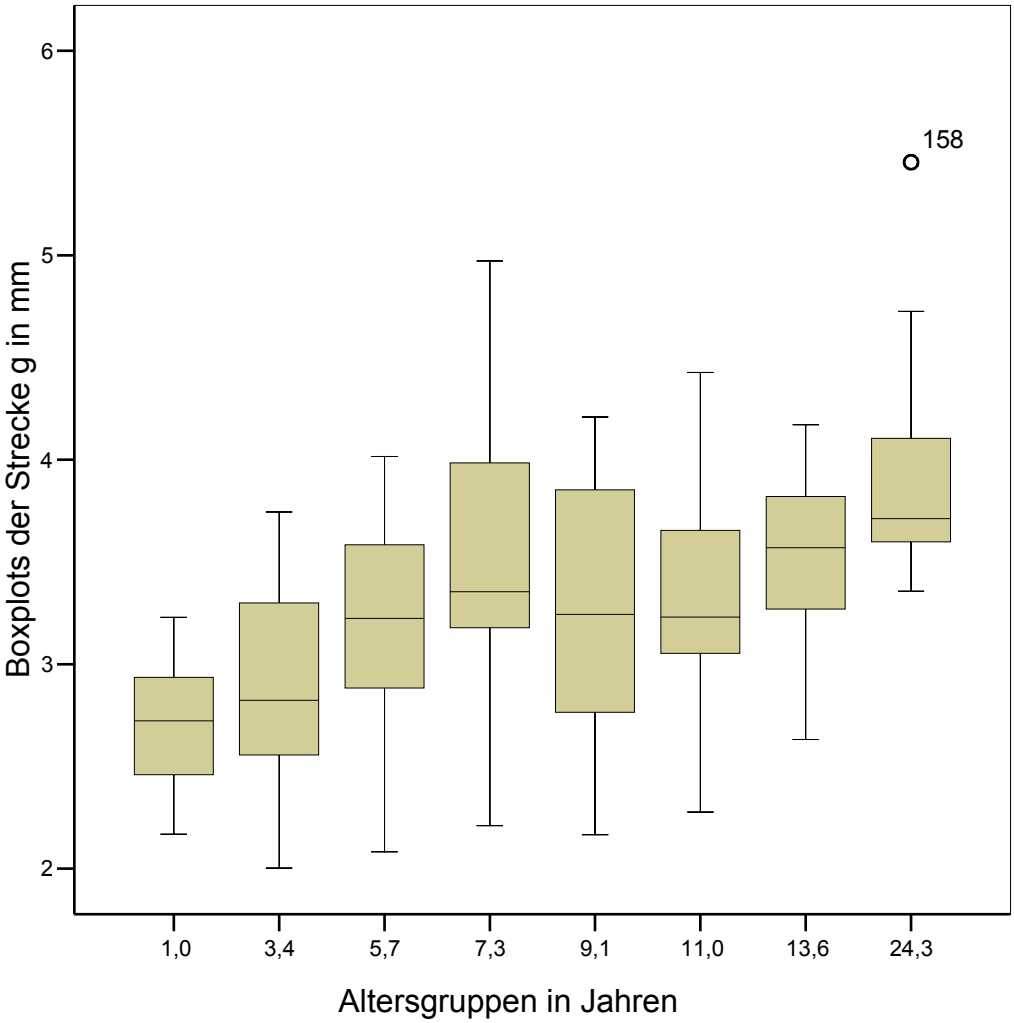
Grafik 7.5. Boxplots der Strecke e nach Entfernung der Ausreißer

7.6. Boxplots der Strecke f



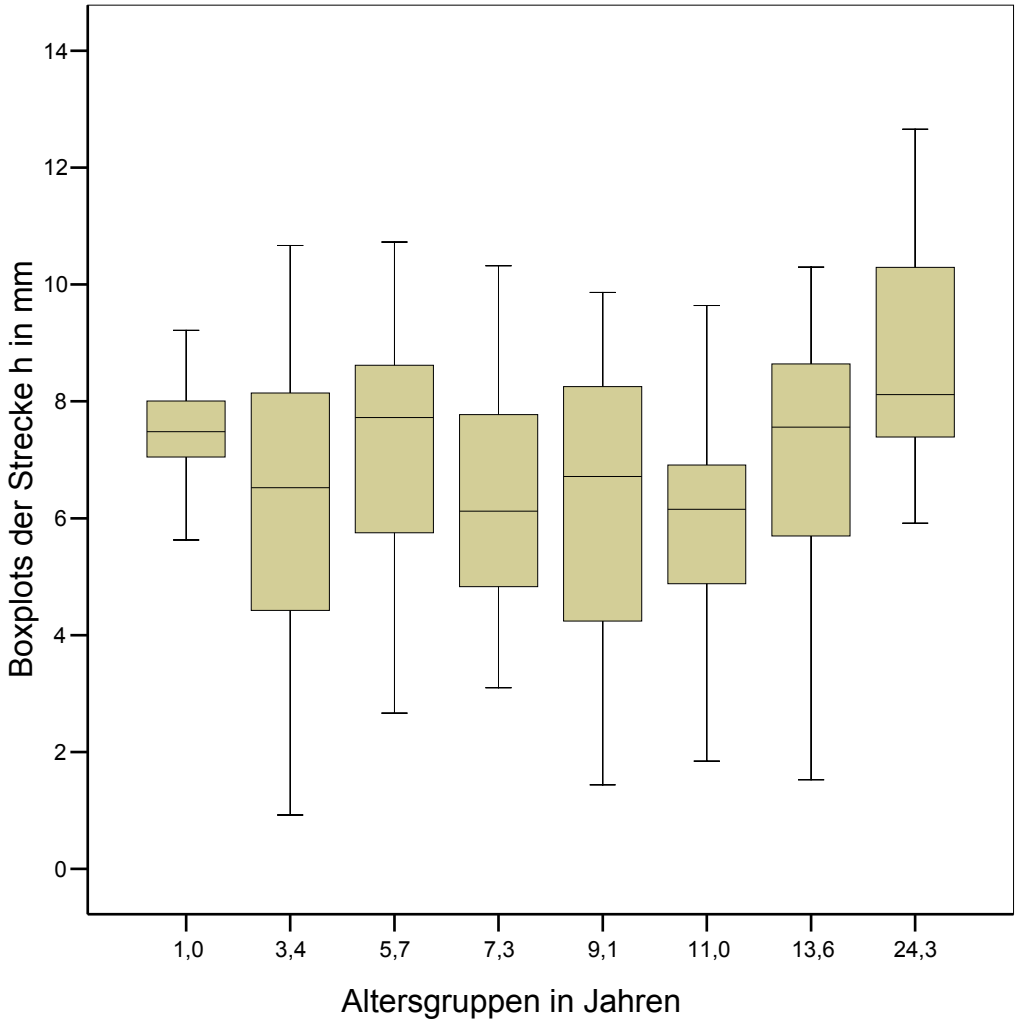
Grafik 7.6. Boxplots der Strecke f nach Entfernung der Ausreißer

7.7. Boxplots der Strecke g



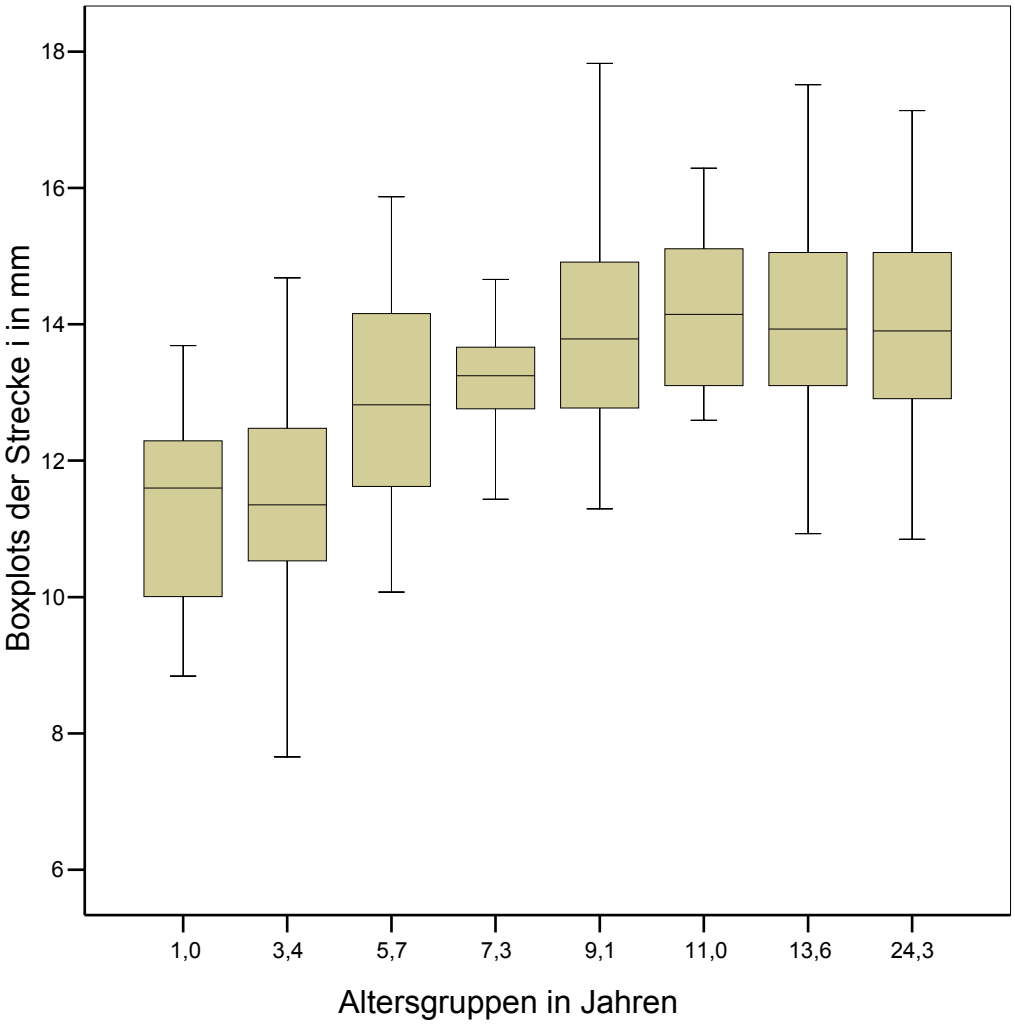
Grafik 7.7. Boxplots der Strecke g nach Entfernung der Ausreißer

7.8. Boxplots der Strecke h



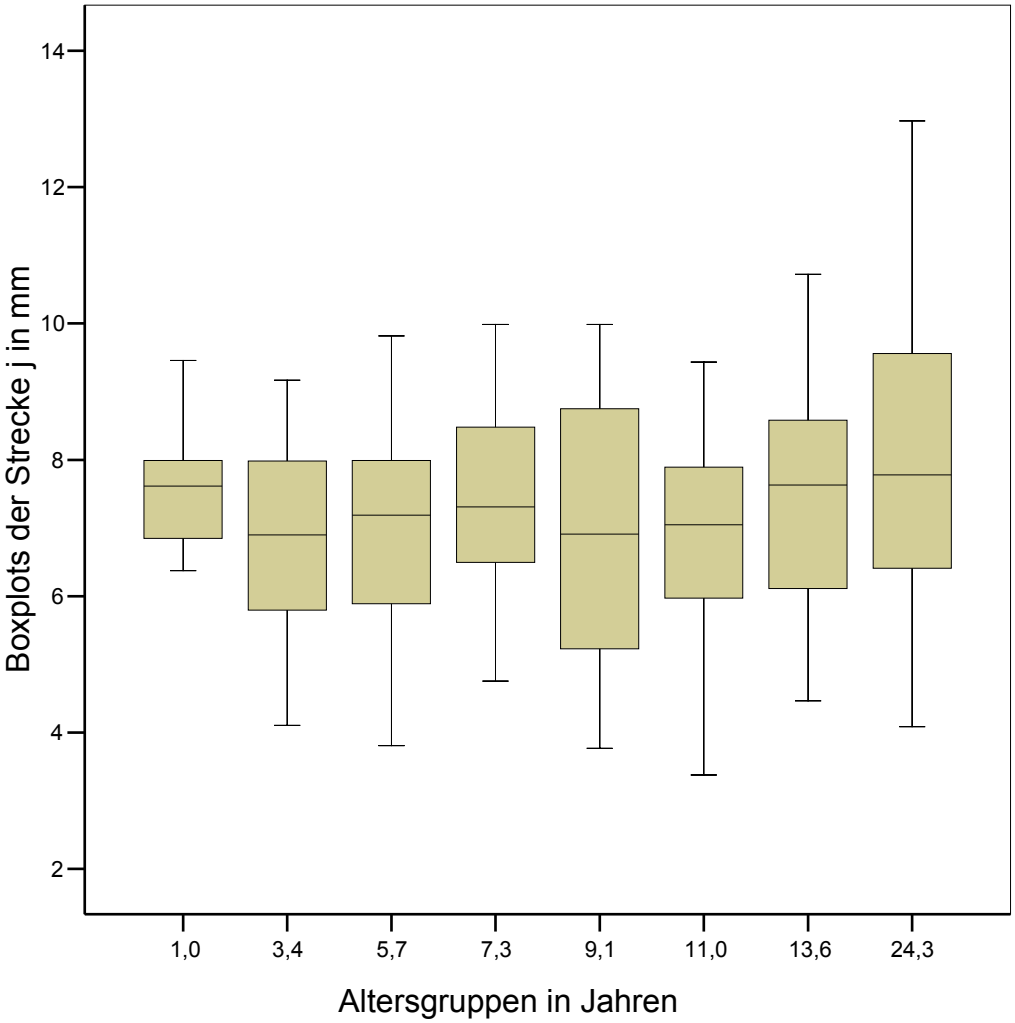
Grafik 7.8. Boxplots der Strecke h nach Entfernung der Ausreißer

7.9. Boxplots der Strecke i



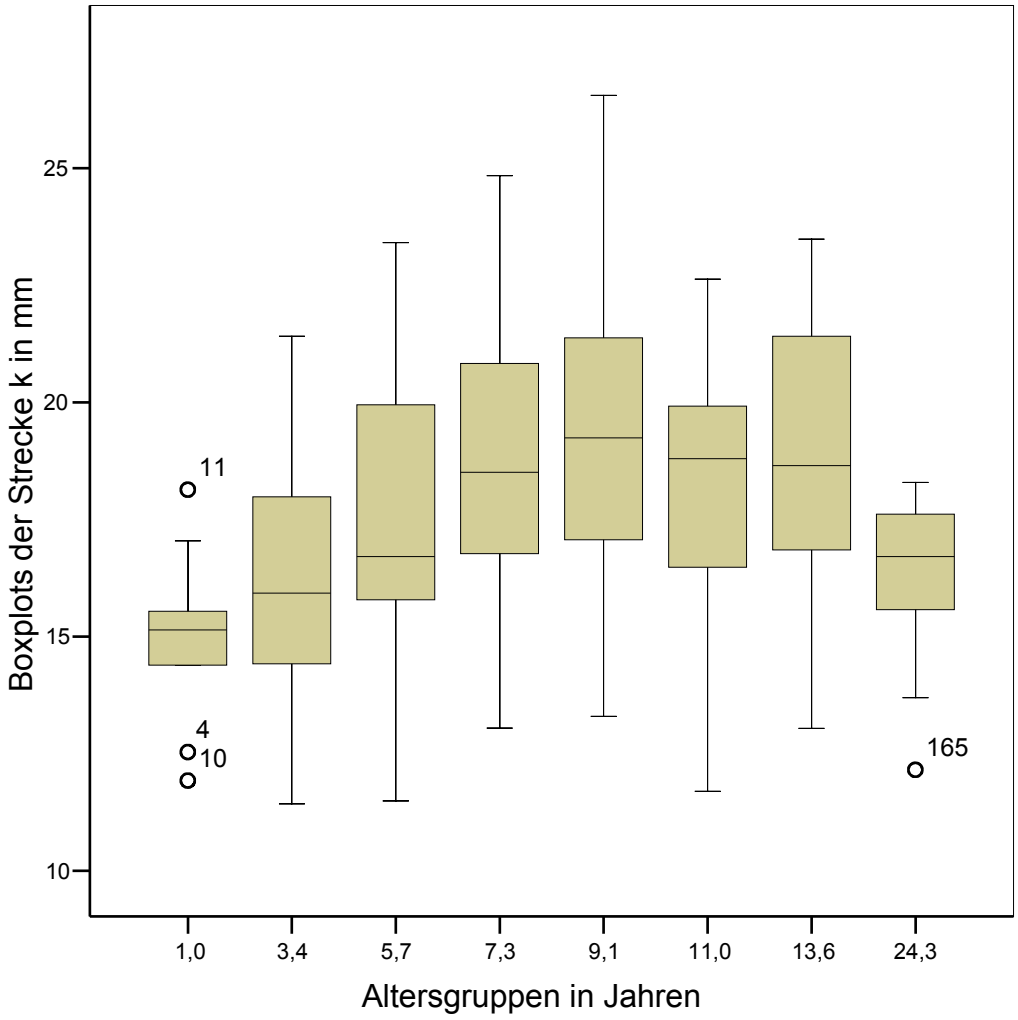
Grafik 7.9. Boxplots der Strecke i nach Entfernung der Ausreißer

7.10. Boxplots der Strecke j



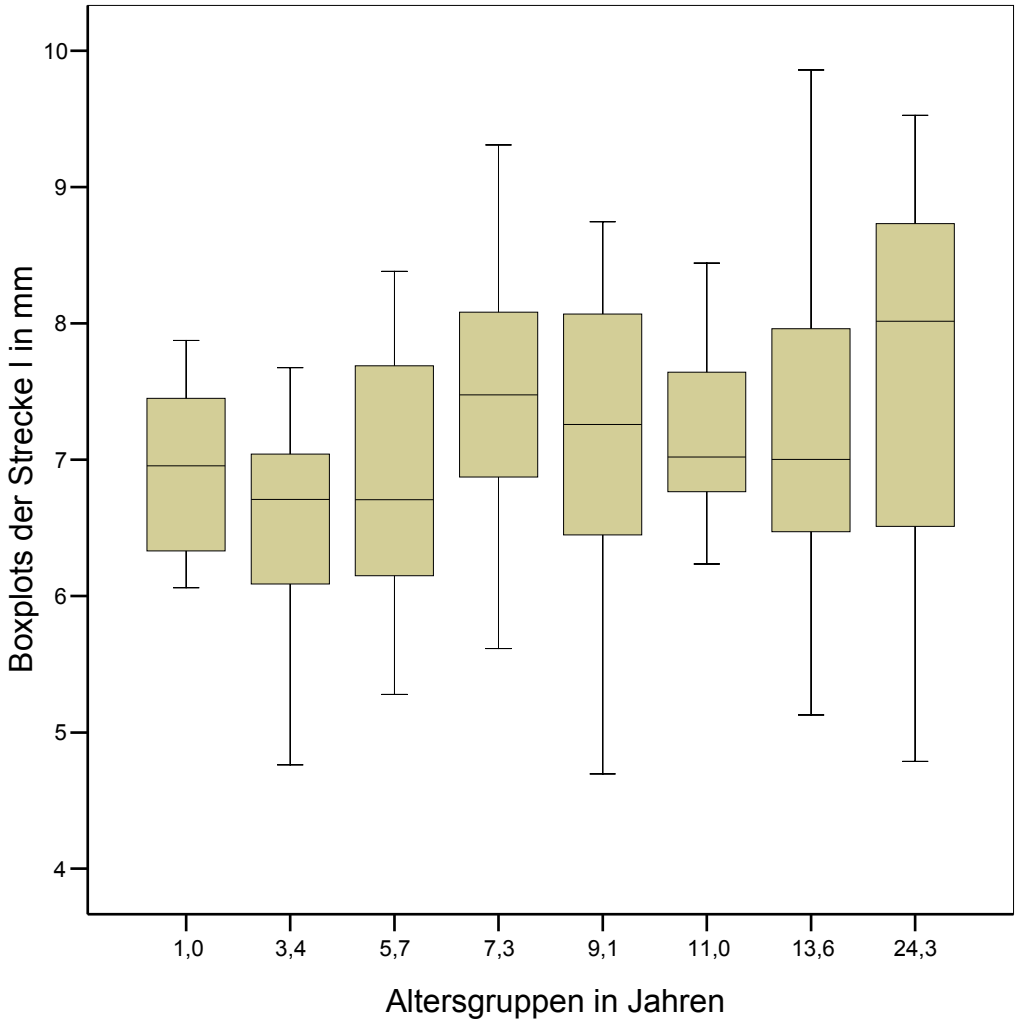
Grafik 7.10. Boxplots der Strecke j nach Entfernung der Ausreißer

7.11. Boxplots der Strecke k



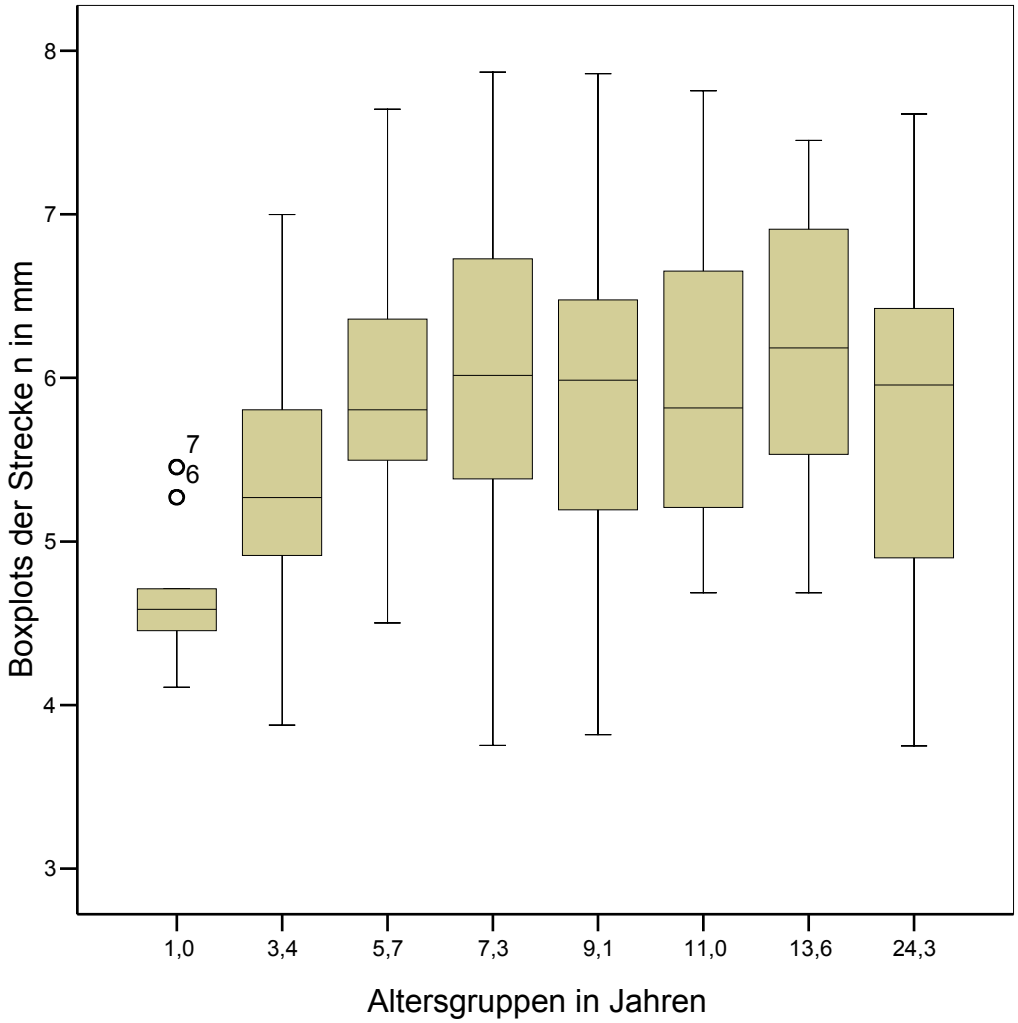
Grafik 7.11. Boxplots der Strecke k nach Entfernung der Ausreißer

7.12. Boxplots der Strecke l



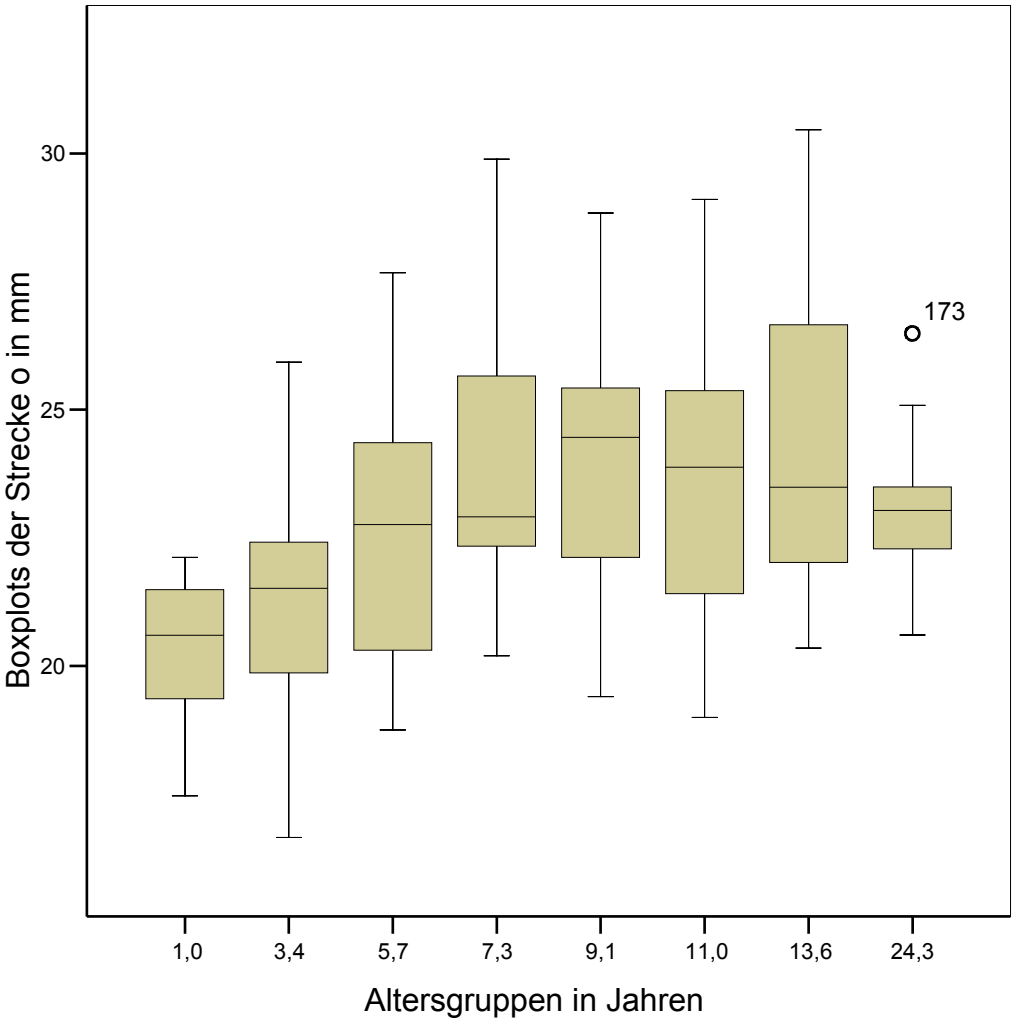
Grafik 7.12. Boxplots der Strecke l nach Entfernung der Ausreißer

7.13. Boxplots der Strecke n



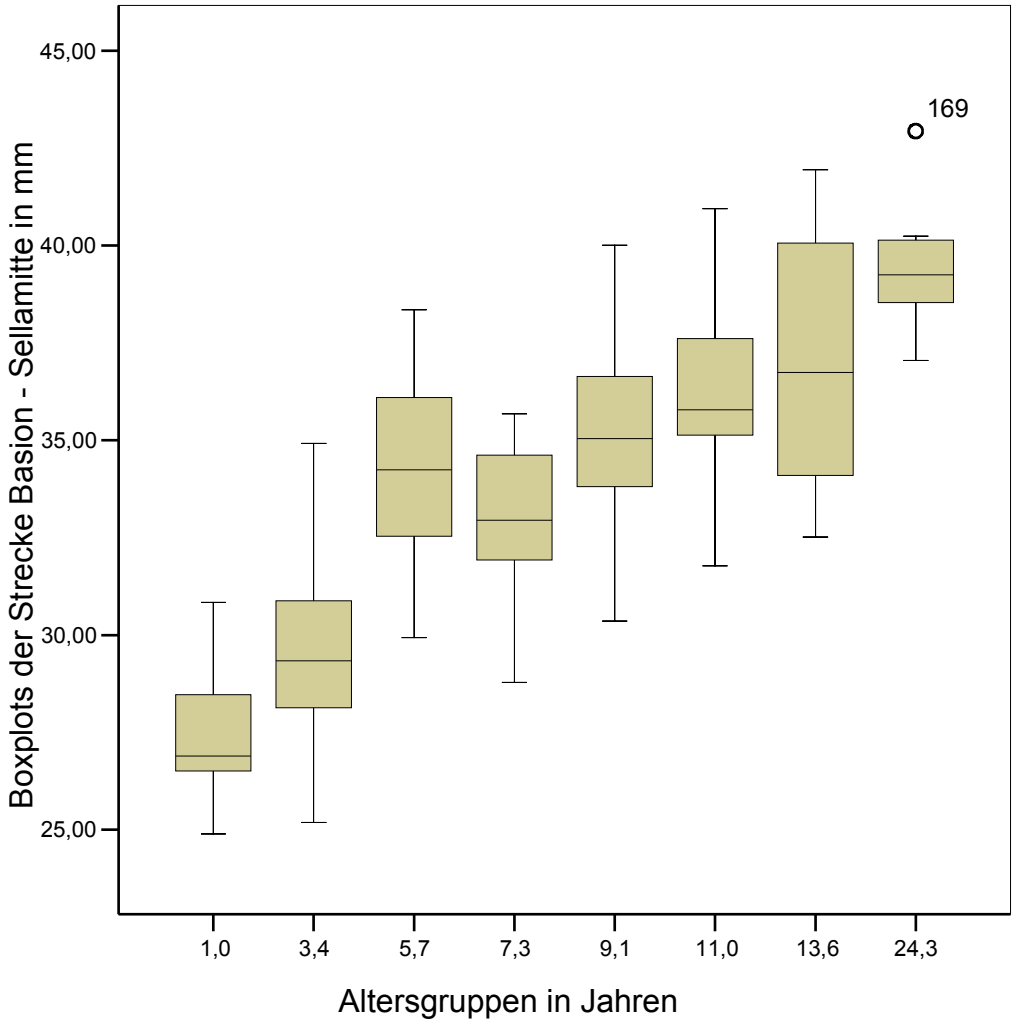
Grafik 7.13. Boxplots der Strecke n nach Entfernung der Ausreißer

7.14. Boxplots der Strecke o



Grafik 7.14. Boxplots der Strecke o nach Entfernung der Ausreißer

7.15. Boxplots der Strecke Basion - Sella

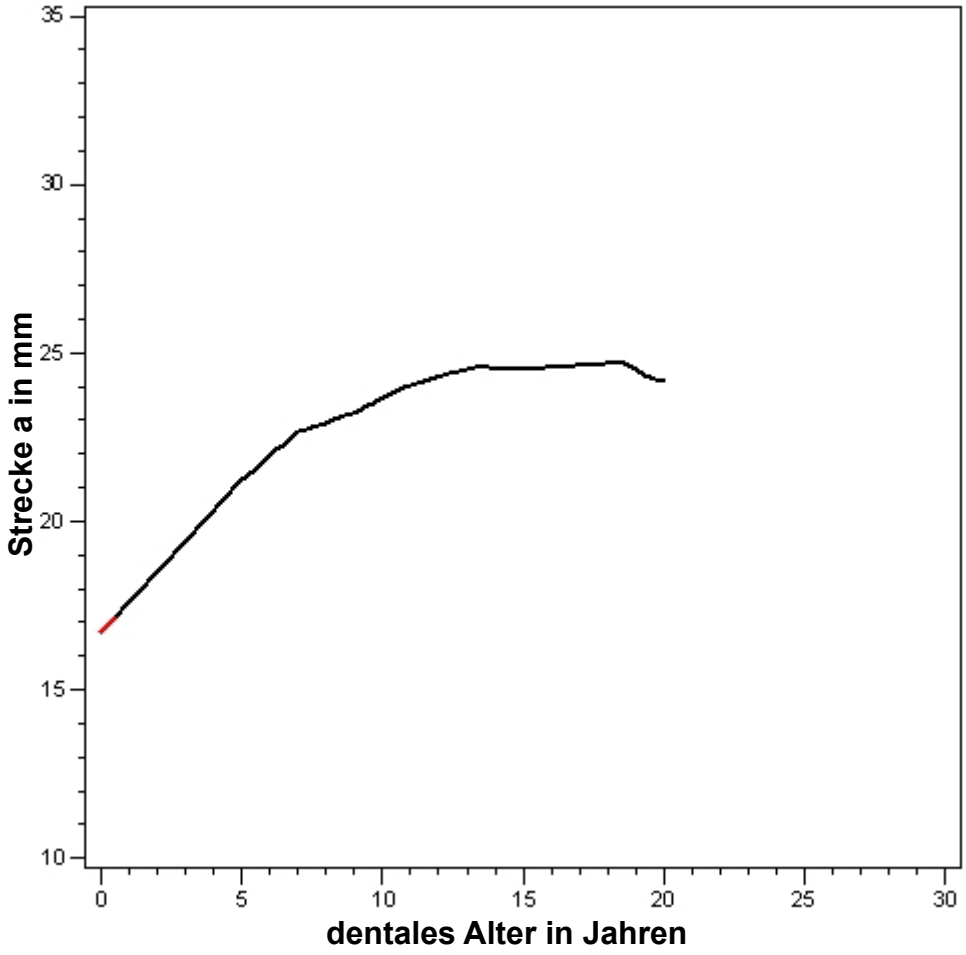


Grafik 7.15. Boxplots der Strecke Basion - Sella nach Entfernung der Ausreißer

8. Anhang Extrapolationen

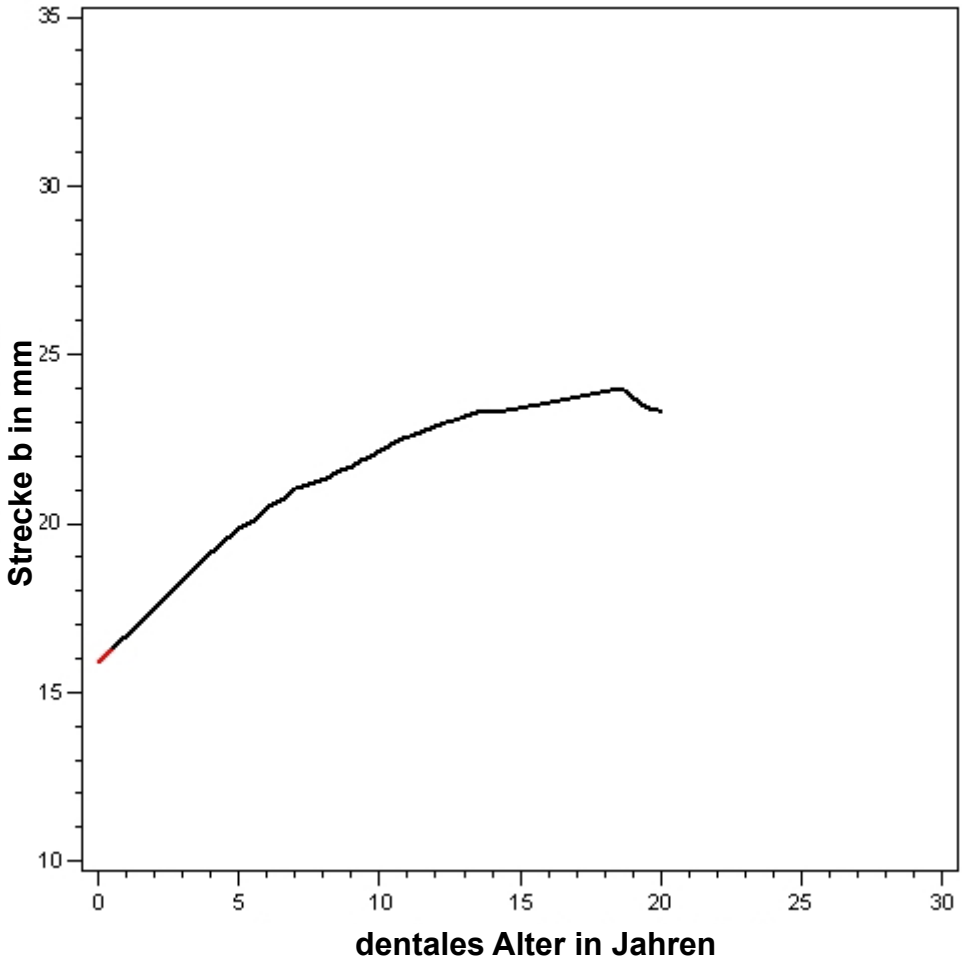
Die nachfolgenden Grafiken zeigen die extrapolierten Stellen (rot markiert), um sie für sie nach der Extrapolation zu digitalisieren.

8.1. Extrapolation der Strecke a



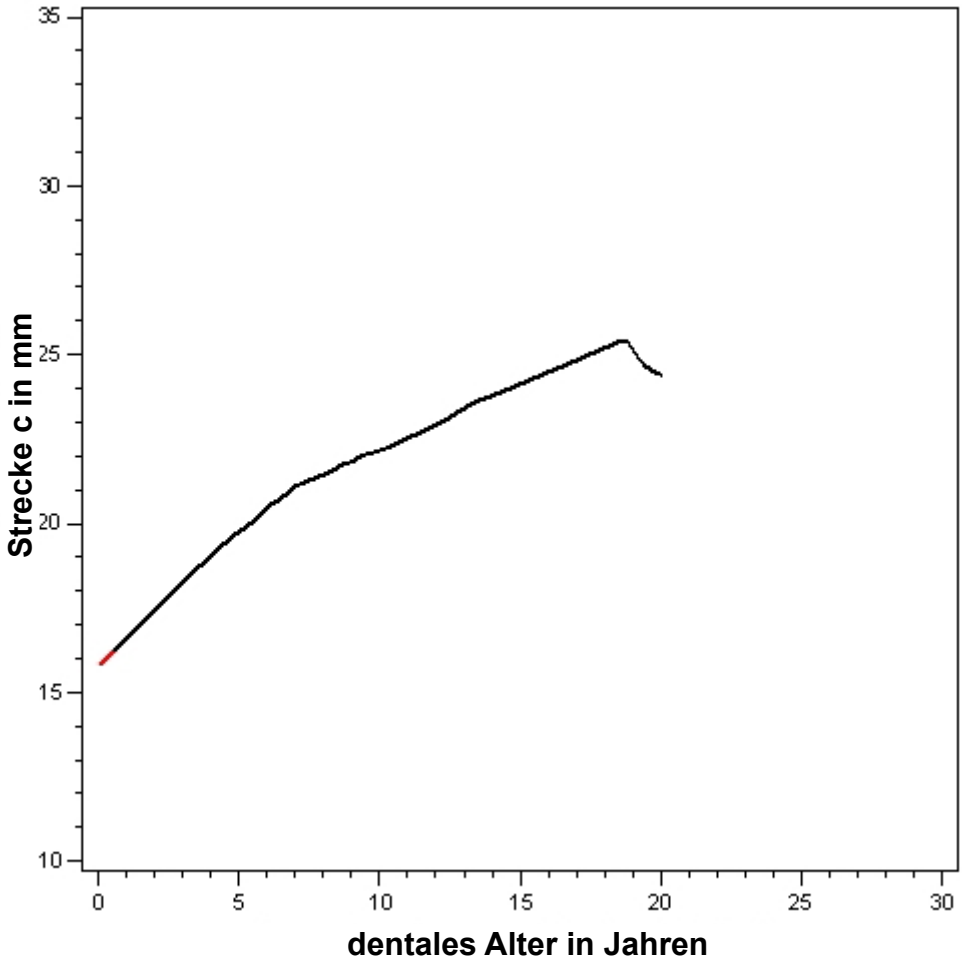
8.1. Extrapolationsgrafik aus Streudiagramm zur Digitalisierung der Strecke a

8.2. Extrapolation der Strecke b



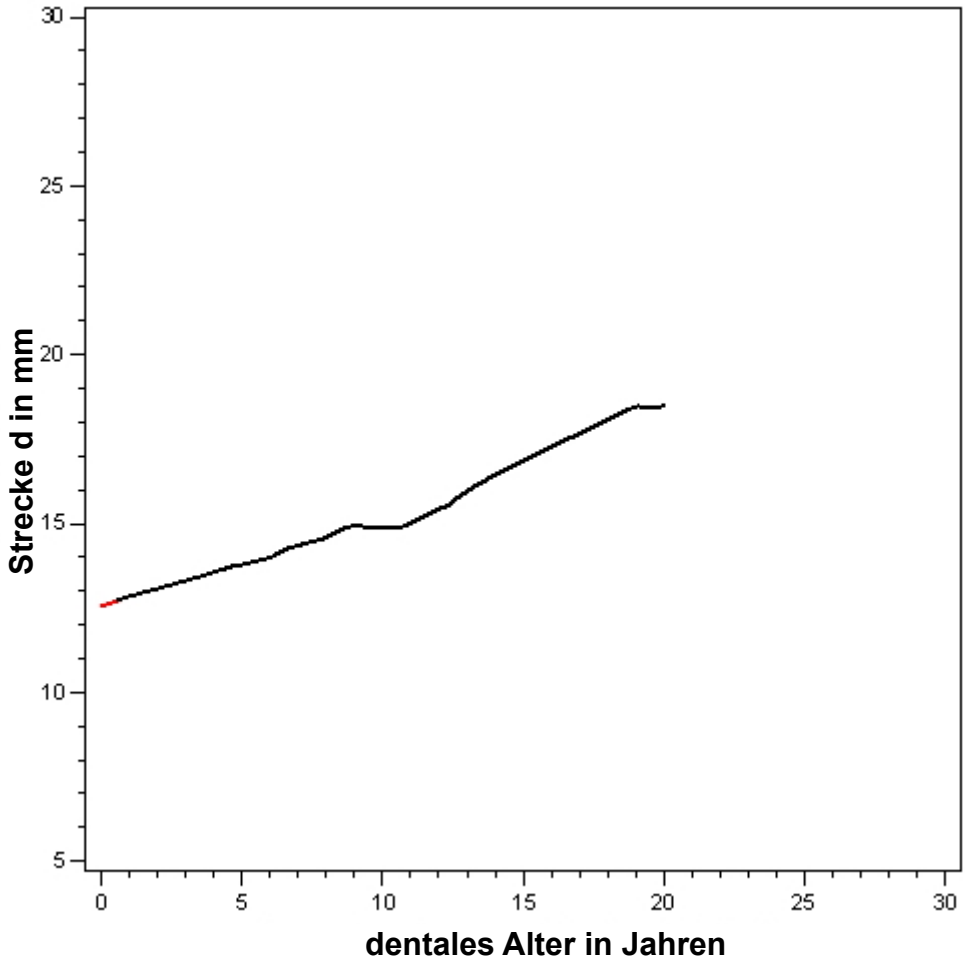
8.2. Extrapolationsgrafik aus Streudiagramm zur Digitalisierung der Strecke b

8.3. Extrapolation der Strecke c



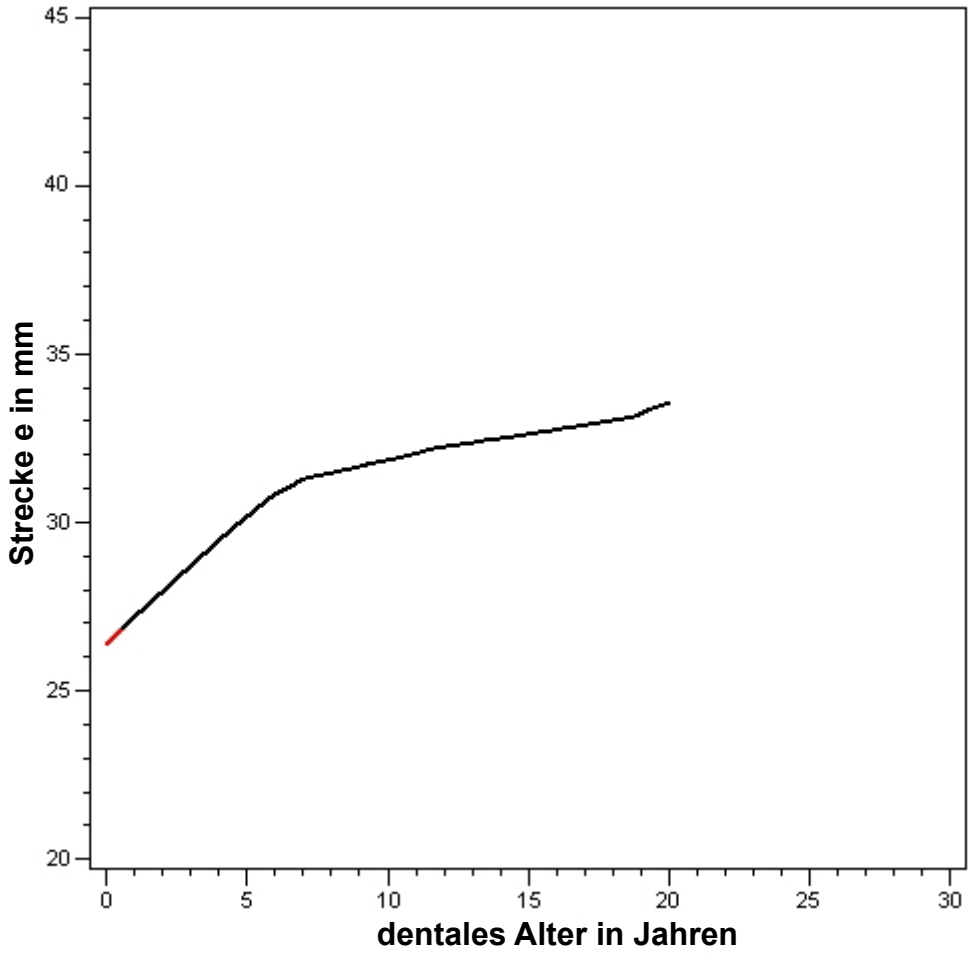
8.3. Extrapolationsgrafik aus Streudiagramm zur Digitalisierung der Strecke c

8.4. Extrapolation der Strecke d



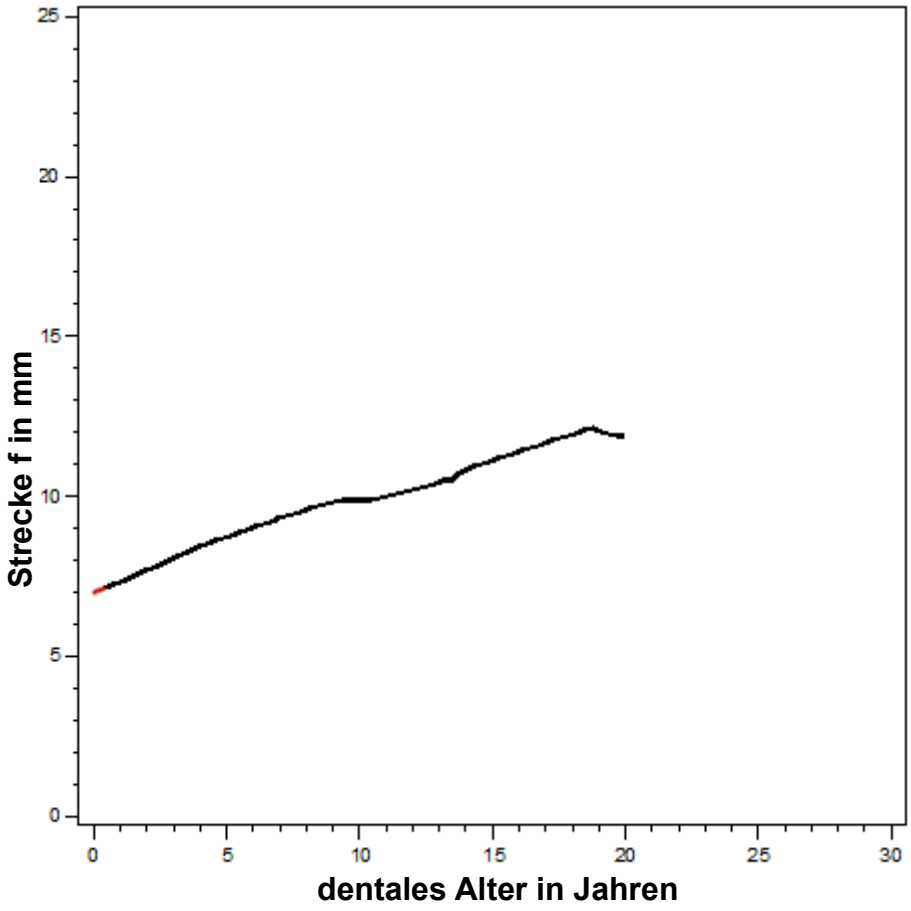
8.4. Extrapolationsgrafik aus Streudiagramm zur Digitalisierung der Strecke d

8.5. Extrapolation der Strecke e



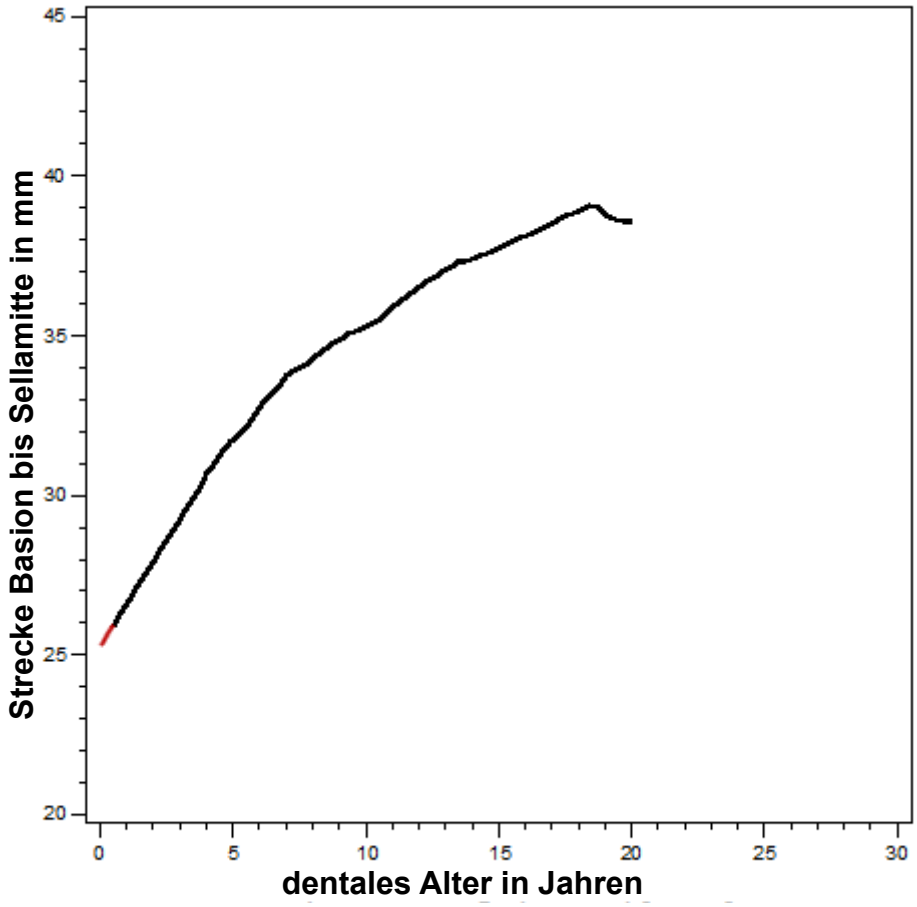
8.5. Extrapolationsgrafik aus Streudiagramm zur Digitalisierung der Strecke e

8.6. Extrapolation der Strecke f



8.6. Extrapolationsgrafik aus Streudiagramm zur Digitalisierung der Strecke f

8.7. Extrapolation der Strecke Basion bis Sellamitte



8.7. Extrapolationsgrafik aus Streudiagramm zur Digitalisierung der Strecke Basion bis Sellamitte

Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name:	Markus Schopf
geboren am:	12 Oktober 1980
Geburtsort:	Frankfurt am Main

Schulausbildung:

Besuchte Schulen:	bis zur 10. Klasse: Anna-Schmidt-Schule, Frankfurt Nieder Erlenbach
	11.-13. Klasse: Burggymnasium Friedberg
Abschluss:	Abitur (Note: 2,3)
Abitur:	6.6.2001
Zivildienst:	1.10.2001 – 31.7.2002

Studium:

Ab Sommersemester 2002 Studium der Zahnmedizin an der Universität Marburg

Prüfungen:	Naturwissenschaftliche Vorprüfung 10.10.2004
	Zahnärztliche Vorprüfung 2.3.2006
	Zahnärztliche Prüfung 1.7.2009
	Approbation als Zahnarzt 17.7.2009

Berufliche Laufbahn: Seit November 2009 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde am Zentrum der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (Carolinum) der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

Adressdaten:	Markus Schopf
	Hansenweg 44
	60599 Frankfurt
Telefon:	069 7473 8826 und 0151 400336679

Verzeichnis der akademischen Lehrer

Ich danke meinen akademischen Lehrern an der Philipps-Universität Marburg: Adamkiewicz, Aumüller, Austermann, Daut, Dibbets, Feuser, Gente, Hilt, Lehmann, Löffler, Lotzmann, Koolman, Mandrek, Mittag, Moll, Neff, Nonnenmacher, Pancherz, Pieper, Richter, Stachnis, Stiletto, Sundermeyer, Steiniger, Weihe, Werner, Westermann.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. J.M.H. Dibbets, ehemals Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg, danke ich für die Überlassung des Themas und die Einführung in die interessante Thematik. Zugleich möchte ich mich für die vielfältige Beratung, die engagierten und kritischen Diskussionen und die fachliche Unterstützung danken, mit denen er meine Arbeit immer geduldig, freundlich und hilfsbereit begleitet hat.

Für die mathematisch-statistische Beratung und die Einführung in das Statistikprogramm SPSS bin ich Herrn Dr. Bernd Müller (✞), EDV-Beauftragter der Abteilung für Kieferorthopädie, zu großem Dank verpflichtet.

Nicht zuletzt möchte ich meinen Eltern für die liebevolle Unterstützung, Hilfe und Aufmunterung während des Studiums und der Fertigstellung der Arbeit herzlich danken.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Über das Wachstum des Clivus - Röntgenkephalometrische Streckenmessungen an 173 Schädeln“ in der Abteilung für Kieferorthopädie des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg unter der Leitung von Prof. Dr. J.M.H. Dibbets ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.
Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt, den 26.5.2012