Aus dem medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches Medizin in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum
Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Ulrich Lotzmann

Abteilung für Kieferorthopädie
Leiter: Prof. Dr. J.M.H. Dibbets

Platzverhältnisse in der Oberkieferfront während der ersten Wechselphase

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

Dem Fachbereich der Medizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

Michaela Martha Eßer
aus Köln

Marburg an der Lahn 2007

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am: 28.11.2007

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches.

Dekan: Prof. Rothmund
Referent: Prof. Dibbets
1. Korreferent: Prof. Pieper

gewidmet
meiner Familie
für die
bedingungslose Unterstützung

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung 1

2. Material und Methoden 4

2.1 Material 4

2.2 Methoden 6

2.2.1 Schädelvermessung 9

2.2.2 Statistische Methoden 17

2.2.3 Entwicklung eines Modells für das Wachstum des Zahnbogens in der ersten Wechselphase 20

3. Ergebnisse 28

3.1 Alveoläre intercanine Distanz 30

3.2 Dentale intercanine Distanz 32

3.3 Höckerspitze intercanine Distanz 34

3.4 Alveoläre Bogentiefe 36

3.5 Dentale Bogentiefe 38

3.6 Alveoläre Bogenlänge 40

3.7 Dentale Bogenlänge 42

3.8 Winkel zwischen Milchinzisivus und Nasenboden 44

3.9 Winkel zwischen bleibendem Inzisivus und Nasenboden 45

3.10 Winkel zwischen Okklusionsebene und Nasenboden 47

3.11 Strecke Milchinzisivschneidekante zum Nasenboden 49

3.12 Strecke Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden 50

3.13 Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden Milchinzisivus 52

3.14 Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden bleibender Inzisivus 53

3.15 Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Milchinzisivzahnachse..... 55

3.16 Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus 56

3.17 Knochenhöhe am Inzisivus 58

3.18 Ergebnisse der Korrelationsanalyse 60

3.19 Benötigter Platzgewinn in der ersten Wechselphase 62

3.20 Das Kreismodell 63

3.21 Berechnung des Einflusses der vertikalen Vergrößerung auf das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes in der ersten Wechselphase 64

3.22 Berechnung des Einflusses der Winkeländerung zwischen Zahnachse des Milchinzisivus zum Nasenboden und des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden auf das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes in der ersten Wechselphase 67

4. Diskussion 69

4.1 Das Kreismodell 69

4.2 Der vertikale „Drift“ 70

4.3 Der Winkeleinfluss auf das Wachstum 72

4.4 Intercanine Distanzen 73

4.5 Alveoläre und dentale Bogentiefe 77

4.6 Alveoläre und dentale Bogenlänge 78

4.7 Winkel zwischen Milchinzisivus und bleibendem Inzisivus zum Nasenboden 80

4.8 Winkel zwischen Okklusionsebene und Nasenboden 81

4.9 Vordere vertikale Höhe 81

4.10 Knochenhöhe am Inzisivus 85

5. Zusammenfassung 87

6. Schlussbemerkung 89

7. Literaturverzeichnis 90

8. Anhang 94

1. Einführung

Die erste Wechselphase ist eine Phase der Veränderung, in der die ersten bleibenden Zähne durchbrechen. Dabei unterliegt besonders der Frontzahnbogen Umstellungen, da dort die bleibenden Inzisivi durchtreten. Als erster muss dieser Teil des Oberkiefers die Anforderung bewältigen, die bleibenden Zähne in den Zahnbogen zu integrieren. Das eigentliche Problem dabei ist der Platzbedarf, den die breiteren bleibenden Inzisivi gegenüber ihren Vorgängern, den Milchinzisivi, in Anspruch nehmen. Schon 1922 folgerte Herbst (Herbst 1922), dass bei normalen Größenverhältnissen der Zähne auch eine passende Zahnbogenform existieren muss. Zu beachten ist, dass der Frontzahnbogen nach distal durch die Eck- und Seitenzähne begrenzt und der ihm zur Verfügung stehende Platz daher nicht beliebig nach distal erweiterbar ist.

Den Unterschied zwischen der Summe der mesiodistalen Zahnbogenlängen vom Milchgebiss zur bleibenden Dentition im Oberkiefer gaben Moorrees und Chadha (1965) mit 7,4mm an. Dieser Platz muss also größtenteils in der ersten Wechselphase geschaffen werden. Aus dem Mittelwert der mesiodistalen Zahnbreiten von weiblichen und männlichen weißen Probanden einer Studie von Moyers (Moyers 1988) kann man die Länge des Milchzahnbogens mit 23,4mm und die des bleibenden Zahnbogens mit 31,2mm berechnen. Die Differenz der Zahnbögen in Moyers Veröffentlichung und damit der in der ersten Wechselphase benötigte zusätzliche Platz im Oberkieferfrontzahnsegment beträgt 7.8mm bei Moyers.

Es ist also eine Vergrößerung des Frontzahnbogens erforderlich, damit sich die bleibenden Inzisivi harmonisch in den Zahnbogen einfügen können. Der Kiefer muss mit Wachstum auf die Veränderungen des Zahnwechsels in der ersten Wechselphase reagieren. Die Frage ist, woher der Platz stammt, den die bleibenden Inzisivi bei und nach ihrem Durchbruch in Anspruch nehmen.

In ihren Studien untersuchten hauptsächlich Bakker et al. (1979) und Moorrees (1958) das Wachstum der Zahnbogenbreiten und -tiefen. Sie versuchten, den Ursprung des Platzes in den Zahnbögen zu entschlüsseln, ihre Studien beschränkten sich jedoch rein auf die transversale Ebene. In Ergänzung zu ihren Untersuchungen beschäftigt sich diese Studie nicht nur mit den Breiten und Tiefen des Frontzahnbogens, sondern auch mit der Vertikalen, wo wir den Ursprung des Wachstums suchen.

Die Bedeutung des zur Verfügung stehenden Platzes im Frontzahnbogen wird deutlich, wenn man die Therapiemöglichkeiten betrachtet.

Kieferorthopädische Eingriffe sind seit langem bekannt, schon Angle (1907) versuchte, einen idealen Zahnbogen auszuformen, wobei er den ersten Molaren als Fix- und damit als Ausgangspunkt für die Gestaltung eines Zahnbogens nach mesial festsetzte. Dies führte oft zu proklinierten Frontzähnen und einem für heutige Begriffe unästhetischem Ergebnis. Daher wird eine Rekonstruktion der Okklusion und Bisslage von mesial begonnen, angefangen bei dem ersten Inzisivus nach distal (Kieferorthopädische Abteilung der Zahnklinik Marburg), was den im Frontzahnbereich zur Verfügung stehenden Platz im Oberkiefer für die Ausformung des Zahnbogens entscheidend für die kieferorthopädische Behandlung macht.

Auch Bakker et al. (1979) verwiesen auf die besondere Bedeutung des Frontzahnsegmentes im Oberkiefer „Keine andere Region in den beiden Kiefern zeigt einen vergleichbar großen Unterschied an Raumbedarf im frühen und späten Entwicklungsstadium der Dentition“.

Neben der Beantwortung der Frage, wie viel Platz während der ersten Wechselphase entsteht, soll ein Modell entwickelt werden, das eine Formel für den Frontzahnbogen zum Ergebnis hat, um den Ursprung des Platzes klären zu können.

Schon früher wurde versucht, den Zahnbogen als eine mathematische Formel darzustellen. Herbst (Herbst 1922) stellte den Oberkieferfrontzahnbogen als Kreissegment dar, den gesamten Zahnbogen als Ellipse. Er entwickelte basierend auf Modellen von Bonwill und Hawley Diagramme, die er für die Beurteilung des Behandlungsbedarfs, unabhängig von der Okklusion nach Angle, sowie den Fortschritt der Behandlung nutzte. Die meisten Modelle bezogen sich aber auf den gesamten Zahnbogen während der bleibenden Dentition bei Ausgewachsenen und beschrieben diesen unter anderem als Beta-Funktion (Braun et al.1998). Der gesamte Zahnbogen in der Milchdentition wurde als polynomische Funktion 3. Grades angegeben (Tsai 2001).

In Ergänzung dazu suchten Bishara et al. (1995) nach Korrelationen zwischen der Entwicklung des Milchzahnbogens und dem Zahnbogen der bleibenden Dentition, kamen aber zu dem Ergebnis, dass die Korrelationen zwischen der TSALD (tooth size-arch length relationship) der Milchdentition und der bleibenden Dentition unter 0,7 lag und erst in dem Wechselgebiss nach der ersten Wechselphase Voraussagen für eventuellen Platzmangel getroffen werden könnten.

Außerdem konnten Howe et al. (1983) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Zahngrößen bei Zahnbögen mit Engstand und ohne Engstand feststellen.

Die Bedeutung der Maxilla am Gesamtwachstum des Schädels untersuchte Moss (Moss und Greenberg 1967). Er entwarf seine Theorie der „Funktionellen Matrix“, die besagt,

dass die Maxilla an vielen überlebenswichtigen Prozessen wie Sehen, respiratorischer Funktionen, Sprache und dem Schutz der neurovaskulären Masse beteiligt ist, an deren Entwicklung sich das Wachstum und die Umstrukturierung der Maxilla anpassen. Moss sprach von der Antwort auf Wachstumsveränderungen der primären Matrix.

Auch Enlow (1966) wies auf die Vergrößerung der Nasenöffnung bei gleichzeitigem vertikalem Wachstum der Maxillahöhe hin.

Takeshita et al. (2001) stellte sogar die Vermutung auf, dass die Maxilla ein Wachstumszentrum im kraniofazialen Bereich sein könnte. Das anterior stärkere vertikale Wachstum relativ zur kraniellen Basis führte er in Einklang mit der Theorie der „Funktionellen Matrix“ zurück auf die Entwicklung respiratorischer Funktionen.

Die Individualität des Wachstums der Maxilla betonte Scott (1957), der in manchen Individuen eher ein vermehrtes Breitenwachstum feststellte, in anderen eher ein Tiefenwachstum des Zahnbogens. Er verwies auf Macconaill und Scher (1949), die schon früh den Zahnbogen in Form einer an beiden Enden aufgehängten Kette beschrieben hatten.

Björk und Skieller (1975) untersuchten die Maxilla dreidimensional. Sie nutzten Implantate in der Maxilla als feste Referenzpunkte, um das Wachstum der Maxilla in allen drei Ebenen beurteilen zu können. Im Gegensatz zu ihren festen Referenzpunkten hat diese Untersuchung den Nasenboden, dargestellt durch die Spina nasalis anterior und die Spina nasalis posterior, trotz bekannter Remodellingprozesse als Referenzstruktur gewählt. Als Endpunkt der Messungen für die Höhe der Maxilla im anterioren Bereich gibt er die genaue Grenze des Knochenbestandes an. Neben der Tatsache, dass die appositionellen Prozesse am Nasenboden gegenüber den resorptiven überwiegen, spielt die Resorption des Nasenbodens (Björk und Skieller 1975) für die Entstehung des Platzes im Zahnbogen nur eine untergeordnete Rolle. Das vertikale Wachstum der Maxilla wird in dieser Studie letztendlich also noch geringfügig unterschätzt.

2. Material und Methoden

2.1 Material

Die nachfolgenden Untersuchungen dieser Arbeit wurden anhand mazerierter Schädel und der dazugehörigen Fernröntgenseitenbilder unternommen.

„Die Schädel stammen vermutlich ursprünglich aus Indien. Gekauft wurden sie von der Firma Killgor aus Michigan in der Zeit von 1975 bis 1985 für die kieferorthopädische Abteilung der Klinik in Groningen. Nach Schließung dieser Abteilung im Jahre 1990 erwarb Prof. J.M.H. Dibbets, damals Leiter der Klinik in Groningen und heute Leiter der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätsklinik Marburg, die noch verbliebene Schädelsammlung inklusive noch vorhandener Röntgenaufnahmen“ (Greiner 2000).

Für die vorliegende Untersuchung wurden von den vorhandenen Schädeln 162 ausgemessen, deren Dentales Alter bestimmt war.

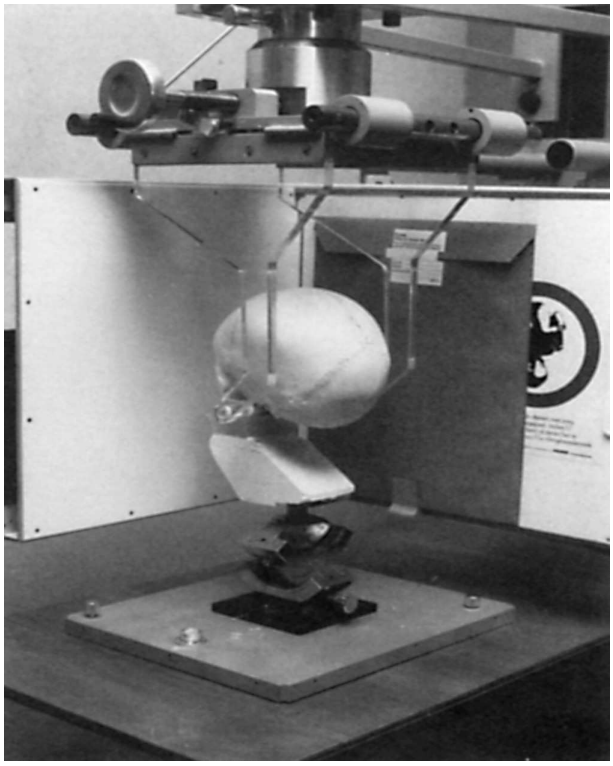

Abb. 2.1 Kephalostatgerät (aus Remmelink 1988)

Neben der Vermessung der Schädel an sich wurden die dazugehörigen Fernröntgenseitenbilder ausgewertet. „Die Anfertigung aller vorhandenen Röntgenbilder erfolgte in Groningen mittels eines konventionellen Kephalostatgerätes, in das die Schädel eingespannt wurden (Abb. 2.1). Die Detailzeichnung der anatomischen Strukturen wurde verbessert, indem man bei den Aufnahmen auf die Verstärkerfolie verzichtete.
Der Fokus-Objekt-Abstand betrug 355cm und der Objekt-Film-Abstand 20cm, was einen Vergrößerungsfaktor von 5,6% zur Folge hatte“ (Greiner 2000).
Die Schädel mit den Identifikationsnummern 107, 142 und 200 wurden modifiziert in das Kephalostatgerät eingestellt, wozu sie auf einem eigens dafür angefertigten Podest positioniert wurden.
„Eine erkennbare Unterscheidung von den übrigen Röntgenbildern war aufgrund der fehlenden Ohrstöpsel möglich. Bei einem Fokus-Objekt-Abstand von ebenfalls 355cm wurde der Objekt-Film-Abstand so gering wie möglich gehalten. Der Filmträger wurde hierfür direkt an den Schädel angelegt. Dabei entstand ein Vergrößerungsfaktor von 2%“ (Greiner 2000).

Die aus den Fernröntgenseitenbildern gewonnenen Daten wurden nach Abschluss der Messung auf 0% Vergrößerung korrigiert.

Für die Schädel mit den Nummern 2, 82, 143, 185, 197 und 225 lagen keine Fernröntgenseitenbilder vor, die Aufnahme des Schädels 222 konnte aufgrund des Fehlens der beiden oberen ersten Inzisivi nicht ausgewertet werden.
Der Schädel mit der Nummer 146 war zahnlos.

2.2 Methoden

Geschlecht

1994 wurde von Prof. Kunter, Anthropologie aus Gießen versucht, das Geschlecht der einzelnen Schädel zu bestimmen.

Insgesamt konnten auf diese Weise von den 162 untersuchten Schädeln nur 21 dem männlichen und 21 dem weiblichen Geschlecht zugewiesen werden. Eine geschlechtsspezifische Auswertung wurde aufgrund der nur teilweise möglichen Zuordnung und der daraus resultierenden kleinen Schädelanzahl unterlassen.

Zahnalter

Aufgrund fehlender Kenntnisse über das chronologische Alter der Schädel erfolgte die Alterseinteilung ins „step function" Alter. Die Einteilung in das „step function" Alter ist außerdem sinnvoll, da eine Beurteilung der Schädel nach chronologischem Alter aufgrund der Unterschiede der individuellen Entwicklung nicht präzise erfolgen kann.

In der kieferorthopädischen Abteilung der Marburger Universitätsklinik wird die Gebissentwicklung anhand äußerer Merkmale in 5 Phasen unterteilt, wobei jede Phase annähernd 2,5 Jahre umfasst (Dibbets 2000).

Milchzahndurchbruch	0,0	-	2,5	Jahre (Beginn mit etwa 6 Monaten)
erste Ruhephase	2,5	-	5,0	Jahre
erste Wechselphase	5,0	-	7,5	Jahre
zweite Ruhephase	7,5	-	10,0	Jahre
zweite Wechselphase	10,0	-	12,5	Jahre

Der Durchbruch der ersten Milchzähne beginnt in etwa mit dem 6. Lebensmonat (Lysell et al. 1962).

In der vorliegenden Untersuchung blieb die Reifedifferenz bei der Bestimmung des Zahnalters unberücksichtigt, da der geschlechtsspezifische Unterschied der Schädel erst zu einem altersgemäß späteren Zeitpunkt als der ersten Wechselphase hätte festgestellt werden können.

Auch in den spätere Phasen miteinbeziehenden Grafiken und Tabellen wurde der geschlechtsspezifische Unterschied nicht mit berücksichtigt, da die Anzahl der einem Geschlecht zugeordneten Schädel allein zu gering für aussagekräftige Ergebnisse wäre.

"Darüber hinaus wurde eine Abweichung vom 2,5-Jahres Rhythmus in der ersten Wechselphase auf Kosten der zweiten Ruhephase vorgenommen. Der Grund für diese Ausnahme lag in einer erfahrungsgemäß eher länger andauernden ersten Wechselphase" (Greiner 2000).

Die Einteilung des Dentalen Alters erfolgte in 9 Gruppen (in Klammern aufgeführte Jahreszahlen entsprechen der Intervallmitte):

Milchzähne im Durchbruch (Beginn mit 6 Monaten)	**0,0-2,5 J**
1. Ruhephase Milchzähne vollständig durchgebrochen schmaler Ramus - 3J, breiter Ramus - 4J 1. Molar sichtbar, Kortikalis durchbrochen 4,5J	**2,5-5,0 J**
1. Wechselphase 1. Molar und bleibende Schneidezähne im Durchbruch	**5,0-8,0 J**
2. Ruhephase 1. Molar und bleibende Schneidezähne vollständig durchgebrochen	**8,0-10 J** **(9,0 J)**

2. Wechselphase Zahnwechsel in den Stützzonen, Durchbruch 2. Molar	**10,0-12,5 J**
Stützzonen und 2. Molar vollständig durchgebrochen	**12,5-17,5 J**
3. Molar im Durchbruch	**18 J**
3. Molar vollständig durchgebrochen	**20 J**
Abrasionen, horizontaler Knochenabbau	**30 J**

Zusätzlich zum Dentalen Alter wurde eine genauere Altersbestimmung mittels des „step function“ Modells vorgenommen.

Die „step function“ findet neben der Einteilung des 2,5-Jahres-Rhythmus in der Marburger Universitätsklinik zur Diagnostik am Patienten Verwendung und wird den Studenten vermittelt.
„Dem Ausgangsalter einer Gebissentwicklungsphase wird dabei pro durchgebrochenem Zahn dieser Phase eine bestimmte Anzahl von Monaten zugezählt. Ermittelt wird diese Anzahl von Monaten, indem die zu erwartende Zahnzahl durch den angegebenen Durchschnittszeitraum (2,5 Jahre) geteilt wird. Ein Zahn gilt als durchgebrochen, sobald er sich in der Mundhöhle zeigt“ (Greiner 2000).

Gebissentwicklungs-phase	**Durchbruchsanzahl pro Zeit**	**„step function“ Alter**
Milchgebiss	20 Zähne in 24 Mo	0,5J+1 Mo pro Zahn
1. Wechselphase	12 Zähne in 36 Mo	5J+3 Mo pro Zahn
2. Wechselphase	16 Zähne in 30 Mo	10J+2 Mo pro Zahn

2.2.1 Schädelvermessung

Messmethoden

Die am Schädel selber gemessenen Strecken sowie alle Zahnbreiten wurden mit einer elektronischen Schieblehre der Firma Brown&sharpe TESA SA vorgenommen. Die Messgenauigkeit beträgt 0,02mm.
Die knöcherne und die dentale Bogentiefe wurden mithilfe eines manuellen Schnelltasters der Firma Kroeplin (Abb. 2.2 - 2.4) gemessen, dessen Messgenauigkeit 0,05mm beträgt.

Abb. 2.2 Schnelltaster

Abb. 2.3 Skala

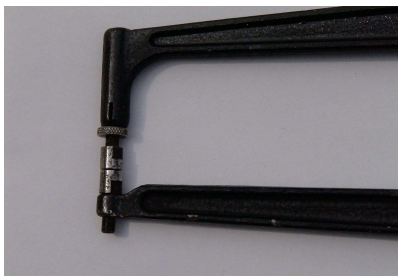

Abb. 2.4 Unteres Ende

Die knöcherne und dentale Bogenlänge wurden unter Zuhilfenahme eines superelastischen Nickel-Titanium-Drahtes 0,018 inch (0,45mm), an dem eine fixierte und eine verschiebliche Messhilfe aus dem Rand eines Film-Dias (Abb. 2.5) angebracht waren, gemessen. Abgelesen wurde von einem handelsüblichen Lineal mit einer Messgenauigkeit von 0,5mm.

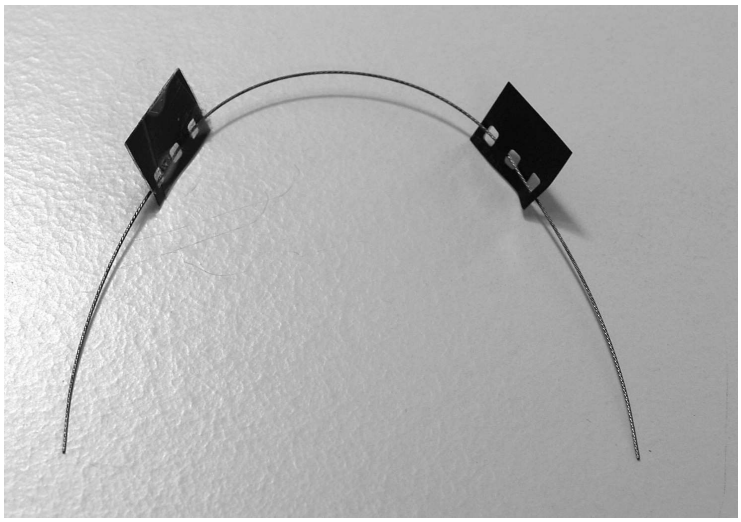

Abb. 2.5 Supercable-Draht mit einer fixierten und einer verschieblichen Messhilfe als Messinstrument für die Bogenlängen

Die in den Fernröntgenseitenbildern gemessenen Werte der Winkel und Strecken wurden mit einem konventionellen Geodreieck mit einer Ablesegenauigkeit von 0,5mm und 0,5° ermittelt. Dazu mussten zuvor die Markierungspunkte und Strecken vom Röntgenbild auf eine darauf befestigte Acetatfolie übertragen werden. Dies wurde mit einem Minenbleistift der Stärke 0,35mm ausgeführt. Alle Strecken wurden zwei mal gemessen. Im Falle einer Diskrepanz wurde eine dritte Messung vorgenommen und der Wert gegebenenfalls korrigiert.

Am Schädel gemessene Strecken (Abb. 2.6):

Den verschiedenen Variablen wurden entsprechende Nummern zugewiesen, die im Laufe dieser Untersuchung für die Variablen stehen.

1. Alveoläre intercanine Distanz

Can os: Strecke, die den Abstand zwischen den oberen, direkt an dem Zahn anliegenden vestibulären knöchernen Alveolen auf Höhe des Approximalkontaktes zwischen den oberen zweiten Inzisivi und den Eckzähnen angibt

2. Dentale intercanine Distanz

Can dens: Strecke zwischen den mesialsten Punkten der Kauspitzen der oberen Eckzähne

3. Höckerspitze-intercanine Distanz

Spitze can: Strecke zwischen den Höckerspitzen der oberen Eckzähne

Die Strecken der alveolären und dentalen Bogentiefe wurden mithilfe eines 0,9mm starken Drahtes gemessen, der von oben in den Interdentalraum zwischen den oberen Eckzähnen und den oberen zweiten Inzisivi gelegt wurde und somit eine Verbindungslinie zwischen den jeweiligen mesialen Kanten der oberen Eckzähne darstellte.
In den Fällen, in denen der zweite Inzisivus aufgrund diverser Gründe nicht durchgebrochen oder verloren gegangen war, wurde der Draht manuell an der mesialen Kante des oberen Eckzahnes fixiert.

4. Alveoläre Bogentiefe

Inz os: Kleinstmögliche Strecke zwischen der oberen, direkt an dem Zahn anliegenden vestibulären knöchernen Alveole des ersten oberen Schneidezahns und dem als Verbindungslinie zwischen den mesialen Kanten der oberen Eckzähne dienenden Drahtes

5. Dentale Bogentiefe

Inz dens: Kleinstmögliche Strecke zwischen der mesialen Schneidekante eines oberen ersten Schneidezahns und dem senkrecht zu der Strecke stehenden, als Verbindungslinie zwischen den mesialen Kanten der oberen Eckzähne dienenden Drahtes

6. Alveoläre Bogenlänge

Arch os: Länge des knöchernen Zahnbogens, bukkal am Alveolarfortsatz zwischen den mesialen Kanten der oberen Eckzähne gemessene Länge

7. Dentale Bogenlänge

Arch dens: Länge des dentalen Zahnbogens, bukkal an den Inzisalkanten, zwischen den mesialen Kanten der oberen Eckzähne gemessene Länge

Zahnbreiten: Die Zahnbreiten sowohl der Milch- als auch der bleibenden ersten und zweiten Inzisivi, sowie der Eckzähne wurden als größtmögliche mesiodistale Distanz zwischen ihren jeweiligen Kontaktpunkten gemessen, an freistehenden Zähnen wurde die größtmögliche Strecke zwischen mesialer proximaler Seite und distaler proximaler Seite gemessen, die dem Kontaktpunkt entsprechen sollte.

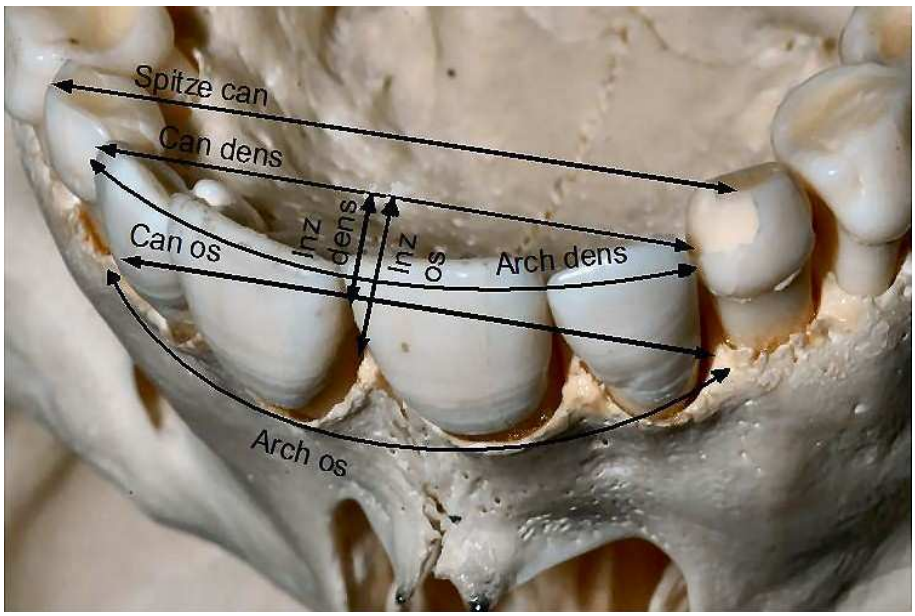

Abb. 2.6 Messstrecken am Schädel

Im Fernröntgenseitenbild gemessene Strecken und Winkel (Abb. 2.7 und 2.8):

Alle Fernröntgenseitenbilder wurden auf halbtransparentes Papier durchgezeichnet. Eingezeichnet wurde der Nasenboden als Verbindungslinie der Spina nasalis anterior zur Spina nasalis posterior, die Okklusionsebene als Verbindungslinie der Schneidekante des ersten oberen Schneidezahns und der mesialen Höckerspitze des ersten unteren Molaren. Im Falle eines Fehlens, einer eindeutigen Fehlstellung oder eines noch nicht vollständig abgeschlossenen Durchbruchs eines dieser beiden Zähne wurde die Okklusionsebene als eine Verbindungslinie der Höckerspitzen der vorhandenen Zähne des Oberkiefers eingezeichnet. Des weiteren wurden die Zahnachsen sowohl der ersten oberen Milchschneidezähne, als auch der sich im Knochen entwickelnden bleibenden ersten oberen Schneidezähne durch die Kaukante und den Zahnapex und eine fiktive Strecke durch den Schnittpunkt der Zahnachsen mit dem Nasenboden senkrecht zur Okklusionsebene eingezeichnet. Zuletzt wurde noch eine Strecke vom tiefsten Punkt der direkt am Zahn anliegenden vestibulären knöchernen Alveole des ersten oberen Schneidezahns bis zum Nasenboden parallel zur Zahnachse des in der Alveole steckenden Zahns markiert.

Alle Fernröntgenseitenbilder wurden zweimal gemessen. Bei einer Differenz zwischen den beiden Messungen wurde eine Drittmessung vorgenommen.

8. Winkel zwischen Milchinzisivus und Nasenboden

W(i-nb)m: An der oralen Seite gemessener Winkel zwischen der Zahnachse des ersten oberen Milchschneidezahns und dem Nasenboden

9. Winkel zwischen bleibendem Inzisivus und Nasenboden

W(i-nb): An der oralen Seite gemessener Winkel zwischen der Zahnachse des bleibenden ersten oberen Schneidezahns und dem Nasenboden

10. Winkel zwischen Okklusionsebene und Nasenboden

W(oe-nb): Winkel zwischen dem Nasenboden und der Okklusionsebene

11. Strecke Milchinzisivschneidekante zum Nasenboden

S(i-nb)m: Strecke der Zahnachse eines ersten oberen Milchschneidezahns von der Schneidekante bis zum Schnittpunkt mit dem Nasenboden

12. Strecke Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden

S(i-nb): Strecke der Zahnachse eines bleibenden ersten oberen Schneidezahns von der Schneidekante bis zum Schnittpunkt mit dem Nasenboden

13. Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden Milchinzisivus

S(nb⊥oe)m: Strecke senkrecht zur Okklusionsebene vom Schnittpunkt eines ersten oberen Milchschneidezahns mit dem Nasenboden bis zur Okklusionsebene

14. Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden bleibender Inzisivus

S(nb⊥oe): Strecke senkrecht zur Okklusionsebene vom Schnittpunkt eines bleibenden ersten oberen Schneidezahns mit dem Nasenboden bis zur Okklusionsebene

15. Strecke Okklusionsebene-Nasenboden durch die Milchinzisivzahnachse

S(nb-oe)m: Strecke der Zahnachse eines ersten oberen Milchschneidezahns vom Schnittpunkt mit dem Nasenboden bis zum Schnittpunkt mit der Okklusionsebene

16. Strecke Okklusionsebene-Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus

S(nb-oe): Strecke der Zahnachse eines bleibenden ersten oberen Schneidezahns vom Schnittpunkt mit dem Nasenboden bis zum Schnittpunkt mit der Okklusionsebene

17. Knochenhöhe am Inzisivus

S(p1p2): Strecke parallel zur Zahnachse des in der Alveole steckenden Zahnes zwischen dem tiefsten Punkt der vestibulären knöchernen Alveole und dem Nasenboden

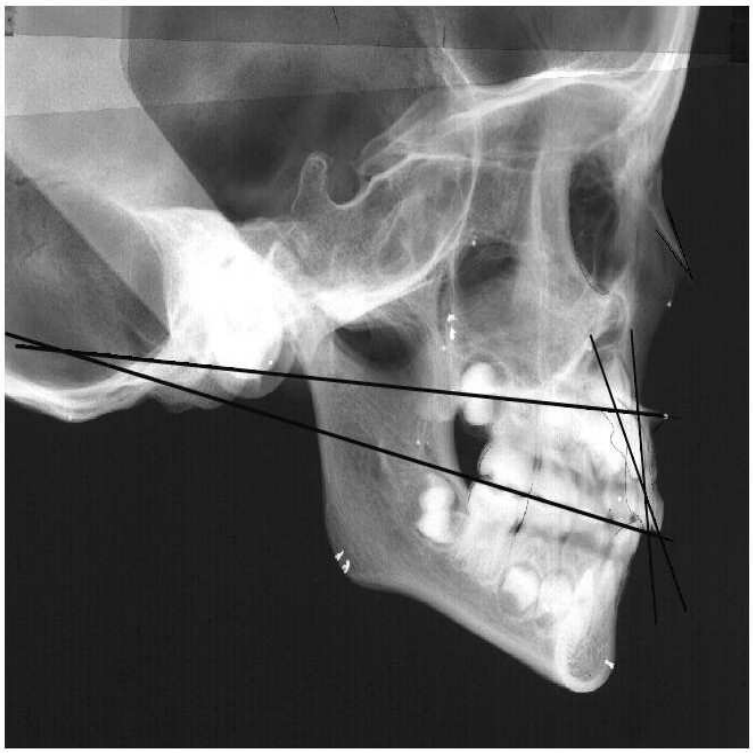

Abb. 2.7 Fernröntgenseitenbild mit eingezeichnetem Nasenboden, Okklusionsebene und Zahnachsen der Inzisivi (Schädel Nr.86)

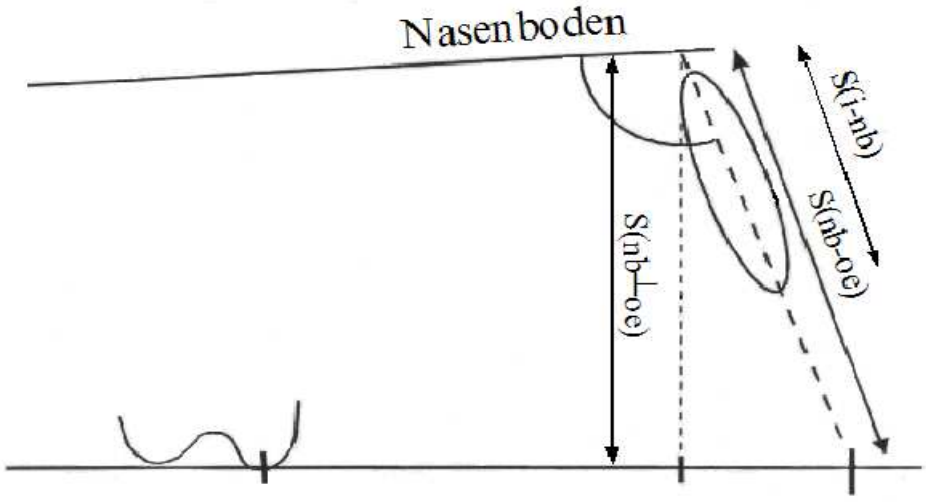

Abb. 2.8 Messstrecken der bleibenden Dentition im Fernröntgenseitenbild (ohne S(p1p2))

2.2.2 Statistische Methoden

Alle ermittelten Daten wurden in das Statistikprogramm SPSS Version 12 übertragen, in dem auch die statistischen Tests und Diagramme erstellt wurden.

Erstellen von Altersklassentabellen

Zusätzlich zur „step function“ wurden die Schädel in Altersklassen unterteilt. Diese wurden so ausgelegt, dass eine ausreichende Anzahl von Schädeln einer Altersklasse zugewiesen werden konnte. Der Zahlenwert der Altersklasse wurde errechnet aus dem Mittelwert der „step function“ Alter von den in die jeweilige Altersklasse einbezogenen Schädeln. Die Altersklassenunterteilung dient der quantitativen Analyse des Wachstums der Schädel. Die Tabelle 2.1 zeigt die Anzahl der Schädel, die zu einer Altersklasse zusammengefasst wurden mit ihren „step function“ Intervallen und der daraus errechneten Altersklasse.

Insgesamt ergaben sich 9 Altersklassen:

Tab. 2.1 Altersklasseneinteilung

Altersklasse	**Anzahl der Schädel**	**Step function Intervall**
2,6	17	1,92-3,0
4,0	23	4,0
5,6	18	4,5-6,0
7,1	21	6,5-7,75
8,8	29	8,0-9,0
10,5	15	10,0-10,83
11,8	18	11,0-12,67
15,0	9	15,0
19,0	12	18,0-20,0

Erstellen von Mittelwerten

Der Mittelwert ist das arithmetische Mittel der Messwerte und berechnet sich aus der Summe der Messwerte geteilt durch ihre Anzahl.

Für alle Altersklassen wurden die Mittelwerte der jeweiligen Variablen und die Standardabweichung bestimmt.

Erstellen von Streudiagrammen

Streudiagramme beschreiben graphisch die Beziehung zwischen zwei Variablen und geben erste Hinweise auf die Art des Zusammenhangs zwischen den beiden dargestellten Variablen (Guggenmoos-Holzmann und Wernecke 1996).

In dieser Arbeit wurden alle Strecken- und Winkelmessungen (=Y-Achse) dem „step function" Alter (=X-Achse) gegenübergestellt. Um einen quantitativen Vergleich zwischen den einzelnen Diagrammen vornehmen zu können, musste die Skalierungen der jeweiligen X- und Y-Achsen auf dieselbe Unterteilung ausgerichtet werden. Aus diesem Grund wurde die Maßeinteilung der X-Achsen aller Daten von 0 bis 22 Jahren festgelegt. Die Skalierung der Y-Achsen aller Daten wurde in 27 Einheiten, gemessen in Millimeter, oder bei Winkeln in 60 Gradeinheiten unterteilt. Zusätzlich wurde eine Ausgleichskurve nach der Loess-Methode in SPSS berechnet, für die 50% der anzupassenden Punkte hinzugezogen wurden, bei den Diagrammen der Milchzähne wurde eine lineare Anpassungskurve erstellt. Differenziert wurde weiterhin zwischen der Dentition der einzelnen Schädel. Schädel, die nur Milchinzisivi aufwiesen, wurden als Kreis, Schädel, die sich im Zahnwechsel befanden als Viereck und Schädel, die nur bleibende Inzisivi aufwiesen als X dargestellt.

Für die erste Wechselphase waren insgesamt 42 Schädel vorhanden, ausgewertet wurden insgesamt 40.
Die Auswertung der Schädelmessungen beginnt bei dem „step function" Alter von 5,75.
Für die Diagramme der ersten Wechselphase wurde eine lineare Anpassungskurve erstellt. Die Maßeinteilung der X-Achse wurde von 5,5 bis 8 Jahren festgelegt.

Korrelationsanalyse

Der Korrelationskoeffizient r schätzt die Stärke des linearen Zusammenhangs zweier Variablen ein. Er kann nur Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Das Vorzeichen beschreibt die Steigung der Geraden. Nehmen X- und Y-Werte miteinander zu, ist r positiv, ist eine Zunahme der X-Werte mit einer Abnahme der Y-Werte verbunden, wird r negativ.
Um festzustellen, wie die vorhandenen Daten miteinander korrelieren, wurde für alle Variablen eine Korrelationsanalyse durchgeführt, ausgenommen die Variablen Geschlecht, Dentales Alter, Schädelnummer und Zahnbreiten.

Methodenfehlerberechnung:

Um den Methodenfehler bestimmen zu können, wurde an willkürlich ausgewählten 25 der 162 gemessenen Schädel eine Zweitmessung vorgenommen.
Bei der Auswertung der Fernröntgenseitenbilder wurde auf die Bestimmung des Methodenfehlers verzichtet, da alle Daten zweimal erhoben wurden.

Zur Bestimmung des Methodenfehlers wird die Differenz der zwei gemessenen Werte gebildet, quadriert, summiert und durch die doppelte Anzahl der vorgenommenen Zweitmessungen geteilt und aus dem Ergebnis die Wurzel gezogen.

Formel nach Dahlberg (1940):

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

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

Der Methodenfehler nach Dahlberg gibt die Messgenauigkeit der Messverfahren sowie des Untersuchers an. Er ist ein quantitatives Maß für die Schwankungsbreite der beiden Messwerte bezogen auf den eigentlichen Betrag der Messstrecke (Lochmann 1999).

2.2.3 Entwicklung eines Modells für das Wachstum des Zahnbogens in der ersten Wechselphase

Modell des Zahnbogens

Es soll ein Modell entwickelt werden, das verdeutlicht, worauf das Wachstum des Oberkiefer-Frontzahnsegmentes um den für die breiteren bleibenden Inzisivi benötigten Platz in der ersten Wechselphase zurückzuführen ist. Dazu wird die Berechnung der Länge des Oberkieferfrontzahnbogens mit der Formel eines Kreisbogensegmentes durchgeführt. Berechnet wird die Bogenlänge aus den gemessenen Werten der Breite des dentalen Zahnbogens, der dentalen intercaninen Distanz und der senkrecht dazu stehenden Tiefe des dentalen Zahnbogens, der dentalen Bogentiefe.

Da die Messpunkte für die dentale intercanine Distanz und die dentale Bogenlänge nicht identisch sind, muss für die Berechnung des Modells die Differenz zwischen Messansatz der Bogenlänge Arch dens und dem Ansatzpunkt für die Messung der Breite des Kreissegmentes, der dentalen intercaninen Distanz, korrigiert werden. Dazu wurde zu der dentalen intercaninen Distanz die Hälfte der oro-labialen Breite addiert
(Abb. 2.9), welche im Mittelwert 4mm ausmacht (Lehmann 1998).

Eckzahnbreite vestibulär-oral = 8mm (Lehmann 1998)

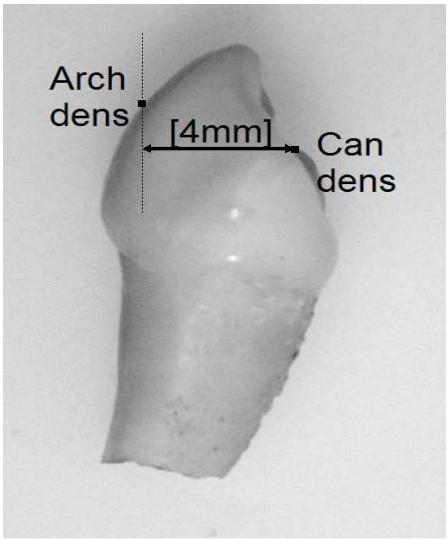

Abb. 2.9 Transversale Differenz zwischen den Messpunkten Can dens und Arch dens

Berechnung der Bogenlänge anhand des Kreismodells:

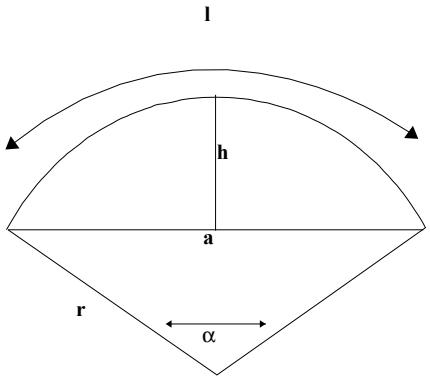

Abb. 2.10 Strecken im Kreismodell

r= Radius

l= Länge des dentalen Bogens = Arch dens

α= Winkel des Sektors

a= Sehne des Sektors = Can dens

h= Höhe des Kreisabschnittes = Inz dens

Es gilt (Bronstein und Semendjajew 1991):

$l = 2\pi r\alpha/360 \approx 0{,}01745 r\alpha$

Berechnung des Bogenöffnungswinkels α:	Berechnung des Radius r:
h= (a/2) * tan (α/4)	$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{a^2}{(4)}}$
Also:	Also:
α= 4 * arctan (2h/a)	r= h/(1 – cos (α/2))

Mithilfe der Formel wird aus der Breite (Can dens) und der Höhe (Inz dens) des Kreisbogensegmentes die Bogenlänge errechnet. Gegeben sind also sowohl eine theoretische, berechnete Länge für das Kreisbogensegment, sowie die tatsächlich gemessene Länge Arch dens. Je mehr sich die Länge von Arch dens an die berechnete Länge annähert, desto mehr entspricht der Zahnbogen der Form eines Kreisbogensegmentes.
Um die Annäherung der beiden Längen bestimmen zu können, werden beide miteinander verglichen, indem die Differenz zwischen dem Mittelwert der errechneten Bogenlänge und dem Mittelwert der gemessenen Bogenlänge Arch dens gebildet wird. Je kleiner der Betrag der Differenz ist, desto mehr entspricht der Zahnbogen der Form eines Kreisbogensegmentes.

Berechnung des Einflusses der vertikalen Vergrößerung auf das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes in der ersten Wechselphase

Mit Hilfe des Kreismodells soll geklärt werden, wo das Wachstum des dentalen Zahnbogens während der ersten Wechselphase seinen Ursprung nimmt. Als Zeitpunkt vor der ersten Wechselphase wird die Altersklasse 4,0 gewählt, da in dieser Altersgruppe noch die vollständige Milchdentition bei allen Schädeln vorhanden ist. Die Altersklasse 8,8 wird als Zeitpunkt gewählt, in der alle Schädel bereits die erste Wechselphase durchschritten haben. Zwischen diesem Zeitraum findet das gesuchte Wachstum des dentalen Zahnbogens statt.

Die Strecke X ist das Wachstum des Radius des dentalen Zahnbogens in der ersten Wechselphase (Abb. 2.11 und Abb. 2.12).

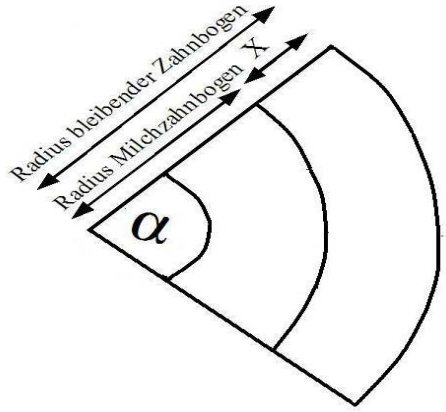

Abb. 2.11 Wachstum des Zahnbogenradius in der ersten Wechselphase um den Betrag X

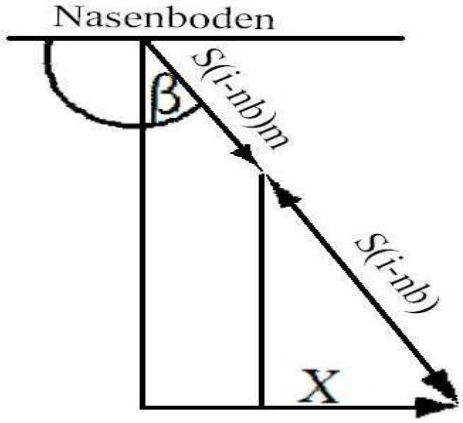

Abb. 2.12 Wachstum in der Vertikalen, Vergrößerung des Zahnbogens um den Betrag X

Für die Altersklasse 4,0 wird der Wert der Strecke S(i-nb)m des Milchzahnes eingesetzt. Um das tatsächliche Wachstum der vertikalen Dimension der Maxilla bis zum Nasenboden berechnen zu können, muss die durchschnittliche Länge der Zahnkrone eines oberen Milchinzisivus (6mm laut Ash und Nelson 2003) abgezogen werden, da sich diese vertikale Dimension erst vergrößert, wenn die Schneidekante des bleibenden Inzisivus die Position der Schneidekante des Milchinzisivus überschritten hat.

Gegeben aus Ergebnissen :

S(i-nb)m bei Ak 4,0	W(i-nb) bei Ak 4,0
S(i-nb) bei Ak 8,8	W(i-nb) bei Ak 8,8

Wachstum zwischen den Altersklassen 4,0 und 8,8:

<u>Wachstum der Strecke S(i-nb):</u>
S(i-nb) bei Ak 8,8 - S(i-nb)m bei Ak 4,0 - 6mm

<u>Mittelwert zwischen W(i-nb) der Altersklassen 4,0 und 8,8:</u>
(W(i-nb) bei Ak 4,0 + W(i-nb) bei Ak 8,8)/2

Winkel β des Dreieckes: W(i-nb) –90°:

W= Mittelwert zwischen W(i-nb) der Altersklassen 4,0 und 8,8 - 90°

Berechnung von X:

$X = \triangle S(i\text{-}nb) * \text{Sinus (Winkel } \beta)$

Damit ist der Zuwachs X berechnet, um den sich der Radius des dentalen Zahnbogens in der ersten Wechselphase vergrößert.

Zu berechnen ist noch der Radius der Altersklasse 4,0 vor der ersten Wechselphase, zu dem der Wert X addiert werden muss, um den theoretischen Radius der Altersklasse 8,8 berechnen zu können. Aus beiden Radien sowie dem zu berechnenden Öffnungswinkel des Bogensegments, dessen Länge der Länge des dentalen Zahnbogens entspricht, werden die jeweiligen Bogenlängen der Altersklassen 4,0 und 8,8 berechnet.

Gegeben aus Ergebnissen :

a(4) = Can dens der Altersklasse 4,0
h(4) = Inz dens der Altersklasse 4,0

Öffnungswinkel des Bogensegmentes:

Aus der Formelsammlung:

$\alpha = 4 * \arctan(2h/a)$

Radius der Altersklasse 4,0:

$r(4) = h/(1-\cos(\alpha/2))$

Damit ergibt sich für den theoretischen Radius der Altersklasse 8,8:

$r(8,8) = r(4) + X$

Berechnung der Bogenlängen für die Altersklassen 4,0 und 8,8:

Formel:

$l = 2\pi\, r\alpha/360°$

Die Differenz der beiden Bogenlängen gibt das Wachstum des dentalen Zahnbogens in der ersten Wechselphase an. Es wird verglichen mit den gemessenen Werten der Variablen Arch dens der Altersklassen 4,0 und 8,8.

Wachstum des gemessenen Bogens:

Gegeben aus Ergebnissen :

Arch dens der Altersklasse 4,0
Arch dens der Altersklasse 8,8

Je kleiner die Differenz zwischen dem durch das Kreismodell errechneten Wachstum und dem gemessenen Wachstum der Länge des dentalen Zahnbogens ist, desto mehr entspricht die Theorie dieser Studie, dass die Vergrößerung des Frontzahnbogens und der benötigte Platzgewinn während der ersten Wechselphase auf eine Vergrößerung in der Vertikalen zurückzuführen ist, der Realität. Damit würde die vertikale „Drift“ den Ursprung des meisten Platzgewinns und des Wachstums darstellen.

Berechnung des Einflusses der Winkeländerung zwischen Zahnachse des Milchinzisivus zum Nasenboden und des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden auf das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes in der ersten Wechselphase

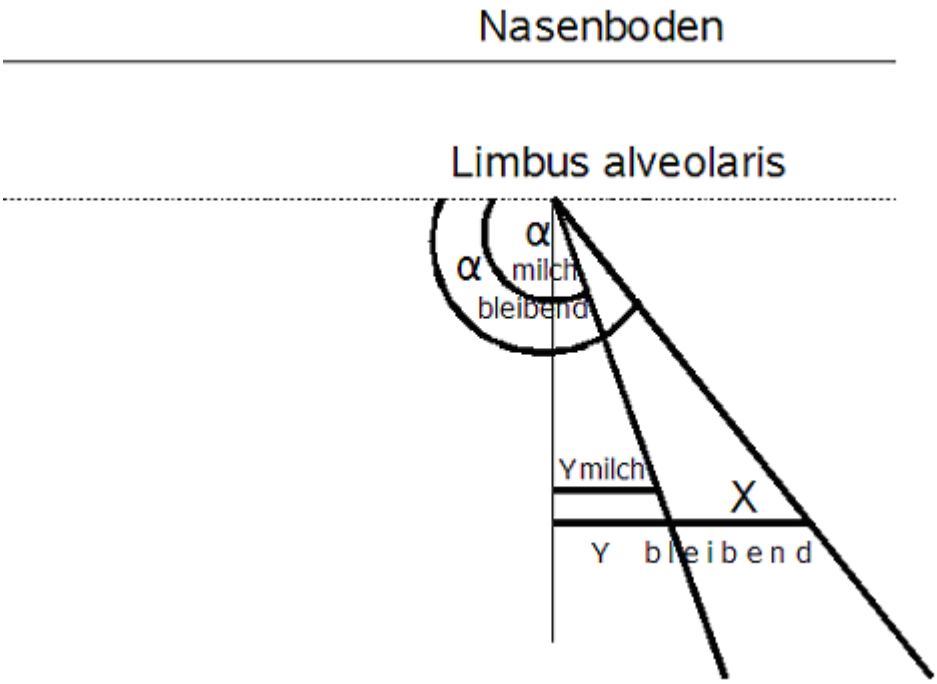

Abb. 2.13 Einfluss des Winkels auf die Vergrößerung des Zahnbogenradius X in der ersten Wechselphase

Gegeben sind die Winkel und Strecken der Altersklassen 4,0 und 8,8.

Da sich der Winkel des ersten Milchinzisivus konstant verhält, wurden seine Werte gemittelt.

Gegeben aus Ergebnissen :

W(4,0) = W(i-nb)m - 90° W(8,8) = W(i-nb) - 90°	S(i-nb)m (4,0)	Knochenhöhe = Kh(4,0)

Um den reinen Winkeleinfluss berechnen zu können, wird die Winkeländerung auf den Ausgangszustand bezogen, nämlich die Milchzahnkrone des ersten Inzisivus. Dadurch wird ein Einfluss der Vertikalen auf das Ergebnis ausgeschlossen.
Die Höhe der Schneidezahnkrone errechnet sich aus der Differenz der Strecke zwischen Schneidezahnkante und Nasenboden minus der Knochenhöhe parallel zur Zahnachse.

$S(4,0) = S(i\text{-}nb)m\ (4,0) - Kh\ (4,0)$

Aus Abb. 2.13 zeigt sich:

$\sin(\alpha - 90°) = Y/S$

Um die vertikale Differenz zwischen den Zahnkronen des Milchinzisivus und des bleibenden Inzisivus außer Betracht lassen zu können und den reinen Winkeleinfluss zu berechnen, wird als Referenzstrecke die Höhe der Milchzahnkrone eingesetzt.

$Y(4,0) = \sin W(4,0) * S(4,0)$

$Y(8,8) = \sin W(8,8) * S(4,0)$

Die Differenz dieser Strecken Y ergibt die Strecke X, den Betrag, um den sich der Radius des Kreissegmentes während der ersten Wechselphase vergrößert.

$X = Y(8,8) - Y(4,0)$

Gegeben aus Modell vertikale Drift:

$r(4,0) = 15{,}98\text{mm}$

$r(8,8) = 15{,}98\text{mm} + X$

$l(8,8) = 2 * \pi * r * \text{Bogenöffnungswinkel}/360°$

$= 1{,}65 * r(8,8)$

Anschließend wird die gemessene Länge mit der errechneten Länge verglichen, um den Anteil des Winkeleinflusses auf das Gesamtwachstum des Zahnbogens in der ersten Wechselphase zu berechnen.

3.0 Ergebnisse

Methodenfehlerberechnung nach Dahlberg

In Tabelle 3.1 wird der Methodenfehler für alle am Schädel gemessenen Strecken und Längen aufgezeigt. Die Anzahl N variiert bei den einzelnen Messungen, da manche Strecken an einigen der zufällig ausgewählten Schädel nicht erhoben werden konnten.

Tabelle 3.1 Methodenfehler nach Dahlberg
Anzahl der Messwerte (N)
Summe der quadrierten Differenz der zwei Messwerte (Summe d^2)
Methodenfehler (MF)

	Variable	N	Summe d^2	MF
1	Can os	25	18,92	0,62
2	Can dens	23	3,91	0,29
3	Spitze can	24	3,04	0,25
4	Inz Os	25	8,54	0,41
5	Inz dens	25	10,04	0,45
6	Arch os	25	0,32	0,08
7	Arch dens	25	0,96	0,14
a	Zahnbreite 11	10	0,6	0,17
b	Zahnbreite 51	11	0,16	0,09
c	Zahnbreite 12	8	0,05	0,06
d	Zahnbreite 52	13	0,21	0,09
e	Zahnbreite 13	9	0,12	0,08
f	Zahnbreite 53	14	0,25	0,09
g	Zahnbreite 21	12	0,1	0,07
h	Zahnbreite 61	11	0,35	0,13
i	Zahnbreite 22	10	0,23	0,11
j	Zahnbreite 62	12	0,02	0,03
k	Zahnbreite 23	10	0,07	0,06
l	Zahnbreite 63	14	0,52	0,14

Ein Methodenfehler ist aufgrund einer immer vorhandenen Messungenauigkeit nie auszuschließen. Je kleiner der Methodenfehler ist, desto genauer ist das Ergebnis.

Streudiagramme und Altersklassentabellen

Zusätzlich zu den Streudiagrammen geben die Mittelwerte der gemessenen Größen in der jeweiligen Altersklasse die Wachstumstendenz an.

3.1 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der alveolären intercaninen Distanz

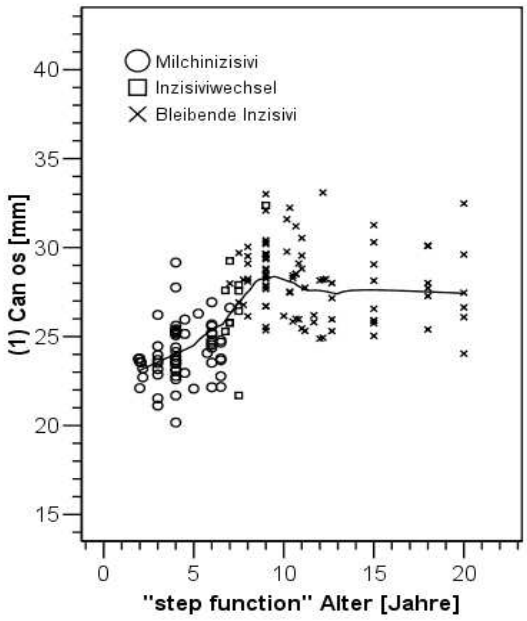

Abb. 3.1.1
Alveoläre intercanine Distanz aller Daten aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.1.1
Mittelwerte für alle Daten der alveolären intercaninen Distanz eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	23,41	0,29
4,00	23	24,22	0,39
5,60	18	24,56	0,32
7,10	21	25,97	0,49
8,80	29	28,88	0,34
10,50	15	28,44	0,53
11,80	18	27,41	0,52
15,00	9	27,55	0,75
19,00	12	27,91	0,68

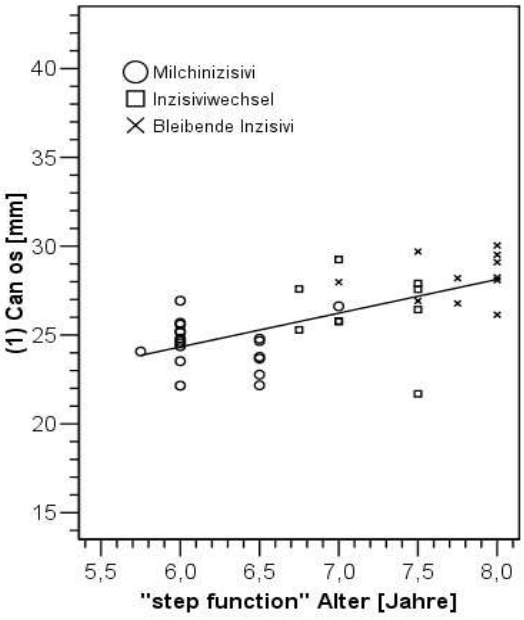

Abb. 3.1.2
Alveoläre intercanine Distanz für die erste Wechselphase aufgetragen gegen das „step function“ Alter

Tab. 3.1.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der alveolären intercaninen Distanz eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	24,59	0,34
7,10	21	25,97	0,49
8,00	6	28,52	0,56

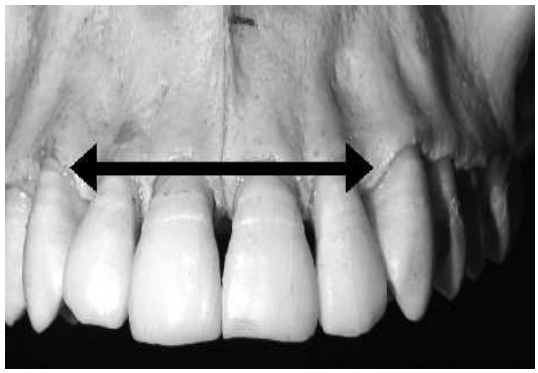

Abb. 3.1.3 Alveoläre intercanine Distanz

Die Wachstumskurve der alveolären intercaninen Distanz ist in drei Phasen unterteilt.
Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 9 Jahren und der dritte vom 9. bis zum 20. Lebensjahr.
Im ersten Abschnitt ist nur eine schwache Vergrößerung von 23,5mm um etwa 1mm zu erkennen. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine deutlich stärkere Zunahme um 4mm. In dem dritten Abschnitt verringert sich die Strecke um 0,5mm.
Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt 5mm.
Die Wachstumskurve der alveolären intercaninen Distanz in der ersten Wechselphase zeigt eine konstante Zunahme.
Insgesamt vergrößert sich die Strecke von 24,5mm auf etwa 28,5mm um 4mm vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren.

3.2 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der dentalen intercaninen Distanz

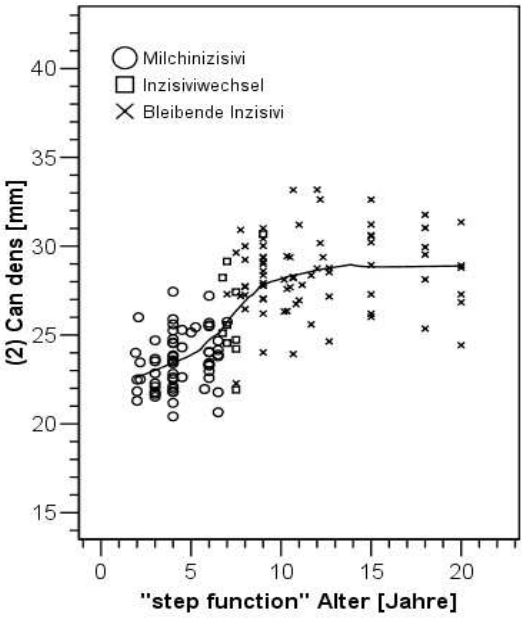

Abb. 3.2.1
Dentale intercanine Distanz aller Daten aufgetragen gegen „step“ function“ Alter

Tab. 3.2.1
Mittelwerte für alle Daten der dentalen intercaninen Distanz eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	22,94	1,29
4,00	22	23,50	1,69
5,60	18	24,18	1,42
7,10	21	25,38	2,73
8,80	23	28,36	1,64
10,50	12	27,93	2,23
11,80	14	28,80	2,43
15,00	9	29,30	2,33
19,00	12	28,62	2,32

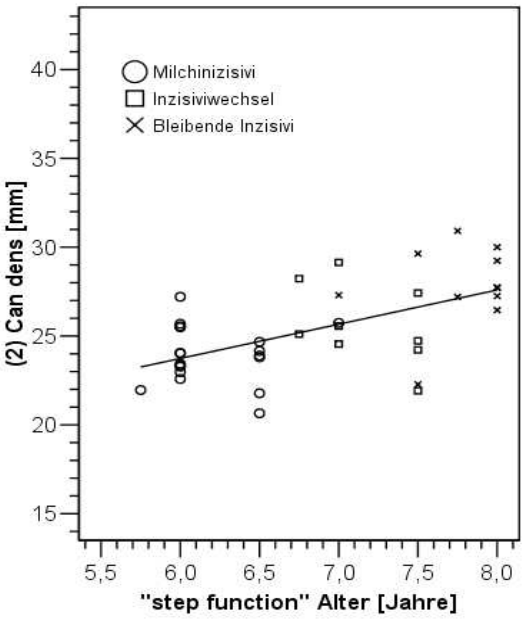

Abb. 3.2.2
Dentale intercanine Distanz für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.2.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der dentalen intercaninen Distanz eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	24,03	1,52
7,10	21	25,38	2,73
8,00	6	28,07	1,31

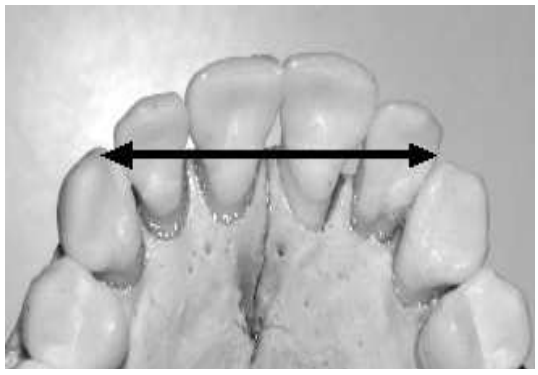

Abb. 3.2.3 Dentale intercanine Distanz

Die Wachstumskurve der dentalen intercaninen Distanz ist erkennbar in drei Abschnitte unterteilt.

Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 10 Jahren und der dritte vom 10. bis zum 20. Lebensjahr.

Im ersten Abschnitt ist nur eine schwache Vergrößerung von 23mm um etwa 1mm zu erkennen. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine deutlich stärkere Zunahme um 4,5mm auf 28,5mm. In dem dritten Abschnitt bleibt die Strecke konstant.

Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt 5,5mm.

Die Wachstumskurve der dentalen intercaninen Distanz in der ersten Wechselphase zeigt eine konstante Zunahme.

Insgesamt vergrößert sich die Strecke von 24mm auf etwa 28mm um 4mm vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren.

3.3 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz

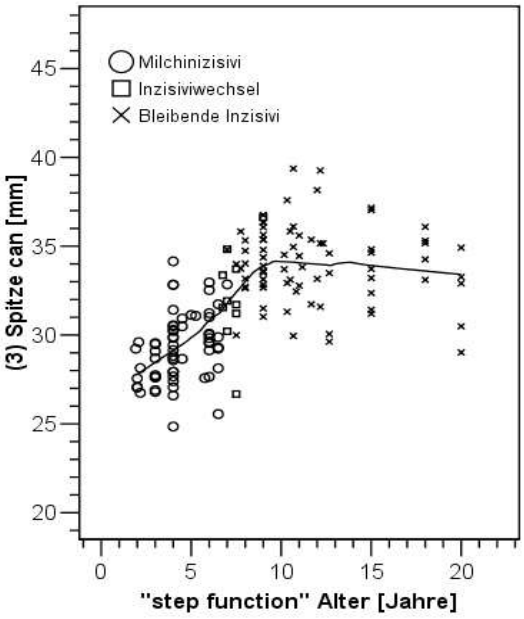

Abb. 3.3.1
Höckerspitze-intercanine Distanz aller Daten aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.3.1
Mittelwerte für alle Daten der Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	28,07	1,03
4,00	23	29,36	2,15
5,60	18	30,10	1,50
7,10	21	31,44	2,73
8,80	25	34,24	1,60
10,50	12	34,32	2,66
11,80	16	34,00	2,59
15,00	9	33,95	2,18
19,00	10	33,46	2,24

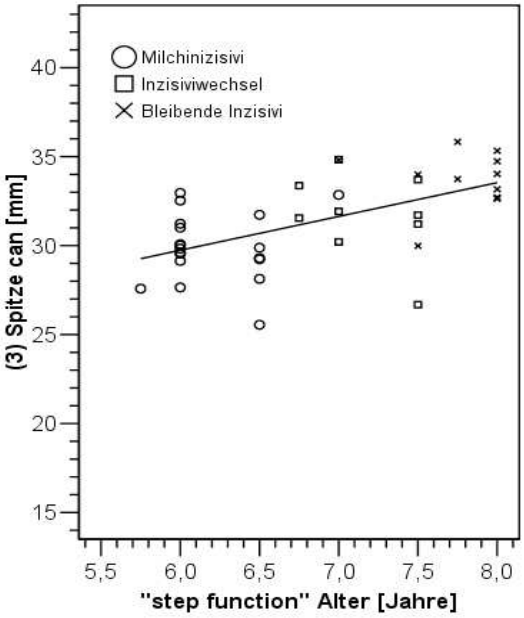

Abb. 3.3.2
Höckerspitze-intercanine Distanz für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.3.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	29,96	1,67
7,10	21	31,44	2,73
8,00	6	33,77	1,11

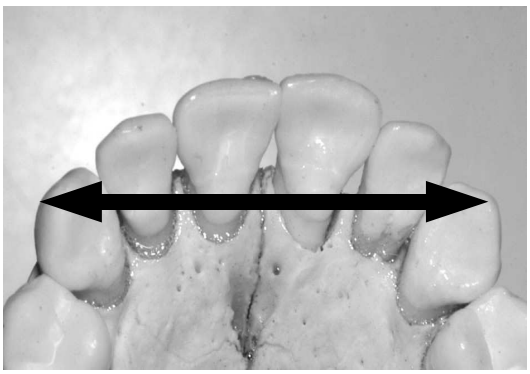

Abb. 3.3.3 Höckerspitze-intercanine Distanz

Die Wachstumskurve der Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz der oberen Eckzähne ist in zwei Abschnitte unterteilt.

Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. Lebensjahr bis zum Alter von 10 Jahren und der zweite vom 10. bis zum 20. Lebensjahr.

Im ersten Abschnitt ist eine Vergrößerung von 28mm um etwa 6mm auf 34mm. In dem zweiten Abschnitt verringert sich die Strecke um etwa 1mm.

Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt 6mm.

Die Wachstumskurve der Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz der oberen Eckzähne in der ersten Wechselphase zeigt eine konstante Zunahme.

Insgesamt vergrößert sich die Strecke um 4mm von 30mm auf 34mm vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren.

3.4 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der alveolären Bogentiefe

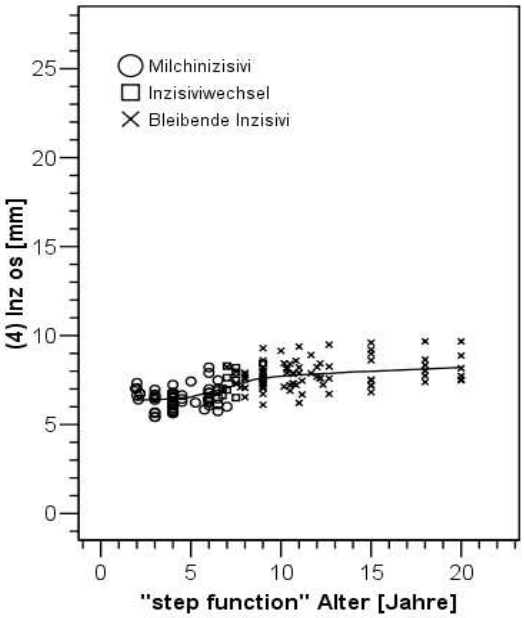

Abb. 3.4.1
Alveoläre Bogentiefe aller Daten aufgetragen gegen “step function” Alter

Tab. 3.4.1
Mittelwerte für alle Daten der alveolären Bogentiefe eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	6,45	0,58
4,00	23	6,31	0,43
5,60	18	6,69	0,62
7,10	20	7,15	0,76
8,80	29	7,60	0,64
10,50	15	7,84	0,65
11,80	17	7,86	0,87
15,00	9	8,07	1,03
19,00	12	8,27	0,80

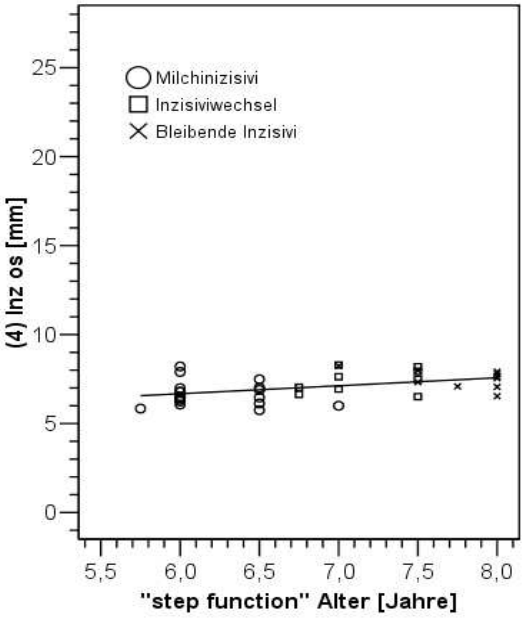

Abb. 3.4.2
Alveoläre Bogentiefe für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.4.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der alveolären Bogentiefe eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	6,73	0,68
7,00	20	7,15	0,76
8,00	6	7,41	0,52

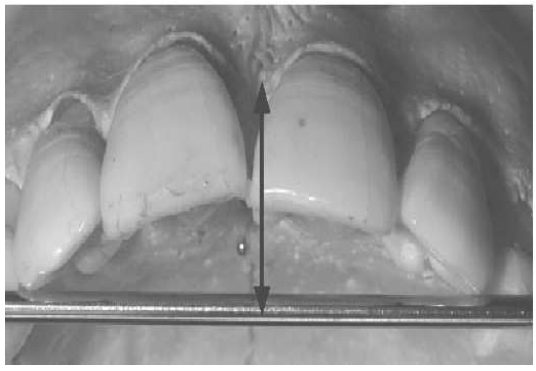

Abb. 3.4.3 Alveoläre Bogentiefe

Die Wachstumskurve der alveolären Bogentiefe ist in drei Abschnitte unterteilt.
Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 9 Jahren und der dritte vom 9. bis zum 20. Lebensjahr.
Im ersten Abschnitt hält sich die Strecke weitestgehend konstant bei 6,5mm. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine Vergrößerung um 1mm auf 7,5mm. In dem dritten Abschnitt findet eine verringerte Zunahme um 0,5mm auf 8mm statt.
Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt etwa 1,5mm.
Die Wachstumskurve der alveolären Bogentiefe in der ersten Wechselphase liegt weitestgehend bei 6 bis 7mm.
Damit erfährt sie zwischen dem 5. bis 6. Lebensjahr bis zum 8. Lebensjahr keine oder nur eine geringe Zunahme.

3.5 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der dentalen Bogentiefe

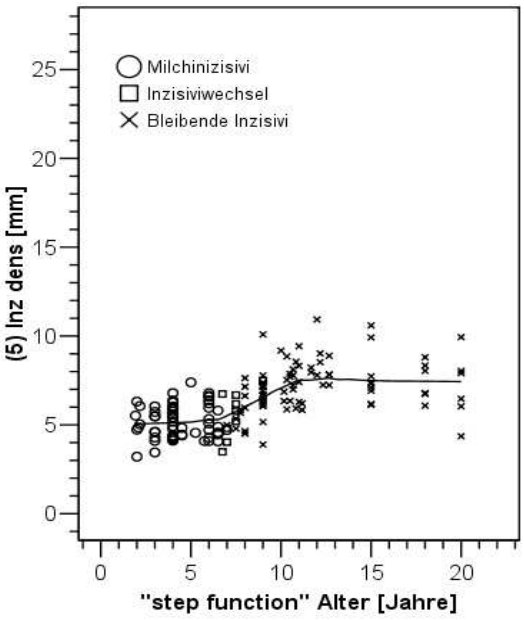

Abb. 3.5.1
Dentale Bogentiefe aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.5.1
Mittelwerte für alle Daten der dentalen Bogentiefe eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	4,98	0,88
4,00	22	5,15	0,90
5,60	18	5,41	1,06
7,10	20	5,13	0,87
8,80	27	6,60	1,19
10,50	15	7,41	1,03
11,80	17	7,94	1,26
15,00	9	7,70	1,55
19,00	12	7,30	1,50

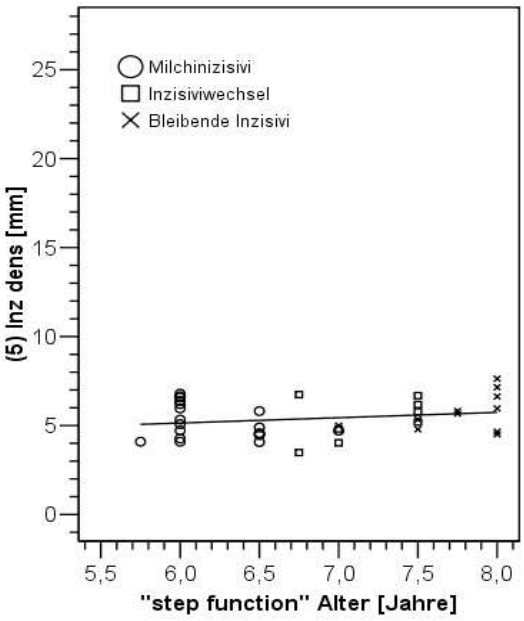

Abb. 3.5.2
Dentale Bogentiefe für die erste Wechselphase aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.5.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der dentalen Bogentiefe eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	5,52	1,00
7,10	20	5,13	0,87
8,00	6	6,09	1,29

Abb. 3.5.3 Dentale Bogentiefe

Die Wachstumskurve der dentalen Bogentiefe ist in drei Abschnitte unterteilt.
Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 11 Jahren und der dritte vom 11. bis zum 20. Lebensjahr.
Im ersten Abschnitt hält sich die Strecke weitestgehend konstant bei 5mm. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine Vergrößerung um 2,5mm. In dem dritten Abschnitt bleibt die Strecke konstant.
Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt etwa 2,5mm.
Die Wachstumskurve der Tiefe des inzisalen Segmentes des dentalen Zahnbogens in der ersten Wechselphase liegt weitestgehend bei 5,5mm.
Damit erfährt sie zwischen dem 5. bis 6. Lebensjahr keine oder nur eine geringe Zunahme.

3.6 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der alveolären Bogenlänge

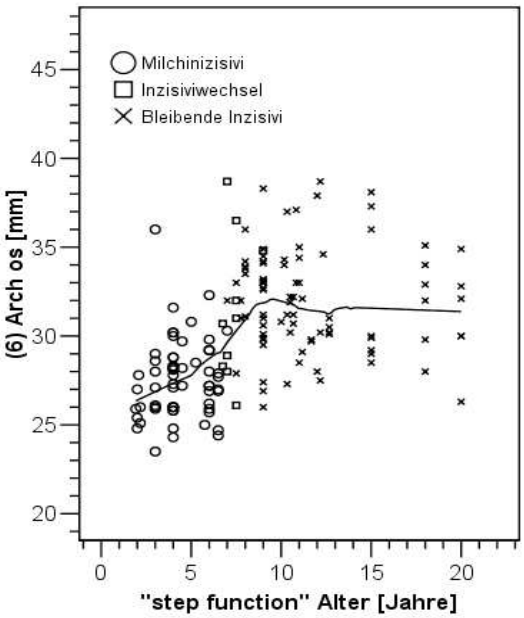

Abb. 3.6.1
Alveoläre Bogenlänge aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.6.1
Mittelwerte für alle Daten der alveolären Bogenlänge eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	27,04	2,71
4,00	23	27,54	1,90
5,60	18	28,00	1,91
7,10	21	29,76	3,58
8,80	29	32,29	2,75
10,50	14	32,36	2,62
11,80	18	31,68	3,26
15,00	8	32,25	4,11
19,00	12	31,49	2,73

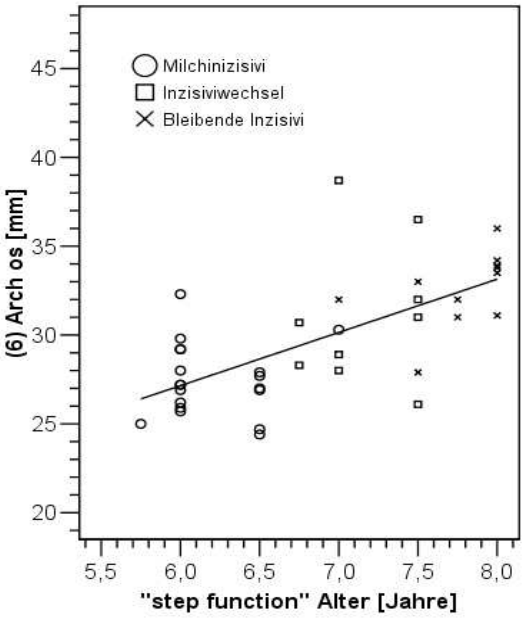

Abb. 3.6.2
Alveoläre Bogenlänge für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function" Alter

Tab. 3.6.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der alveolären Bogenlänge eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	27,66	2,01
7,10	21	29,76	3,58
8,00	6	33,75	1,57

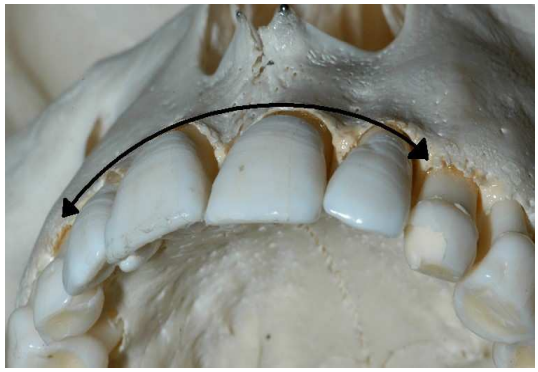

Abb. 3.6.3 Alveoläre Bogenlänge

Die Wachstumskurve der alveolären Bogenlänge ist in drei Abschnitte unterteilt.
Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 9 Jahren und der dritte vom 9. bis zum 20. Lebensjahr.
Im ersten Abschnitt findet nur eine geringe Vergrößerung von 27mm um 1mm statt. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine deutliche Zunahme um 4mm auf 32mm. In dem dritten Abschnitt nimmt die Strecke um 1mm ab.
Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt etwa 5mm.
Die Wachstumskurve der alveolären Bogenlänge in der ersten Wechselphase zeigt eine konstante Vergrößerung.
Insgesamt vergrößert sich die Strecke vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren um 6mm von 27,5mm auf 33,5mm.

3.7 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der dentalen Bogenlänge

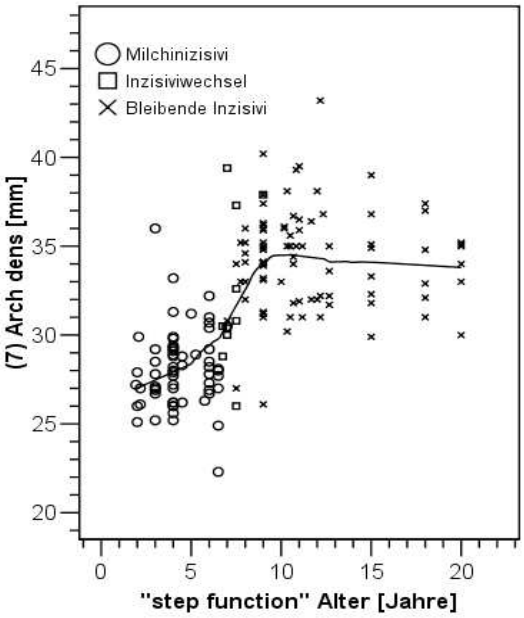

Abb. 3.7.1
Dentale Bogenlänge aller Daten aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.7.1
Mittelwerte für alle Daten der dentalen Bogenlänge eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	27,89	2,57
4,00	23	28,11	1,96
5,60	18	28,64	1,82
7,10	21	30,20	4,09
8,80	29	34,44	2,64
10,50	15	34,75	2,50
11,80	18	34,67	3,36
15,00	8	34,14	2,92
19,00	12	33,96	2,25

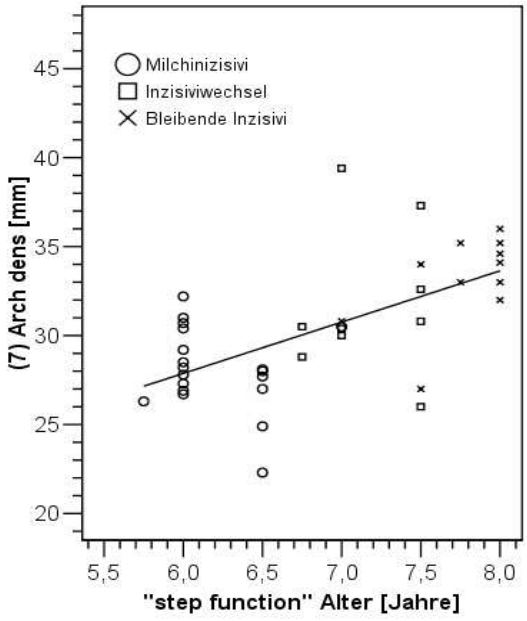

Abb. 3.7.2
Dentale Bogenlänge für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.7.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der dentalen Bogenlänge eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	28,63	1,91
7,10	21	30,20	4,09
8,00	6	34,15	1,46

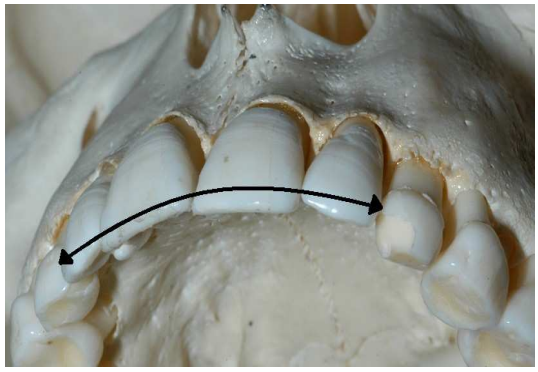

Abb. 3.7.3 Dentale Bogenlänge

Die Wachstumskurve der dentalen Bogenlänge ist in drei Abschnitte unterteilt.
Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 9 Jahren und der dritte vom 9. bis zum 20. Lebensjahr.
Im ersten Abschnitt findet nur eine geringe Vergrößerung von 27,5mm auf 28,5mm statt. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine deutliche Zunahme um 6mm auf 34,5mm. In dem dritten Abschnitt nimmt die Strecke um 0,5mm ab.
Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt etwa 7mm.
Die Wachstumskurve der dentalen Bogenlänge in der ersten Wechselphase zeigt eine konstante Vergrößerung.
Insgesamt vergrößert sich die Strecke von 28,5mm auf 34mm um 5,5mm vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren.

3.8 Wachstumskurven und Altersklassentabellen des Winkels zwischen Milchinzisivus und Nasenboden

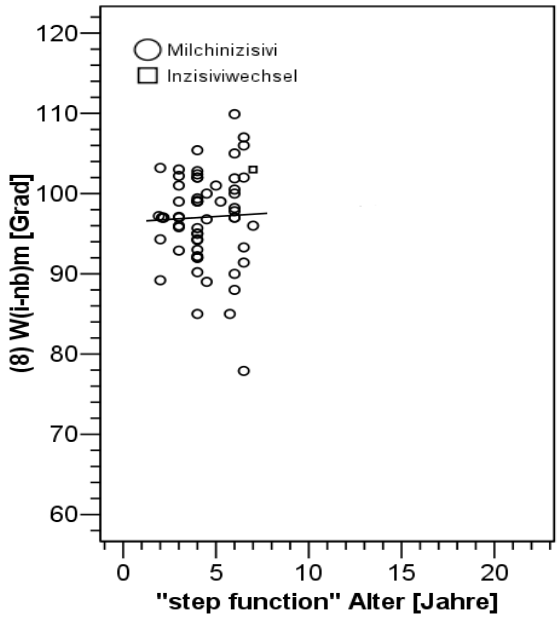

Abb. 3.8.1
Winkel zwischen Milchinzisivus und Nasenboden aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.8.1
Mittelwerte für alle Daten des Winkels zwischen Milchinzisivus und Nasenboden eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	97,15	3,77
4,00	21	95,70	6,16
5,60	18	97,78	6,34
7,10	8	97,08	9,66
8,80	0	.	.
10,50	0	.	.
11,80	0	.	.
15,00	0	.	.
19,00	0	.	.

Die Wachstumskurve des oral gemessenen Winkels zwischen Zahnachse des ersten Milchinzisivus und Nasenboden liegt weitestgehend bei 97°. Der Winkel unterliegt damit keiner oder nur einer geringen Änderung.

3.9 Wachstumskurven und Altersklassentabellen des Winkels zwischen bleibendem Inzisivus und Nasenboden

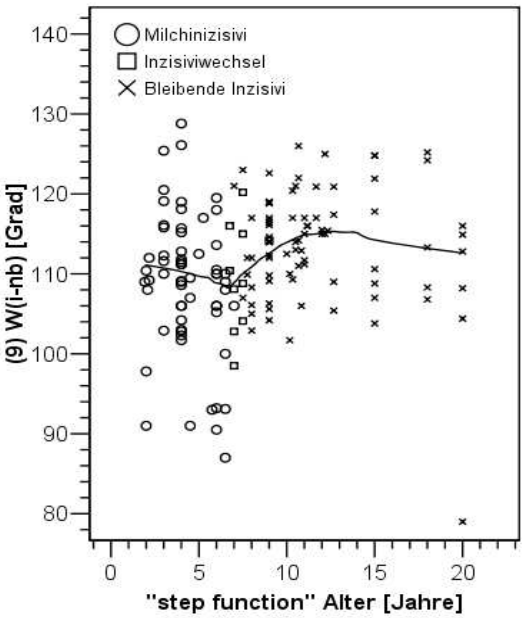

Abb. 3.9.1
Winkel zwischen bleibendem Inzisivus und Nasenboden aller Daten aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.9.1
Mittelwerte für alle Daten des Winkels zwischen bleibendem Inzisivus und Nasenboden eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	110,30	8,34
4,00	22	110,69	7,57
5,60	18	106,36	9,16
7,10	21	108,09	8,81
8,80	26	112,58	5,32
10,50	15	114,07	6,40
11,80	17	114,92	5,06
15,00	8	114,94	8,41
19,00	11	110,28	12,33

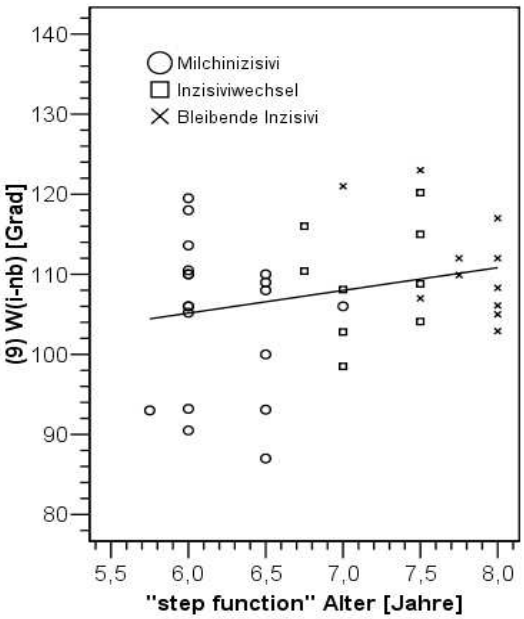

Abb. 3.9.2
Winkel zwischen bleibendem Inzisivus und Nasenboden für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.9.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase des Winkels zwischen bleibendem Inzisivus und Nasenboden eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	105,96	9,25
7,10	21	108,09	8,81
8,00	6	108,55	5,17

Die Wachstumskurve des oral gemessenen Winkels zwischen Zahnachse des bleibenden ersten Inzisivus ist in drei Abschnitte unterteilt.

Der erste Abschnitt reicht vom 2. Lebensjahr bis zur Mitte des 6. Lebensjahres, der zweite von der Mitte des 6. Lebensjahres bis zum 15. Lebensjahr, der dritte vom 15. bis zum 20. Lebensjahr.

Im ersten Abschnitt ist eine leichte Verkleinerung des Winkels von 110 Grad um etwa 3 Grad zu erkennen. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine Zunahme des Winkels um 8 Grad auf 115 Grad. Nach dieser Phase verringert sich der Winkel wieder um etwa 4 Grad bis zum Alter von 20 Jahren.

Die größte Differenz zwischen den Winkeln beträgt 8 Grad. Da sich der Winkel ab dem Alter von circa 15 Jahren wieder verringert, beträgt die gesamte Vergrößerung 1 Grad.

Die Wachstumskurve des oral gemessenen Winkels zwischen Zahnachse des ersten bleibenden Inzisivus und Nasenboden in der ersten Wechselphase zeigt eine konstante Vergrößerung.

Insgesamt vergrößert sich die Strecke von 106 Grad um 2,5 Grad vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren.

3.10 Wachstumskurven und Altersklassentabellen des Winkels zwischen Okklusionsebene und Nasenboden

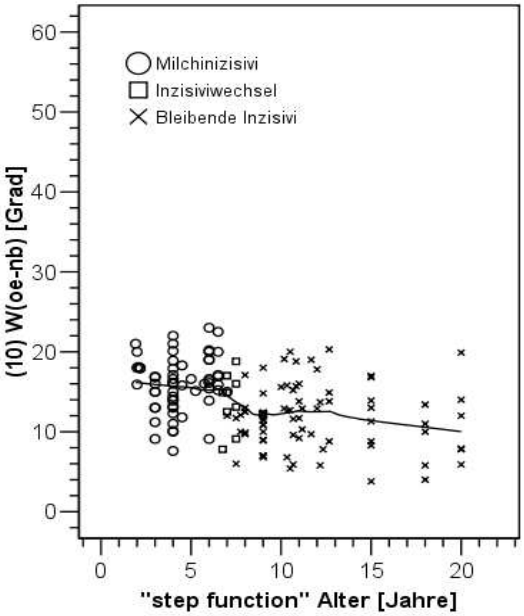

Abb. 3.10.1
Winkel zwischen Okklusionsebene und Nasenboden aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.10.1
Mittelwerte für alle Daten des Winkels zwischen Nasenboden und Okklusionsebene eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	16,05	3,09
4,00	22	15,38	3,95
5,60	18	16,08	3,87
7,10	21	14,21	4,05
8,80	26	11,28	2,80
10,50	15	13,18	4,68
11,80	17	13,06	3,99
15,00	8	11,61	4,52
19,00	11	10,15	4,58

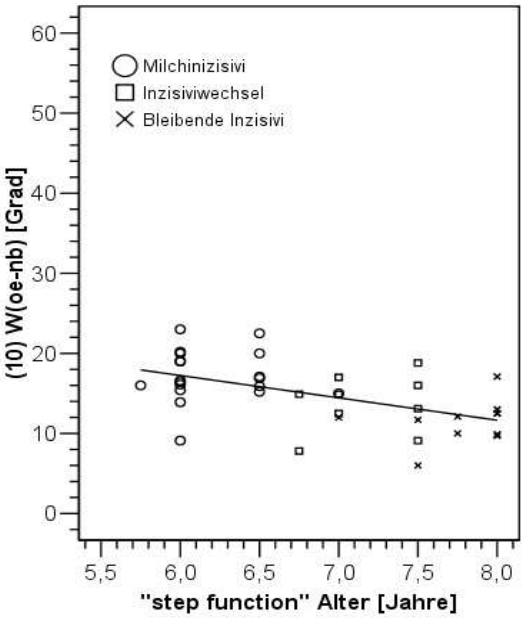

Abb. 3.10.2
Winkel zwischen Okklusionsebene und Nasenboden für die erste Wechselphase aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.10.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase des Winkels zwischen Nasenboden und Okklusionsebene eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	16,30	4,38
7,10	21	14,21	4,05
8,00	6	12,45	2,68

Die Wachstumskurve des Winkels zwischen Nasenboden und Okklusionsebene ist in drei Abschnitte unterteilt.

Der erste Abschnitt reicht vom 2. bis zum 6. Lebensjahr, der zweite vom 6. bis zum 8. Lebensjahr und der dritte vom 8. bis zum 20. Lebensjahr.

Im ersten Abschnitt verringert sich der Winkel von 16 Grad auf 15 Grad, im zweiten von 15 Grad auf 11,5 Grad und im dritten Abschnitt auf 10 Grad. Damit verringert sich der Winkel um insgesamt 6 Grad.

Die Wachstumskurve des Winkels zwischen Nasenboden und Okklusionsebene in der ersten Wechselphase zeigt eine stetige Verringerung. Insgesamt verringert sich der Winkel vom Alter von 5 bis 6 Jahren von 16 Grad bis zum Alter von 8 Jahren auf 12,5 Grad um 3,5 Grad.

3.11 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der Strecke Schneidekante des Milchinzisivus zum Nasenboden

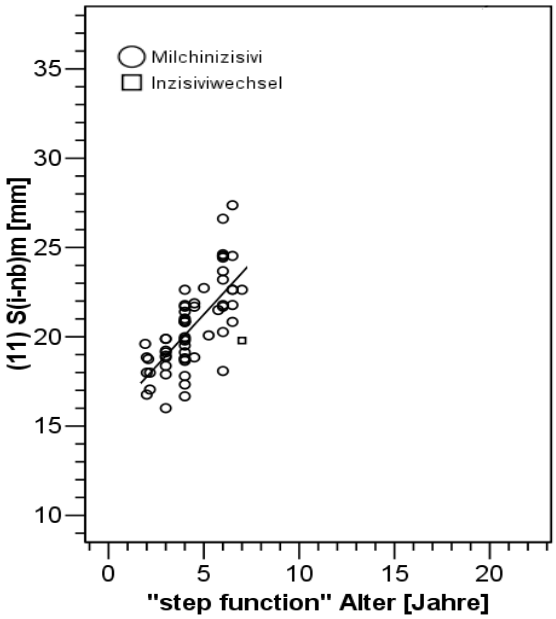

Abb. 3.11.1
Strecke Schneidekante des Milchinzisivus zum Nasenboden aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.11.1
Mittelwerte für alle Daten der Strecke Schneidekante des Milchinzisivus zum Nasenboden eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	18,54	1,14
4,00	21	20,09	1,75
5,60	18	22,33	2,20
7,10	8	22,77	2,33
8,80	0	.	.
10,50	0	.	.
11,80	0	.	.
15,00	0	.	.
19,00	0	.	.

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen Schneidekante des ersten Milchinzisivus und Nasenboden durch die Zahnachse zeigt eine konstante Vergrößerung. Insgesamt vergrößert sich die Strecke vom Alter von 2 Jahren von 18,5mm bis zum Alter von 7 Jahren auf 23mm um insgesamt 4,5mm.

3.12 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der Strecke Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden

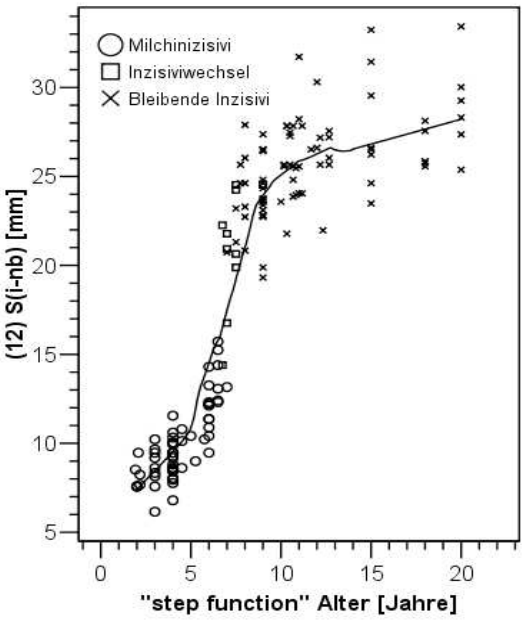

Abb. 3.12.1
Strecke Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden aller Daten aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.12.1
Mittelwerte für alle Daten der Strecke Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	8,45	1,06
4,00	22	9,21	1,16
5,60	18	11,14	1,46
7,10	21	18,92	4,56
8,80	26	23,96	2,08
10,50	15	25,61	1,82
11,80	17	27,05	2,95
15,00	8	27,71	3,38
19,00	11	27,88	2,41

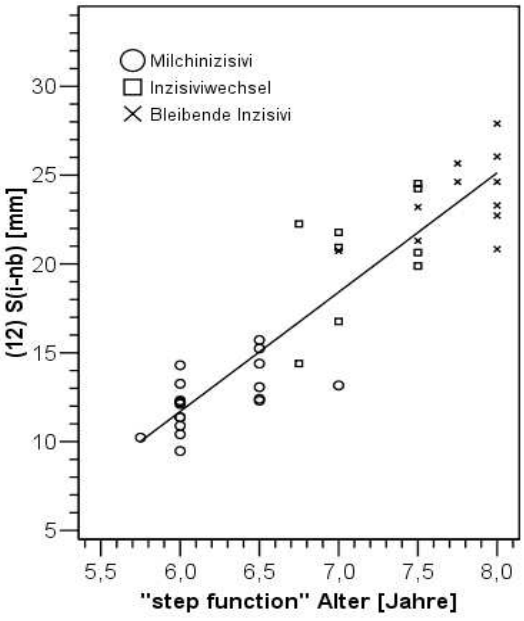

Abb. 3.12.2
Strecke Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden für die erste Wechselphase aufgetragen gegen “step function” Alter

Tab. 3.12.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der Strecke Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	11,66	1,29
7,10	21	18,92	4,56
8,00	6	24,24	2,51

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen Inzisalkante des ersten bleibenden Inzisivus zum Nasenboden durch die Zahnachse ist erkennbar in drei Abschnitte unterteilt.
Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 9 Jahren und der dritte vom 9. bis zum 20. Lebensjahr.
Im ersten Abschnitt ist nur eine schwache Vergrößerung von 8,5mm auf 11mm zu erkennen. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine deutliche Zunahme um 13mm auf 24mm. In dem dritten Abschnitt findet nur noch wenig Vergrößerung um 4mm auf 28mm statt.
Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt um die 19,5mm.
Die Wachstumskurve der Strecke zwischen Schneidekante des ersten Milchinzisivus und Nasenboden durch die Zahnachse in der ersten Wechselphase zeigt eine konstante Zunahme.
Insgesamt vergrößert sich die Strecke von 11,5mm vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren auf 24,5mm um 13mm.

3.13 Wachstumskurven und Altersklassentabellen des Lotes auf der Okklusionsebene zum Nasenboden Milchinzisivus

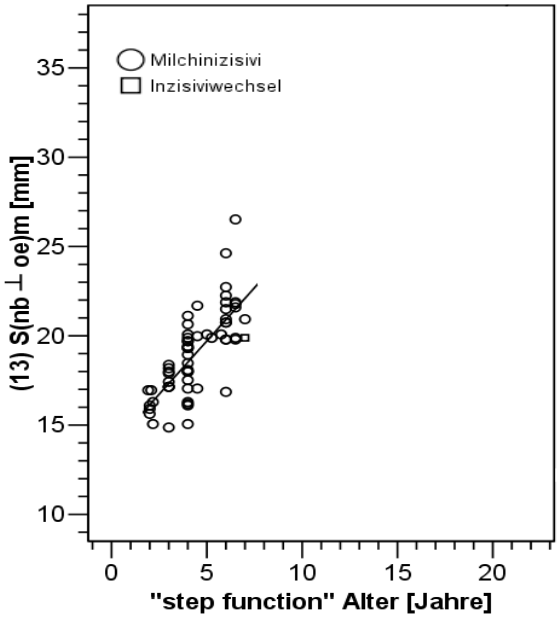

Abb. 3.13.1
Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenbodenmilch-inzisivus aller Daten aufgetragen gegen “step function” Alter

Tab. 3.13.1
Mittelwerte für alle Daten des Lotes auf der Okklusionsebene zum Nasenboden Milchinzisivus eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	16,94	1,17
4,00	21	18,65	1,87
5,60	18	20,63	1,82
7,10	8	21,53	2,20
8,80	0	.	.
10,50	0	.	.
11,80	0	.	.
15,00	0	.	.
19,00	0	.	.

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen der Okklusionsebene und dem Schnittpunkt der Zahnachse des ersten Milchinzisivus mit dem Nasenboden senkrecht zur Okklusionsebene zeigt eine konstante Vergrößerung. Insgesamt vergrößert sich die Strecke von 17mm um 4,5mm auf 21,5mm vom Alter von 2 Jahren bis zum Alter von 7 Jahren.

3.14 Wachstumskurven und Altersklassentabellen des Lotes auf der Okklusionsebene zum Nasenboden bleibender Inzisivus

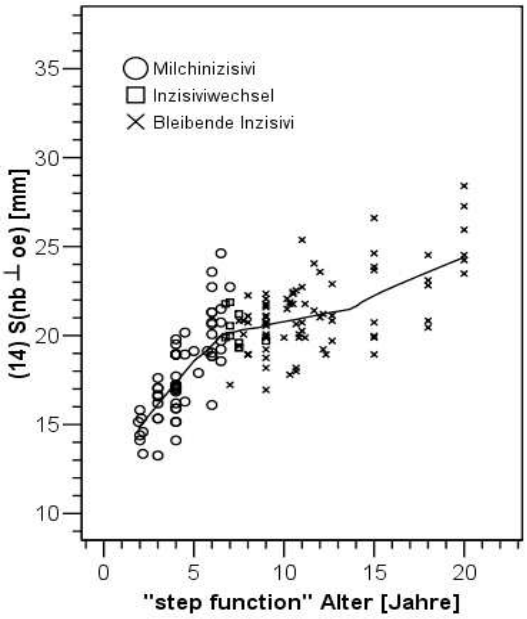

Abb. 3.14.1
Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden bleibender Inzisivus aller Daten aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.14.1
Mittelwerte aller Daten des Lotes auf der Okklusionsebene zum Nasenboden bleibender Inzisivus eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	15,59	1,34
4,00	22	17,44	1,65
5,60	18	19,70	1,92
7,10	21	20,43	1,57
8,80	26	20,30	1,34
10,50	15	20,72	1,67
11,80	17	21,51	1,73
15,00	8	22,29	2,76
19,00	11	24,15	2,44

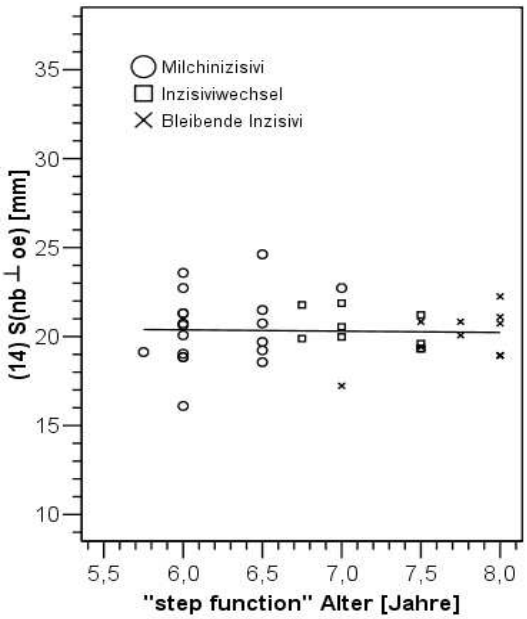

Abb. 3.14.2
Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden bleibender Inzisivus für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function“ Alter

Tab. 3.14.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase des Lotes auf der Okklusionsebene zum Nasenboden bleibender Inzisivus eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	20,17	1,91
7,10	21	20,43	1,57
8,00	6	20,15	1,42

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen der Okklusionsebene und dem Schnittpunkt der Zahnachse des ersten bleibenden Inzisivus mit dem Nasenboden senkrecht zur Okklusionsebene ist in drei Abschnitte unterteilt.

Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 13 Jahren, der dritte Abschnitt vom 13. bis zum 20. Lebensjahr.

Im ersten Abschnitt ist eine deutliche Vergrößerung von 15,5mm auf 19,5mm zu erkennen. Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine im Vergleich zur ersten Phase verringerte Zunahme der Strecke um 2mm auf 21,5mm. Der letzte Abschnitt weist eine Vergrößerung der Strecke um 2,5mm auf 24mm auf.

Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt um die 8,5mm.

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen der Okklusionsebene und dem Schnittpunkt der Zahnachse des ersten bleibenden Inzisivus mit dem Nasenboden senkrecht zur Okklusionsebene in der ersten Wechselphase liegt weitestgehend bei 20mm.

Damit bleibt sie zwischen dem 5. bis 6. Lebensjahr bis zum 8. Lebensjahr weitestgehend konstant und erfährt keine oder nur eine geringe Zunahme.

3.15 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Milchinzisivzahnachse

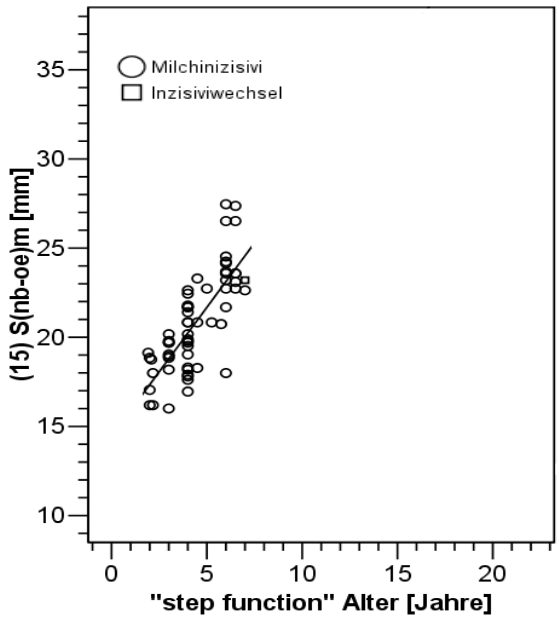

Abb. 3.15.1
Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Milchinzisivzahnachse aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.15.1
Mittelwerte aller Daten der Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Milchinzisivzahnachse eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	18,50	1,38
4,00	21	20,05	1,80
5,60	18	22,68	2,45
7,10	8	24,09	1,81
8,80	0	.	.
10,50	0	.	.
11,80	0	.	.
15,00	0	.	.
19,00	0	.	.

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen Nasenboden und dem Schnittpunkt der Zahnachse des ersten Milchinzisivus mit der Okklusionsebene zeigt eine konstante Zunahme.

Insgesamt vergrößert sich die Strecke von 18,5mm um 5,5mm vom Alter von 2 Jahren bis zum Alter von 7 Jahren auf 24mm.

3.16 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus

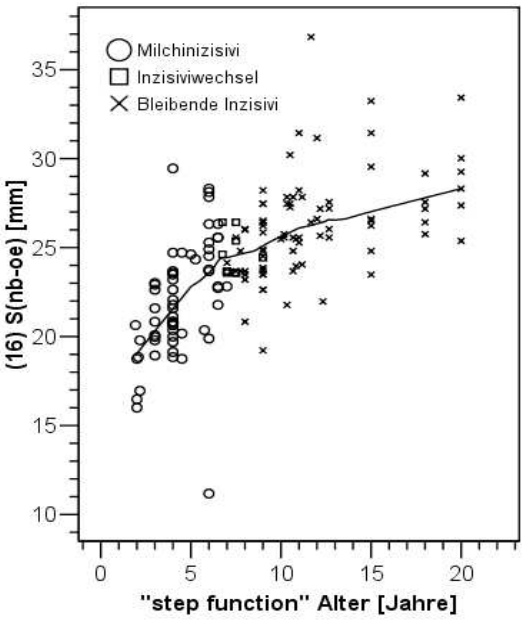

Abb. 3.16.1
Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.16.1
Mittelwerte aller Daten der Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	19,84	2,08
4,00	22	21,97	2,36
5,60	18	23,23	4,15
7,10	21	24,31	1,34
8,80	26	24,59	2,08
10,50	15	26,01	2,07
11,80	17	27,28	3,25
15,00	8	27,73	3,36
19,00	11	28,17	2,28

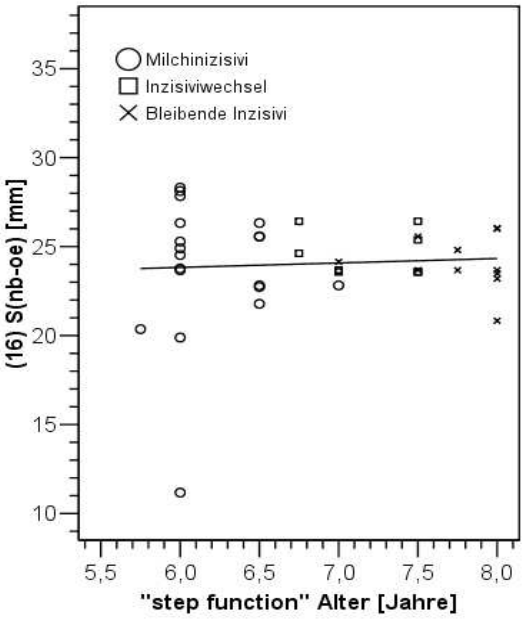

Abb. 3.16.2
Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function" Alter

Tab. 3.16.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	23,50	4,63
7,10	21	24,31	1,34
8,00	6	23,87	1,95

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen Nasenboden und dem Schnittpunkt der Zahnachse des ersten bleibenden Inzisivus mit der Okklusionsebene ist in zwei Abschnitte unterteilt.

Der erste Abschnitt reicht vom 2. Lebensjahr bis zum Alter von 6 ½, der zweite vom Alter von 6 ½ bis zum 20. Lebensjahr.

Im ersten Abschnitt ist eine deutliche Vergrößerung von 19,5mm um 4,5mm zu erkennen.

Der zweite Abschnitt der Wachstumskurve zeigt eine leicht verringerte Zunahme um 4mm auf 28mm.

Die durchschnittliche Zunahme der Strecke während des gesamten Wachstums beträgt um die 8,5mm.

Die Wachstumskurve der Strecke zwischen Nasenboden und dem Schnittpunkt der Zahnachse des ersten bleibenden Inzisivus mit der Okklusionsebene in der ersten Wechselphase liegt weitestgehend bei 24mm.

Damit bleibt sie zwischen dem 5. bis 6. Lebensjahr bis zum 8. Lebensjahr weitestgehend konstant und erfährt keine oder nur ein geringe Zunahme.

3.17 Wachstumskurven und Altersklassentabellen der Knochenhöhe am Inzisivus

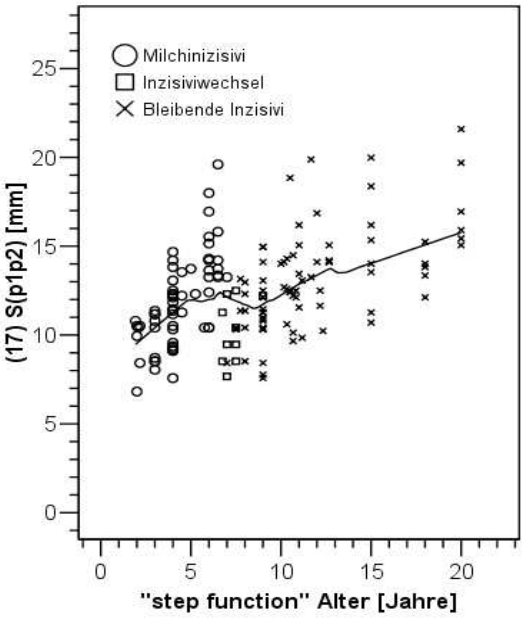

Abb. 3.17.1
Knochenhöhe am Inzisivus aller Daten aufgetragen gegen "step function" Alter

Tab. 3.17.1
Mittelwerte für alle Daten der Knochenhöhe am Inzisivus eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
2,60	17	9,89	1,44
4,00	22	11,46	1,93
5,60	18	13,35	2,15
7,10	21	11,76	2,85
8,80	25	11,33	1,95
10,50	15	12,88	2,20
11,80	17	14,02	2,51
15,00	8	14,93	3,23
19,00	11	15,75	2,79

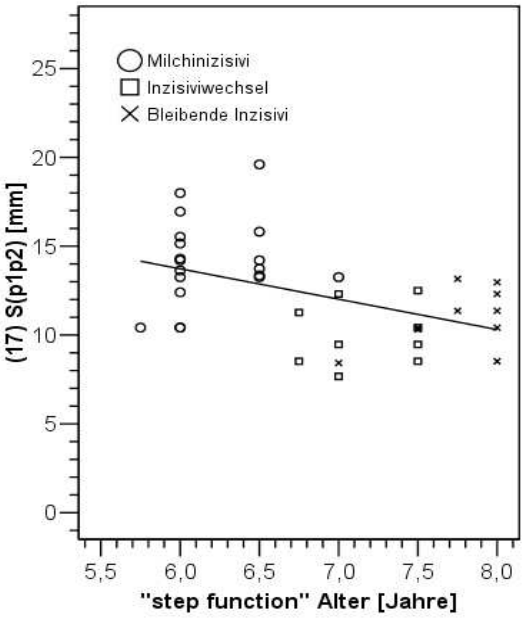

Abb. 3.17.2
Knochenhöhe am Inzisivus für die erste Wechselphase aufgetragen gegen „step function" Alter

Tab. 3.17.2
Mittelwerte für die erste Wechselphase der Knochenhöhe am Inzisivus eingeteilt nach Altersklassen

Altersklasse	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
6,00	13	13,63	2,43
7,10	21	11,76	2,85
8,00	5	11,12	1,74

Die Wachstumskurve der Strecke vom Nasenboden bis zur Spitze des knöchernen Limbus parallel zu der Zahnachse des in der Alveole steckenden Zahns teilt sich in drei Abschnitte. Der erste Abschnitt erstreckt sich vom 2. bis zum 5. Lebensjahr, der zweite Abschnitt vom 5. Lebensjahr bis zum Alter von 9 Jahren und der dritte vom 9. bis zum 20. Lebensjahr.
Im ersten Abschnitt ist eine Zunahme der Strecke von 10mm um 3mm zu erkennen. Im zweiten Abschnitt verringert sich die Strecke um 1,5mm auf 11,5mm. Im letzten Abschnitt nimmt die Strecke erneut um 4,5mm auf 16mm zu.
Insgesamt vergrößert sich die Strecke um 6 mm vom Alter von 2 Jahren bis zum Alter von 20 Jahren.
Die Wachstumskurve der Strecke vom Nasenboden bis zur Spitze des knöchernen Limbus parallel zu der Zahnachse des in der Alveole steckenden Zahns in der ersten Wechselphase zeigt eine stetige Verringerung. Insgesamt verkleinert sich die Strecke vom Alter von 5 bis 6 Jahren bis zum Alter von 8 Jahren von 14mm auf 11mm um 3mm.

3.18 Ergebnisse der Korrelationsanalyse

Die Korrelationskoeffizienten beschreiben den linearen Zusammenhang zwischen den einzelnen Variablen. Koeffizienten, deren Wert 0,7 oder mehr betrugen, wurden fett gedruckt, Koeffizienten, deren Wert 0,3 oder kleiner waren, sind grau markiert.

sfa= „step function“ Alter
1= Can os
2= Can dens
3= Spitze can
4= Inz os
5= Inz dens
6= Arch os
7= Arch dens
8= W(i-nb)m
9= W(i-nb)
10= W(nb-oe)
11= S(i-nb)m
12= S(i-nb)
13= S(nb⊥oe)m
14= S(nb⊥oe)
15= S(nb-oe)m
16= S(nb-oe)
17= S(p1p2)

Tab. 3.18 Korrelationen

	sfa	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
1	0,43	+															
2	0,33	**0,73**	+														
3	0,45	**0,86**	**0,80**	+													
4	0,44	0,55	0,47	0,56	+												
5	0,54	0,46	0,38	0,55	**0,73**	+											
6	0,33	**0,78**	0,64	**0,77**	0,54	0,49	+										
7	0,46	**0,77**	0,67	**0,79**	0,63	0,65	**0,90**	+									
8	0,08	0,06	0,17	0,25	0,04	0,42	0,10	0,13	+								
9	0,15	0,16	0,26	0,24	0,10	0,33	0,18	0,30	0,29	+							
10	-0,44	-0,39	-0,43	-0,41	-0,26	-0,30	-0,26	-0,36	-0,52	-0,55	+						
11	0,68	0,28	0,31	0,42	0,26	0,25	0,13	0,13	-0,16	-0,52	0,37	+					
12	**0,73**	0,69	**0,77**	**0,73**	**0,71**	**0,71**	0,62	**0,76**	0,04	0,25	-0,41	**0,73**	+				
13	**0,71**	0,31	0,31	0,39	0,25	0,15	0,13	0,14	-0,24	-0,44	0,30	**0,94**	**0,77**	+			
14	0,69	0,50	0,55	0,52	0,57	0,53	0,42	0,49	-0,12	-0,14	-0,15	**0,94**	**0,75**	**0,96**	+		
15	**0,75**	0,29	0,34	0,43	0,29	0,29	0,12	0,15	0,00	-0,41	0,32	**0,93**	**0,82**	**0,94**	**0,95**	+	
16	0,60	0,44	0,55	0,50	0,52	0,60	0,43	0,53	-0,10	0,29	-0,12	0,65	**0,74**	**0,72**	**0,82**	**0,73**	+
17	0,45	0,22	0,32	0,26	0,36	0,45	0,20	0,26	-0,13	-0,15	0,12	**0,87**	0,45	**0,85**	**0,75**	**0,83**	0,69

Mit dem „step function“ Alter korrelieren über 0,7 insgesamt drei vertikal gemessene Variablen, nämlich die Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden (12), das Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden Milchinzisivus (13) und die Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Milchinzisivzahnachse (15).

Die transversal am Schädel gemessenen Strecken der alveolären (1) und dentalen intercaninen Distanz (2), sowie die Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz (3) korrelieren alle stark untereinander (>0,7). Außerdem weisen sie mit Ausnahme der dentalen intercaninen Distanz (2) Korrelationen über 0,7 sowohl mit der alveolären (6), als auch mit der dentalen Bogenlänge (7) auf.

Die im Fernröntgenseitenbild gemessenen Winkel zwischen dem Milch- (8) und dem bleibenden (9) Inzisivus und dem Nasenboden, sowie der Winkel zwischen Nasenboden und Okklusionsebene (10) sind von allen Variablen nur sehr schwach abhängig. Ihr Korrelationskoeffizient liegt weitestgehend unter 0,3.

Die Strecke zwischen der Schneidekante des Milchinzisivus zum Nasenboden (11) korreliert mit einem Korrelationskoeffizienten von über 0,7 stark mit den vertikal gemessenen Strecken zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden (12), mit dem Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden des Milchinzisivus (13), zum bleibenden Inzisivus (14), sowie mit der Strecke Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Milchzahnachse (15) und mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,87 mit der Knochenhöhe am Inzisivus (17).

Auffällig viele Korrelationskoeffizienten über 0,7 weist die Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden (12) auf, sie korreliert neben dem “step function” Alter und anderen vertikal gemessenen Strecken (11, 13, 14, 15 und 16) auch stark mit den transversal gemessenen Strecken der intercaninen Distanz (2 und 3), den Bogentiefen (4 und 5) und der dentalen Bogenlänge (7). Von allen Variablen weist sie die meisten hohen Korrelationen auf.

Zwischen der Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden (12) und dem Winkel des ersten bleibenden Inzisivus zum Nasenboden (9), sowie der Knochenhöhe am Inzisivus besteht nur eine schwache Abhängigkeit (Korrelationskoeffizient < 0,5).

Die Korrelationskoeffizienten der anderen vertikal gemessenen Strecken (13, 14, 15, 16 und 17) untereinander liegen weitestgehend über 0,7.

Im Gegensatz zur Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden (12) weisen die anderen vertikal gemessenen Strecken keine stärkeren Korrelationen über 0,7 zu einer in der Horizontalen gemessenen Strecke auf.

3.19 Benötigter Platzgewinn in der ersten Wechselphase

Die Summen der Milchzahnbreiten ergeben den schon vor Beginn der ersten Wechselphase vorhandenen Platz im Frontzahnbogen. Die in mesiodistaler Dimension breiteren bleibenden Inzisivi weisen einen erhöhten Platzbedarf auf (Tab. 3.19). Die Differenz zwischen der Summe der mesiodistalen Zahnbreiten der bleibenden Inzisivi und der Summe der Zahnbreiten der Milchinzisivi gibt den Platz an, der während oder kurz vor der ersten Wechselphase entstehen muss. Dieser Platz beträgt in unserer Studie 6,36mm (Tab. 3.20).

Tab. 3.19 Zahnbreiten der Milch- und der bleibenden Inzisivi gemessen in Millimeter

	Anzahl	**Mittelwert**	**Standardab weichung**
Zahnbreite 51	61	6,63	0,47
Zahnbreite 11	85	8,44	0,56
Zahnbreite 52	72	5,35	0,44
Zahnbreite 12	81	6,64	0,64
Zahnbreite 61	63	6,57	0,37
Zahnbreite 21	87	8,39	0,55
Zahnbreite 62	72	5,18	0,32
Zahnbreite 22	80	6,62	0,62

Tab. 3.20 Platzbedarf im Frontzahnsegment des Oberkiefers

Summe der mesiodistalen Zahnbreiten der Milchinzisivi	**Summe der mesiodistalen Zahnbreiten der bleibenden Inzisivi**	**Differenz (Platzbedarf)**
23,73mm	30,09mm	6,36mm

3.20 Das Kreismodell

Verglichen wird der Mittelwert der errechneten Bogenlänge mit dem Mittelwert der gemessenen Bogenlänge Arch dens, indem die Differenz zwischen beiden gebildet wird.

Je kleiner die Differenz ist, desto mehr entspricht der Zahnbogen der Form eines Kreisbogensegmentes.

Berechnung des Bogenöffnungswinkels α:

Gegeben aus Ergebnissen :

	Anzahl	Mittelwert	Standard abweichung
(2) Can dens	162	26,17	3,07
(5) Inz dens	162	6,24	1,56
(7) Archdens	162	31,65	3,99

Korrektur der Differenz der Messpunkte um 4mm

Can dens: 26,17mm + 4mm = 30,17mm

Inz dens: 6,24mm

Berechnung des Bogenöffnungswinkels α:	Berechnung des Radius r:
$\alpha = 4 * \arctan(2h/a)$	$r = h/(1 - \cos(\alpha/2))$
$= 4 * \arctan(2 * 6{,}24mm / 30{,}17mm)$	$= 6{,}24mm / 1 - \cos(89{,}89°/2)$
$= 89{,}89°$	$= 21{,}35mm$

$l = 2\pi r\alpha/360 \approx 0{,}01745 r\alpha$

$= 0{,}01745 * 21{,}35mm * 89{,}89$

$= 33{,}49mm$

Tab. 3.21 Differenz der Mittelwerte der gemessenen und errechneten Bogenlänge

MW Errechnete Bogenlänge	MW Arch dens	MW Arch dens-MW Errechnete Bogenlänge
33,49mm	31,65mm	-1,84mm

Die Differenz zeigt, dass der Oberkieferfrontzahnbogen größtenteils einem Kreis entspricht, der durch die Breite und die Tiefe des Frontzahnbogens gegeben ist.

3.21 Berechnung des Einflusses der vertikalen Vergrößerung auf das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes in der ersten Wechselphase

Gegeben aus Ergebnissen :

S(i-nb)m bei Ak 4,0: 20,09mm – 6mm = 14,09mm
S(i-nb) bei Ak 8,8: 23,96mm

W(i-nb) bei Ak 4,0: 110,69°
W(i-nb) bei Ak 8,8: 112,58°

Wachstum zwischen den Altersklassen 4,0 und 8,8:

Wachstum der Strecke S(i-nb):
23,96mm – 14,09mm = 9,87mm

Mittelwert zwischen W(i-nb) der Altersklassen 4,0 und 8,8:
(110,69 + 112,58)/2 = 111,64°

Winkel β des Dreieckes: W(i-nb) –90°:
W=111,64°-90°= 21,64°

- Berechnung von X:

X = △S(i-nb) * Sinus (Winkel β)
= 9,87mm * Sinus (21,64°) = 3,64mm

Damit ist der Zuwachs X berechnet, um den sich der Radius des dentalen Zahnbogens in der ersten Wechselphase vergrößert.
Zu berechnen ist noch der Radius der Altersklasse 4,0 vor der ersten Wechselphase, zu dem der Wert X addiert werden muss, um den theoretischen Radius der Altersklasse 8,8 berechnen zu können. Aus beiden Radien sowie dem zu berechnenden Öffnungswinkel des Bogensegments, dessen Länge der Länge des dentalen Zahnbogens entspricht, werden die jeweiligen Bogenlängen der Altersklassen 4,0 und 8,8 berechnet.

Gegeben aus Ergebnissen :
a(4) = Can dens der Altersklasse 4,0 = 23,5mm
h(4) = Inz dens der Altersklasse 4,0 = 5,15mm

Öffnungswinkel des Bogensegmentes der Altersklasse 4,0:
Aus der Formelsammlung:
$\alpha(4) = 4 * \arctan(2h/a)$
$= 4 * \arctan(2*5,15/23,5)$
$= 94,67°$

Radius der Altersklasse 4,0:

$r(4) = h/(1-\cos(\alpha/2))$
$= 5,15/(1-\cos(94,67/2))$
$= 15,98mm$

Damit ergibt sich für den theoretischen Radius der Altersklasse 8,8:

$r(8,8) = r(4) + X$
$= 15,98mm + 3,64mm$
$= 19,62mm$

Berechnung der Bogenlängen für die Altersklassen 4,0 und 8,8:
Formel:
$l = 2\pi\, r\alpha/360$

$l(4) = 2 * \pi * 15{,}98mm * 94{,}67° / 360°$

$= 26{,}4$ mm

$l(8{,}8) = 2 * \pi * 19{,}62mm * 94{,}67° / 360°$

$= 32{,}42$ mm

Die Differenz der beiden Bogenlängen gibt das Wachstum des dentalen Zahnbogens in der ersten Wechselphase an. Es wird verglichen mit den gemessenen Werten der Variablen Arch dens der Altersklassen 4 und 8,8.

Wachstum des errechneten Bogens:

32,42mm – 26,4mm = **6,02mm**

Wachstum des gemessenen Bogens:

Gegeben aus Ergebnissen :

Arch dens der Altersklasse 4,0: 28,11mm

Arch dens der Altersklasse 8,8: 34,44mm

34,44mm – 28,11mm = 6,33mm

Die Differenz zeigt, dass der Großteil des Wachstums des Frontzahnbogens im Oberkiefer in der ersten Wechselphase auf eine Vergrößerung in der Vertikalen zurückzuführen ist. Der Platzgewinn in der ersten Wechselphase ist auf die vertikale “Drift” zurückzuführen.

3.22 Berechnung des Einflusses der Winkeländerung zwischen Zahnachse des Milchinzisivus zum Nasenboden und des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden auf das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes in der ersten Wechselphase

Gegeben sind die Winkel und Strecken der Altersklassen 4,0 und 8,8.

***Gegeben*:**

W(4,0) = W(i-nb)m = 97° - 90° = 7°

W(8,8) = W(i-nb) = 112,58° -90° = 22,58°

S(i-nb)m (4,0) = 20,09mm

Knochenhöhe = Kh(4,0) = 11,46mm

Um den reinen Winkeleinfluss berechnen zu können, wird die Winkeländerung auf den Ausgangszustand bezogen, nämlich die Milchzahnkrone des ersten Inzisivus. Dadurch wird ein Einfluss der Vertikalen auf das Ergebnis ausgeschlossen.
Die Höhe der Schneidezahnkrone errechnet sich aus der Differenz der Strecke zwischen Schneidezahnkante und Nasenboden minus der Knochenhöhe parallel zur Zahnachse.

S(4,0) = 20,09mm – 11,46mm = 8,63mm

Aus Abbildung 2.13 zeigt sich:

Sin(alpha-90°) = Y/S

Um die vertikale Differenz zwischen den Zahnkronen des Milchinzisivus und des bleibenden Inzisivus außer Betracht lassen zu können und den reinen Winkeleinfluss zu berechnen, wird als Referenzstrecke die Höhe der Milchzahnkrone eingesetzt.

Y(4,0) = sin 7 * 8,63mm = 1,05mm

Y(8,8) = sin 22,58 * 8,63mm = 3,31mm

Die Differenz dieser Strecken Y ergibt die Strecke X, den Betrag, um den sich der Radius des Kreissegmentes während der ersten Wechselphase vergrößert.

X= Y(8,8) – Y(4,0) = 3,31mm – 1,05mm = 2,26mm

Gegeben aus Modell vertikale Drift:

r(4,0) = 15,98mm

r(8,8) = 15,98mm + 2,26mm = 18,24mm

Bogenöffnungswinkel α= 94,67°

l(8,8) = 2 * π * r * Bogenöffnungswinkel/360°

= 1,65 * 18,24mm

= 30,1mm

Gegeben aus Modell vertikale Drift: l(4,0) = 26,4mm

Errechnete Länge:

l(8,8) – l(4,0) = 30,1mm – 26,4mm = **3,7mm**

Gemessene Länge:

l(8,8) – l(4,0) = 34,44mm – 28,11mm = **6,33mm**

Die Differenz zeigt also, dass auch die Änderung des Winkels zwischen Zahnachse des Milch- und des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden Einfluss auf das Wachstum des Zahnbogens in der ersten Wechselphase hat.

4. Diskussion

4.1 Das Kreismodell

Das Modell zeigt, dass der Zahnbogen des Oberkieferfrontzahnsegmentes in guter Näherung eines Kreisbogens beschrieben werden kann.
Allerdings muss auf einige Ungenauigkeiten dieses Modells verwiesen werden.
Mögliche Fehlerquellen werden unter anderem auf den individuellen Zustand der einzelnen Schädel zurückgeführt, die nicht immer einen idealen Zahnbogen, sondern des öfteren Zahnrotationen, Kippungen oder unterschiedliche Schädelformen aufweisen. Zudem weicht der Mittelwert der gemessenen Bogenlänge gering von der durch das Kreismodell errechneten Bogenlänge ab. Eine weitere mögliche Fehlerquelle ist die Mittelung der Milchzahnkronenlänge auf 4mm, die bei einzelnen Schädeln möglicherweise wieder von dem individuellen Status abhängt.
Weiterhin muss, um das Modell zu entwickeln, angenommen werden, dass der Bogenöffnungswinkel Alpha sich während der ersten Wechselphase nicht ändert und dass alle Frontzähne annähernd denselben Winkel zum Nasenboden aufweisen wie der mittlere bleibende Inzisivus.
Auch die Einteilung der Schädel in Altersklassen vernachlässigt den genauen Reifungszustand der Schädel. So stellen die Altersklassen 4,0 und 8,8 nicht genau die zeitliche Begrenzung der ersten Wechselphase bei jedem einzelnen Schädel dar.
Speziell für den Frontzahnbogen entwickelte Modelle wurden meistens für die bleibende Dentition entwickelt und sollten z.B. die Form einer hyperbolen Kosinusfunktion (Hnat et al. 2000) aufweisen. Von allen speziell für den Frontzahnbogen entwickelten Modellen unterscheidet sich das dieser Studie durch die Wahl der Messpunkte, da es sich allein auf den Bereich der ersten und zweiten Schneidezähne bezieht, die in der ersten Wechselphase durchbrechen, während die anderen Modelle für den Frontzahnbogen eine Kurve durch die Schneidekanten einschließlich der Kauspitzen des Eckzahnes darstellten und daher auch noch den Caninus mit einbezogen. So maßen Preti et al. (1986) die Distanz zwischen Papilla inzisiva und dem vestibulärsten Punkt jedes Frontzahnes und beschrieben den Bogen als parabolische Funktion, Ferrario et al. (1994) bestimmten die Kurve der Inzisalkanten und der Kauspitze des Eckzahnes im bleibenden Zahnbogen hingegen als Ellipse mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,9, die sie aber mit Tendenz zum zirkulären beschrieben, was diese Untersuchung untermauert.
Auf der Basis des Zahnbogenmodelles von Hawley (Pont 1909), der die Summe der mesio-

distalen Zahnbreiten der Inzisivi und des Eckzahnes als Radius für einen Kreis einsetzte, entwickelte Pont (1909) schon Anfang des 20. Jahrhunderts Vorlagen für Zahnbögen, die den Kieferorthopäden zur Behandlung dienen sollten. Dazu multiplizierte er die Durchmesser der vier Inzisivi mit 1,75 und erhielt als Resultat den Radius für den Kreis des Zahnbogens bis zu den Prämolaren. Auch er sah den Frontzahnbogen also als Kreis an, bezog aber auch die Prämolaren mit ein. Betont werden muss, dass Pont (1909) den gesamten Zahnbogen nach der mesio-distalen Breite der oberen Inzisivi ausrichtete und so ihre Bedeutung hervorhob.

Um dem gesamten Zahnbogen des Oberkiefers eine Form zuordnen zu können, kombinierte Herbst (1922) Hawleys Kreis mit einer Ellipse, die er von Herber übernommen hatte. Dabei stellte er den vorderen Bereich des Zahnbogens als Kreissegment und die distalen Bereiche als Ellipse dar. Herbst betonte, dass bei Überlagerung mehrerer Zahnbogenmodelle, unter anderem auch Ellipse, Kreissegment und seiner Kombination aus beidem, kaum Abweichungen der Modelle voneinander festzustellen waren, was die Darstellung des vorderen Zahnbogens als Kreissegment unterstützt.

4.2 Die vertikale “Drift”

In unserer Studie wird hauptsächlich auf das Frontzahnsegment des Oberkiefers eingegangen.

Der aufgrund der mesiodistal größeren Zahnbreiten der bleibenden Inzisivi gegenüber ihren Vorgängern in der ersten Wechselphase zusätzlich benötigte Platz beträgt in unserer Studie 6,4mm (Tab. 3.19 und Tab. 3.20). Dieser Platz muss kurz vor und während des Durchbruchs der bleibenden Schneidezähne entstehen.

Als Teil der Maxilla wird das Frontzahnsegment aber auch von dem Wachstum der Maxilla als Ganzes beeinflusst. Björk und Skieller (1975) beschrieben ein Remodelling des Nasenbodens, der in unserer Studie als Referenzpunkt für die vertikal gemessenen Strecken benutzt wird. Sie verwiesen weiterhin auf die Mesialdrift der Zähne auf dem Kieferkörper.

Die “Vertikaldrift” der Zähne führte Enlow (Enlow 1968) ein und unterschied zwischen “Drift” und Eruption, was in dieser Studie aufgrund der engen Zusammenhänge nicht differenziert wird. Takeshita et al. (2001) präzisierte schließlich die Wachstumsrichtung der Maxilla relativ zur kraniellen Basis zwischen 4 und 10 Jahren bei Jungen als vertikal und bei Mädchen als schräg nach unten.

Unsere Studie geht davon aus, dass ein Großteil des Platzes für die oberen Inzisivi aus der vertikalen “Drift” stammt, die während der ersten Wechselphase am ausgeprägtesten ist. Zu einer ähnlichen Erkenntnis kamen Moorrees und Chadha (1965), die feststellten, dass bei Durchbruch des oberen Eckzahnes nur noch eine geringe Vergrößerung in der intercaninen Distanz auf der Höckerspitze des oberen Eckzahnes festzustellen war, während zum Zeitpunkt des Durchbruchs der Inzisivi die bedeutendste Vergrößerung in der Bogenbreite und -tiefe bis distal der oberen Fünfer des Frontzahnsegmentes stattgefunden hatte. Innerhalb der dentalen Bogenlänge maßen Moorrees und Chadha (1965) vor Einsetzen der ersten Wechselphase 2,6mm Platz, der sich nach Durchbruch der ersten bleibenden Inzisivi auf 0,4mm reduzierte und nach Beendigung der ersten Wechselphase und Durchbruch der zweiten bleibenden Inzisivi vollständig aufgebraucht war. Allerdings muss gesagt werden, dass der Einfluss des Winkels zwischen Zahnachse des ersten Inzisivus und dem Nasenboden im Modell der vertikalen “Drift” dieser Studie nicht vollständig außer Betracht gelassen werden kann. Der Winkel zwischen Zahnachse und Nasenboden wird zwar gemittelt, so dass eine Änderung des Winkels das Ergebnis nicht beeinträchtigt, vollständig aus der Rechnung entfernt werden kann er aber nicht. Die Vergrößerung des Zahnbogens beruht auf der Abwinkelung der vertikalen “Drift”, so dass der Winkel als Voraussetzung für das Wachstum, das in der Vertikalen stattfindet, angesehen werden muss.

Im Gegensatz zu unserer Studie gehen Moorrees und Chadha (1965) nur auf die Platzverhältnisse und das Wachstum in Tiefe und Breite des Zahnbogens während der einzelnen Durchbruchsstadien der Inzisivi ein und geben keine Erklärung, woher dieser vorhandene oder entstehende Platz kommt. In Hinblick auf unsere Untersuchung muss gesagt werden, dass die Wachstumsrichtung der Maxilla, der Inklination der Inzisivi gleicht, nämlich nach labial und kaudal (Abb. 4.1, Abb. 4.2). Mit Einsetzen des Wachstumsspurtes in der ersten Wechselphase findet eine vertikale Vergrößerung statt, die durch die Wachstumsrichtung der Maxilla eine Erweiterung des Zahnbogens mit sich bringt.

4.3 Der Winkeleinfluss auf das Wachstum

Wie schon erwähnt, hat auch die Winkeländerung zwischen Zahnachse des Milch- und des bleibenden Inzisivus zum Nasenboden einen Einfluss auf das Wachstum des Zahnbogens in der ersten Wechselphase. Ein rein vertikales Wachstum würde keine Vergrößerung des Zahnbogens mit sich bringen, erst die Abwinkelung der "Drift" gibt die Wachstumsrichtung (Abb.4.2) an, so dass sich der Zahnbogen durch eine Vergrößerung in der Vertikalen erweitern kann. Allerdings zeigt das Modell des Winkeleinflusses, dass etwa die Hälfte der 6,4mm Gesamtwachstum der Zahnbogenlänge allein auf die Winkeländerung zurückzuführen ist und damit auf einer Änderung der Inklination zwischen Milch- und bleibendem Inzisivus beruht.

Den Einfluss der Inklination der Oberkieferfront auf den Platz im Zahnbogen untersuchten O´Higgins und Kirschen (1999) in einer Studie über die Wirkungsweise von Brackets. Sie stellten ähnlich wie Hussels und Nanda (1987) einen Zusammenhang zwischen Inklination und Zahnbogentiefe fest und zusätzlich einen Platzgewinn aufgrund der Inklinationsänderung abhängig von der Form der Zahnkronen. Ross-Powell und Harris (2000) definierten die Zahnbogenform während des Wachstums durch das Verhältnis der Tiefe des Frontzahnbogens inklusive Eckzahn zur Breite und stellten eine Vergrößerung dieses Index in der ersten Wechselphase fest, was sie auf die stärkere Inklination der bleibenden Inzisivi zurückführten. Auch Moorrees (1958) sah den Grund für die Verlängerung des Zahnbogens während der ersten Wechselphase in seiner Studie in der stärkeren Labialinklination der bleibenden Inzisivi gegenüber den Milchschneidezähnen.

In unserer Studie ist für die Winkeländerung kein Korrelationskoeffizient erstellbar, da Milchinzisivus und bleibender Inzisivus nicht zur gleichen Zeit im Zahnbogen eines Schädels vorhanden sind. Möglicherweise ist der niedrige Korrelationskoeffizient der Winkel zwischen Nasenboden und Milch- sowie bleibendem Inzisivus auf den nicht vorhersagbaren Ursprung des Wachstums zurückzuführen. Der Platz, der in der ersten Wechselphase im Zahnbogen geschaffen werden muss, kann auf zwei Arten entstehen, einmal durch ein Wachstum in der Vertikalen oder durch eine Vergrößerung der Inklination der Zähne. Welche der zwei Möglichkeiten tatsächlich für das Wachstum des einzelnen Schädels verantwortlich ist oder ob die eine Variable die andere im Falle einer Abweichung vom benötigten Wachstum kompensiert, könnte variieren, was in der Korrelationsanalyse nicht erfasst werden kann und in einem niedrigen Koeffizienten resultiert.

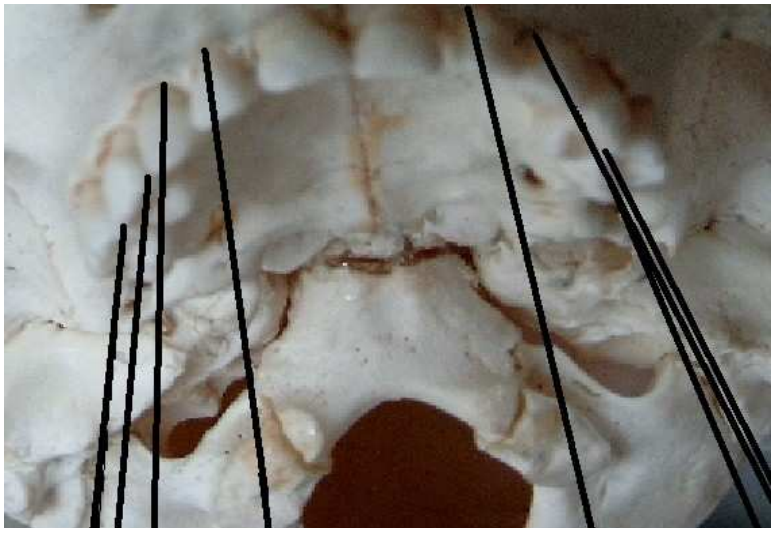

Abb. 4.1 Abwinkelung der Zahnachsen nach außen

4.4 Intercanine Distanzen

Bei der Messung der alveolären intercaninen Distanz (3.1) beträgt die Vergrößerung der knöchernen Strecke insgesamt 5mm. Zuerst weist die knöcherne Bogenbreite ein geringes Wachstum bis zum Alter von 5 Jahren auf. Danach findet das meiste Wachstum bis zum Alter von 9 Jahren statt und beginnt mit Durchbruch eines bleibenden Inzisivus zu Beginn der ersten Wechselphase. Allein in der ersten Wechselphase nimmt die Strecke um 4mm zu und erfährt damit einen Großteil ihres Gesamtwachstums.

Die dentale intercanine Distanz und die Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz stehen in engem Zusammenhang mit der alveolären intercaninen Distanz, da die Zähne einerseits im Knochen verwurzelt sind, andererseits, wie Bakker et al. (1979) angaben, die apikale Basis von der Dentition beeinflusst wird. So weist die dentale intercanine Distanz zeitlich gesehen nahezu dieselben drei Wachstumsphasen auf wie die alveoläre intercanine Distanz. Nach einem anfänglich geringen Wachstum (3.2) tritt auch hier die Phase des größten Wachstums bis zum 10. Lebensjahr ein. Anschließend verhält sich die Strecke konstant. Von den insgesamt 5,5mm Wachstum finden allein 4mm in der ersten Wechselphase statt. Die Distanz zwischen den Eckzahnspitzen weist nur 2 Wachstumsphasen auf, doch auch hier finden 4mm der 6mm Gesamtwachstum in der ersten Wechselphase statt. Die

Verringerung der alveolären intercaninen Distanz und der Distanz zwischen den Eckzahnspitzen nach vollständigem Durchtritt der bleibenden Front- und Eckzähne kann mit der Mesialdrift der Zähne in den nach anterior schmaler werdenden Frontzahnbereich des Zahnbogens begründet werden (Moorrees und Chadha 1965, Warren und Bishara 2001).

Björk und Skieller (1975) gaben in ihrer "Implantatstudie" das Wachstum der Strecke zwischen den mesialen Kontaktpunkten der oberen Eckzähne an Gipsmodellen mit 3,1mm zwischen dem 4. Lebensjahr und dem Erwachsenenalter an. Dieses Ergebnis stimmt mit unserer Studie überein. Unsere Untersuchung differenziert allerdings zwischen einer Wachstumsphase bis zum 10. Lebensjahr und einer darauf folgenden Regression der Strecke und weist auf die besondere Bedeutung der ersten Wechselphase hin.

Zieht man die Ergebnisse von Sillman (1964) hinzu, der nach einem Wachstum vom Alter von 2 bis 13 Jahren der Zahnbogenbreite zwischen den distalen Kontaktpunkten der oberen Eckzähne keinen Zuwachs mehr feststellen konnte, stellt man auch hier eine Übereinstimmung fest.

Im Gegensatz zu den Resultaten einer Untersuchung von Ross-Powell und Harris (2000), die in ihrer Studie über das Wachstum des Oberkieferfrontzahnbogens schwarzer Kinder einen zweiten kleineren Wachstumsspurt nach dem 10. Lebensjahr feststellten und diesen auf den Durchtritt der bleibenden Eckzähne zurückführten, kann unsere Untersuchung nach dem 10. Lebensjahr kein gesteigertes Wachstum bestätigen. Eine Verringerung der Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz ab dem 10. Lebensjahr, wie in unserer Studie angegeben, fanden auch Bishara et al. (1997).

Es gilt zu klären, woher dieses Wachstum für die knöcherne Bogenbreite, die gleichzeitig auch die Basis für das Wachstum der dentalen Bogenbreiten ist, stammt. In Frage als Ursprung für das Wachstum kommen die Verbreiterung der Mediansutur, sowie das Wachstum, das die vertikale "Drift" mit sich bringt. Für die an den Zähnen gemessenen Strecken kommt auch eine Vergrößerung aufgrund der Inklination der Zähne in Betracht.

Björk und Skieller (1975) gaben das Wachstum eines ihrer Fälle in der Mediansutur mit 6,9mm auf der Höhe des ersten Molaren zwischen dem Alter von 4 Jahren und 3 Monaten und dem Erwachsenenalter als die wichtigste Quelle des Breitenwachstums an, wobei im Frontzahnsegment im Vergleich zum mehr distal gelegenen Zahnbogen weniger Suturenwachstum nachzuweisen war.

Im Gegensatz zu Björk und Skiellers Ergebnissen erklärte Enlow (1968) das Breitenwachstum der Maxilla mit dem "V-Principle".

Sie wiesen in einer histologischen Studie nach, dass das Wachstum des Zahnbogens in die

Tiefe hauptsächlich auf Knochenanlagerung am Tuber zurückzuführen ist. Während dieser Anlagerung an den posterioren Oberflächen der Maxillae wird das Wachstum am Tuber begleitet von Knochenanlagerungen an der Innenseite der vorderen Maxilla. Das "V-Principle" beschreibt, dass Körper mir einer "V-Form" wie der Zahnbogen horizontal und auch die Maxilla als Ganzes vertikal immer nach ihrem offenen Ende hin wachsen mit gleichzeitigem Knochenanbau an der Innenseite des V. Enlow und Bang (1965) prägten dazu den Begriff der "Area relocation", worunter verstanden wird, dass beispielsweise der vordere Teil der Maxilla in aufeinander folgend neue, zuvor posterior gelegene Lokalisationen zu liegen kommt, die auch weiter in ihren lateralen Ausmaßen sind.

Für unsere Untersuchung bedeutet Enlow und Bangs Studie, dass sich die Verbreiterung des alveolären Zahnbogens auf eine "Area relocation" zurückführen lassen könnte. Auffällig ist jedoch der Zeitpunkt des Einsetzens des größten Wachstumsspurts zum Zeitpunkt der ersten Wechselphase.

Wir können den genauen Einfluss des Suturenwachstums auf die Breitenzunahme der Maxilla nicht klären, das Modell dieser Studie verweist jedoch auf einen anderen Ursprung des Zahnbogenwachstums. Durch die nach außen zeigende Wachstumsrichtung der Maxilla (Abb. 4.1) kommt es bei einem Wachstumsschub, wie er in der ersten Wechselphase mit Durchtritt der ersten bleibenden Zähne auftritt, zu einer Vergrößerung der Breite der Maxilla. Zurückzuführen ist das auf die abgewinkelte vertikale "Drift", die durch das vertikale Wachstum auch eine Vergrößerung der horizontalen Dimensionen mit sich bringt.

Der Ursprung der Breitenzunahme ist folglich in der Vergrößerung der vertikalen Dimension zu suchen, was dem "V-Principle" in der Vertikalen entspricht, aber auch auf einen Einfluss der Winkeländerung zurückzuführen ist.

Die detaillierten Bewegungen der Eckzähne gemessen an der Veränderung der Position der Eckzahnspitze ausgehend vom Alter von 5 Jahren untersuchten Coulter und Richardson (1997) und beschrieben die "Wanderung" der Eckzahnspitzen. Die größte Strecke wurde dabei mit 18,6mm von 5 bis 15 Jahren vertikal zurückgelegt, was auch unter Beachtung der Eruption des bleibenden Eckzahns bis zur Okklusionsebene, einen Hinweis auf die Bedeutung der Vertikalen bei der Zunahme der vorderen Zahnbogenbreite liefert.

Weiterhin beschrieben Coulter und Richardson eine Bewegung der Eckzahnspitze nach bukkal. Dieses könnte das um ein Jahr verlängerte Wachstum der an den Zähnen gemessenen intercaninen Distanzen unserer Studie im Vergleich zur alveolären intercaninen Distanz erklären und den Einfluss der Inklination auf das Wachstum verdeutlichen.

Da in dieser Untersuchung ein durchschnittliches Wachstum von 6mm für die Strecke Höckerspitze-intercanine Distanz festgestellt wird, beträgt die bukkale Bewegung jedes einzelnen Eckzahnes hier knapp 3mm zwischen dem Alter von 0 bis 20 Jahren, davon findet eine Vergrößerung der Strecke von knapp über 2mm allein in der ersten Wechselphase statt, was wiederum die Annahme bestätigt, dass das Wachstum insbesondere von der ersten Wechselphase abhängt. Auch das Ende der Zunahme der Strecke zwischen den Eckzahnspitzen mit dem Durchbruch der bleibenden Eckzähne im 10. Lebensjahr wird in dieser Studie bestätigt.

Zudem stellten Bakker et al. (1979) fest, dass bei Verlust der beiden zweiten Milchinzisivi die normalerweise mit Durchbruch der bleibenden ersten Inzisivi verbundene Vergrößerung der Eckzahnbreite nicht stattfindet, da die Verbreiterung auf dem Kontakt der bleibenden ersten Inzisivi mit dem zweiten Milchinzisivus beruht. Bakker et al. (1979) führten Größenabweichungen des vorderen apikalen Bereiches hauptsächlich auf die transversale Eckzahnbreite zurück, was einen Einfluss der Dentition auch auf das knöcherne Wachstum nahe legt. Es lässt sich also sagen, dass, wenn der Zahndurchbruch als Wachstumsimpuls ausbleibt, auch das Wachstum der Maxilla stagniert.

4.5 Alveoläre und dentale Bogentiefe

Auch bei der alveolären (3.4) und dentalen (3.5) Bogentiefe fällt der Beginn des größten Wachstumsschubes nach anfänglich geringer Vergrößerung mit dem Beginn der ersten Wechselphase zusammen und endet kurz nach Eintritt in die zweite Ruhephase. Bei der dentalen Bogentiefe hält die Zunahme bis zum Alter von 11 Jahren an. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Sillman (1964) und Ross-Powell und Harris (2000) in ihren Untersuchungen. Ross Powell und Harris bestimmten die Bogentiefe vom Mittelpunkt der mittleren oberen Inzisivi entlang der Mediansutur bis zur Spitze der Eckzähne. Während der Milchdentition konnten sie keine Veränderungen in der Tiefe feststellen, wohingegen sie mit Beginn der ersten Wechselphase bis zum Alter von 10 Jahren 3mm Vergrößerung feststellten. Dabei muss die Tatsache beachtet werden, dass unsere Messstrecke der dentalen Bogentiefe nur bis zum mesialen Kontaktpunkt der oberen Eckzähne gemessen wurde. Unsere Untersuchungsergebnisse bestätigend konnten Ross-Powell und Harris (2000) eine Abnahme der Tiefe nach Beendigung dieser Wachstumsphase feststellen.
Auch Moorrees und Chadha (1965) berichteten von einer Zunahme der Strecke vom Inzisalpunkt bis distal der zweiten Milchmolaren kurz vor Durchbruch des ersten bleibenden Molaren und vor Eruption des Inzisivus bis zum Alter von 9 Jahren. Danach verringerte sich die Strecke wieder aufgrund der Mesialdrift der Molaren. Moorrees und Chadhas (1965) Behauptung, dass die Bogentiefe während des Durchbruchs der bleibenden Inzisivi von der Inklination der Zähne abhängt, kann diese Untersuchung anhand des Modelles der Winkeländerung bestätigen.
Ebenfalls miteinbezogen werden muss Enlows “V-Principle”. Wie schon erwähnt, kann die Tiefe der Maxilla allein durch Knochenanlagerung an den posterioren Tubera vergrößert werden, mit dem gleichzeitig eine Apposition an den oralen Flächen des vorderen Teils der Maxilla verbunden ist.
Dies führt zu einer Verlagerung des vorderen Teils der Maxilla in vorher posterior gelegene Regionen. Die Vergrößerung der Bogentiefen kann laut dem “V-Principle” also nicht auf Apposition von Knochen an den äußeren Oberflächen der vorderen Maxilla beruhen, sondern nur durch ein nach unten gerichtetes vertikales Wachstum erreicht werden. Das “V-Principle” von Enlow (1968) stimmt folglich mit den Ergebnissen dieser Studie überein, die in der vertikalen “Drift” einen Ursprung für die Vergrößerung der Bogentiefe des Frontzahnbogens aufzeigen.

Björk und Skieller (1975) erklärten das relativ geringe Wachstum der Bogentiefe mit der transversalen Rotation der Maxilla aufgrund der anterior geringeren Erweiterung der

Mediansutur und der gleichzeitigen Mesialdrift der Zähne auf dem Oberkieferkörper. Damit geht eine Verkürzung der Tiefe einher, die sich besonders im inzisalen Segment bemerkbar macht, was den Hintergrund für das relativ geringe Wachstum der Bogentiefe darstellt.

Die Tatsache, dass die dentale Bogentiefe nach Beendigung des Wachstumsschubes konstant bleibt, während die alveoläre Bogentiefe noch eine Zunahme erfährt, wird mit dem Weichteileinfluss erklärt. Auch wenn die knöcherne Basis weiterhin wächst, könnten die bleibenden Inzisivi z.B. durch die Lippen retrudiert werden (Scott 1954), was einen kompensatorischen Einfluss auf das Wachstum der dentalen Bogentiefe zur Folge hat und gleichzeitig den Einfluss der Inklination der Inzisivi auf die Streckenlänge untermauert.

4.6 Alveoläre und dentale Bogenlänge

Auch bei der Betrachtung der alveolären (3.6), sowie der dentalen (3.7) Bogenlänge soll der Ursprung des Wachstums geklärt werden. Die Frage ist, ob der Zahnbogen mehr Breitenwachstum erfährt oder sich hauptsächlich durch eine Zunahme in den Bogentiefen vergrößert.

Die Dimensionen der Zahnbögen sind jeweils durch ihre Breiten, die alveolären bzw. dentalen intercaninen Distanzen, sowie ihre Tiefen, die alveolären und dentalen Bogentiefen, vorgegeben. Daher erklärt es sich, dass sich die Bogenlängen in ihrem Wachstum in etwa wie ihre Breiten und Tiefen verhalten und nach einer anfänglich geringen Zunahme die Phase des größten Wachstums mit Beginn der ersten Wechselphase bis zum Alter von 9 Jahren stattfindet. Anschließend verringert sich die Bogenlänge bedingt durch die Mesialdrift der Zähne. Die Tatsache, dass sowohl der knöcherne, wie auch der dentale Zahnbogen mit den Bogenbreiten, aber nicht mit den Bogentiefen korrelieren, wird auf das schon beschriebene Remodelling der Maxilla und die damit einhergehende Kompensation des Tiefenwachstums zurückgeführt, ein Phänomen, dass auch Hassanali und Odhiambo (2000) beschrieben. In ihrer Studie korrelierte die Bogenlänge gemessen bis zu Mitte der oberen Eckzähne mit der entsprechenden Distanz zwischen den Eckzahnspitzen ($r>0,7$), jedoch nicht mit der Bogentiefe.

Die Bogenbreiten weisen also ein stärkeres Wachstum auf als die Bogentiefen. Zum Vergleich kann das Modell von Ross-Powell und Harris (2000) angeführt werden, in dem ein während der Milchdentition mehr in die Breite wachsender Zahnbogen beschrieben wird, wohingegen in der ersten Wechselphase das Tiefenwachstum überwog. Auch wir

können in der ersten Wechselphase eine vermehrte Zunahme der Tiefe feststellen, die jedoch auch weiterhin bedeutend geringer als die Zunahme der Breite ausfällt.

Der dentale Zahnbogen verhält sich in seinen Wachstumsphasen gleich dem alveolären Zahnbogen. Er weist wegen der stärkeren labialen Neigung der bleibenden Zähne insgesamt größere Dimensionen auf, was Grundlage für Ästhetik und Funktion ist (Hussels und Nanda 1987).

Deutlich wird wiederum die entscheidende Bedeutung der ersten Wechselphase für das Wachstum und den Platz im vorderen Zahnbogen. Fünfeinhalb der sieben Millimeter Gesamtwachstum im Zahnbogen entstehen in der ersten Wechselphase. Das entspricht ziemlich genau dem Platz, den die bleibenden Inzisivi gegenüber ihren Vorgängern zusätzlich in Anspruch nehmen (6,4mm siehe Tab. 3.20). Im alveolären Zahnbogen entstehen sogar 6mm während der ersten Wechselphase.

Ebenso wie der Zahnbogen horizontal stellt die Maxilla als Ganzes vertikal einen "V-Körper" dar, dessen offenes Ende nach kaudal zeigt und auf den Enlows "V-Principle" zutrifft. Somit zeichnet sich das Wachstum der Maxilla durch Knochenanlagerung an den freien, zur Okklusionsebene hin gerichteten Oberflächen mit gleichzeitiger Resorption an der kraniellen Seite des sich dadurch absenkenden Nasenbodens, aus.

Entscheidend ist, dass die Wachstumsrichtung des Alveolarfortsatzes der Maxilla nach außen gerichtet ist. Mit Einsetzen der ersten Wechselphase entsteht durch die Bewegung der durchbrechenden Zähne ein Wachstumsimpuls nach kaudal und nach labial entsprechend der Inklination der bleibenden Zähne. Dieser Wachstumsimpuls durch die Eruption bringt eine Vergrößerung der Vertikalen mit sich, die entsprechend der Wachstumsrichtung auch eine Vergrößerung der horizontalen Dimensionen, also des Zahnbogens zur Folge hat. Außerdem weisen die bleibenden Inzisivi gegenüber ihren Vorgängern eine stärkere Labialinklination auf, was ebenso eine Vergrößerung des Zahnbogens bewirkt.

Das Wachstum des Zahnbogens in der ersten Wechselphase beruht also sowohl auf der vertikalen "Drift", die durch den Winkel der Zahnachsen zum Nasenboden beeinflusst wird, als auch durch eine direkte Vergrößerung der Inklination.

4.7 Winkel zwischen Milchinzisivus und bleibendem Inzisivus zum Nasenboden

Der Winkel zwischen Zahnachse des ersten bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden (3.9) spiegelt den Durchbruch und das Wachstum des bleibenden Inzisivus wieder. Während der Winkel des ersten Milchinzisivus (3.8) mit dem Nasenboden über die ganze Zeit konstant bleibt, erfährt der Winkel des bleibenden mittleren Inzisivus mit dem Nasenboden eine Verringerung solange die ersten bleibenden Inzisivi noch nicht durchgebrochen sind. Danach vergrößert sich der Winkel bis zum Alter von 15 Jahren und verringert sich wieder.

Vor ihrem Durchbruch stehen die bleibenden mittleren Inzisivi in etwa senkrecht auf der Okklusionsebene, ihre Schneidekanten liegen hinter den Wurzeln ihrer Vorgänger (Bakker et al. 1979). Gehen die mittleren Milchschneidezähne nach weitgehender Resorption ihrer Wurzeln verloren, können die bleibenden Nachfolger aufgrund ihrer natürlichen Labialneigung (Bakker et al. 1979) protrudieren und ihren Winkel ändern, also ihre Inklination vergrößern, was auch zu einer Vergrößerung des Zahnbogens führt. Die Hälfte des Gesamtwachstums des dentalen Zahnbogens stammt dabei aus der Änderung des Winkels zwischen Milch- und bleibendem Inzisivus, wie das Modell der Winkeländerung dieser Studie zeigt. Laut Ross-Powell und Harris (2000) beschrieben auch Riolo et al. (1974) und Richardson (1984) eine Proklination der bleibenden Zähne einen gewissen Zeitraum nach ihrem Durchbruch.

Die darauf folgende Abnahme des Winkels ist mit dem Einfluss von Weichgeweben wie den Lippen zu begründen (Bakker et al. 1979). Auch Scott (1954) vermutete schon einen gewissen Einfluss des Weichgewebes auf die Gestaltung des Hartgewebes.

Außer der Inklinationsänderung, die schon zu einem Wachstum des Zahnbogens führt, gibt der Winkel auch die Wachstumsrichtung für die vertikale “Drift” vor.

4.8 Winkel zwischen Okklusionsebene und Nasenboden

Der Winkel zwischen der Okklusionsebene und dem Nasenboden (3.10) verringert sich kontinuierlich. Zwischen dem 6. und dem 8. Lebensjahr nimmt der Winkel stärker ab. Betrachtet man die Ergebnisse von Iseri und Solow (1990), kann man die stetige Verkleinerung mit der Rotation der Maxilla in der Sagitallen nach vorn um 1,5 Grad zwischen 8,5 Jahren und 15,5 Jahren erklären. Der Grund für diese Rotation ist die vermehrt im anterioren Bereich der Maxilla auftretende Resorption des Nasenbodens (Björk und Skieller 1975). Die besonders ausgeprägte Abnahme des Winkels zwischen dem 6. und 8. Lebensjahr könnte auf die verstärkte Resorptionsaktivität in der ersten Wechselphase zurückzuführen sein. Dabei gewinnt das Frontzahnsegment besonders an vertikaler Höhe, während die bleibenden Inzisivi nach kaudal durchbrechen und ein Wachstum an der oralen Seite der Maxilla stattfindet (Enlow 1968).
Zieht man die "Theorie der Funktionellen Matrix" (Moss 1962) hinzu, kann die Resorption des Nasenbodens im anterioren Bereich der Maxilla auf die respiratorische Funktion der Nasenöffnung zurückgeführt werden. Der durch das Wachstum bedingte erhöhte Sauerstoffbedarf hat eine Vergrößerung der Nasenöffnung zur Folge, die unter anderem durch die Resorption des Nasenbodens und seine dadurch stattfindende Relokalisation nach kaudal gewährleistet wird.

4.9 Vordere vertikale Höhe

Die vertikale Höhe der Maxilla bis zum Nasenboden wird in dieser Studie anhand mehrerer Messstrecken bestimmt. Bedacht werden muss, dass der Nasenboden keine feste Referenzstruktur ist, sondern ein Remodelling nach kaudal stattfindet, dass anterior ausgeprägter ist als posterior (Björk und Skieller 1975). Gerade in der ersten Wechselphase deutet die Verkleinerung des Winkels zwischen Nasenboden und Okklusionsebene auf eine verstärkte Resorption des Nasenbodens während dieser Zeit hin. Das tatsächliche vertikale Wachstum der Strecken dieser Studie ist also etwas größer als hier angegeben. Vorteil des Nasenbodens als Referenzstruktur ist jedoch, dass tatsächlich nur das Wachstum der kaudal des Nasenbodens gelegenen Strukturen untersucht wird und der Einfluss anderer Strukturen des Mittelgesichtes und ihr Wachstum außer Acht gelassen werden können.
Die Strecke zwischen der Schneidekante des ersten bleibenden Inzisivus und dem

Nasenboden (3.12) gibt das relativ zum Nasenboden vertikale Wachstum des ersten Inzisivus an. Dieses entspricht in seinen Wachstumsphasen in etwa dem horizontalen Wachstum des Zahnbogens. Weist die Strecke während der Milchdentition (3.11) eine Vergrößerung um 4,5mm auf, tritt nach einer anfänglich geringen Zunahme der Strecke zwischen Schneidekante des mittleren bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden auch hier die Phase des größten Wachstums zu Beginn der ersten Wechselphase mit Eruption des ersten bleibenden Inzisivus ein und dauert bis zum Alter von 9 Jahren an. Anschließend schwächt sich das Wachstum ab. Insgesamt macht es 19,5mm aus.

Zu beachten ist, dass neben dem reinen Knochenwachstum auch die Eruption des bleibenden Inzisivus einen Teil des Streckenwachstums ausmacht.

Außerdem muss darauf hingewiesen werden, dass das Wachstum der vertikalen Strecken von mehreren Umstrukturierungen betroffen ist. Schon Björk und Skieller (1975) verwiesen auf die gerade im anterioren Segment verstärkte Resorption des Nasenbodens. Diese wird begleitet von einem Wachstum des Alveolarfortsatzes, das um 1/3 größer als die Resorption des Nasenbodens ist. Bestätigt wird dies durch Melsen (1975), die in ihrer histologischen Studie an Autopsiematerial eine Apposition von Knochen an den oralen Oberflächen des Gaumens bis zum Alter von 13 Jahren feststellte. Zudem erfährt die Position der Schneidezahnkante des mittleren bleibenden Inzisivus mit Beginn der ersten Wechselphase im Alter von 5 Jahren bedeutsame Veränderungen aufgrund der beschriebenen natürlichen Labialinklination (Bakker et al. 1979) und des Weichteileinflusses (Bakker et al. 1979, Scott 1954). Die Strecke weist allerdings keine Korrelation zum Winkel zwischen der Zahnachse des ersten bleibenden Inzisivus und Nasenboden auf, korreliert aber stärker sowohl mit dem “step function” Alter, sowie der Breite, der Tiefe und der Länge des Zahnbogens. Das verdeutlicht die Bedeutung des vertikalen Wachstums im Zusammenhang mit dem bleibenden Inzisivus für das Wachstum der Zahnbögen. Das Einsetzen der ersten Wechselphase durch die Eruption eines bleibenden Inzisivus führt zu einer Vergrößerung der Maxilla nach labial und nach kaudal gemäß der Inklination und der Wachstumsrichtung des ersten Inzisivus (Abb. 4.1, Abb. 4.2). Die Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden gibt das Ausmaß der vertikalen “Drift” an, die für den Großteil des Zahnbogenwachstums verantwortlich gemacht wird.

Schon Savara und Singh (1968) stellten fest, dass das Wachstum der Maxilla vertikal eine schnellere Wachstumsrate aufweist als in der Tiefe und der Breite. Untermauert wurde dies durch Lux et al. (2004), die in ihren Ergebnissen von einem in Relation zur Breite und Tiefe vermehrt auftretendem vertikalen Wachstum der Maxilla von 7 bis 15 Jahren

berichteten. Gleichzeitig zeigten die Dimensionen, die die Höhe repräsentieren, ein späteres Maximum der Zunahme als Breite und Tiefe, was in dieser Untersuchung nicht bestätigt werden kann. In unserer Studie, in der die vertikale Bewegung der ersten oberen Inzisivi gemessen wird, bewegt sich die Inzisalkante relativ zum Nasenboden in etwa 19,5mm schräg nach unten. Dabei tritt die größte Wachstumsrate im Alter von 5 bis 9 Jahren auf. Geht man von einer vergleichbaren Bewegung aller Zähne im Frontzahngebiet aus, kann Coulter und Richardsons (1997) Studie herangezogen werden. Sie gaben die gesamte vertikale Bewegung der einzelnen Eckzähne von 5 bis 15 Jahren mit 18,6mm nach kaudal an. Das größte jährliche Wachstum fand dabei von 5 bis 13 Jahren statt, was größtenteils mit der Bewegung der oberen bleibenden mittleren Inzisivi in unserer Studie übereinstimmt. Einen ähnlichen Wachstumsspurt beschrieben Langford et al. (2003), die in ihrer Studie über die Volumenzunahme der Maxilla die meiste Vergrößerung von 5 bis 11 Jahren angaben.

In Ergänzung zur Strecke zwischen der Schneidekante des bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden hängen das Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus (3.14) und die Strecke zwischen Okklusionsebene und Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus (3.16) nicht nur vom Nasenboden und dessen Veränderungen, sondern auch von der Okklusionsebene ab. Der Winkel zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus und Nasenboden korreliert nicht mit der Strecke zwischen Okklusionsebene und Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus, was seinen Einfluss auf die Vergrößerung der Strecke zweifelhaft macht.

Auch auf das Lot auf der Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus und die Strecke zwischen Okklusionsebene und Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus wirkt die das Wachstum kompensierende Resorption des Nasenbodens, sowie die Verringerung des Winkels zwischen Okklusionsebene und Nasenboden.

Auffallend jedoch ist das im Vergleich zur Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus und Nasenboden völlig anders verlaufende Wachstum der Strecken, die bis zur Okklusionsebene reichen. Nach einer konstanten Zunahme während der Milchdentition, erfahren sie zuerst ein stärkeres und anschließend ein abgeschwächteres Wachstum in der bleibenden Dentition. Mit insgesamt nur 8,5mm fällt die Zunahme bedeutend geringer aus als die Zunahme der Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden. Auch die Tatsache, dass bei beiden Strecken während der ersten Wechselphase keine Vergrößerung stattfindet, unterscheidet sich von der Entwicklung der

Strecke zwischen Schneidekante des bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden. Zu erklären ist dies mithilfe der Studie von Bakker et al. (1979), die den Durchbruch der Inzisivi beschrieben. Bis zu ihrer Eruption liegen die mittleren bleibenden Inzisivi palatinal ihrer Vorgänger und driften mit der Zeit nach labial, wo sich der Abstand zwischen Nasenboden und Okklusionsebene vergrößert, was auch eine Vergrößerung des Lotes auf der Okklusionsebene zum Nasenboden durch die Zahnachse des bleibenden Inzisivus und der Strecke zwischen der Schneidekante des bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden mit sich bringt. Diese Labialdrift setzt sich bis kurz nach Beginn der ersten Wechselphase fort, bis die bleibenden Inzisivi etwas labialer als ihr Vorgänger protrudiert sind und damit Kontakt zur Oberlippe erreicht haben (Bakker et al. 1979). Damit ist die Labialdrift beendet und die Vergrößerung der Strecken schwächt sich ab. Zusätzlich wird die Labialneigung der Inzisivi während und nach ihrem Durchbruch durch den Einfluss der Lippe reduziert (Bakker et al. 1979, Scott 1954), was eine weitere Abnahme der Strecke zwischen der Schneidekante des bleibenden Inzisivus und dem Nasenboden zur Folge hat.

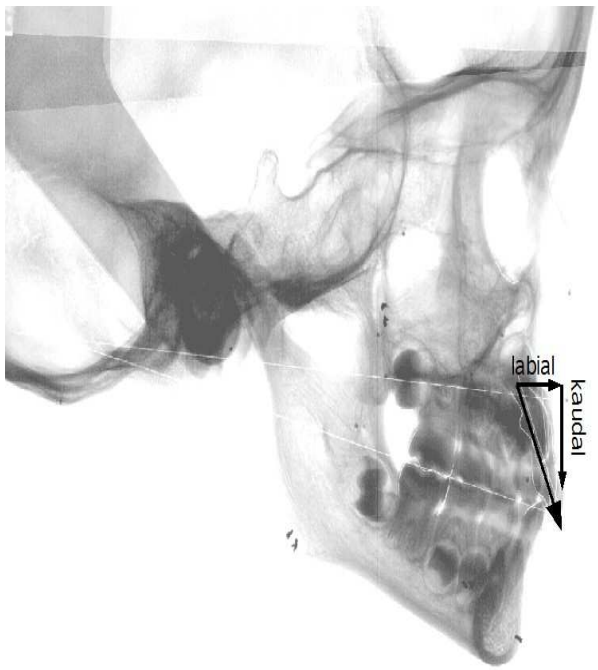

Abb. 4.2 Wachstumsrichtung der Maxilla

4.10 Knochenhöhe am Inzisivus

Erwähnt werden muss auch das Wachstum der Knochenhöhe am ersten Inzisivus (3.17), welche die Höhe des Alveolarknochens bis zum Nasenboden wiedergibt. Besonders auffallend ist hier die Reduzierung der Knochenhöhe von 5 bis 9 Jahren mit anschließender Fortsetzung der Vergrößerung der Strecke. Mehrere Studien wiesen schon auf dieses Phänomen des Einbruchs der knöchernen Limbushöhe während der Zeit der ersten Wechselphase hin.

So stellten Jones und Meredith (1966) fest, dass sich die Strecke zwischen Spina nasalis anterior und dem Prosthion bei Ausfall der ersten Milchinzisivi im Alter von 5 Jahren verringert. Treten die bleibenden ersten Inzisivi im Alter von 7 Jahren durch, vergrößert sich der Abstand zwischen den beiden Punkten wieder, wobei die Höhe in keinem Fall ihrer Studie im Alter von 9 Jahren so hoch war wie im Alter von 5 Jahren.

Auch Savara und Singh (1968) untersuchten die Strecke von der Spina nasalis anterior bis zum Prosthion. Sie stellten von 3 bis 16 Jahren einen Zuwachs des Alveolarknochens von

13,5mm auf 17,9mm fest, wobei die Differenz zwischen den Messpunkten in Hinblick auf unsere Untersuchung beachtet werden muss. Die Wachstumsrate der Strecke in ihrer Studie verringerte sich deutlich von 3 bis 7 Jahren, stieg von 7 bis 9 Jahren und verringerte sich anschließend erneut, was einen Zusammenhang zwischen der Eruption der bleibenden Inzisivi im Alter von 7 Jahren wahrscheinlich erscheinen lässt. Übereinstimmend mit unseren Ergebnissen stellten sie eine Abnahme der Strecke zwischen 6 und 8 Jahren aufgrund der Exfoliation der Milchinzisivi fest und eine Zunahme von 7 bis 9 Jahren bei Durchtritt der neuen Zähne. Bei Jungen stellten sie eine Abnahme von 6 bis 8 Jahren, bei Mädchen von 5 bis 7 Jahren fest, die größte Zunahme lag bei Jungen und Mädchen zwischen 6 und 7 Jahren, was genau mit der ersten Wechselphase und dem “step function” Alter bei Jungen und Mädchen übereinstimmt.

5.0 Zusammenfassung

Diese Untersuchung sollte klären, woher der Platz im vorderen Zahnbogen stammt, den die bleibenden Inzisivi aufgrund ihrer größeren mesio-distalen Durchmesser gegenüber ihren schmaleren Vorgängern, den Milchinzisivi, zusätzlich in Anspruch nehmen.

Anhand der an 162 mazerierten Schädeln vorgenommenen horizontalen Vermessung und der vertikalen Analyse anhand der Auswertung der zu den Schädeln gehörigen Röntgenbilder konnte ein dreidimensionales Bild des Wachstums des Frontzahnsegmentes im Oberkiefer entwickelt werden. Die Schädel stammen von Kleinkindern, Jugendlichen und Erwachsenen. Erstellt wurden altersabhängige Mittelwerte, Streudiagramme und eine Korrelationsanalyse.

Diese Studie liefert folgende Ergebnisse:

1. Der Zahnbogen des Oberkieferfrontzahnsegmentes kann in guter Näherung als ein Kreisbogen beschrieben werden.
2. Das meiste Wachstum findet in der ersten Wechselphase statt, in der Breite, Tiefe und auch Länge des Frontzahnbogens, sowie die vertikale Höhe der Maxilla bis zum Nasenboden in der Region der oberen Inzisivi einen Großteil ihres Wachstums erfahren.
3. Das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes beruht auf der vertikalen “Drift”, sowie auf einer Vergrößerung des Winkels zwischen den Schneidezähnen und dem Nasenboden von Milch- zum bleibenden Inzisivus.

5.0. Summary

The aim of this investigation was to reveal the origin of the space gain in the anterior dental arch, which is needed for the greater mesio-distal diameter of the permanent incisors in contrast to their smaller predecessors.

A three-dimensional picture of the increase of the anterior dental arch segment could be obtained by horizontal measurements on 162 mazerated skulls as well as a vertical analysis of the corresponding X-rays. The skulls originate from infants, juveniles and adults. Age-related means and scatterplots were produced and a correlation analysis was performed.

This study offers the following results:

1. The dental arch of the maxillary front segment can be approximated by the arc of a circle.
2. The greatest increase was measured during the period of transition of the primary and the permanent incisors. Width, depth, length and the vertical dimension of the maxilla below the nasal floor in the area of the upper incisors increased for the major part during this period.
3. The increment of the maxillary incisor segment was based on vertical „drift" and on an increase in the angle between the incisors and the nasal floor from the deciduous to the permanent incisors.

6.0 Schlussbemerkung

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass das Wachstum des Oberkieferfrontzahnsegmentes auf einer Vergrößerung der Vertikalen und der Inklination der Schneidezähne beruht, die bei Durchbruch der bleibenden Zähne in der ersten Wechselphase stattfindet. Das Wachstum der knöchernen Basis der Maxilla hängt dabei insbesondere von den Zähnen ab.

Im Frontzahnsegment selber sorgt mehr das Wachstum der Breite, als der Tiefe für eine Vergrößerung des Zahnbogens, welche nötig ist, um den Platz für die breiteren bleibenden Inzisivi während oder kurz vor der ersten Wechselphase zu schaffen.

Literaturverzeichnis

Angle EH 1907
Malocclusion of teeth. Angle's system. Seventh edition. Publisher: White Dental Manufacturing Company (Philadelphia): 1-628.

Ash Major M, Nelson SJ 2003
Wheeler's Dental Anatomy, Physiology, and Occlusion. 8th edition: 75.

Bakker P, Wassenberg H, Van der Linden F 1979
Wechsel der oberen Schneidezähne. Informationen aus Orthodontie und Kieferorthopädie 3, 11: 239-270.

Bishara S, Khadivi P, Jakobsen JR 1995
Changes in tooth size- arch length relationship from the deciduous to the permament dentition: A longitudinal study. Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 108: 607-613.

Bishara S, Jakobsen J, Treder J, Nowak A 1997
Arch width changes from 6 weeks to 4 years of age. Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 111: 401-409.

Björk A, Skieller V 1975
Growth of the maxilla in three dimensions as revealed radiographically by the implant method. British Journal of Orthodontics 4: 53-64.

Braun S, Hnat WP, Fender DE, Legan HL 1998
The form of the human dental arch. The Angle Orthodontist 68: 29-36.

Bronstein IN, Semendjajew 1991
Taschenbuch der Mathematik. Teubner Verlagsgesellschaft. Auflage 25: 194.

Coulter J, Richardson A 1997
Normal eruptions of the maxillary canine quantified in three dimensions. European Journal of Orthodontics 19: 171-183.

Dibbets JMH 2000
Lehre im Studentenunterricht Marburg SS 2000

Enlow DH, Bang S 1965
Growth and remodelling of the human maxilla. American Journal of Orthodontics 51: 446-464.

Enlow DH 1966
A morphogenetic analysis of facial growth. American Journal of Orthodontics 52: 283-299.

Enlow DH 1968
The human face, Publisher: Harper and Row (New York): 63-65.

Ferrario VF, Sforza C, Miani A Jr, Tartaglia G 1994
Mathematical definition of the shape of dental arches in human permanent healthy dentitions. European Journal of Orthodontics 16: 287-294.

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

Guggenmoos-Holzmann J, Wernecke KD 1996
Medizinische Statistik. Blackwell Wissenschaftsverlag Berlin, Wien.

Hassanali J, Odhiambo JW 2000
Analysis of dental casts of 6-8 and 12 year-old Kenyan children. European Journal of Orthodontics 22: 135-142.

Herbst E 1922
Atlas und Grundriss der Zahnärztlichen Orthopädie. Lehmanns Verlag (München), 2. Auflage:186-197.

Hnat WP, Braun S, Chinhara A, Legan HL 2000
The relationship of arch length to alterations in dental arch width. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 118: 184-188.

Howe R, Mc Namara, O`Connor 1983
An examination of dental crowding and its relationship to tooth size and arch dimension. American Journal of Orthodontics 83: 363-373.

Hussels W, Nanda RS 1987
Effect of maxillary incisor angulation and inclination on arch length. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 91: 233-239.

Iseri H, Solow B 1990
Growth displacement of the maxilla in girls studied by the implant method. European Journal of Orthodontics 12: 389-398.

Jones B, Meredith H 1966
Vertical change in osseous and odontic portions of human face height between the ages of 5 and 15 years. American Journal of Orthodontics 52: 902-921.

Langford R, Sgouros S, Natarajan K, Nishikawa H, Dover M, Hockley A 2003
Maxillary Volume Growth in Childhood. Plastic and Reconstructive Surgery 111: 1591-1597.

Lehmann K, Hellwig E 1998
Zahnärztliche Propädeutik. Urban und Fischer Verlag. 8. Auflage: 17.

Lochmann U 1999
Metrische Kriterien für Taurodontismus. Eine Studie auf der Basis von OPG-Röntgenauswertungen. Dissertation Phillips-Universität Marburg.

Lux C, Coenradt C, Burden D, Komposch G 2004
Three-dimensional analysis of maxillary and mandibular growth increments. The Cleft palate-craniofacial Journal 41: 304-314.

Lysell L, Magnusson B, Thilander B 1962
Time and order of eruption of the primary teeth. Odontologisk Revy 13: 217-234.

MacConaill MA, Scher EA 1949
The ideal form of the human dental arcade, with some prosthetic application. The Dental Record (London) 69: 285-302.

Melsen B 1975
Palatal growth studied on human autopsy material – A histologic microradiographic study, American Journal of Orthodontics 68: 42-54.

Moorrees C 1958
Growth changes of the dental arches – A longitudinal study. Journal of the Canadian Dental Association.

Moorrees C, Chadha J. 1965
Available space for the incisors during dental development – A growth study based on physiologic age. The Angle Orthodontist 35: 12-22.

Moss M 1962
The functional matrix. In: Vistas Orthodontics. Riedel RA, Kraus BS eds., Publisher: Kimpton (London): 85-98.

Moss M, Greenberg S 1967
Functional Cranial analysis of human maxillary bone. The Angle Orthodontist 37: 151-163.

Moyers RE 1988
Handbook of Orthodontics. Publisher: Year book medical publisher (Chicago), inc, 8. Auflage: 107-120.

O´Higgins EA, Kirschen RH 1999
The influence of maxillary incisor inclination on arch length. British Journal of Orthodontics 26: 97-102.

Pont A 1909
Der Zahn-Index in der Orthodontie. Zeitschrift für zahnärztliche Orthopädie III, 7-8: 306-320.

Preti G, Pera P, Bassi F 1986
Prediction of the shape and size of the maxillary anterior arch in edentulous patients. Journal of Oral Rehabilitation 13: 115-125.

Remmelink HJ 1988
Orientation of the maxillary sutural surfaces. European Journal of Orthodontics 10: 223-226.

Richardson ER 1991
Atlas of craniofacial growth in Americans of African descent. Craniofacial growth series, no. 26. Ann Arbor: Center for Human Growth and Development.

Riolo ML, Moyers RE, McNamara JA Jr., Hunter WS 1974
An atlas of craniofacial growth: cephalometric standards from the University School Growth Study, the University of Michigan. Monograph 2, craniofacial growth series. Ann Arbor (MI): Center for Human Growth and Development, University of Michigan.

Ross-Powell R, Harris 2000
Growths of the anterior dental arch in black American children: A longitudinal study from 3 to 18 years of age. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 118: 649-657.

Savara B, Singh IJ 1968
Norms of size and annual increments of seven anatomical measures of maxillae in boys from three to sixteen years of age. The Angle Orthodontist 38: 104-120.

Scott J 1954
The growth and function of the muscles of mastication in relation to the development of the facial skeleton and of the dentition. American Journal of Orthodontics 40: 429-449.

Scott J 1957
The shape of the dental arches. Journal of Dental Research 36: 996-1003.

Sillman JH 1964
Dimensional changes of the dental arches: Longitudinal study from birth to 25 years. American Journal of Orthodontics 50: 824-841.

Takeshita S, Sasaki A, Publico AS, Moss ML, Tanne K 2001
The nature of human craniofacial growth studied with finite element analytical approach. Clinical Orthodontics and Research 4: 148-160.

Tsai HH 2001
Tooth-position, arch-size and arch-shape in the primary dentition. ASDC Journal of Dentistry for Children 68: 17-22.

Warren J, Bishara S 2001
Comparison of dental arch measurements in the primary dentition between contemporary and historic samples. American Journal of Dentofacial Orthopedics 119: 211-215.

8.0 Anhang

ID	=	Identifikationsnummer des Schädels
Da	=	Dentales Alter
sfa	=	„step function“ age
sfa_cl	=	Altersklasse
Dent	=	Dentition
ZB	=	Zahnbogenbreite

ID	da	sfa	sfa_cl	Dent	Can os	Can dens	Spitze can	Inz Os	Inz dens	Arch os	Arch dens	W(i-nb)m	W(i-nb)	W(oe-nb)	S(i-nb)m	S(i-nb)	S(nb⊥oe)m	S(nb⊥oe)	S(nb-oe)m	S(nb-oe)	S(p1p2)
1	6	15,00	15,0	3	29,06	32,62	37,16	9,21	9,92	36,00	39,00		124,80	8,30		33,24		24,62		33,24	18,37
2	7	18,00	19,0	3	30,10	29,95	35,31	8,65	8,34	35,10	37,40										
3	8	20,00	19,0	3	26,09	26,84	30,49	9,67	9,94	30,00	35,00		116,00	5,90		33,43		28,41		33,43	21,59
4	3	8,00	8,8	3	29,10	27,75	33,17	7,78	6,63	33,80	35,20		112,00	13,00		24,62		18,94		23,20	12,31
7	4	9,00	8,8	3	28,25	27,77	33,60	7,81	6,73	32,70	34,10		105,60	12,20		23,11		20,74		23,48	11,27
8	3	7,50	7,1	3	29,70	29,64	33,99	7,98	5,34	33,00	34,00		123,00	6,00		23,20		19,41		25,57	10,32
9	2	4,00	4,0	1	22,90	23,46	28,72	6,26	3,49	25,80	26,50	80,00	101,00	22,00	23,67	11,27	22,73	20,08	22,82	24,34	14,20
10	7	18,00	19,0	3	28,01	29,53	34,26	8,34	6,79	32,90	34,80		108,30	13,40		28,13		24,53		29,17	15,25
11	7	18,00	19,0	3	30,10	31,77	35,17	8,02	8,81	34,00	37,00		125,20	4,00		25,85		20,45		26,42	12,12
12	4	9,00	8,8	2	32,37	30,68	36,63	8,44	7,49	34,80	37,90		114,20	12,20		24,53		19,70		24,43	12,22
13	3	8,00	8,8	3	29,52	27,71	34,03	7,91	7,15	33,50	34,60		108,30	12,50		26,04		22,25		26,04	12,97
14	1	2,00	2,6	1	24,79	24,27	28,22	6,32	5,10	27,50	30,50	92,60	104,00	17,90	19,98	9,66	18,94	17,14	20,08	20,08	12,03
18	8	20,00	19,0	3	32,48	31,35	34,92	7,73	4,36	34,90	33,00		79,00	19,90		27,37		27,27		27,37	16,95
19	3	6,00	5,6	1	23,05	22,76	28,24	6,91	5,67	27,00	27,00	104,00	102,00	7,20	21,78	11,36	20,83	19,89	21,78	21,31	12,50
20	5	10,83	10,5	3	29,11			7,23	5,93	33,00	35,00		106,00	18,80		23,96		19,89		23,96	12,50
21	6	15,00	15,0	3	25,91	26,02	33,21	7,49	6,18	28,50	29,90		108,80	13,00		23,48		19,98		23,48	11,27
22	1	2,00	2,6	1	22,10	21,83	27,04	7,34	4,73	24,80	25,10	94,30	110,40	18,00	17,99	7,58	15,91	14,39	17,05	18,75	10,51
23	2	3,00	2,6	1	26,22	24,70	29,49	5,43	4,10	29,00	29,20	103,00	110,00	9,10	18,84	8,14	17,90	17,05	19,03	19,79	11,17
24	3	8,00	8,8	3	28,24	27,25	32,64	6,54	4,65	34,20	33,00		105,00	9,70		20,83		18,94		20,83	10,42
27	2	3,00	2,6	1	23,96	23,52	29,54	6,96	5,73	28,00	28,50	99,00	102,90	16,00	19,22	9,66	17,99	17,05	20,17	18,94	11,36
28	5	10,17	10,5	3	31,59	26,32	33,70	8,44	6,87	34,30	36,00		101,70	19,10		25,66		22,06		25,76	14,11
29	6	15,00	15,0	3	25,04	26,20	31,20	7,20	7,39	29,00	32,30		117,80	11,30		26,23		20,74		26,23	14,02
32	5	12,67	11,8	3	27,16	27,17	30,06	6,72	7,82	30,20	31,70		120,90	8,80		25,66		19,70		25,57	14,11
33	4	9,00	8,8	3	29,35	29,40	34,79	7,24	6,11	33,00	36,00		122,60	7,00		22,82		18,75		23,67	8,43
35	3	7,50	7,1	2	27,90	27,42	33,71	8,19	6,68	36,50	37,30		104,10	18,80		24,24		21,21		25,38	9,47
36	2	4,00	4,0	1	23,48	23,78	30,50	6,60	5,96	26,00	28,80	102,40	103,00	13,90	21,02	10,04	19,41	18,94	21,69	21,59	14,68
37	5	10,67	10,5	3	28,53	28,27	36,11	7,30	7,00	32,20	36,70		111,00	15,20		25,57		20,64		25,57	12,22
39	8	20,00	19,0	3	29,61	27,29	32,91	7,53	6,04	32,80	35,10		112,80	7,80		30,02		25,95		30,02	19,70
40	3	8,00	8,8	3	30,04	30,00	34,74	7,63	4,51	33,90	34,10		102,90	12,50		22,73		20,74		23,48	11,36
42	6	15,00	15,0	3	30,30	30,63	34,82	8,98	7,73	37,30	36,80		107,00	16,80		31,44		26,61		31,44	19,98
43	8	20,00	19,0	3	24,04	24,43	29,02	7,49	6,47	26,30	30,00		104,40	14,00		25,38		23,48		25,38	15,06
46	5	10,67	10,5	3	26,00	23,93	29,95	7,31	7,78		34,40		122,00	9,60		23,86		17,99		23,67	9,66
48	7	18,00	19,0	3	25,40	25,36		9,68	8,04	28,00	31,00		106,80	11,00		25,76		22,82		25,76	13,83

ID	da	sfa	sfa_cl	Dent	Can os	Can dens	Spitze can	Inz Os	Inz dens	Arch os	Arch dens	W(i-nb)m	W(i-nb)	W(oe-nb)	S(i-nb)m	S(i-nb)	S(nb⊥oe)m	S(nb⊥oe)	S(nb-oe)m	S(nb-oe)	S(p1p2)
49	5	11,00	11,8	3	28,81	31,21	34,45	7,90	7,41	33,00	35,90		111,20	13,80		24,05		20,74		25,28	11,55
50	7	18,00	19,0	3	27,72	31,03	36,09	7,39	6,08	32,00	32,90		113,30	10,00		27,56		23,11		27,56	13,35
52	5	11,67	11,8	3	25,81	25,60	31,73	7,88	7,96	29,70	36,40		120,90	19,00		34,85		24,05		36,84	19,89
53	4	9,00	8,8	3	28,82	27,81	33,89	7,29	6,38	31,00	33,90		119,00	12,30		27,37		20,74		27,46	14,11
54	8	20,00	19,0	3	27,46	28,92	33,27	8,87	7,91	32,10	34,00		108,20	12,00		28,31		24,53		28,31	15,44
55	5	10,33	10,5	3	27,53	27,59	32,93	8,19	7,53	31,20	35,00		109,30	15,80		27,84		21,88		27,46	14,30
56	5	11,67	11,8	3	26,20	28,36	35,37	8,91	8,22	29,80	32,00		117,00	9,70		26,52		21,40		26,42	13,26
57	4	9,00	8,8	3	30,20	31,01	36,76	7,45	6,64	33,00	37,40		117,00	9,00		23,67		19,22		23,86	10,32
59	5	11,17	11,8	3	27,75	27,82	33,82	7,46	6,21	32,10	35,00		116,00	12,90		27,84		21,78		27,84	13,07
60	2	4,00	4,0	1	22,78	21,83	27,93	5,79	4,11	25,80	26,00	85,00	101,70	16,00	19,98	8,62	19,32	17,23	19,70	19,70	9,38
61	2	4,00	4,0	1	25,23	25,60	32,84	6,74	5,18	28,10	29,40	102,00	111,50	13,20	21,69	10,32	19,70	18,94	21,69	23,20	11,17
63	3	7,75	7,1	3	26,78	27,20	33,74	7,09	5,67	31,00	33,00		109,90	12,10		24,62		20,83		24,81	11,36
64	5	12,17	11,8	3	24,93		31,59	8,43	8,53	27,50	31,00		115,00	13,70		27,18		21,21		27,18	12,50
65	5	10,83	10,5	3	25,97	26,74	32,45	8,58	8,55	37,10	39,30		112,90	15,70		25,47		20,08		25,47	12,12
66	5	12,00	11,8	3	28,16	33,18	38,16	8,23	10,93	37,90	38,10		115,50	17,80		30,30		23,58		31,16	16,86
67	3	7,00	7,1	2	29,25	29,14	34,83	6,94	4,03	38,70	39,40		108,10	14,90		20,93		19,98		23,67	12,31
68	3	6,50	7,1	1	24,79	23,90	29,88	7,02	4,07	27,00	28,00	93,30	93,10	16,90	24,53	15,25	21,78	21,50	23,58	22,73	15,81
69	5	10,50	10,5	3	28,29	27,69	33,12	6,90	6,35	32,20	35,00		114,00	20,00		25,66		21,78		30,21	12,50
71	4	9,00	8,8	3	27,80	30,42	35,64	7,03	6,05	34,10	37,90		109,80	18,00		24,62		20,64		25,85	12,50
73	5	12,67	11,8	3	25,97	28,77	34,60	8,26	7,84	31,00	33,60		105,40	20,30		26,04		21,12		26,04	15,06
74	3	6,00	5,6	1	24,65	25,55	32,53	6,78	6,79	29,20	29,20	101,90	93,20	19,00	24,43	13,26	22,25	22,73	26,52	24,91	16,95
76	3	6,00	5,6	1	25,15	24,03	31,23	7,90	6,57	29,20	30,70	97,00	106,00	16,60	24,62	10,42	21,88	21,31	24,53	23,77	14,20
77	2	4,00	4,0	1	27,76	25,26	30,30	5,64	5,43	30,20	29,90	92,00	108,60	17,90	20,83	9,47	20,08	18,94	21,78	23,67	12,12
78	2	4,00	4,0	1	23,85	23,51	30,55	5,71	5,41	30,00	29,10	99,10	109,10	11,00	21,40	9,94	19,70	18,94	20,83	22,06	12,22
79	5	12,33	11,8	3	28,23	29,38	35,16	7,24	7,25	34,60	36,80		115,40	7,80		21,97		18,94		21,97	10,23
80	2	3,00	2,6	1	23,17	21,53	27,66	5,64	4,61	27,10	27,10	97,10	120,50	16,80	19,13	10,23	17,14	15,34	18,94	23,01	8,52
81	4	9,00	8,8	3	29,42			8,23	6,22	33,20	34,10		109,10	10,90		22,82		19,89		22,63	10,80
83	5	10,33	10,5	3	32,24	29,44	37,59	8,11	8,85	37,00	38,10		117,00	12,60		27,84		21,78		27,84	12,59
84	3	7,50	7,1	3	26,92	22,28	29,99	7,33	4,79	27,90	27,00		107,00	11,70		21,31		20,83		23,67	10,42
86	3	6,00	5,6	1	23,53	22,97	29,14	6,46	5,33	25,70	26,70	100,50	118,00	9,10	18,09	10,89	16,86	16,10	17,99	11,17	10,42
87	3	6,50	7,1	1	24,66	24,67	31,73	5,75	4,53	27,90	27,00	106,00	109,00	15,90	21,78	12,41	19,89	18,56	22,73	22,82	13,73
88	2	4,00	4,0	1	25,07	24,57	30,23	6,72	4,39	28,30	29,20	99,00	119,00	13,00	17,80	8,52	16,19	15,15	17,61	20,36	10,32
89	4	9,00	8,8	3	26,70	26,21	32,67	6,72	3,89	29,50	31,00		106,30	12,40		19,32		16,95		19,22	7,77

ID	da	sfa	sfa_cl	Dent	Can os	Can dens	Spitze can	Inz Os	Inz dens	Arch os	Arch dens	W(i-nb)m	W(i-nb)	W(oe-nb)	S(i-nb)m	S(i-nb)	S(nb⊥oe)m	S(nb⊥oe)	S(nb-oe)m	S(nb-oe)	S(p1p2)
90	3	7,00	7,1	1	26,62	25,74	32,85	6,00	4,71	30,30	30,50	96,00	106,00	15,00	22,63	13,16	20,93	22,73	22,63	22,82	13,26
91	6	15,00	15,0	3	28,14	30,22	33,72	7,52	7,09	38,10	35,10		110,60	17,00		29,55		23,67		29,55	16,19
92	2	3,00	2,6	1	22,86	22,28	27,74	5,42	4,59	25,90	27,00	102,20	112,30	15,00	19,89	8,33	17,42	16,57	19,70	20,83	10,42
94	5	12,00	11,8	3	24,88	28,75	33,16	7,69	7,80	28,00	32,00		115,00	12,90		26,61		21,02		26,61	14,11
95	6	15,00	15,0	3	26,56	28,94	32,37	7,19	7,31	30,00	34,90		124,80	3,80		24,62		18,94		24,81	10,70
104	3	5,75	5,6	1	24,07	21,96	27,58	5,84	4,09	25,00	26,30	85,00	93,00	16,00	21,50	10,23	20,08	19,13	20,74	20,36	10,42
106	3	6,75	7,1	2	25,29	25,11	31,55	7,04	6,74	28,30	28,80		116,00	14,90		22,25		19,89		26,42	11,27
107	3	8,00	8,8	3	26,14	29,24	35,33	7,54	7,63	36,00	36,00		106,10	17,10		27,90		21,10		26,00	
110	1	1,92	2,6	1	23,74	24,00	29,23	7,02	5,52	25,90	27,20	97,20	109,00	21,00	19,60	8,52	16,95	15,15	19,13	20,64	10,80
113	2	4,00	4,0	1	25,32	25,89	31,42	5,89	5,60	28,80	29,80	105,40	111,20	16,10	20,83	8,62	17,99	17,05	20,83	21,78	11,84
114	3	6,50	7,1	1	23,67	23,80	29,30	6,13	5,81	26,90	28,10	102,00	110,00	17,10	22,63	12,31	21,88	20,74	26,52	25,57	13,35
117	6	15,00	15,0	3	25,89	27,29	31,42	8,61	6,92	29,90	31,80		103,80	13,90		26,61		23,86		26,61	15,34
119	2	4,50	5,6	1	25,15	24,31	30,49	6,65	4,45	29,70	28,30	89,00	91,00	18,30	21,69	10,13	19,98	18,94	20,83	20,17	12,22
120	3	6,00	5,6	1	24,37	23,43	27,65	6,99	5,08	27,20	26,90	88,00	110,50	23,00	23,67	11,36	21,50	20,64	23,67	27,84	14,30
121	3	6,00	5,6	1	25,22	24,05	30,08	6,33	5,96	27,20	28,50	97,80	90,50	20,00	24,53	12,31	20,74	20,08	23,20	19,89	13,64
122	3	6,50	7,1	1	23,77	24,16	29,23	7,49	4,57	27,70	27,70	77,90	87,00	22,50	27,37	15,72	26,52	24,62	27,37	26,33	19,60
123	3	6,00	5,6	1	25,59	25,49	30,01	6,79	6,38	29,80	31,00	98,20	110,00	16,10	21,69	9,47	19,79	18,84	21,69	23,67	12,41
124	3	6,00	5,6	1	25,69	23,28	29,55	6,43	4,72	28,00	27,30	97,00	106,00	19,00	23,20	12,22	20,93	20,74	23,58	25,28	15,53
125	3	7,00	7,1	2	25,79	24,55	30,21	8,29		28,90	30,40	103,00	102,80	17,00	19,79	16,76	19,89	20,55	23,20	23,58	7,67
126	3	7,00	7,1	3	27,98	27,30	34,80	8,24	4,99	32,00	30,80		121,00	12,00		20,74		17,23		24,15	8,43
127	5	10,00	10,5	3	26,16			9,14	9,18	30,80	33,00		112,50	15,60		23,58		19,89		25,47	14,02
128	3	7,50	7,1	2	21,69	21,92	26,68	6,51	5,19	26,10	26,00		108,80	16,00		19,89		19,32		23,58	10,42
129	5	11,17	11,8	3	25,32			6,69	5,84	29,10	31,00		116,00	10,30		24,05		19,89		24,05	9,85
130	4	9,00	8,8	3	33,01			9,29	10,09	38,30	40,20		114,00	11,80		26,52		21,69		26,52	14,96
131	5	10,50	10,5	3	28,43	29,38	35,84	8,41	7,71	31,90	35,60		121,00	5,40		27,27		22,35		27,27	12,41
132	5	12,17	11,8	3	33,09	32,63	39,26	7,62	9,02	38,70	43,20		125,00	5,80		25,66		19,22		25,66	11,65
133	6	15,00	15,0	3	25,75	30,57	34,64	6,82	6,13	29,20	33,30		121,90	8,80		26,52		19,89		26,52	13,54
134	2	4,00	4,0	1	20,17	21,18	26,60	6,14	5,75	28,80	29,30	94,20	109,00	18,90	18,75	7,95	16,29	15,15	17,90	19,13	7,58
136	3	5,25	5,6	1	26,29	25,44	31,08	6,23	4,55	28,50	28,90	99,00	117,00	15,10	20,08	9,00	19,89	17,90	20,83	24,34	12,31
137	3	6,00	5,6	1	22,15	22,58	29,62	6,50	6,21	26,20	28,20	109,90	113,60	15,40	21,78	12,22	20,74	18,84	24,24	24,53	10,42
138	2	4,50	5,6	1	25,96	25,29	30,93	6,44	4,40	28,20	28,80	96,80	109,50	15,80	21,88	10,80	21,69	20,17	23,30	24,72	13,54
139	3	7,50	7,1	2	27,57	24,22	31,71	7,49	6,18	31,00	32,60		120,20	13,10		24,53		19,32		26,42	12,50
142	5	12,67	11,8	3	25,31	24,64	29,63	9,49	8,89	30,10	35,00		109,00	14,90		27,20		22,90		27,20	14,20

ID	da	sfa	sfa_cl	Dent	Can os	Can dens	Spitze can	Inz Os	Inz dens	Arch os	Arch dens	W(i-nb)m	W(i-nb)	W(oe-nb)	S(i-nb)m	S(i-nb)	S(nb⊥oe)m	S(nb⊥oe)	S(nb-oe)m	S(nb-oe)	S(p1p2)
143	4	9,00	8,8	3	25,53		32,84	7,55	7,16	27,40	35,90										
144	4	9,00	8,8	3	26,71	27,01	31,50	6,11	6,50	29,90	31,30		116,70	10,80		26,42		21,12		26,42	14,96
145	5	10,50	10,5	3	25,85			7,21	7,87	30,20	31,00		113,00	12,70		27,46		22,44		27,46	18,84
149	4	9,00	8,8	3	30,29	29,12	35,38	7,54	7,39	33,10	35,20		114,60	8,90		22,73		20,08		24,53	11,27
150	2	4,00	4,0	1	23,50	21,98	27,06	6,74	6,03	26,00	26,20	95,70	102,80	20,10	22,63	9,47	20,64	19,51	22,63	23,58	14,20
151	7	18,00	19,0	3	27,28	28,13	33,11	7,74	6,74	29,80	32,10		124,20	5,80		25,57		20,83		27,18	14,02
152	5	10,67	10,5	3	31,20	33,17	39,37	7,90	8,13	30,70	31,80		114,20	11,60		27,84		22,54		27,84	14,49
156	2	4,00	4,0	1	25,61		34,15	5,93	5,95	30,20	31,30	95,00	106,00	16,10	20,93	10,04	19,32	17,71	20,17	20,74	12,31
157	2	3,00	2,6	1	21,53	22,09	27,61	5,69	4,29	28,60	25,20	96,00	115,80	13,00	18,37	6,16	17,14	16,19	18,18	21,59	8,05
158	2	4,00	4,0	1	24,39	24,54	29,43	6,25	4,75	27,30	27,90	102,80	126,10	12,30	16,67	9,19	15,06	14,11	16,95	20,83	9,28
159	2	3,00	2,6	1	24,46	22,84	28,69	6,59	6,04	26,00	26,90	101,00	119,10	11,20	19,89	9,47	18,18	17,61	19,79	22,92	10,80
163	2	4,00	4,0	1	23,19	22,52	27,40	6,50	5,59	26,00	26,00	93,00	102,30	21,00	19,89	9,28	17,99	16,95	19,89	20,64	12,31
164	3	6,00	5,6	1	26,93	27,21	32,96	8,21	6,64	32,30	32,20	100,00	105,20	16,40	26,61	14,30	24,62	23,58	27,46	28,31	17,99
165	3	6,75	7,1	2	27,59	28,23	33,37	6,64	3,48	30,70	30,50		110,40	7,80		14,39		21,78		24,62	8,52
166	3	7,00	7,1	2	25,76	25,56	31,92	7,63	4,81	28,00	30,00		98,50	12,50		21,78		21,88		23,67	9,47
168	3	8,00	8,8	3	28,09	26,46	32,71	7,06	5,96	31,10	32,00		117,00	9,90		23,30		18,94		23,67	8,52
169	2	4,00	4,0	1	21,69	20,42	24,85	7,23	6,79	26,00	28,00	102,00	115,70	7,60	19,13	8,52	18,09	17,23	19,03	20,83	9,19
170	3	6,50	7,1	1	22,77	21,78	28,13	6,46	4,46	24,40	22,30	107,00	100,00	15,20	22,63	14,39	19,79	19,22	23,58	21,78	13,26
171	2	4,00	4,0	1	23,67	23,41	27,93	6,52	4,31	27,80	27,00	92,20	106,00	14,00	18,66	7,77	17,52	16,19	18,18	18,84	10,51
172	5	11,00	11,8	3	30,54		35,60	8,21	9,43	35,00	39,50		111,70	16,00		31,72		25,38		31,44	16,19
173	3	6,00	5,6	1	24,80	25,69	31,01	6,24	4,09	26,90	27,80	105,00	119,50	13,90	20,27	12,12	19,79	19,03	22,73	26,33	13,26
174	3	7,75	7,1	3	28,20	30,92	35,83		5,82	32,00	35,20		112,00	10,00		25,66		20,08		23,67	13,16
175	1	2,17	2,6	1	22,71	22,51	26,75	6,73	6,06	26,00	27,00	97,00	112,00	18,00	17,99	8,24	16,29	14,58	17,99	19,79	10,51
176	4	9,00	8,8	3	30,42	29,01	34,37	7,12	5,16	34,20	36,30		114,00	6,80		23,39		20,55		23,48	10,89
177	1	2,08	2,6	1	23,54	26,00	29,60	6,40	4,85	27,80	29,90	97,00	108,00	18,10	18,75	9,47	16,95	15,34	18,75	18,84	10,42
178	1	2,00	2,6	1	23,57	21,30	27,56	7,05	6,31	27,00	27,90	103,20	91,00	15,90	18,84	7,58	16,10	15,81	18,84	16,48	9,94
179	2	4,00	4,0	1	24,14	23,86	29,90	6,11	4,20	28,20	27,70	90,20	115,20	15,00	19,51	8,81	18,94	17,05	19,51	22,63	9,56
180	2	3,00	2,6	1	23,51	21,79	26,90	6,69	5,49	26,10	27,80	92,90	116,10	15,00	18,94	9,19	18,37	16,67	19,70	22,63	11,17
181	1	2,17	2,6	1	23,20	23,46	28,14	6,75	5,03	25,10	26,10	97,00	109,20	17,90	17,05	7,67	15,06	13,35	16,19	16,95	8,43
182	1	2,00	2,6	1	23,77	22,49	27,08	6,64	3,21	25,40	26,00	89,20	97,80	20,00	16,76	7,58	15,63	14,11	16,19	16,00	6,82
183	3	6,50	7,1	1	22,17	20,65	25,55	6,89	4,89	24,70	24,90	91,40	108,00	20,00	20,83	13,07	21,59	19,70	23,11	25,57	14,20
184	3	7,50	7,1	2	26,43	24,73	31,21	7,93	5,77	32,00	30,80		115,00	9,10		20,64		19,60		23,58	8,52
185	2	4,00	4,0	1	25,17	22,82	29,15	6,75	6,37	24,80	26,20										

ID	da	sfa	sfa_cl	Dent	Can os	Can dens	Spitze can	Inz Os	Inz dens	Arch os	Arch dens	W(i-nb)m	W(i-nb)	W(oe-nb)	S(i-nb)m	S(i-nb)	S(nb⊥oe)m	S(nb⊥oe)	S(nb-oe)m	S(nb-oe)	S(p1p2)
186	3	6,00	5,6	1	24,53	23,34	29,83	6,07	4,27	25,90	30,40	90,00	110,00	20,20	24,53	11,36	22,73	21,31	24,15	28,13	15,15
187	2	4,00	4,0	1	22,60	22,61	28,69	6,19	4,29	25,80	25,60	94,30	112,80	14,40	21,78	11,55	21,12	19,79	22,44	24,72	12,50
188	5	12,17	11,8	3	28,20	30,18	35,16	7,59		30,20	32,20										
190	3	5,00	5,6	1	22,07	25,15	31,13	7,42	7,39	30,80	31,20	101,00	112,50	16,60	22,73	10,42	20,08	19,13	22,73	24,62	13,73
191	2	3,00	2,6	1	21,12	21,69	26,80	6,39	5,47	23,50	26,70	95,80	111,60	16,90	17,90	8,62	17,14	15,34	18,84	20,08	8,71
192	5	10,17	10,5	3	29,77	28,12	34,52	7,13	6,34	34,00	36,10		110,00	12,90		25,57		21,50		25,57	12,69
193	5	10,33	10,5	3	27,47	26,35	31,31	7,92	5,87	27,30	30,20		120,40	6,80		21,78		17,80		21,78	10,61
194	2	4,00	4,0	1	29,16	27,44	32,82	6,80	6,26	31,60	33,20	99,40	104,20	10,00	20,83	10,61	19,89	18,94	21,40	21,12	13,07
195	2	4,00	4,0	1	25,41	23,58	28,83	6,49	4,34	28,20	27,20	95,00	118,10	10,10	17,33	8,43	17,05	15,91	17,80	20,64	11,36
197	4	9,00	8,8	3	32,08		36,33	7,60	6,65	26,00	26,10										
198	2	3,00	2,6	1	23,69	23,66	29,09	6,51	3,45	36,00	36,00	97,00	125,40	13,00	16,00	7,58	14,87	13,26	16,00	19,98	8,52
199	2	4,00	4,0	1	23,65	22,11	28,58	6,49		27,10	28,90		111,20	22,00		9,47		16,86		23,48	13,83
200	2	4,00	4,0	1	23,06	21,79	27,67	6,07	4,20	24,30	25,20	99,00	111,80	17,10	18,80	6,80	16,10	15,90	18,30	20,00	9,10
212	2	4,50	5,6	1	22,96	22,63	28,66	6,27	4,83	27,20	26,20	100,00	107,00	11,80	18,84	8,62	17,05	16,29	18,28	18,75	11,27
214	4	9,00	8,8	3	28,51	29,35	36,07	7,99	6,92	34,90	36,20		112,30	14,80		24,81		19,98		24,81	13,07
215	5	10,67	10,5	3	28,51	28,20	34,96	7,84	7,23	31,20	34,00		126,00	5,90		24,81		18,18		24,81	10,13
216	2	4,00	4,0	1	25,33	24,78	29,83	5,64	4,92	28,30	28,20	92,00	128,80	16,60	19,79	8,05	18,47	17,14	19,79	29,45	11,46
218	5	12,67	11,8	3	28,01	28,54	33,49	7,59	7,24	30,50	32,20		117,40	13,80		27,56		20,83		27,56	14,11
219	8	20,00	19,0	3	26,64	28,79		8,17	8,04	30,00	35,20		114,90	7,90		29,26		24,24		29,26	15,91
221	4	9,00	8,8	3	29,66	28,60	35,36	8,61	7,14	34,50	35,00		119,00	7,00		23,67		21,02		26,23	11,46
222	4	9,00	8,8	3	29,62	30,02	36,37	7,10		30,60	34,00										
223	4	9,00	8,8	3	27,88			7,89		33,10	34,90		116,40	11,50		23,77		22,06		28,22	10,98
225	6	15,00	15,0	3	31,27	31,22	37,03	9,60	10,60												
700	4	9,00	8,8	3	28,73			7,67	6,28	31,20	34,10		104,20	12,30		23,58		21,59		23,77	10,32
702	4	9,00	8,8	3	27,67	28,38	33,52	7,99	7,78	30,10	34,80		118,80	7,00		23,58		19,89		24,91	10,42
703	5	11,00	11,8	3	29,55			9,38	8,32	34,40	36,50		115,00	9,20		28,22		22,73		28,22	15,06
704	4	9,00	8,8	3	28,41	27,06	33,14	8,19	7,34	29,80	33,20		112,00	12,40		24,34		21,78		26,42	12,12
705	4	9,00	8,8	3	29,55	27,93	33,59	7,38	6,64	32,60	33,10		116,10	10,00		19,89		18,18		22,63	7,58
706	5	11,00	11,8	3	25,46	26,95	32,78	6,22	6,29	28,50	31,90		117,00	11,70		25,57		20,27		25,57	13,45
708	4	9,00	8,8	3	25,35	24,02	31,03	7,57	7,22	26,90	31,20		114,00	11,40		26,52		22,35		27,46	12,12

ID	Da	sfa	Dent	ZB11	ZB 51	ZB12	ZB 52	ZB13	ZB 53	ZB21	ZB 61	ZB22	ZB 62	ZB23	ZB 63
1	6	15,00	3	9,29		6,60		8,32		8,93		7,09		8,00	
2	7	18,00	3	8,31		6,96		7,35		8,27		6,14		7,23	
3	8	20,00	3	9,16		8,30		7,39		9,08		7,82		7,44	
4	3	8,00	3	8,35		6,89			6,32	8,34		6,65			5,95
7	4	9,00	3	8,72		6,32			5,78	8,70		6,05			5,72
8	3	7,50	3	8,18					6,93	8,15					7,05
9	2	4,00	1		6,42		4,70		6,48		6,29		4,97		6,73
10	7	18,00	3	8,25		6,57		7,67		8,29		6,75		7,73	
11	7	18,00	3	8,70		7,13		7,26		8,49		7,11		6,83	
12	4	9,00	2		8,63		7,26		6,95	8,50		7,21			6,72
13	3	8,00	3	8,99		7,28			6,90	8,94		6,38			6,75
14	1	2,00	1		6,07		5,02		6,61		6,05		4,85		6,63
18	8	20,00	3	8,12		6,51		7,85		8,21		6,46		7,74	
19	3	6,00	1		6,88		5,60		6,48		6,82		5,28		6,70
20	5	10,83	3			7,07			6,69	8,13		7,43			
21	6	15,00	3	8,52		5,96		6,75				5,86		6,88	
22	1	2,00	1		5,97		5,36		6,35		6,35		5,12		6,24
23	2	3,00	1		7,04		4,99		6,60		6,79		4,99		6,83
24	3	8,00	3	8,42		6,90			5,81	8,93		7,12			6,45
27	2	3,00	1		6,70		5,72		7,22		6,87		5,55		7,24
28	5	10,17	3						6,53	8,34		6,08			6,46
29	6	15,00	3	8,52		5,94		7,25		8,43		6,43		7,42	
32	5	12,67	3	7,90		5,97		7,21		7,76		5,87		6,95	
33	4	9,00	3	9,02		8,01			6,92	9,26		8,46			6,61
35	3	7,50	2	9,03			5,98		6,97	9,20			6,02		6,73
36	2	4,00	1		6,51		5,73		6,73		6,48		5,64		6,98
37	5	10,67	3	8,89		7,18			6,72	8,73		6,58			6,32
39	8	20,00	3	8,23		6,66		7,69		8,00		6,24		7,34	
40	3	8,00	3	8,51		7,26			6,08	8,51		7,25			7,31
42	6	15,00	3	8,10		6,82		7,57		8,07		6,72		7,88	
43	8	20,00	3	7,33		5,59		6,16		7,43		5,62		6,16	
46	5	10,67	3			6,49			6,83	8,01		6,06			
48	7	18,00	3	7,87		5,26		7,77		8,31		6,57		7,95	
49	5	11,00	3	7,59		5,93			5,67	7,35		5,81			5,99
50	7	18,00	3	8,38		6,75		8,02		8,24		6,47		8,08	
52	5	11,67	3	8,93		6,71		7,89		8,94		6,56		7,66	
53	4	9,00	3	7,85		5,68			6,52	7,91		6,08			6,83
54	8	20,00	3	8,75		5,74		7,48				6,16		7,32	
55	5	10,33	3	8,15		6,57			5,89	8,12		6,33			6,21
56	5	11,67	3	8,58		6,87		7,76		8,51		6,75		7,54	
57	4	9,00	3	9,03		6,70			6,29	8,99		7,17			6,40
59	5	11,17	3	8,41		6,97			6,98	8,07		6,61			6,95
60	2	4,00	1		6,70		5,29		6,71		6,70		5,22		6,75
61	2	4,00	1		7,47		6,06		7,38		7,26				7,26
63	3	7,75	3	7,37					5,78	7,08					5,63
64	5	12,17	3	9,47		6,42				9,27		6,77		7,91	
65	5	10,83	3	8,45		6,65			6,36	8,27		6,42			6,59
66	5	12,00	3	9,47		7,62		8,27				7,99		8,08	
67	3	7,00	2	8,61			5,30		6,88	8,27			4,92		6,35
68	3	6,50	1		7,18		4,92		6,73		6,83		4,96		6,56
69	5	10,50	3	8,92		7,08			6,83	8,83		7,29			6,39
71	4	9,00	3	8,71		7,88			5,71	8,53		7,90			6,37
73	5	12,67	3	8,78		6,71		7,94		8,44		6,61		8,02	
74	3	6,00	1		7,75		6,05		7,07		7,74		5,05		7,03
76	3	6,00	1		6,22		5,03		7,07		5,84		5,16		7,09

ID	Da	sfa	Dent	ZB11	ZB 51	ZB12	ZB 52	ZB13	ZB 53	ZB21	ZB 61	ZB22	ZB 62	ZB23	ZB 63
77	2	4,00	1		6,55		5,34		6,96		6,54		5,02		7,04
78	2	4,00	1		7,13		5,52		7,64		7,04		5,49		7,53
79	5	12,33	3	8,01		5,90		7,41				5,61		7,03	
80	2	3,00	1		6,65		5,69		6,36		6,77		5,00		6,48
81	4	9,00	3	8,66		6,59				8,71		7,04			6,93
83	5	10,33	3	8,89		7,37		7,21		8,93		7,53		7,07	
84	3	7,50	3	9,62					7,08	9,41					6,97
86	3	6,00	1		6,30		4,85		6,31		6,27		5,03		6,07
87	3	6,50	1		6,44		4,89		6,82		6,63		5,22		6,75
88	2	4,00	1		6,29		4,88		6,35		6,06		4,88		6,27
89	4	9,00	3	8,59		6,18			6,17	8,39					6,07
90	3	7,00	1				5,01		6,79		6,81		5,19		5,99
91	6	15,00	3	8,85		6,63		7,64		8,77		6,39		8,19	
92	2	3,00	1		6,91		5,46		6,57		6,78		5,29		6,56
94	5	12,00	3	8,50		6,57		8,06		8,38		6,43		7,98	
95	6	15,00	3	7,42		6,47		6,81		7,42		6,26		6,88	
104	3	5,75	1		5,51		5,15		6,02		5,89		5,02		6,11
106	3	6,75	2			5,85			6,41	8,92			4,94		3,93
107	3	8,00	3			6,31			6,93	8,68		5,77			7,18
110	1	1,92	1		6,67		5,73		7,26		6,75		5,46		7,28
113	2	4,00	1		6,48		5,16		6,23		6,43		5,26		6,57
114	3	6,50	1		6,20		5,81		6,49		6,29		5,48		6,67
117	6	15,00	3	7,94		6,11		7,65		7,80		6,16		7,50	
119	2	4,50	1		7,08		5,78		7,48		6,69		4,97		7,26
120	3	6,00	1		6,69		5,50		6,51		6,81		5,58		6,46
121	3	6,00	1		6,85		5,36		6,54		6,45		5,48		6,65
122	3	6,50	1		6,50		6,12		6,44		6,49		4,89		6,22
123	3	6,00	1		6,42		5,39		6,47		6,50		5,25		6,39
124	3	6,00	1		6,50		5,08		7,16		6,24		5,24		6,62
125	3	7,00	2	8,22			4,32		5,81		7,66		4,30		5,28
126	3	7,00	3	9,98					7,22	9,75					7,23
127	5	10,00	3	7,71		6,69			5,69	7,78		6,08			
128	3	7,50	2	7,08					6,19	7,25			4,64		6,45
129	5	11,17	3	7,77		5,78				7,73		5,64			
130	4	9,00	3	8,81		6,98				8,83		7,02			
131	5	10,50	3	8,18		7,33			6,37	8,47		7,17			6,76
132	5	12,17	3	8,24		6,94			6,43	8,32		6,76			6,97
133	6	15,00	3	8,68		6,55		7,83		8,61		6,50		7,48	
134	2	4,00	1		6,74		4,98		6,67		6,65		5,54		6,90
136	3	5,25	1		6,63		5,43		6,71		6,66				6,39
137	3	6,00	1		6,50		4,84		6,83		6,14		4,49		7,18
138	2	4,50	1		7,49		5,76		6,65		7,13		5,49		7,13
139	3	7,50	2	7,78			5,06		7,11	7,50			5,16		6,80
142	5	12,67	3	8,14		7,16		7,01		7,96		7,02		7,03	
143	4	9,00	3	8,78		7,23			6,51	8,93		6,79			
144	4	9,00	3	7,76		6,58			7,00	7,69		6,47			6,72
145	5	10,50	3	8,08		6,03						6,36			
149	4	9,00	3	8,53		7,08			6,63	7,92		6,12			6,63
150	2	4,00	1		6,15		5,26		6,50		5,92		5,04		6,60
151	7	18,00	3	7,46		5,26		6,87		7,62		5,43		6,90	
152	5	10,67	3	8,48		7,19		6,90		8,53		6,95		6,93	
156	2	4,00	1		6,10		5,49				6,63		5,33		
157	2	3,00	1		6,64		5,35		6,84		6,62		5,00		6,53
158	2	4,00	1		6,12		4,92		6,08		6,08		4,93		6,13
159	2	3,00	1		6,21		5,49		6,98		6,31		5,33		6,68

ID	Da	sfa	Dent	ZB11	ZB 51	ZB12	ZB 52	ZB13	ZB 53	ZB21	ZB 61	ZB22	ZB 62	ZB23	ZB 63
163	2	4,00	1		6,57		5,34		6,39		6,27		4,89		6,75
164	3	6,00	1		6,53		6,04		6,85		6,47		5,77		6,77
165	3	6,75	2				5,39		7,11	8,64			5,45		7,11
166	3	7,00	2	8,74			5,99		6,84	8,58			6,13		6,66
168	3	8,00	3	8,33		6,90			6,65	8,10		6,72			6,92
169	2	4,00	1		6,61		5,32		6,18		6,63		5,24		6,51
170	3	6,50	1				5,33		6,85		6,08		4,73		6,97
171	2	4,00	1		5,96		5,05		5,68		6,02		4,96		5,78
172	5	11,00	3	9,16		7,08		7,95		8,76		7,35			
173	3	6,00	1		6,78		4,68		6,82		6,99		5,19		6,85
174	3	7,75	3	8,56		6,47			6,14	8,11					6,78
175	1	2,17	1		6,53		5,28		6,41		6,93		5,34		6,48
176	4	9,00	3	9,37		7,41			6,73			7,11			7,00
177	1	2,08	1		6,52		5,52		6,91		6,44		5,54		5,95
178	1	2,00	1				5,15				6,51		5,01		6,31
179	2	4,00	1		6,97		5,40		7,21		6,85		5,45		7,02
180	2	3,00	1		6,53		5,29		6,75		6,43		5,18		6,47
181	1	2,17	1		6,93		5,33		7,06		6,80		5,14		6,96
182	1	2,00	1		6,85		5,05		6,63		6,88		4,98		6,70
183	3	6,50	1		6,24		4,78		5,66				4,89		5,78
184	3	7,50	2	8,60			4,73		6,96	8,76			4,97		6,61
185	2	4,00	1		6,59		5,23		6,83		6,46		5,06		6,48
186	3	6,00	1		6,84		5,63		6,43		6,93		5,24		6,71
187	2	4,00	1		6,69		5,08		6,10		6,32		5,11		6,44
188	5	12,17	3			5,77		6,88				5,91		6,79	
190	3	5,00	1		6,10		5,85		7,22		6,63		5,09		7,35
191	2	3,00	1		6,39		5,18		6,33		6,56		5,03		6,36
192	5	10,17	3	7,83		5,73			6,06	7,52		5,58			6,08
193	5	10,33	3	7,59		5,45			6,29	7,44		5,87			6,33
194	2	4,00	1		6,85		5,03		6,86		6,68		5,08		6,75
195	2	4,00	1		6,49		5,11		6,16		6,28		5,21		6,18
197	4	9,00	3							8,33		6,55			7,22
198	2	3,00	1						6,55		6,45		5,62		6,15
199	2	4,00	1				5,98		7,32				5,09		6,92
200	2	4,00	1		6,58		5,18		6,30		6,31		5,06		6,49
212	2	4,50	1		6,84		5,27		6,26		6,84		5,92		6,30
214	4	9,00	3	8,89		7,34			7,04	8,54		7,01			6,41
215	5	10,67	3	8,64		7,31			6,96	8,73		7,26			6,43
216	2	4,00	1		6,58		5,39		6,58				4,92		6,80
218	5	12,67	3	8,27		6,31		6,92		8,58				7,36	
219	8	20,00	3	8,04		5,76		7,53		7,79		5,57		7,50	
221	4	9,00	3	8,72		6,67			6,89	8,76		6,53			6,98
222	4	9,00	3			6,05			6,49						6,39
223	4	9,00	3			7,30			5,07			7,02			
225	6	15,00	3	8,56		7,10		7,53		8,78		6,80		7,51	
700	4	9,00	3	9,07					6,61	9,32		7,08			
702	4	9,00	3	8,58		7,29			6,34	9,45		7,28			6,12
703	5	11,00	3			7,74			6,22	9,01		7,72			
704	4	9,00	3	7,80		6,34			5,89	8,08		6,58			6,27
705	4	9,00	3	8,48		7,13			6,11	8,28		6,58			6,68
706	5	11,00	3	7,92		6,13			6,11	8,08		6,57			6,28
708	4	9,00	3	7,97		6,10			6,07	8,13		6,24			6,44

L e b e n s l a u f

12.1.1983	geboren als Tochter der Eheleute Heinz Eßer und Ute Eßer, geborene Anlauf, in Köln
1989-1993	Walburgisgrundschule in Werl
1993-2001	Mariengymnasium in Werl
13.6.2001	Abitur
15.10.2001	Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Philippsuniversität Marburg
24.10.2002	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
2004	Zahnärztliche Vorprüfung
6.6.2007	Approbation als Zahnärztin

Meine akademischen Lehrer im Fachbereich Medizin waren die Damen und Herren

in Marburg an der Lahn: Aumüller, Austermann, Barth, Cetin, Coca, Czubayko, Dibbets, Feuser, Flores de Jacoby, Gente, Gudermann, Hochbahn, Höffgen, Koolmann, Lehmann, Lill, Lotzmann, Maier, Mandrek, Mengel, Mittag, Neumüller, Pieper, Radsack, Ramaswamy, Rogausch, Seitz, Sommer, Stachniss, Steiniger, Stelzel, Suske, Umstadt, Wagner, Weihe, Werner

Danksagung

Herrn Professor J.M.H. Dibbets, Leiter der Abteilung für Kieferorthopädie am Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, möchte ich für sein mir entgegengebrachtes Vertrauen bei der Bearbeitung des Themas, sein hohes Engagement, seine Unterstützung bei der Literaturauswahl und vor allem für seine freundschaftliche Betreuung danken.

Herrn Dr. B. Müller, EDV-Beauftragter der kieferorthopädischen Abteilung, verdanke ich Zeichnungen, die Anfertigung der Fotografien, sowie das Einscannen der Röntgenaufnahmen. Darüber hinaus hat er mich in die Grundlagen des Programms SPSS eingeführt.