

**Aus dem medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität
Marburg in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen
und Marburg GmbH,
Standort Marburg**

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann

Abteilung für Kieferorthopädie

Leiter: Prof. Dr. J. M. H. Dibbets

Vertikale Höhe des Nasenbodens im Vergleich zu Basion

**Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin**

**Dem Fachbereich Medizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von**

**Bernhard Christian Buchwald
aus Bremerhaven**

Marburg, 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg am 13.3.2008

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

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

Korreferent: Prof. Dr. M. Gente

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	6
2. MATERIAL UND METHODEN	14
2.1. AUSGANGSMATERIAL	14
2.2. MARBURGER SCHÄDELSAMMLUNG	14
2.2.1. Groninger Messung	15
2.2.2. Daten aus der Arbeit von Mönchmeyer	16
2.3. LONGITUDINALSTUDIE AUS GRONINGEN	19
2.3.1. Groninger Grundschuluntersuchung	19
2.3.2. Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“	20
2.3.3. Datenaufnahme beider Studien	21
2.4. BESCHREIBUNG DES LONGITUDINALEN DATENSATZES	22
2.4.1. Homogenität der Daten	22
2.5. MESSMETHODE UND DATENBEARBEITUNG	26
2.5.1. Methode zur Erstellung der eigenen Messung des vertikalen Abstandes vom Basion zur Ebene des Nasenbodens	26
2.5.2. Übereinstimmung der Literaturdaten	27
2.5.3. Berechnung der Messfehler der ursprünglichen Messungen anhand der neuen Messungen	28
2.5.4. Übernahme und Eingangskontrolle der Daten der Longitudinalstudie aus Groningen	30
2.6. GLÄTTEN DER DATEN AUS DEN GRONINGER LONGITUDINALSTUDIEN	33
2.6.1. Berechnen des individuellen Wachstums	33
2.6.2. Berechnen von Mittelwerten	34
2.7. METHODENFEHLER NACH DAHLBERG	35
2.8. SIGNIFIKANZNIVEAU	35
2.9. BERECHNEN DER GEOMETRISCHEN GEGEBENHEITEN BEI DER ROTATION DES GAUMENS	36
2.9.1. Berechnen der relevanten Strecken und Winkel	37
2.9.2. Konstruktion eines Koordinatensystems	38
2.9.3. Berechnen des Rotationszentrums des harten Gaumens	40
3. ERGEBNISSE	43
3.1. QUERSCHNITTSSTUDIE	43
3.1.1. Vertikaler Abstand von Basion zum harten Gaumen, gemessen anhand der Marburger Schädelammlung	44
3.2. LONGITUDINALSTUDIE GRONINGEN	45
3.2.1. Vergleich der Originaldaten mit den geglätteten Daten	45
3.3. AUSWERTUNG DER INTERPOLIERTEN DATEN	47
3.3.1. Anzahl der Messungen für die jeweiligen Altersklassen	47
3.3.2. Altersverteilung der Angle-Klassen	48
3.3.3. Darstellung des Winkels zwischen den Ebenen Sella-Nasion und harter Gaumen, nach Geschlecht	49
3.4. AUSWERTUNG DER UNTERSUCHTEN STRECKE	50
3.4.1. Senkrechte von Basion auf harter Gaumen, unterteilt nach Geschlecht	50
3.5. EINFLUSS UNTERSCHIEDLICHER FAKTOREN AUF DEN VERTIKALEN ABSTAND VON BASION ZUM HARTEN GAUMEN UND DEN WINKEL ZWISCHEN SELLA-NASION UND HARTER GAUMEN	51
3.6. DARSTELLUNG DER MITTELWERTE DER INDIVIDUELLEN ÄNDERUNG VON BASION AUF HARTER GAUMEN PRO JAHR UND DER SUMMEN DER ÄNDERUNGEN	53
3.7. POSITION DES ROTATIONSZENTRUMS IN RELATION ZU SPINA NASALIS POSTERIOR IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ÄNDERUNG DER STRECKE VON BASION SENKRECHT AUF DEN HARTEN GAUMEN	55
4. DISKUSSION	57
4.1. FEHLERDISKUSSION	57
4.1.1. Fehler beim Messen des Abstands von Basion auf den harten Gaumen bei der Querschnittsstudie	57
4.1.2. Fehler bei Identifizierung der Messpunkte im Fernröntgenseitenbild	58
4.2. DATENAUFBEREITUNG BEI DER LONGITUDINALEN STUDIE	59
4.3. VERGLEICH DER ERGEBNISSE FÜR DEN VERTIKALEN ABSTAND VON BASION ZUM HARTEN GAUMEN ZWISCHEN DER QUERSCHNITTSSTUDIE UND DER LONGITUDINALSTUDIE	60

4.4. STRECKE BASION AUF HARTER GAUMEN (BAL).....	60
4.5. WINKEL SELLA-NASION ZU HARTEM GAUMEN (ASNPP).....	66
4.6. URSACHE DER ÄNDERUNG DER SENKRECHTEN VON BASION AUF DEN HARTEN GAUMEN.....	66
4.7. SCHLUSSFOLGERUNG.....	69
5. ZUSAMMENFASSUNG.....	70
6. ANHANG	71
6.1. DIFFERENZ DER MESSUNG BUCHWALD UND MÖNCHMEYER.....	71
6.2. DIFFERENZ DER MESSUNG BUCHWALD UND GRONINGEN	72
6.3. DIFFERENZ DER MESSUNGEN AUS MARBURG UND GRONINGEN DES VERTIKALEN ABSTANDES VON BASION AUF DIE EBENE DES HARTEN GAUMENS.....	73
6.4. VERGLEICH DES WINKELS ZWISCHEN DEN EBENEN SELLA-NASION UND HARTER GAUMEN DER ORIGINALDATEN MIT DEN INTERPOLIERTEN DATEN.....	74
6.5. WINKEL ZWISCHEN DER CLIVUSEBENE UND DER EBENE DES HARTEN GAUMENS IN ABHÄNGIGKEIT VOM ALTER (ORIGINALDATENSATZ).....	76
6.6. MITTELWERTE DER SENKRECHTEN VON BASION AUF HARTER GAUMEN (BAL), UNTERTEILT NACH GESCHLECHT.....	77
6.7. MITTELWERTE DES WINKELS SELLA-NASION ZU HARTER GAUMEN, UNTERTEILT NACH GESCHLECHT .	78
6.8. INTERPRETATION DER AUSREISSER	79
7. LITERATURVERZEICHNIS	86
8. LEBENSLAUF.....	93
9. EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	95

1. Einleitung

In der Kieferorthopädie sind Wachstumsanalysen von entscheidender Bedeutung für die Behandlungsplanung. Diese beziehen sich auf Wachstumszeitpunkt, Wachstumsrichtung und Wachstumspotential.

Kein anderer Knochen des menschlichen Skeletts dient so vielen Funktionen wie die Maxilla: Sehen, Atmen, Riechen und Schlucken sind mit diesem Körperteil verbunden.

Die Vorhersage des Wachstum der Maxilla im Gesichtschädel und der damit verbundenen Lageänderung ist ein wichtiges „Instrument“ der Kieferorthopädie. Die Behandlungsplanung baut im Wesentlichen auf dieser Prognose auf.

Je exakter der Kieferorthopäde über diese Faktoren informiert ist, desto genauer kann er die Behandlung durchführen und das gewünscht Ergebnis erzielen.

Das Wachstum ist abhängig von vielen unterschiedlichen Faktoren, u.a. der genetischen Anlage und umweltbedingten Einflüssen. Diese Faktoren führen zu einem Wachstum, das möglichst exakt bestimmt werden soll.

Der Kieferorthopäde steuert das Wachstum in eine Ausrichtung, um die Morphologie dem Behandlungsziel anzugleichen. Dabei benötigt er Angaben über den Zeitpunkt, wann das größte Wachstum auftritt mit der dazugehörigen voraussichtlichen Richtung und Potential.

Broadbent (1931) und Hofrath (1931) haben unabhängig voneinander mit der Erfindung des Kephalostaten ein wichtiges Instrument zur Erforschung des Schädelwachstums geschaffen. Im Gegensatz zu den zu dieser Zeit bereits vorhandenen Schädelansammlungen wurde es möglich, die individuellen Wachstumsvorgänge am Lebenden anhand von Fernröntgenseitenbildern darzustellen. So wurden Longitudinalstudien auf diesem Gebiet möglich, die klare Vorteile gegenüber Querschnittsstudien besitzen.

Durch Überlagerung der Durchzeichnungen dieser Röntgenaufnahmen auf bestimmte Referenzpunkte, wie die Sella-Nasion-Ebene, konnte die Lageänderung der umgebenden röntgenologischen Messpunkte dargestellt

werden. Eine Aussage über die Art des Wachstums, die zu dieser Lageänderung führte, konnte so allerdings nicht erfolgen. Anhand der Röntgenbilder ist es ohne Hilfsmittel nicht möglich zu bestimmen, ob die Distanzänderung zwischen Sella-Nasion und Palatal Plane durch Knochenremodeling, Relocation, suturales Wachstum, enchondrales Wachstum, Displacement oder durch Drift entsteht. Auf diese Weise kann keine Aussage gemacht werden, welcher der oben genannten Vorgänge in welchem Maße, an welcher Position zu dieser Distanzänderung beitragen. Es fehlen natürliche Referenzpunkte im Röntgenbild, deren Lage durch Wachstumsvorgänge nicht verändert wird.

Das Wachstum konnte außerdem durch sukzessive Vitalfärbungen bei Tieren und anschließende histologische Untersuchung bestimmt werden. Dies ist allerdings nur durch Gewinnung von histologischem Probenmaterial möglich. Deshalb wurden diese Versuche ausschließlich bei Tieren durchgeführt. Melsen (1982) war lediglich in der Lage, histologisches Probenmaterial der menschlichen Schädelbasis ohne Vitalfärbungen zu untersuchen.

Diese Techniken waren die Grundlage für später folgende Wachstumstheorien.

Enlow und Hans (1996) beschreiben verschiedene Wachstumsmechanismen, die zu Veränderungen der Morphologie des Knochens führen. „Remodeling“ bezeichnet laut Enlows Terminologie den Umbau des Knochens durch appositionelle und resorptive Felder. Dies kann an allen Knochenoberflächen stattfinden. Es dient vor allem dazu, die Form der Knochen bei Vergrößerung beizubehalten.

„Displacement“ beschreibt die Lageänderung eines Knochens. Je nach Ursache werden ein primäres und ein sekundäres Displacement unterschieden. Beim primären Displacement ändert der Knochen durch eigenes Wachstum seine Lage. Beim sekundären Displacement ist die Ursache Wachstum angrenzender Knochen.

„Relocation“ bedeutet, dass eine bestimmte anatomische Struktur innerhalb eines Knochens durch Remodeling an eine andere Position verlagert wird, z.B. Ramus und Corpus.

Auch das Wachstum des nasomaxillären Komplexes hat Enlow im Einzelnen beschrieben.

Es ergab sich ein komplexes Wachstumsmuster, bei dem die einzelnen Strukturen der Maxilla unterschieden werden müssen. Posterior im Bereich des Tubers kommt es zu Apposition, um das Displacement nach anterior auszugleichen. In Ihrer Wachstumsbeschreibung der Maxilla führen Enlow und Hans (1996) aus, dass bei der Maxilla nicht verallgemeinernd von einem Wachstum „nach vorne und unten“ gesprochen werden darf.

Nach kranial grenzt der untersuchte Komplex an die vordere Schädelbasis und ist durch Suturen mit dieser verbunden. Nach dorsal gibt es eine knöcherne Begrenzung in Form der Pterygoidflügel.

Die vordere Schädelbasis ist durch die Sutura spheno-ethmoidalis wiederum mit der mittleren Schädelbasis verbunden, deren Hauptbestandteil, der Clivus, durch die Synchondrosis spheno-occipitalis unterteilt ist.

Die angegebenen Strukturen und das Oberflächenremodeling der beteiligten Strukturen verursachen das Wachstum des Gesichtsschädels.

Die Strukturen der Maxilla mit Ausnahme der Orbita wachsen während der Kindheit enorm. Bei einem Neugeborenen befindet sich die Nasenhöhle teilweise noch zwischen den Augen, der Nasenboden befindet sich nahe am Orbitaboden und die Zähne sind nur als Keime vorhanden. Der Gesichtsschädel ist im Vergleich zum Gehirnschädel viel kleiner.

Während des Wachstums ändern sämtliche Strukturen des Schädels ihre Größe und ihre Lage zueinander, so dass es nicht möglich ist, eine konstante Struktur im Schädel zu bestimmen, von deren Position aus das Wachstum des Gesichtsschädels beschrieben werden kann. Der Gesamteindruck deutet auf eine starke Vergrößerung der gesamten Maxilla hin mit relativ kleinen Änderungen in der Form ausgenommen Veränderungen in der sagittalen Ebene. In bisherigen Studien wurde hauptsächlich die Lage des nasomaxillären Komplexes gegenüber der vorderen Schädelbasis untersucht. Die Lage dieser knöchernen Struktur im Fernröntgenseitenbild ist durch die röntgenologischen Referenzpunkte Sella und Nasion definiert.

Dabei wird vorausgesetzt dass sich diese Punkte zum Überlagern der Durchzeichnungen eignen, um Wachstum darzustellen.

Coben (1998) schreibt allerdings, dass Überlagerungen auf der Sella-Nasion Ebene missinterpretiert werden und zu falschen Vorstellungen über das Wachstums führen.

Brodie (1941) nutzte für Überlagerungen eine Ebene, die durch die Punkte Sella und Nasion definiert ist, nur um eine Ebene als Grundlage für seine Beschreibungen des Wachstums zu erhalten. Er behauptete nicht, dass diese Ebene konstant sei. In den folgenden Jahren, als man begann, das Fernröntgenseitenbild auch in der Praxis zu nutzen, wurden die Veröffentlichungen von Brodie allgemein übernommen. Es wurde ein Wachstum beschrieben, das von der Ebene Sella-Nasion nach ventral kaudal verläuft, so dass der harte Gaumen stark nach kaudal absinkt.

Bei Überlagerungen auf Basion parallel zu Sella-Nasion hingegen ändert der harte Gaumen seine Lage kaum.

Dies wird deutlich anhand der folgenden Abbildungen, 1 und 2.

Die Abbildung 1 zeigt eine Überlagerung der FRS-Durchzeichnungen auf die Ebene Sella-Nasion. Es zeigt sich, dass der harte Gaumen seine Lage nach kaudal ändert.

Die Abbildung 2 hingegen verdeutlicht, wie das Wachstum bei Überlagerung auf die Ebene des Foramen magnum abläuft.

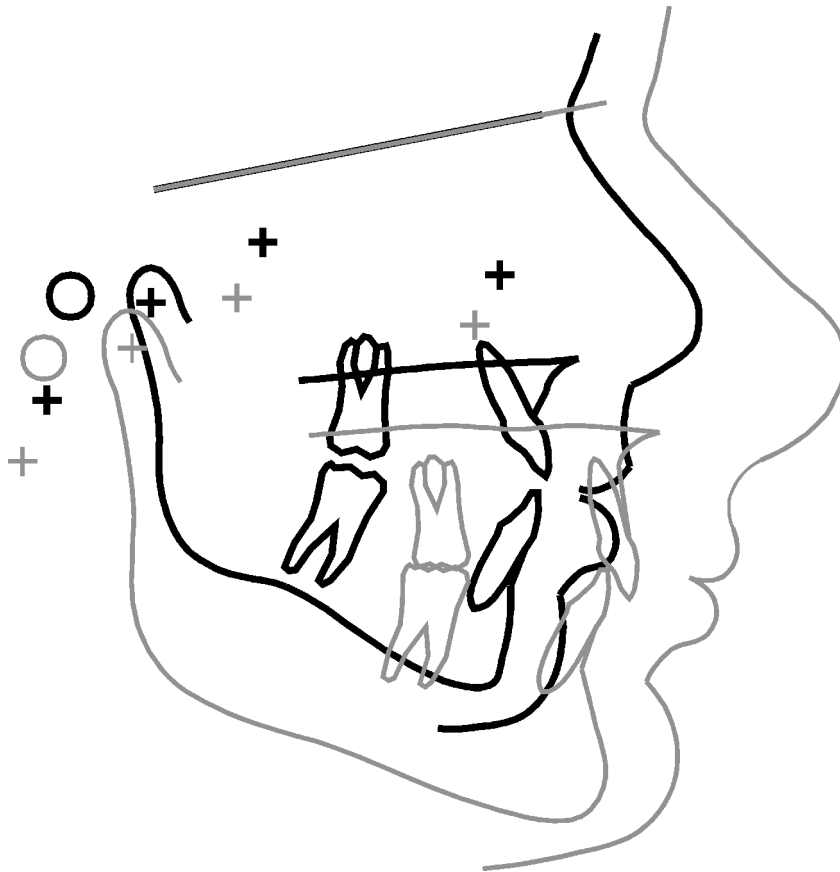


Abbildung 1: Überlagerung auf Sella-Nasion

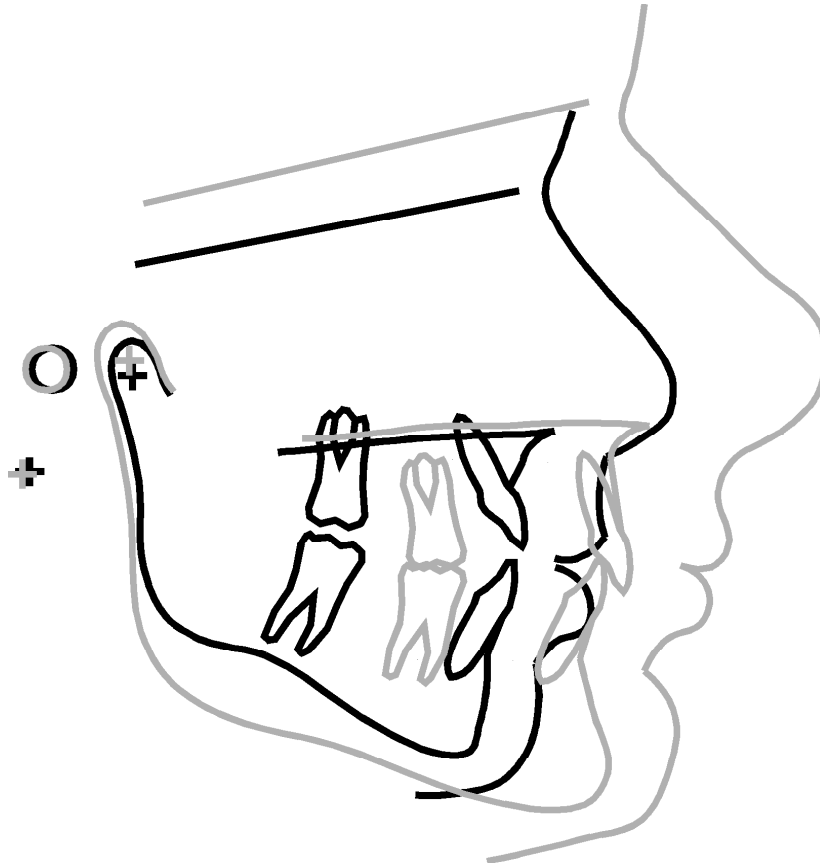


Abbildung 2: Überlagerung auf Basion und SNP

Brodie (1941) beschrieb mithilfe der Überlagerung auf Sella-Nasion das Wachstum im Verhältnis zur vorderen Schädelbasis. Die Schädelbasis kann laut Brodie aber nicht als konstante Referenzstruktur betrachtet werden.

Man geht trotzdem davon aus, dass sich die Lage dieser Punkte nicht weiter ändert, da auch die darüberliegenden Anteile des Gehirns ihr Wachstum bereits in frühen Jahren abschließen. Björk und Skieller (1977) geben an, dass ein Displacement der Maxilla mithilfe der Sella-Nasion-Ebene und den heute verwendeten Winkelmessungen nicht beschrieben werden kann, weil Nasion genau wie die Maxilla in Referenz zur de Coster-Linie aufgrund des Wachstums der Sinus frontalis nach anterior und kaudal „relocated“ wird. Sella wird gleichzeitig nach dorsal „remodeled“.

Trotz allem hat die Ebene Sella-Nasion sich durchgesetzt.

Für die Auswertung der hier vorliegenden Untersuchung wurden die Punkte Sella und Nasion bewusst nicht genutzt. Lediglich Spina nasalis anterior und posterior, zwei Referenzpunkte an der Basis des nasomaxillären Komplexes, die den harten Gaumen begrenzen, und Basion, ein Referenzpunkt am vorderen Rand des Foramen magnum, wurden auf ihre Relation zueinander untersucht. Zusätzlich wurde der Winkel zwischen Sella-Basion und Spina nasalis anterior zu Spina nasalis posterior untersucht.

Die Relation dieser zwei Knochenstrukturen wird so unabhängig von der Sella-Nasion Linie beschrieben.

Björk (1964) setzte kleine Implantate bei Kindern ein und führte jährliche Röntgenuntersuchungen zwischen dem 4. und 21. Lebensjahr durch. Die Implantate dienten als Referenzpunkte zum Überlagern, da sie ihre Lage durch Veränderungen im Knochen nicht ändern und ihre Position konstant bleibt, weil sie nicht desmodontal sondern durch Osseointegration im Knochen verankert sind. Diese Methode ermöglichte es Björk, zwischen den einzelnen Wachstumsarten zu unterscheiden und diese zu quantifizieren.

Die Untersuchungen ergaben, dass sich die vertikale Gesichtshöhe der Maxilla, gemessen zwischen Nasion und SNA bei Jungen durch Apposition innerhalb ihrer Suturen um 10,4 mm vergrößert.

Nach kaudal gerichtetes Remodelling des harten Gaumens führte zu einer Zunahme der vertikalen Höhe um 4,2 mm, so dass die vertikale Gesichtshöhe insgesamt 14,6 mm verlängert wird (Björk und Skieller 1976).

Wenn die angrenzenden Strukturen der vorderen Schädelbasis als konstant anzusehen sind, würde das bedeuten, dass die gemessene Streckenänderung auch gegenüber Basion zu erkennen sein müsste. Dies wurde allerdings nicht untersucht.

Das führt zu der Diskussion, ob Wachstum in der Synchronosis sphenoccipitalis das vertikale Wachstum der Maxilla ausgleicht, damit der harte Gaumen auf einer Ebene mit der hinteren Schädelbasis bleibt.

Auch Iseri und Solow (1995) haben bei Mädchen anhand der Implantate das Wachstum der Maxilla und speziell des harten Gaumens untersucht.

Sie geben an, dass der harte Gaumen innerhalb der Maxilla nach dorsal rotiert, die Maxilla jedoch wiederum nach anterior rotiert, so dass der harte Gaumen letztendlich 1° nach dorsal in Relation zu Sella rotiert.

Auch Baumrind (1987) untersucht das Wachstum des harten Gaumens im Vergleich zur Implantatlinie und konnte keine eindeutige Rotationsrichtung des harten Gaumens innerhalb der Maxilla feststellen. Er beschreibt eine hohe Standardabweichung bei der Lageänderung der Referenzpunkte Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior gegenüber den Implantaten. Vor allem der anteriore Punkt streut stark und kann sogar nach kranial verlagert werden.

Coben (1995) geht davon aus, dass die Synchronosis sphenoccipitalis die Höhe des Gesichts und die Stellung der Zähne beeinflusst. Er empfiehlt, die Durchzeichnungen auf Basion parallel zur Ebene Sella-Nasion zu überlagern, um Wachstum zu beschreiben. Das führt dazu, dass die vordere Gesichtshöhe nicht nach unten vorne sondern nach oben vorne zu wachsen scheint, wenn man im Verhältnis zum Foramen magnum und nicht zur vorderen Schädelbasis das Wachstum beschreibt.

Dies deutet darauf hin, dass der harte Gaumen seine Position zu Basion nur wenig ändert. Diese These wird auch von Broseghini (2004) unterstützt.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die vertikale Lage des harten Gaumens während des Wachstums im Verhältnis zu Basion exakter zu beschreiben, um eventuelle Gesetzmäßigkeiten zu erkennen.

Ansatz ist die Aussage von Björk und Skieller (1976), dass die vertikale Gesichtshöhe zwischen Sella und SNA insgesamt um 14,6 mm zunimmt. Ob sich die Distanz zwischen Basion und dem harten Gaumen ähnlich verhält, gilt es zu klären.

2. Material und Methoden

2.1. Ausgangsmaterial

Die folgende Untersuchung wurde anhand einer Querschnittsstudie der menschlichen Schädelammlung der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätsklinik Marburg und anhand einer von der Universität Groningen an Kindern einer Groninger Grundschule durchgeführten Longitudinalstudie durchgeführt.

2.2. Marburger Schädelammlung

Diese Schädel stammen vom indischen Kontinent, wobei die genaue Herkunft nicht bekannt ist. Die Sammlung wird als repräsentativ für den europäischen Gesichtstyp angesehen.

Sie wurden von der Firma Killgor, Michigan im Zeitraum von 1975 bis 1985 für die kieferorthopädische Abteilung der Groninger Klinik gekauft.

Die Abteilung wurde 1990 geschlossen und Prof. Dr. J.M.H. Dibbets, damals Leiter der Abteilung erwarb die Schädel inkl. Röntgenbilder.

Im Jahr 2007 sind die Schädel von der Kieferorthopädischen Abteilung der Groninger Klinik zurückgekauft worden.

Ursprünglich umfasste die Sammlung 236 Schädel. Jeder Schädel und der dazugehörige Datensatz ist mit einer eindeutigen Identifikationsnummer (ID) versehen.

Die Schädel wurden 1994 vom Giessener Anthropologen Prof. Kunter auf ihr Geschlecht untersucht.

Durch den Einfluss von Sexualhormonen werden bestimmte Schädelknochen in ihrer Ausprägung unterschiedlich beeinflusst. Aus diesem Grund ist eine geschlechterspezifische Unterscheidung bei Jungen erst mit 12 bis 14 Jahren und bei Mädchen bereits mit 10 bis 12 Jahren möglich. (Behrents 1985).

Folgende Knochenstrukturen werden unterschiedlich ausgeprägt:

- Oberer Orbitarand
- Stirnhöhle
- Nasenbein

- Wangenknochen
- Unterkiefersymphyse
- Unterkieferwinkel
- Kondylen des Hinterhauptbeins
- Mastoidfortsatz
- Aufwölbung am Hinterhauptbein

Von den Schädeln sind der Schädeltyp, eingeteilt nach fetal, klein und groß, das Geschlecht, das dentale Alter und das Step-Funktion-Alter („sfa“) bekannt.

Das „sfa“ wurde von Greiner (2000) nach der in Marburg angewandten Methode (Dibbets 2006) ermittelt. Diese Angaben wurden in der Arbeit übernommen.

Auswahlkriterien für die Untersuchung waren, dass der Schädel weder gesprengt, noch in den zu untersuchenden Bereichen zerstört ist.

Außerdem konnten die Schädel nicht vermessen werden, bei denen die Messgabel aufgrund der Breite nicht auf den Nasenboden aufgesetzt werden kann.

Es konnten schließlich 172 Schädel, nach Geschlecht unterteilt vermessen werden. Dabei gab es 28 männliche, 20 weibliche und 124 Schädel, bei denen das Geschlecht nicht bestimmt werden konnte.

Der vertikale Abstand des Basions zum Nasenboden wurde bereits im Rahmen einer Studienarbeit von Studenten der Universität Groningen sowie in einer in Marburg angefertigten Doktorarbeit (Mönchmeyer 2006) vermessen.

Alle Messungen wurden mit Hilfe der in Kapitel 2.5.1. beschriebenen Messgabel durchgeführt.

2.2.1. Groninger Messung

Von den 236 Schädeln der Sammlung wurden bei 152 geeigneten Schädeln der vertikale Abstand von Basion zur verlängerten Ebene des Nasenboden

mit Hilfe der Messgabel vermessen (s. Abbildung 6 und Abbildung 7). Messungen des vertikalen Abstandes, die nicht durchgeführt werden konnten, gaben die Groninger Wissenschaftler mit dem Wert 0 mm an. Eine Überprüfung der Messbarkeit an den Schädeln bestätigt dies.

Messbare Werte, die auf der Skala der Messgabel den Wert 0 ergeben, wurden von den Groninger Wissenschaftlern mit 0,1 mm angegeben, um sie von den nicht messbaren Werten zu unterscheiden.

Massgeblich hierfür ist die Tatsache, dass die Skala nur in 1 mm Schritten unterteilt ist und visuell abgelesen wird.

Diese mit 0,1 mm angegebenen Werte wurden nachgemessen, als 0 identifiziert und ausgewertet.

Ausschlaggebend hierfür ist vermutlich, dass die Messdatei mehrmals in verschiedene Dateiformate umgewandelt wurde, die jeweils ein anderes Format für nicht vorhandene Messwerte verwendeten.

Allerdings wurden die Vorzeichen invers gewählt, so dass die Messung der Universität Groningen im Vorzeichen gewechselt wurde, um sie mit der Marburger Messung zu vergleichen.

Ein positives Vorzeichen bedeutet, dass Basion gegenüber der Ebene des Nasenbodens kaudal liegt.

2.2.2. Daten aus der Arbeit von Mönchmeyer

Die Daten wurden aus der Studie von Mönchmeyer (2006) als Excel-Datei zur Verfügung gestellt. In den Dateien sind jeweils Schädelnummer, Geschlecht, Schädeltyp, unterteilt nach fetal, groß und klein und Angle-Klasse aufgeführt. Außerdem ist das von Greiner (2000) bestimmte „Step-Function-Alter“ angegeben.

Dabei wird die Gebissentwicklung in 5 Phasen unterteilt. Jede Phase dauert 2,5 Jahre (Dibbets 2006).

Tabelle 1: Phasen der Gebissentwicklung

Milchzahndurchbruch	0,0 - 2,5	Jahre (Beginn mit 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 Beginn des Milchzahndurchbruchs erfolgt nicht von Geburt an, sondern wie allgemein bekannt, vom 6. Lebensmonat an (Lysell et al. 1962).

Aufgrund der geschlechtsspezifischen Entwicklung muss ab dem 10. Lebensjahr die Reifedifferenz zwischen beiden Geschlechtern berücksichtigt werden.

Deswegen liegt der Zeitraum der zweiten Wechselphase bei Mädchen zwischen 9,5 und 12 Jahren, bei Jungen zwischen 10,5 und 13 Jahren.

In der vorliegenden Studie blieb die Reifedifferenz unberücksichtigt, weil die geschlechtsspezifischen Unterschiede anhand der Schädel erst zu einem altersmäßig späteren Zeitpunkt hätten festgestellt werden können.

Außerdem wurde eine Abweichung vom 2,5 Jahres-Rhythmus in der 1. Wechselphase zugunsten der 2. Ruhephase vorgenommen, weil erfahrungsgemäß die 1. Wechselphase länger dauert.

Festgestellt wurde zusätzlich, dass während eines bestimmten Zeitintervalls die Zähne in einem regelmäßigen Rhythmus durchbrechen. Dies kann auch als lineare Funktion dargestellt werden, die sich allerdings für die jeweilige Wechselphase in der Steigung unterscheidet.

Davon ausgehend wird in der Marburger Klinik zusätzlich zum oben angegebenen 2,5 Jahres Rhythmus noch die „Step-Function“ angewendet.

Zum Ausgangsalter einer bestimmten Phase der Gebissentwicklung wird pro durchgebrochenem Zahn eine bestimmte Anzahl von Monaten hinzugerechnet,

Die pro Zahn zu addierende Anzahl an Monaten wird ermittelt, indem die Anzahl der zu erwartenden Zähne der Entwicklungsphase durch die Dauer

der Phase geteilt wird. Ein Zahn gilt als durchgebrochen, sobald er in der Mundhöhle sichtbar ist.

Das Lebensalter des jüngsten Schädels lag laut „Step-Function“ bei 0,5 Jahren.

Es wurde eine Gruppe erstellt, die alle Schädel, deren Lebensalter aufgrund Abrasion und horizontalem Knochenabbau auf mehr als 30 Jahren geschätzt wurden, zusammenfasst. Für diese Gruppe wurde in der Auswertung ein Durchschnittsalter von 30 Jahren angenommen (Greiner 2000).

2.3. Longitudinalstudie aus Groningen

Diese Studie bezieht sich auf Serien von Fernröntgenseitenbildern ausgewählter Patienten, die longitudinal untersucht wurden.

Die Daten wurden in zwei unterschiedlichen longitudinalen Studien gewonnen:

- Groninger Grundschuluntersuchung
- Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“

Grundsätzlich sollte jedes Jahr ein Fernröntgenseitenbild des jeweiligen Probanden erstellt werden.

2.3.1. Groninger Grundschuluntersuchung

Es wurden 181 Kinder als geeignet ausgewählt, von denen insgesamt 1237 Röntgenbilder erstellt wurden.

Die Grundschulkinder wurden nach kieferorthopädischen Gesichtspunkten sortiert, so dass in dem untersuchten Pool eine leicht abweichende Verteilung in der Gebissanomalie vorliegt.

Das Vorkommen von Klasse II und Klasse III Anomalien ist nivelliert worden. Dies erreichte man, indem die Anzahl an Klasse III Anomalien gezielt angehoben wurde.

Außerdem entfernte man gehäuft auftretende Klasse II Anomalien aus dem Pool.

Ausgeschlossen wurden kieferorthopädisch behandelte Kinder und unbrauchbare Röntgenaufnahmen.

Die Probanden waren alle niederländischen Ursprungs und stammten aus einer zu dieser Zeit homogenen Population. Da es sich um mehrere Grundschulen handelte, wurde angenommen, dass diese Population die soziale Struktur widerspiegeln.

Die Untersuchung begann am 11.12.1950 und endete am 23.1.1976. Der jüngste Proband war während der ersten Aufnahme 6,1 Jahre alt, der älteste Proband 8,9 Jahre. Das mediane Alter zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme betrug 6,8 Jahre.

Das Höchstalter lag bei 32,0 Jahren.

2.3.2. Forschungsprojekt Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“

1965 wurde an den gleichen Grundschulen eine Studie an Schülern mit Klasse I Profil durchgeführt. Es wurden 51 Kinder ausgewählt, von denen insgesamt 293 Röntgenbilder erstellt wurden.

Die Anzahl der erstellten Bilder lag zwischen 1 und maximal 8 Bildern.

Die Untersuchung begann am 16.2.1960 und endete am 6.5.1980.

Der jüngste Proband war während der ersten Aufnahme 7,0 Jahre alt, der Älteste 14,2 Jahre.

Das mediane Alter lag bei 11,9 Jahren.

Das Höchstalter lag bei 28,3 Jahren.

Ausschlusskriterien waren folgende Bedingungen:

- Keine Kieferorthopädische Behandlung der Probanden
- Neutralbisslage und Klasse I Profil
- Neutralokklusion
- Ausreichende apikale Basis und damit kein Stützzonenverlust oder Einengung durch Karies
- Kein Frontengstand

Diese Bedingungen wurden während der ersten Untersuchung visuell überprüft.

2.3.3. Datenaufnahme beider Studien

Die Durchzeichnung aller Röntgenbilder erfolgte durch Dibbets. Es wurden 47 Kephalometrische Markierungspunkte von ihm definiert, die für die Eingabe der Durchzeichnungen am PC benutzt wurden.

Der gesamte Datensatz umfasst 1538 Röntgenbilder.

Dieser enthält Fehlstellen, die durch auf den Röntgenbildern nicht eindeutig lokalisierbare Markierungspunkte, die nicht übertragen werden konnten, entstanden sind.

Fehlende Werte kamen auch durch unregelmäßige Teilnahme der Probanden an der Messreihe und durch unbrauchbare Röntgenbilder zustande.

Außerdem wurden einige Durchzeichnungen, die Ausreisser ergaben, nach visueller Überprüfung für fehlerhaft befunden und aussortiert

(s. Anhang 6.8.)

2.4. Beschreibung des longitudinalen Datensatzes

2.4.1. Homogenität der Daten

Abbildung 3: Homogenität der Daten I

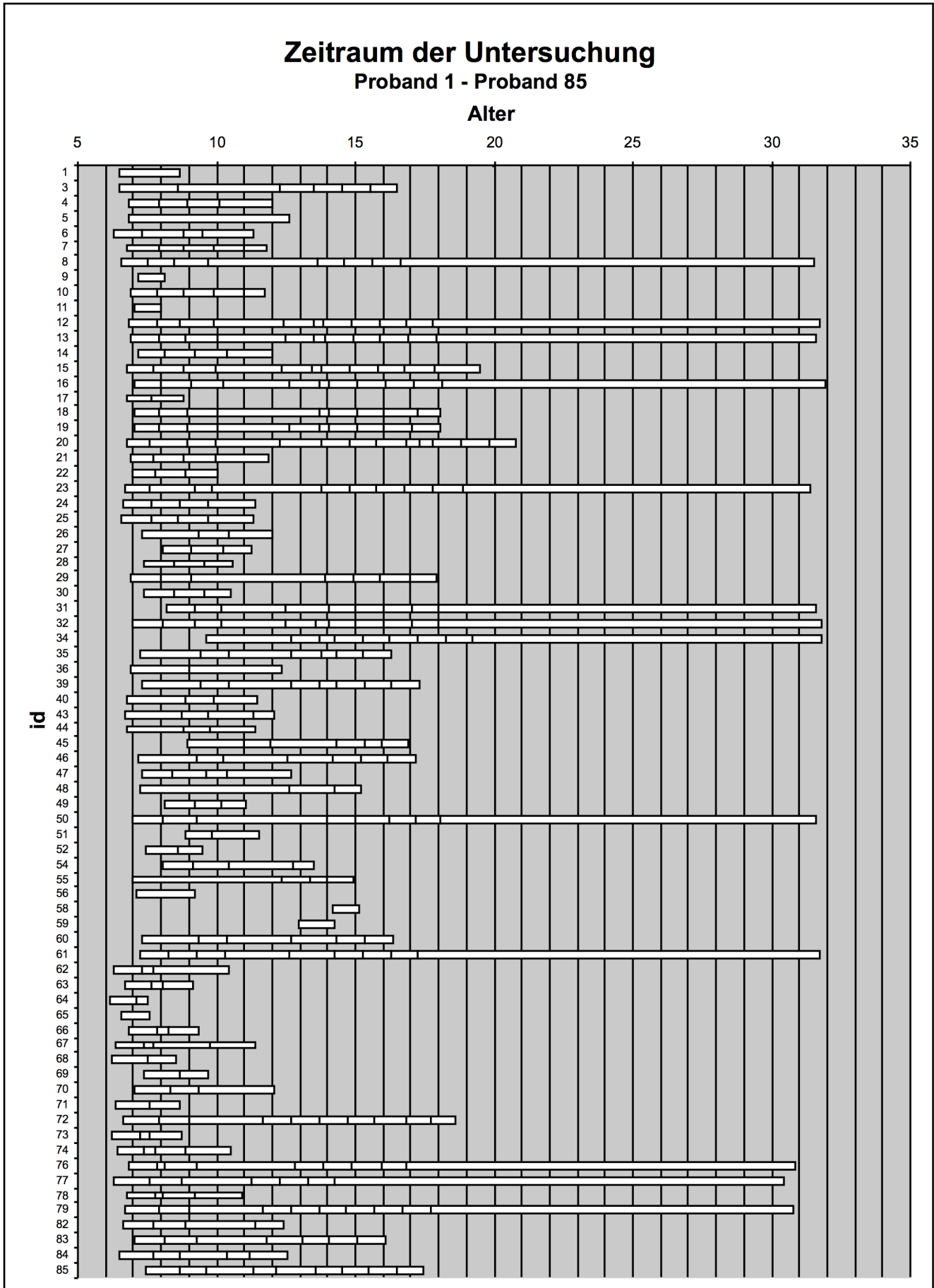


Abbildung 4: Homogenität der Daten II

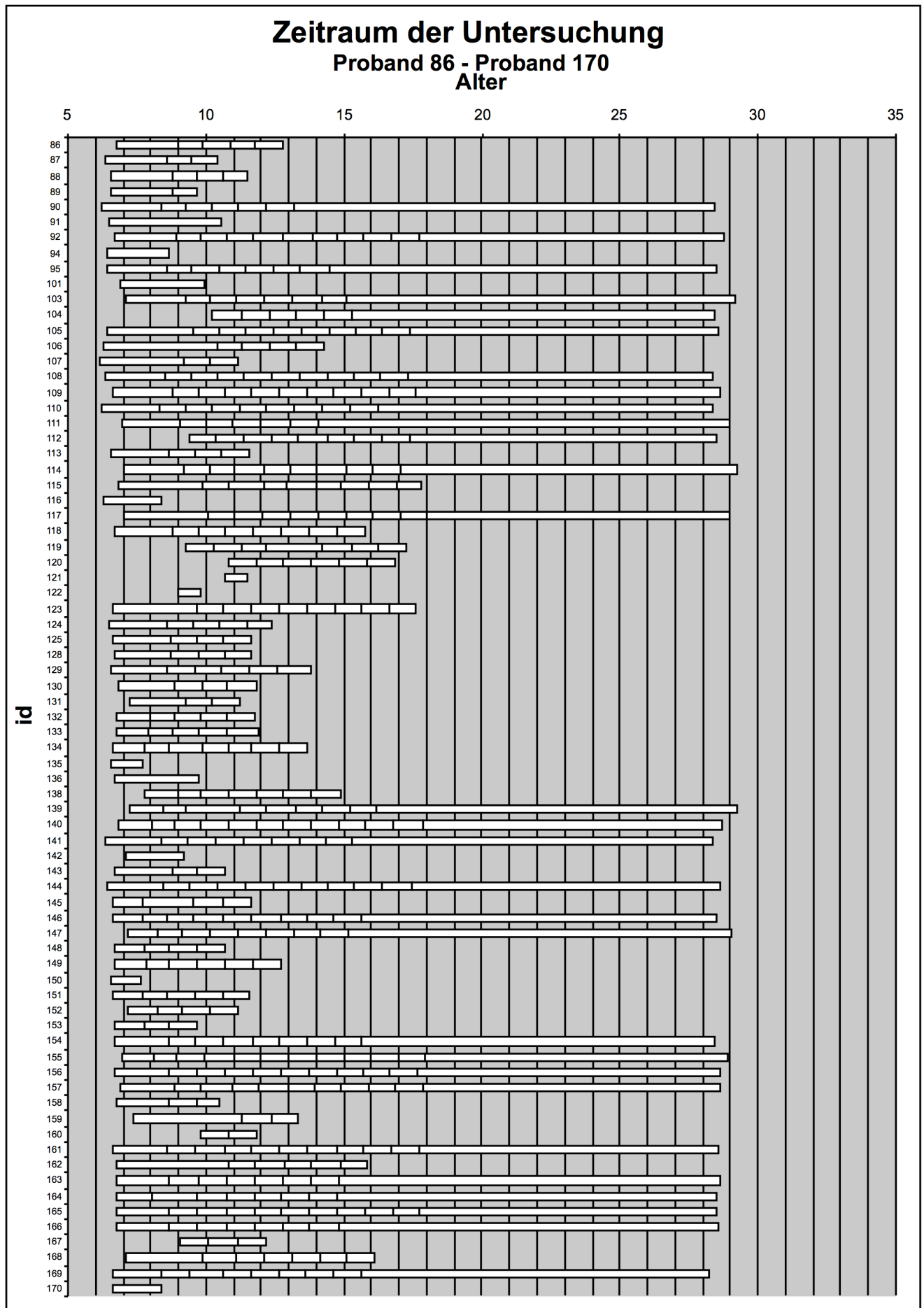
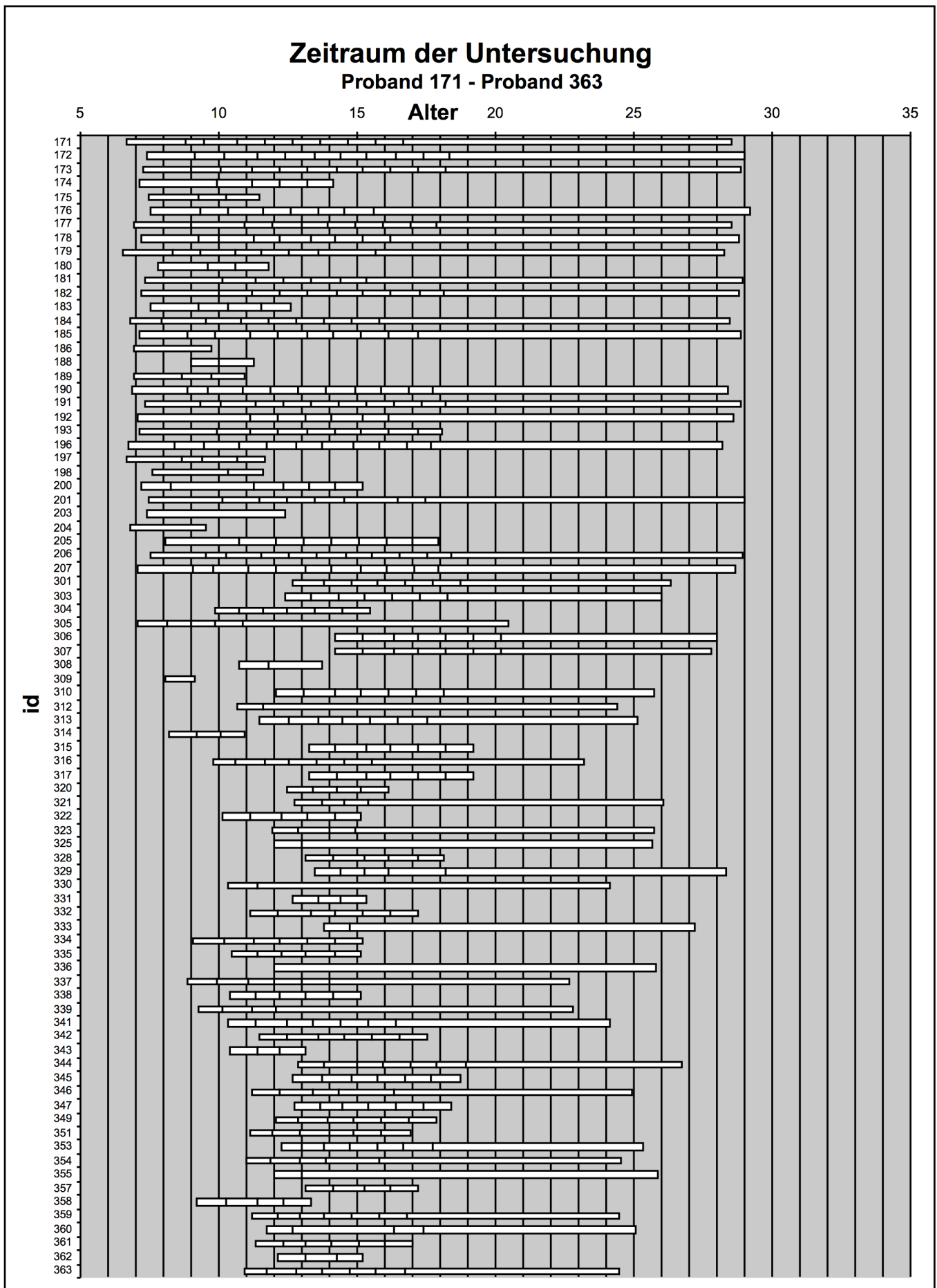


Abbildung 5: Homogenität der Daten III



Die dargestellten Diagramme geben für jeden Probanden den Untersuchungszeitraum an. Auf der Y-Achse sind die Probandennummern angegeben. Die jeweilige Linie beginnt zum Zeitpunkt der ersten Messung. Für die weiteren Untersuchungen sind Querstriche eingezogen. Das Ende der Linie gibt den Zeitpunkt der letzten Untersuchung wieder.

Die Identifikationsnummern kleiner 300 stellen die Grundschuluntersuchung dar. Diese Probanden wurden im Alter von ungefähr 30 Jahren ein letztes Mal untersucht.

Die Identifikationsnummern ab 300 stellen die Klasse I Studie dar. Es ist zu erkennen, dass diese Messungen später begonnen wurden.

Im Alter von 12 Jahren ist ein großer Anteil an Messreihen beendet.

2.5. Messmethode und Datenbearbeitung

2.5.1. Methode zur Erstellung der eigenen Messung des vertikalen Abstandes vom Basion zur Ebene des Nasenbodens

Die Schädel wurden von kaudal mit Hilfe einer speziellen Messapparatur, entwickelt von der Universität Groningen, vermessen (s. Abb. 6 + 7).

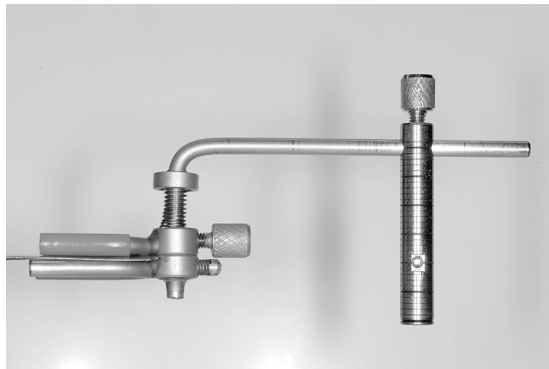


Abbildung 6: Messgabel

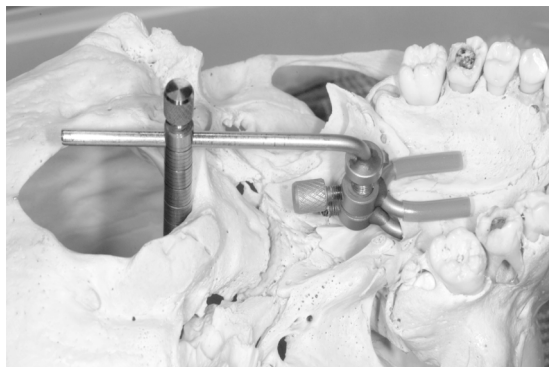


Abbildung 7: Verwenden der Messgabel in situ

Vor dem Aufsetzen auf das Gaumendach wurde die obere Messgabel aufgezogen und justiert, so dass diese von posterior auf das Gaumendach aufgesetzt werden konnte. Dabei ist darauf geachtet worden, dass die Gabel mittig über der medianen Sutur positioniert war. Während dieses Schrittes war der Messstab mit der Skala nicht fixiert, so dass das Aufschieben nicht behindert wurde.

Das Gerät wurde soweit wie möglich auf den Nasenboden aufgeschoben, wobei darauf geachtet wurde, dass die Schweißnähte der Gabel nicht in Kontakt zum hinteren Rand des Nasenbodens stehen, um ein Verkeilen und somit falsche Messwerte zu vermeiden.

Die Position wird durch die untere Gabel, die fest mit der Apparatur verschweißt ist, definiert. Die obere Gabel dient lediglich dazu, die Gabel auf dem Gaumendach zu fixieren.

Wenn die Stellung der Gabel keine fixe Positionierung am Schädel erlaubte, wurde der Vorgang erneut begonnen, um eine eindeutigere Position zu finden.

Aufgrund unebener Knochenformen, Knochenvorsprüngen und der unteren Nasenmuscheln, die eine vollständige Positionierung verhinderten, konnte nicht bei allen Schädeln eine exakte Position reproduziert werden. In diesen Fällen wurde die objektiv beste Position gewählt.

Anschließend wurde der Messstab im Foramen magnum bis zum anterioren Rand vorgeschoben. Das Basion als tiefster hinterster Punkt in der Medianebene am Foramen magnum wurde mit einem Minenbleistift markiert und die Höhe der Markierung an der Skala des Messstabes abgelesen. Die Skala des Messstabes reicht von +12 mm bis –18 mm.

Dabei wurde die Gabel in der Medianebene ausgerichtet.

Bei einem zum Nasenboden kranial gelegenen Basion wurde dieser Wert als positiv dokumentiert.

Alle Schädel wurden doppelt vermessen und sodann der Mittelwert dieser zwei Messungen berechnet. Es wurden drei Schädel nacheinander einmal gemessen; dann wurde wieder beim ersten der drei Schädel mit der zweiten Messung fortgefahren. Bei den Untersuchungen von Mönchmeyer und aus Groningen wurde eine einfache Messung durchgeführt.

2.5.2. Übereinstimmung der Literaturdaten

Nach Schädelnummern sortiert wurde die Differenz der Messungen der Studienarbeit aus Groningen und der in Marburg angefertigten Studie für die jeweiligen Schädel gebildet (s. Anhang 6.3.).

Da die Messungen aus Groningen und Marburg nicht exakt die gleichen Schädel enthalten, konnten nur die Differenzen von 152 Schädeln verglichen werden. Einige Schädel wurden in der Zwischenzeit für weitere Untersuchungen zerlegt, so dass keine zweite Messung mehr durchgeführt werden konnte.

Die Abweichungen zwischen den Studien ergaben ein Minimum von 0,0 mm, ein Maximum von 7,0 mm, einen Mittelwert von 1,2 mm mit einer Standardabweichung von 1,2 mm.

2.5.3. Berechnung der Messfehler der ursprünglichen Messungen anhand der neuen Messungen

Folgende Messungen wurden erstellt, bzw. von vorherigen Untersuchungen übernommen.

- **ursprüngliche Messungen:** Messungen, die sich aus der Untersuchung in Groningen und der Untersuchung durch Mönchmeyer ergeben. Dabei wurde ein Mittelwert gebildet
- **zusätzliche Messungen:** Messungen, durch den Autor aufgrund einer Differenz größer 1,5 mm zwischen der Messung von Mönchmeyer und Groningen
- **definitive Messungen:** Messungen die sich aus den zusätzlichen Messungen und ursprünglichen Messungen ergeben. Diese Daten wurden ausgewertet.

Die Differenzen zwischen den Messungen durch Mönchmeyer und den zusätzlichen Messungen wurden berechnet (s. Anhang Kap 6.1).

Es ergab sich bei 77 verglichenen Messungen eine durchschnittliche Differenz von 1,6 mm mit einer Standardabweichung von 1,86. Das bedeutet, Mönchmeyer hat größere Werte gemessen als die zusätzlichen Messungen ergaben.

Für die Differenz der Messungen aus Groningen und der zusätzlichen Messung ergab sich ein Mittelwert von 0,9 mm mit einer Standardabweichung von 2,84 mm bei 57 verglichenen Messungen (s. Anhang Kap 6.2). Die

größere Standardabweichung und gleichmäßigere Verteilung im Histogramm um den Mittelwert deutet auf einen zufälligen Fehler hin.

Es wurden 163 normale Schädel einbezogen. Kein fetaler Schädel konnte vermessen werden, da die Messgabel zu groß für die kleinen Gaumen ist. Außerdem wurden 9 große Schädel nicht vermessen.

Der Datenpool enthält nach Bereinigung 20 männliche, 20 weibliche und 124 Schädel, bei denen das Geschlecht nicht bekannt ist.

Das „Step-Function“- Alter laut Greiner lag minimal bei 0,5 Jahren und maximal bei mehr als 30 Jahren. Der Mittelwert lag bei 10,7 Jahren mit einer Standardabweichung von 7,63. Dabei ist zu beachten, dass die Altersklasse 30 alle Schädel enthält, bei denen Abrasion der Zahnreihen und das Vorhandensein des dritten Molars festgestellt werden konnten.

2.5.4. Übernahme und Eingangskontrolle der Daten der Longitudinalstudie aus Groningen

Die kephalometrischen Daten wurden als SPSS-Datei zur Verfügung gestellt.

Es waren folgende Daten angegeben:

- das Alter zur Zeit der Aufnahme in Jahren und Tagen
- der vertikale Abstand von Basion auf den harten Gaumen (BaL)
- der Winkel zwischen der Ebene des harten Gaumens und Clivus in Grad (ASNCLI)
- der Winkel zwischen dem harten Gaumen und der Ebene Sella-Nasion in Grad (ASNPP)
- die Strecke von Basion zu SNP in mm
- die Angle-Klasse
- das Geschlecht

Während der Studie wurde versucht, die Probanden jährlich zu untersuchen. Wenn möglich, sollte dies an einem festen Zeitpunkt jedes Jahres geschehen. Hier liegen Unregelmäßigkeiten vor, so dass der Zeitraum zwischen den Messungen nicht exakt ein Jahr beträgt. Teilweise liegen Lücken von mehreren Jahren zwischen den Untersuchungen (s. 2.4.1). Anhand des Diagramme (Abbildung 3 bis Abbildung 5) kann man für jeden Probanden, dessen Identifikation (id) auf der Y-Achse dargestellt ist, erkennen, in welchem Zeitraum wie oft eine Untersuchung stattgefunden hat. Es zeigt sich, dass bei einigen Patienten nach regelmäßigen Untersuchungen erst nach vielen Jahren eine letzte Vermessung stattgefunden hat. Patienten mit einer Identifikationsnummer von 1 bis 202 gehören der Groninger Grundschuluntersuchung an, während die übrigen Fälle (300 bis 365) der Groninger Reihe „Klasse I-Fälle“ zugehören.

Zwecks Auswertung wurde die Klassifikation nach Angle umgestellt, so dass Klasse II und Klasse I vertauscht wurden, um eine logische Reihenfolge der Lage des Kinns zu erhalten:

Kodierung

1: Angle II

2: Angle I

3: Angle III

Die erhobenen Messwerte wurden in einem Streudiagramm gegen das Alter dargestellt und auf sachlogisch unmögliche Werte und Eingabefehler überprüft. Dies wurde individuell für jeden Probanden durchgeführt.

Insgesamt wurden 39 Ausreisser identifiziert, die auffällig waren. Diese wurden anhand der Originaldurchzeichnungen überprüft.

Ein Messfehler wurde erkannt und berichtigt; 5 Durchzeichnungen wurden als fehlerhaft erkannt und die entsprechenden Datensätze gelöscht

Alle im Rahmen der Datenkontrolle aussortierten Bilder wurden in keiner Weise mehr in die Auswertung einbezogen.

Ausgewertet wurden folgende Variablen, die entweder direkt aus dem Datensatz entnommen oder durch Berechnungen der vorhandenen Daten erstellt wurden.

Tabelle 2: verwendete Variablen

Bezeichnung der Variablen	Beschreibung der Variablen
BaL	Die Distanz eines Lotes, das in der dorsalen Verlängerung des harten Gaumens auf den Punkt Basion fällt, gemessen in mm (original und interpoliert)
Angle Klasse	Angle-Klasse des Probanden, I, II und III
BaPNS	Die Distanz von Basion zu SNP, in mm gemessen (original)
ASNPP	Der Winkel zwischen der Ebene Sella-Nasion und harten Gaumen in Grad, nach ventral gemessen (original und Interpoliert)
$\alpha = \text{APPCli}$	Der Winkel zwischen der Ebene des harten Gaumens, bestimmt durch SNA und SNP und der Clivusebene, bestimmt durch Basion und Sella, in Grad gemessen (berechnet aus Originaldaten)
RZPNS	Die Lage des Rotationszentrums der Ebenen zu Spina nasalis posterior. Diese Variable gibt an, wie weit dieser Punkt von Spina nasalis posterior entfernt liegt. Ein positiver Wert bedeutet, dass das Rotationszentrum ventral liegt. Dabei ist das Rotationszentrum immer auf der Ebene des harten Gaumens bei Beginn der Messung angegeben, in mm gemessen (berechnet aus Originaldaten)

2.6. *Glätten der Daten aus den Groninger Longitudinalstudien*

Die Altersangaben wurden auf ganze Zahlen nivelliert, um das individuelle Wachstum besser vergleichen zu können.

Dementsprechend wurden die y-Werte interpoliert bzw. extrapoliert.

Es wurden nur Altersangaben interpoliert, zwischen denen sich max. eine Differenz von 30 Monaten befand. Extrapoliert wurde bis maximal 6 Monate.

Diese Schritte wurden mit Hilfe eines in „R“ geschriebenen Programms durchgeführt (R Development Core Team 2005).

Durch Interpolation doppelt vorhandene Altersangaben eines Probanden wurden durch Berechnen der Mittelwerte des zugehörigen y-Wertes ersetzt.

Anschließend wurden die interpolierten Altersangaben für 6, 19, 20 Jahre aus der Verteilung gestrichen, da jeweils weniger als 25 Messungen durchgeführt wurden und diese so nicht als repräsentativ anerkannt wurden.

Die interpolierten Daten wurden dann weiter bearbeitet.

2.6.1. Berechnen des individuellen Wachstums

Für jeden Probanden wurde die Zunahme des Abstandes von Basion senkrecht auf den harten Gaumen für den Zeitabschnitt, der der jeweiligen Altersangabe folgt, berechnet.

Dies entspricht der Steigung des Graphen durch jeweils zwei Messpunkte. Diese Schritte wurden mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms „Excel“ durchgeführt.

2.6.2. Berechnen von Mittelwerten

Zwecks besserer Darstellung wurden für jede Altersklasse, nach Geschlecht getrennt, Mittelwerte und Standardabweichung berechnet und diese graphisch dargestellt. Diese wurden durch einen Graphen verbunden.

Um den Verlauf der Graphen und eventuelle sachlogisch unmögliche Werte, die durch eine zu geringe Anzahl an Messwerten entstehen, zu identifizieren, wurden zusätzlich zu den interpolierten Werten auch ein Mittelwert für die Altersklasse 30 berechnet, der nicht interpoliert werden konnte.

2.7. Methodenfehler nach Dahlberg

Ermittelt wird der Methodenfehler bei Mehrfachmessungen von Variablen in der Regel mit Hilfe der Formel nach Dahlberg (1940).

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

MF = Methodenfehler

d = Differenz der Messwerte

n = Anzahl der verglichenen Messwerte

Der Methodenfehler nach Dahlberg beschreibt, wie stark die Schwankungsbreite der beiden Messwerte bezogen auf den eigentlichen Betrag der Messstrecke ist. Fehler, die während des Messvorgangs durch den Untersucher oder bei der Identifizierung der Messpunkte auftreten, werden durch ihn quantitativ erfasst (Lochmann 1999).

2.8. Signifikanzniveau

Dieses wurde für statistische Untersuchungen auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Für den Fall, dass $p \leq \alpha$, ist die Nullhypothese (kein Unterschied) zu verwerfen.

2.9.1. Berechnen der relevanten Strecken und Winkel

Die Angaben, die zur Berechnung des Rotationszentrums benötigt werden, können mit Hilfe trigonometrischer Funktionen berechnet werden. Das Lot von Basion auf den harten Gaumen (BaL) ergibt zwei rechte Winkel in zwei Dreiecken, welche die Berechnung ermöglichen.

Die Strecke vom Lotursprung zu Spina nasalis posterior (LPNS) kann durch den Satz des Pythagoras berechnet werden, da das Lot einen rechten Winkel im Dreieck ergibt.

$$LPNS = \sqrt{(BaPNS)^2 - (BaL)^2}$$

Die Strecke vom Lotursprung bis zum Drehpunkt zwischen der Ebene des Clivus (LD) und der Ebene des harten Gaumens kann mithilfe einer trigonometrischen Funktion berechnet werden. Der Winkel α zwischen Clivus und dem harten Gaumen ist bekannt. Auch die Strecke von Basion bis zum harten Gaumen (BaL) ist bekannt. Durch Einsetzen dieser Angaben in die Funktion

$$LD = \frac{1}{\tan(\alpha)} \times BaL$$

kann die Länge der gesuchten Strecke berechnet werden.

Nun kann die Länge der Strecke (BaD) von Basion bis zum Drehpunkt der Ebenen von Basion-Sella (Clivus) und Spina nasalis posterior zu Spina nasalis anterior berechnet werden. Dies wird durch den Satz des Pythagoras möglich.

$$BaD = \sqrt{(BaL)^2 + (LD)^2}$$

2.9.2. Konstruktion eines Koordinatensystems

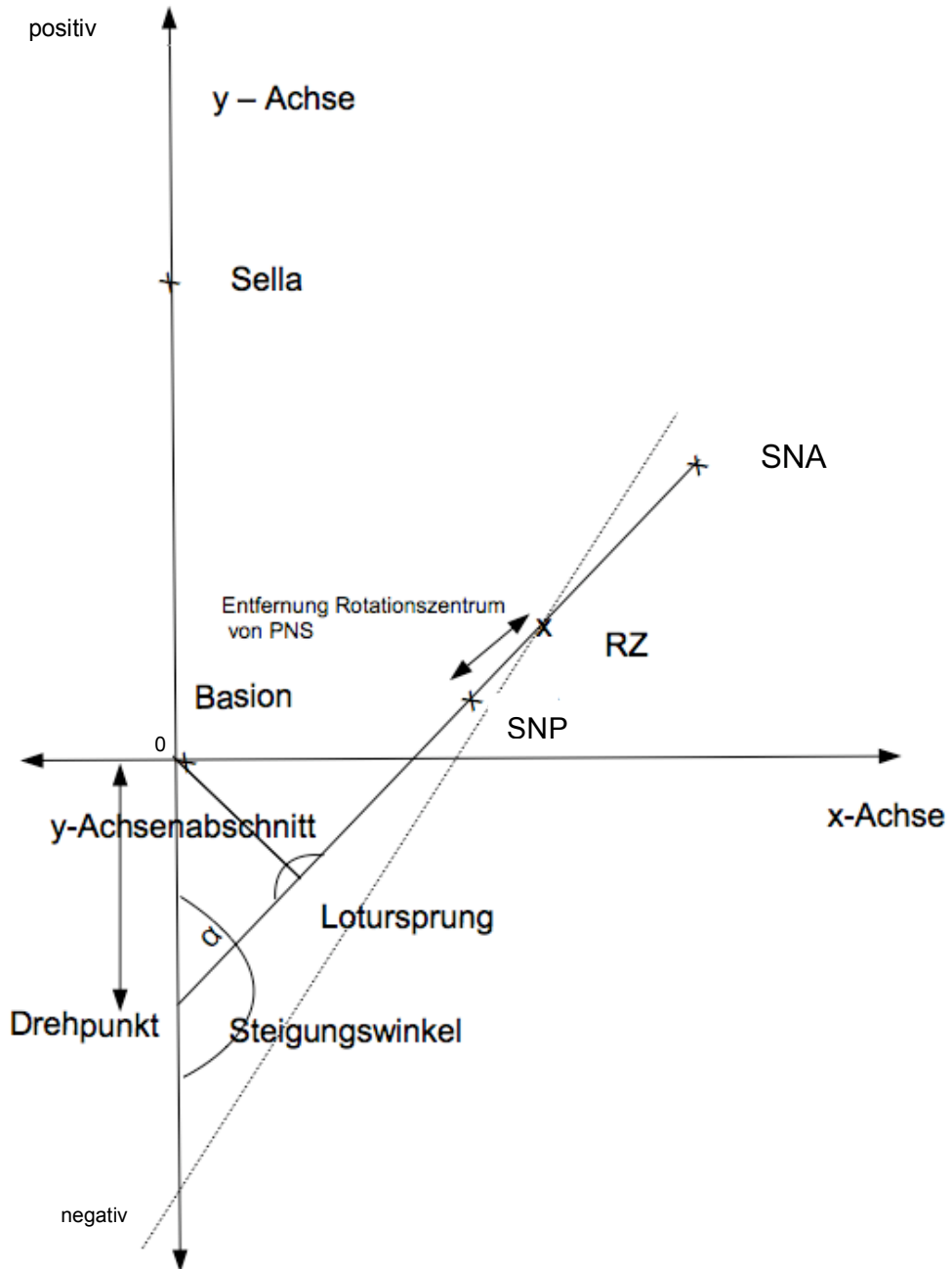


Abbildung 9: Koordinatensystem

Um die geometrischen Figuren exakt zu beschreiben, wurde ein zweidimensionales kartesisches Koordinatensystem eingefügt.

Der Ursprung des Koordinatensystems wurde im Punkt Basion festgelegt. Die Richtung der Y-Achse verläuft entlang der Strecke Basion-Sella, die X-Achse steht senkrecht zur y-Achse und verläuft durch den Punkt Basion.

Ventrale Richtungsangaben deuten zu positiveren Werten hin.

Anschließend wurde der Verlauf der Ebene des harten Gaumens, festgelegt durch Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior in diesem System dargestellt.

Die Ebene des harten Gaumens wird durch diese zwei Punkte definiert, so dass sich eine Gerade ergibt. Diese kann in Form einer linearen Funktion dargestellt werden.

Die Funktion lautet: $f(x) = ax + b$

„a“ bezeichnet die Steigung der Geraden

„b“ bezeichnet den Y-Achsenabschnitt

Die Steigung ergibt sich aus dem Winkel zwischen Clivusebene und der Ebene des harten Gaumens. Die Clivusebene entspricht der Y-Achse, so dass der Winkel α zwischen dieser Achse und der durch die Funktion definierten Gerade bekannt ist.

Dieser Winkel kann mit Hilfe der tangens-Funktion in eine Steigung umgerechnet werden.

Steigung a der Geraden = $\tan(90^\circ - \alpha)$

In dem dargestellten Koordinatensystem liegt Basion im Ursprung. Die Verlängerung des Clivus über Basion (BaD) hinaus entspricht dem negativen Teil der Y-Achse. Das bedeutet der oben beschriebene Drehpunkt zwischen Clivus und hartem Gaumen befindet sich auf dieser Achse, so dass die oben berechnete Strecke von Basion bis zum Drehpunkt dem benötigten Y-Achsenabschnitt (b) entspricht.

Mit diesem Verfahren kann jede morphologische Situation des harten Gaumens im Verhältnis zum Clivus dargestellt werden.

Zusätzlich kann der Punkt Spina nasalis posterior auf der dargestellten Gerade eingezeichnet werden.

Die Lage des Punktes wird mit einer Sinus-Funktion berechnet:

$$SNP_x = \sin \alpha \times (LD + LPNS)$$

Dies ist möglich, da im Koordinatensystem ein rechtwinkliges Dreieck gebildet werden kann, deren Katheten dem X- und Y-Achsenabschnitt des Punktes SNP entsprechen und dessen Hypotenuse der Summe der Strecken von Drehpunkt bis Lotursprung und von Lotursprung bis SNP entspricht.

Mit Hilfe des Satz des Pythagoras kann nun auch der Y-Achsenabschnitt berechnet werden.

$$SNP_y = \sqrt{(LD + LPNS)^2 - (SNP_x)^2}$$

Die so gewonnenen Daten wurden graphisch als Diagramm in Excel dargestellt.

2.9.3. Berechnen des Rotationszentrums des harten Gaumens

Der harte Gaumen ändert seine Lage während des Wachstums niemals exakt parallel, so dass sich immer ein Rotationszentrum zwischen der Ausgangssituation und der Endsituation eines jeden Probanden ergibt.

Um dieses Rotationszentrum zu berechnen, wurden für jeden Probanden nur die erste und letzte durchgeführte Messung des Originaldatensatzes untersucht und miteinander verglichen.

Der Verlauf beider harten Gaumen wird in einem gemeinsamen Koordinatensystem dargestellt. Dabei wird Clivus und Basion als Determinanten beibehalten.

So werden zwei Funktionen $f(x)$ für die Ausgangssituation und $g(x)$ für die Endsituation in einem kartesisches Koordinatensystem dargestellt, das im Punkt Basion als Koordinatenursprung und auf die Richtung BaS orientiert ist.

Es ergibt sich nun ein Schnittpunkt beider Geraden. Dieser Schnittpunkt entspricht dem Rotationszentrum, um den der harte Gaumen im Laufe des Wachstums rotiert.

Der gesuchte Schnittpunkt kann durch Gleichsetzen der Funktionen berechnet werden, das bedeutet $f(x) = g(x)$.

Dieses Gleichungssystem wird nun umgestellt, so dass der X-Wert des Schnittpunktes berechnet werden kann.

$$f(x): a_1 x + b_1$$

$$g(x): a_2 x + b_2$$

$$a_1 * x + b_1 = a_2 * x + b_2 \quad | - b_1$$

$$a_1 * x = a_2 * x + b_2 - b_1 \quad | -a_2 * x$$

$$x * (a_1 - a_2) = b_2 - b_1 \quad | : (a_1 - a_2)$$

$$x = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2}$$

Der so berechnete X-Wert der Funktion kann nun in eine der zwei Funktionen, die den Verlauf des harten Gaumens beschreiben, eingesetzt werden, so dass der zugehörige Y-Wert des Schnittpunktes berechnet wird.

Auf diesem Weg werden der Y- und der X-Wert des Rotationszentrums bestimmt. Diese zwei Werte können in einem rechtwinkligen Dreieck, das entsprechend dem Koordinatensystem konstruiert wird, dazu genutzt werden, um mit Hilfe des Satz von Pythagoras die Distanz vom Drehpunkt, der auf der Y-Achse liegt, bis zum Rotationszentrum zu berechnen.

Anschließend kann durch einfaches Summieren oder Subtrahieren die Lage des Rotationszentrums in Bezug auf die Referenzpunkte SNP oder Drehpunkt bestimmt werden. Die Längen der Strecken von Drehpunkt bis Lotursprung und Lotursprung bis SNP wurden bereits berechnet.

Die Distanz des Rotationszentrums von der Position von SNP zu Beginn der Untersuchung wurde dargestellt. Der Wert des Rotationszentrums gibt also an, wo die Ebene des harten Gaumens am Ende der Untersuchung die

Ebene des harten Gaumens zu Beginn der Untersuchung schneidet. Um diesen Schnittpunkt ist der Gaumen während des Wachstums rotiert.

$$RZ\ PNS = DRZ - (LD + LPNS)$$

Positive Werte bedeuten, dass das Rotationszentrum ventral von SNP liegt.

3. Ergebnisse

3.1. Querschnittsstudie

Der Methodenfehler nach Dahlberg der in Marburg zuvor durchgeführten Messung liegt bei 1,49 mm (s. Kap. 2.7).

Daraufhin wurden alle Schädel mit einer Differenz zwischen den Messungen aus Groningen und Marburg größer und gleich 1,5 mm vom Autor nachgemessen. Es handelt sich hierbei um 77 Schädel, die mit Hilfe einer Doppelmessung überprüft wurden. Die Messung wurde wie in 2.5.1. beschrieben, durchgeführt.

Diese Messung ergab einen Methodenfehler nach Dahlberg von 0,82 mm, d.h. der Wert liegt deutlich niedriger als bei der ursprünglichen Messung.

Die ursprüngliche Messung und die Nachvermessung wurden mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft, wobei der Test für die ursprünglichen Messungen einen p-Wert von 0,713 und für die zusätzlichen Messungen einen p-Wert von 0,808 lieferte. Das bedeutet, es ergaben sich keine signifikanten Abweichungen von der Normalverteilung.

Der Mittelwert der ursprünglichen Messung der Strecke Basion senkrecht auf harten Gaumen liegt bei 5,0 mm, der Mittelwert der Nachmessung bei 3,0 mm.

3.1.1. Vertikaler Abstand von Basion zum harten Gaumen, gemessen anhand der Marburger Schädelssammlung

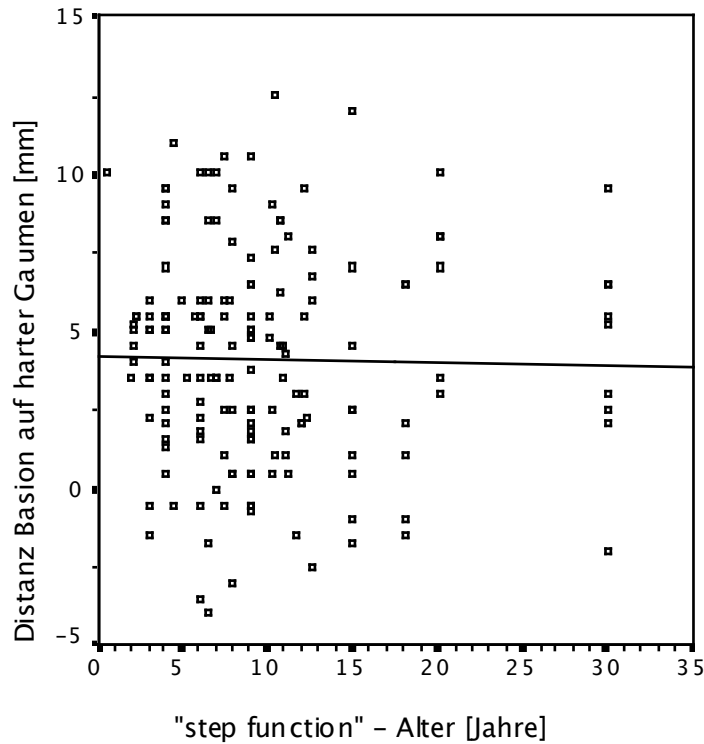


Abbildung 10: BaL: Vertikaler Abstand von Basion zum harten Gaumen mit eingezeichneter Regressionsgeraden

Die Abbildung 10 stellt die mithilfe der Messgabel bestimmte Distanz zwischen dem harten Gaumen und Basion in Abhängigkeit vom Alter dar.

Die lineare Regression ergibt:

$$f(x): -0,010 \times (\text{Alter}) + 4,243 \quad [1]$$

Das heißt, der Abstand nimmt pro Jahr um 0,010 mm ab.

Der Regressionskoeffizient von $R = 0,020$ zeigt einen sehr geringen Zusammenhang zwischen dem Alter und dem vertikalen Abstand. Der Standardfehler für die Abhängigkeit vom Alter beträgt 0,041, für die Konstante beträgt dieser 0,479.

Aufgrund der geringen Steigung und des kleinen Regressionskoeffizienten ist kein eindeutiger Trend zu erkennen, so dass der gemessene Abstand von Basion auf den harten Gaumen näherungsweise konstant ist.

3.2. Longitudinalstudie Groningen

3.2.1. Vergleich der Originaldaten mit den geglätteten Daten

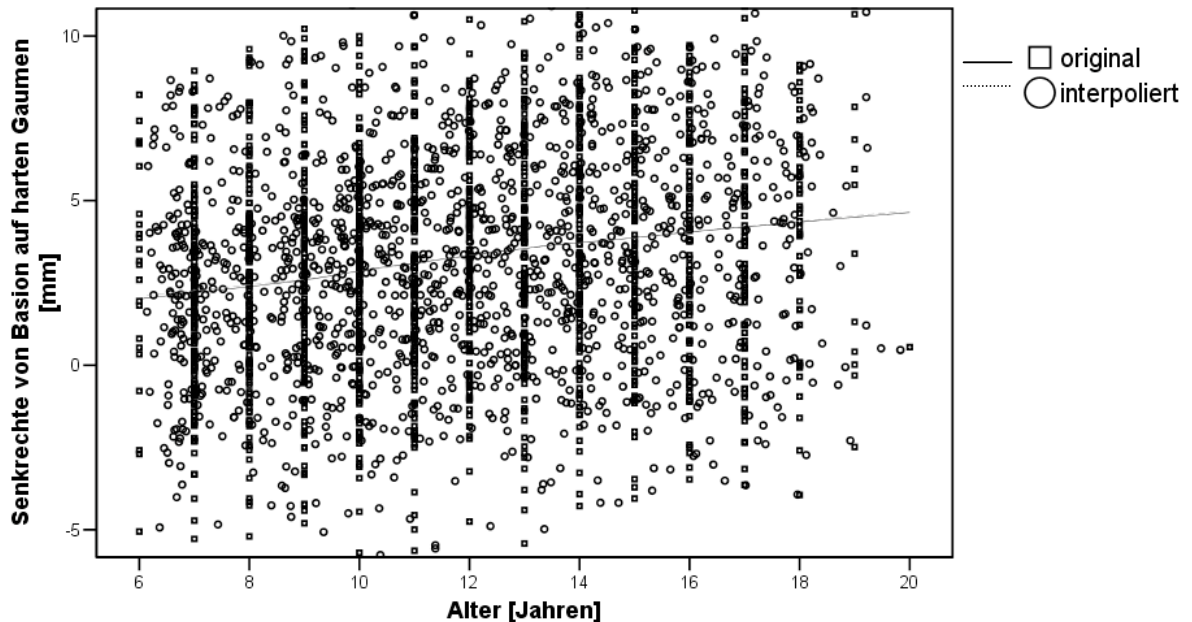


Abbildung 11: Senkrechte von Basion auf harten Gaumen original und interpoliert

Die Abbildung 11 gibt die Datensätze der Longitudinalstudie für die Senkrechte von Basion auf den harten Gaumen für die Situation vor und nach der Datenaufbereitung wieder.

Beide Datensätze wurden in einem Streudiagramm dargestellt und durch eine Loess-Funktion charakterisiert. Die Originaldaten werden durch die durchgezogene Linie dargestellt, die interpolierten Daten entsprechen der gestrichelten Linie.

Die visuelle Darstellung mithilfe der Loess-Trendlinie ermöglicht die Zusammenfassung der Einzelwerte.

Das absolute Wachstum der Graphen von Beginn der Untersuchung bis zur letzten Messung unterscheidet sich kaum.

Es wurde eine lineare Regression für den vertikalen Abstand von Basion zum harten Gaumen sowohl durch die Originaldaten als auch durch die interpolierten Werte berechnet.

Die Funktion der Originaldatei lautet:

$$f(x): 0,201 \times (\text{Alter}) + 0,909 \text{ mit } R^2 = 0,035 \quad [2]$$

Die Funktion der interpolierten Daten lautet:

$$f(x): 0,202 \times (\text{Alter}) + 0,892 \text{ mit } R^2 = 0,044 \quad [3]$$

Der Standardfehler bei den interpolierten Daten für das Alter beträgt 0,027, für die Konstante beträgt dieser 0,330. Bei den Originaldaten liegt der Standardfehler für das Alter bei 0,028 und für die Konstante bei 0,344.

Das bedeutet, alle Datenpunkte haben durch das Glätten sich dem Graphen der linearen Funktion angenähert. Das Wachstum, entsprechend der Steigung der Funktion hat sich nur sehr gering verändert.

Zusätzlich wurden die Daten anhand von Mittelwert und Standardabweichung verglichen.

Tabelle 3: Vergleich der originalen und interpolierten Daten

	Anzahl		Mittelwert		Standardabweichung	
	original	interpoliert	original	interpoliert	original	interpoliert
Alter	1439	1513	11,95	11,76	3,34	3,30
BaL	1439	1513	3,32	3,26	3,55	3,53
ASNPP	1439	1513	7,81	7,82	3,30	3,31

3.3. Auswertung der interpolierten Daten

3.3.1. Anzahl der Messungen für die jeweiligen Altersklassen

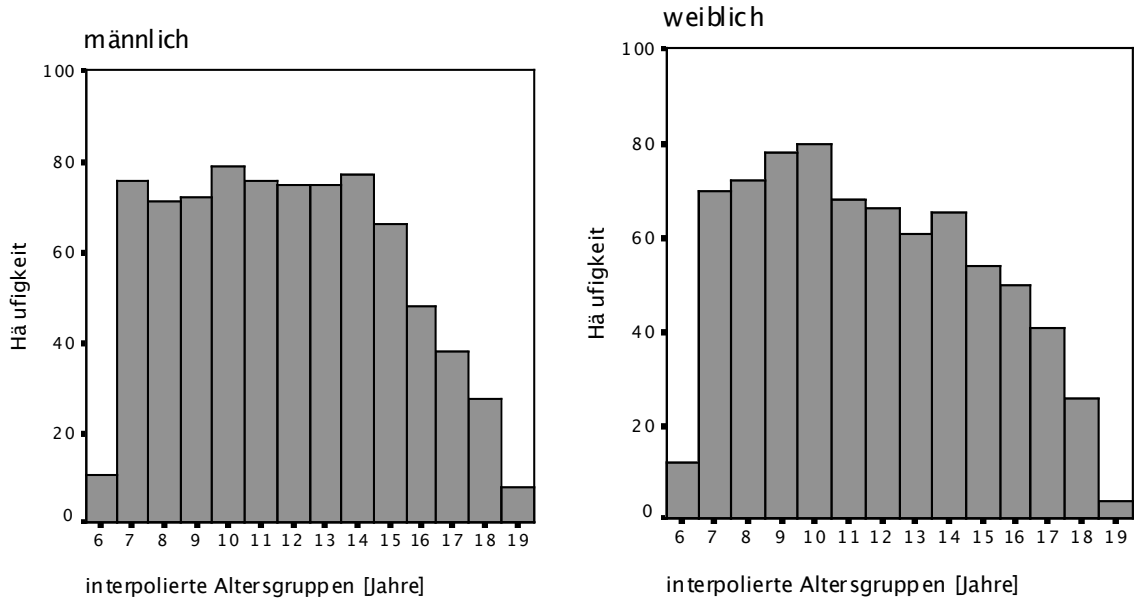


Abbildung 12: Anzahl der Messungen, nach Geschlecht unterteilt

Die Abbildung 12 gibt für jede Altersklasse an, wie viel Messungen durchgeführt wurden. Dabei wurde nach Geschlecht unterschieden.

Jeder Wert auf der X-Achse entspricht einer interpolierten Altersklasse.

Es stehen für jede Altersklasse, ausgenommen für 6 und 19 Jahre, mehr als 25 Messungen zur Verfügung, so dass diese als repräsentativ angesehen werden können. Die Altersgruppen 6 und 19 Jahre wurden nicht weiter verwendet.

Die Anzahl der Messungen nimmt mit dem Alter der Probanden wieder ab. Insgesamt gab es mehr männliche als weibliche Probanden.

Für das Lebensalter 30 konnte kein Wert interpoliert werden.

3.3.2. Altersverteilung der Angle-Klassen

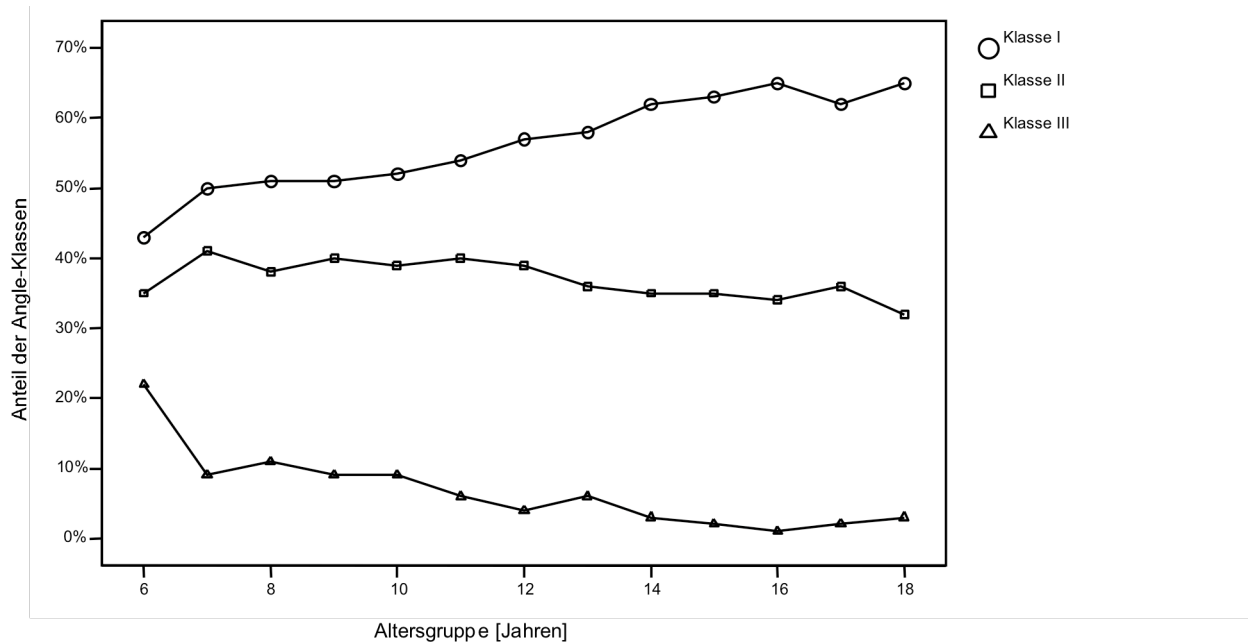


Abbildung 13: Prozentualer Anteil der Angle Klassen

Die Abbildung 13 gibt die prozentualen Anteile der Angle-Klassen, die bei den Probanden festgestellt wurden, in Abhängigkeit vom jeweiligen Alter wieder.

Es ist zu erkennen, dass der prozentuale Anteil der Angle-Klasse I über den Zeitraum der Studie zunimmt. Für das Lebensalter 19 und 20 Jahre kann keine Aussage gemacht werden, da nur noch wenige Probanden an der Studie teilnahmen.

Für das Lebensalter 30 wurde kein Wert interpoliert.

3.3.3. Darstellung des Winkels zwischen den Ebenen Sella-Nasion und harter Gaumen, nach Geschlecht

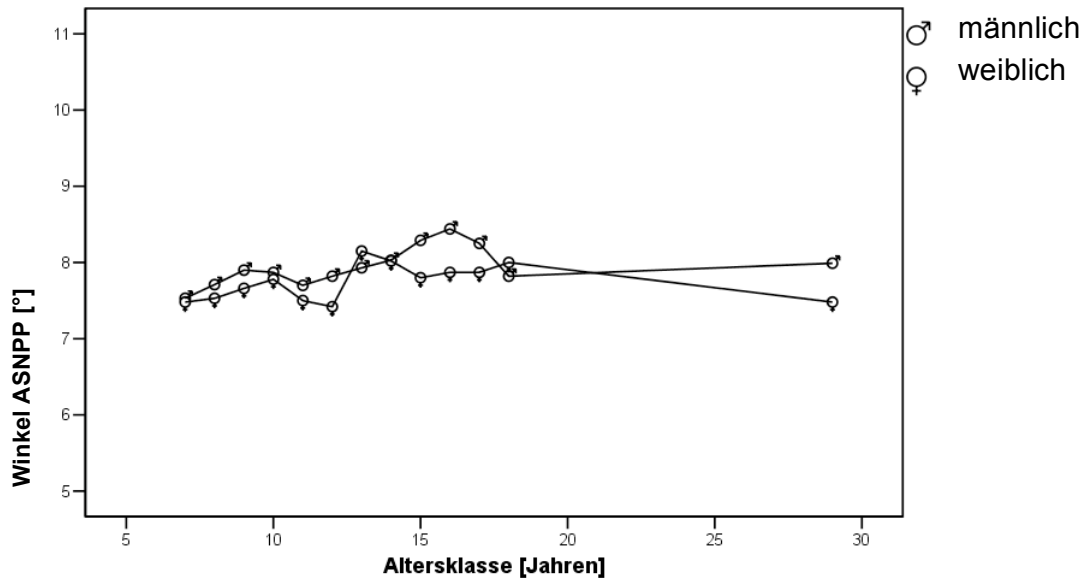


Abbildung 14: Mittelwerte für ASNPP: Winkel zwischen Sella-Nasion und dem harten Gaumen, nach Geschlecht unterteilt

Die Abbildung 14 gibt die Mittelwerte für die jeweilige Altersgruppe, getrennt nach Geschlecht an, wobei die Werte für die Altersgruppen 6, 19 und 20 aufgrund der geringen Anzahl an Messungen nicht dargestellt wurden (s. Anhang Kap 6.7).

Bei beiden Geschlechtern ist bereits im Alter von 7 Jahren ein Anstieg zu erkennen.

Ab dem Alter von 11 Jahren kommt es bei den weiblichen Probanden zu unregelmäßigen Änderungen, die allerdings ab einem Alter von 15 Jahren sistieren. Es stellt sich ein konstanter Winkel von ca. $7,8^\circ$ ein.

Bei den männlichen Probanden kann der Graph in mehrere Bereiche eingeteilt werden. Die Kurve zeigt zwei Maxima bei 9 und 16 Jahren.

Bei den weiblichen Probandinnen zeigt sich ein Maximum bei 10 Jahren. Dies entspricht etwa dem Maximum der männlichen Probanden. Allerdings liegt kein Maximum bei 16 Jahren vor und außerdem zeigt die Kurve ein deutlich anderes Verhalten als bei den männlichen Probanden.

Allgemein kann festgehalten werden, dass die Winkeländerungen sehr gering sind und es sich bei beiden Gruppen um weniger als 1° handelt, so dass keine eindeutige Aussage über eine Rotation gemacht werden kann.

3.4. Auswertung der untersuchten Strecke

3.4.1. Senkrechte von Basion auf harter Gaumen, unterteilt nach Geschlecht

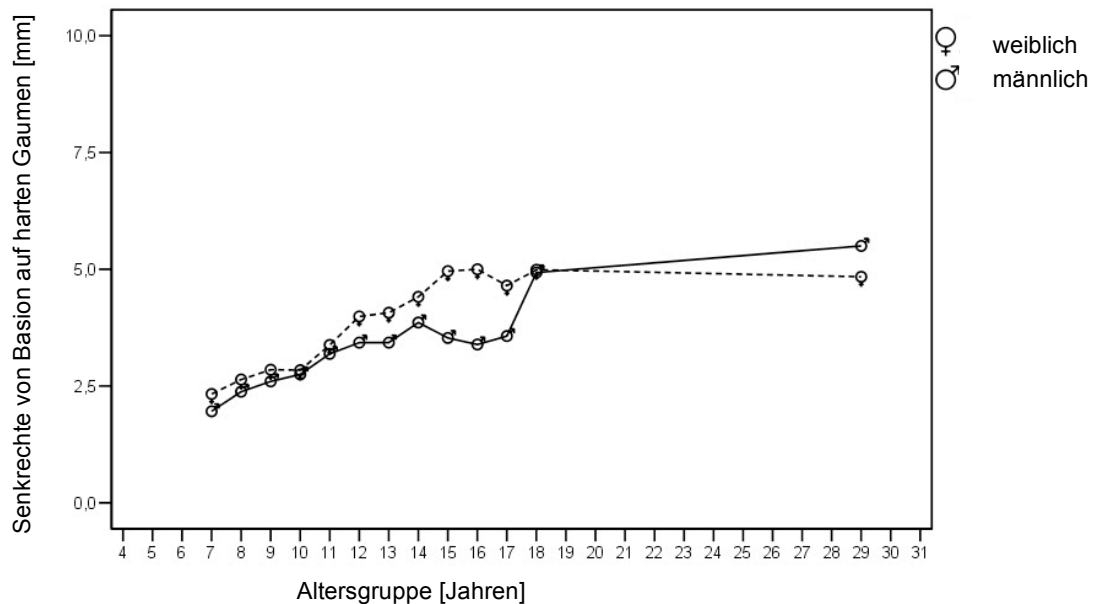


Abbildung 15: Mittelwerte von BaL: Senkrechten von Basion auf den harten Gaumen, nach Geschlecht anhand der interpolierten Daten

Die Abbildung 15 gibt die Mittelwerte der Senkrechten von Basion auf den harten Gaumen in Abhängigkeit vom Alter wieder.

Die Daten wurden geschlechterspezifisch aufgetragen, wobei die Altersgruppen 6, 19 und 20 Jahre nicht dargestellt wurden, weil nicht genügend Messungen vorliegen.

Die Distanz von Basion senkrecht auf den harten Gaumen nimmt um ca. 3 mm zu.

Im Altersbereich von 14 bis 17 Jahren kommt es zu einem Auseinanderweichen der Graphen.

3.5. Einfluss unterschiedlicher Faktoren auf den vertikalen Abstand von Basion zum harten Gaumen und den Winkel zwischen Sella-Nasion und harter Gaumen

Um die Gesamtmessung nicht weiter in kleinere Untergruppen zu unterteilen, was eine geringere Repräsentativität zur Folge hätte, wurde eine multiple lineare Regression durchgeführt. Es wurden die interpolierten Daten verwendet.

Die Funktion für die Senkrechte von Basion auf den harten Gaumen (BaL) lautet:

$$f(x)=5,697 + 0,241 \times (\text{Alter}) + 0,008 \times (\text{Geschlecht}) - 0,341 \times (\text{Angle Klasse 213}) - 0,598 \times (\text{Winkel ASNPP}) \quad [4]$$

Auffällig sind die hohen Regressionskoeffizienten für die Variablen Alter, Angle-Klasse und Winkel ASNPP.

Die Funktion für den Winkel zwischen den Ebenen Sella-Nasion (ASNPP) und harter Gaumen lautet:

$$f(x)= 7,416 + 0,170 \times (\text{Alter}) - 0,074 \times (\text{Geschlecht}) + 0,172 \times (\text{Angle Klasse}) - 0,548 \times (\text{BaL}) \quad [5]$$

In diesem Fall liegt eine geringe Abhängigkeit des Winkels vom Alter und der Angle Klasse vor. Im Wesentlichen scheint der Winkel von der Distanz BaL abhängig zu sein, was bei $p= 0,000$ signifikant ist. Auch das Alter zeigte einen signifikanten Beitrag, allerdings ist der Einfluss bei einem Faktor von 0,170 nur gering im Vergleich zu Ba-PP mit einem Faktor von $-0,548$.

Die oben angegebenen Befunde zeigen sich auch in den Diagrammen.

Tabelle 4: lineare Regression für BaL

für BaL: senkrechter Abstand von Basion zur Ebene des harten Gaumen

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Irrtumswahrscheinlichkeit
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	5,697	0,435		13,107	0,000
Alter	0,241	0,022	0,225	10,896	0,000
Geschlecht	0,008	0,146	0,001	0,055	0,956
Angle Klasse	-0,341	0,133	-0,053	-2,568	0,010
ASN_PP	-0,598	0,022	-0,563	-27,125	0,000

Tabelle 5 : lineare Regression für ASNPP

für ASNPP: Winkel zwischen der Ebene Sella-Nasion und Palatal Plane

	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Irrtumswahrscheinlichkeit
	B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	7,416	0,395		18,759	0,000
Alter	0,170	0,022	0,170	7,922	0,000
Geschlecht	-0,074	0,139	-0,011	-0,530	0,596
Angle Klasse	0,172	0,127	0,029	1,354	0,176
Ba_vert	-0,548	0,020	-0,583	-27,125	0,000

3.6. *Darstellung der Mittelwerte der individuellen Änderung von Basion auf harter Gaumen pro Jahr und der Summen der Änderungen*

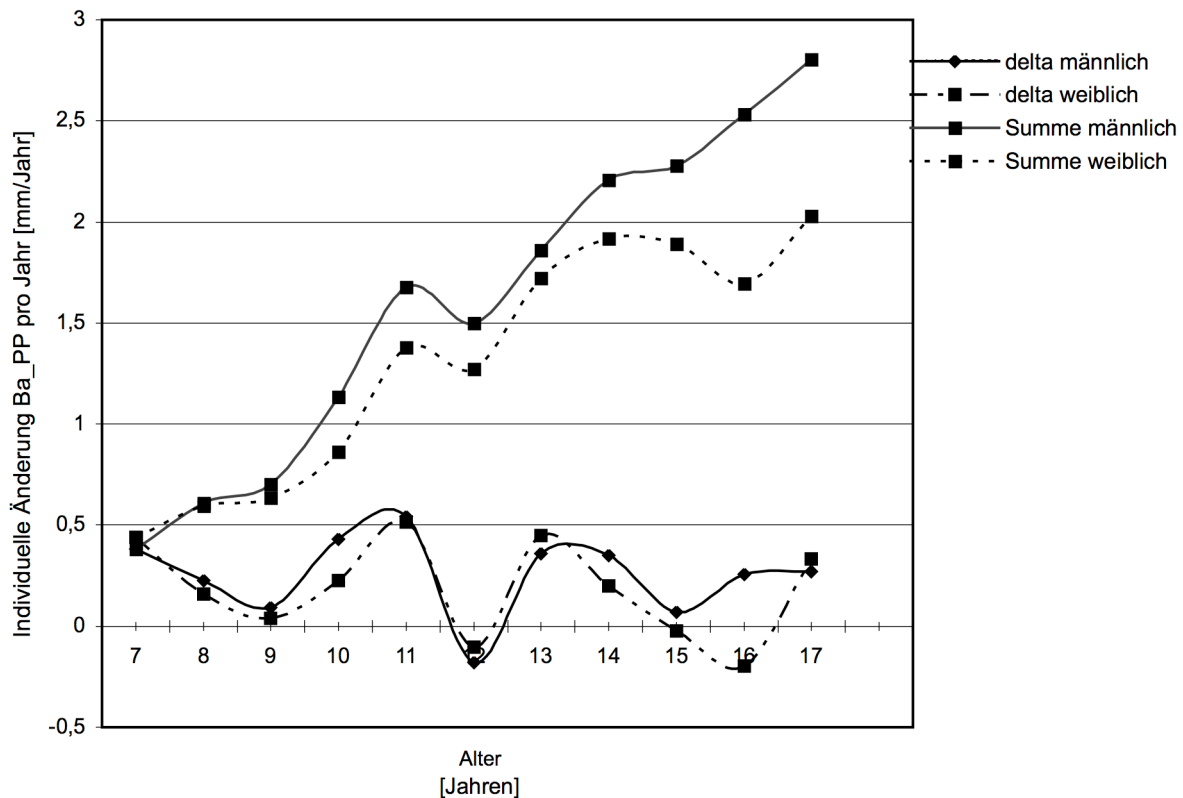


Abbildung 16: Mittelwert der individuellen Änderung von BaL: Basion senkrecht auf den harten Gaumen gegen die Zeit

Die Abbildung 16 zeigt nur die Streckenänderungen nach Interpolation, die bei einem Probanden zwischen zwei Untersuchungen gemessen wurden. Es werden keine Streckenänderungen angegeben, die dadurch entstanden sind, dass z.B. ein Proband, bei dem die gemessene Strecke groß ist, nicht weiter untersucht wurde und dadurch der Mittelwert der gesamten Messung für die nächste Altersklasse kleiner wurde.

Der durchgezogene Graph stellt den Verlauf für die männlichen Probanden dar, die gestrichelten Linien entsprechen den weiblichen Probandinnen.

Um die Ungenauigkeiten, die durch den Studienaufbau entstanden sind, zu eliminieren, wurden die Summen der Änderungen pro Zeit gebildet. Es handelt sich um die kumulativen Graphen. Die beiden unteren Graphen zeigen die individuelle Änderung des Abstandes von Basion zum harten

Gaumen pro Jahr. Die beiden oberen Kurven stellen die aufsummierten Änderungen dar.

Die so erzeugten kumulativen Graphen stellen die Auswirkung der Änderung pro Zeit auf die zu untersuchende Strecke dar. Beide kumulativen Graphen starten bei $y = 0,4$ bei der Altersklasse 7 Jahre.

Es wird deutlich, dass die absolute Strecke bei den Jungen stärker zunimmt als bei den Mädchen. Es entsteht eine Differenz von ca. 0,7 mm.

3.7. Position des Rotationszentrums in Relation zu Spina nasalis posterior in Abhängigkeit von der Änderung der Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen

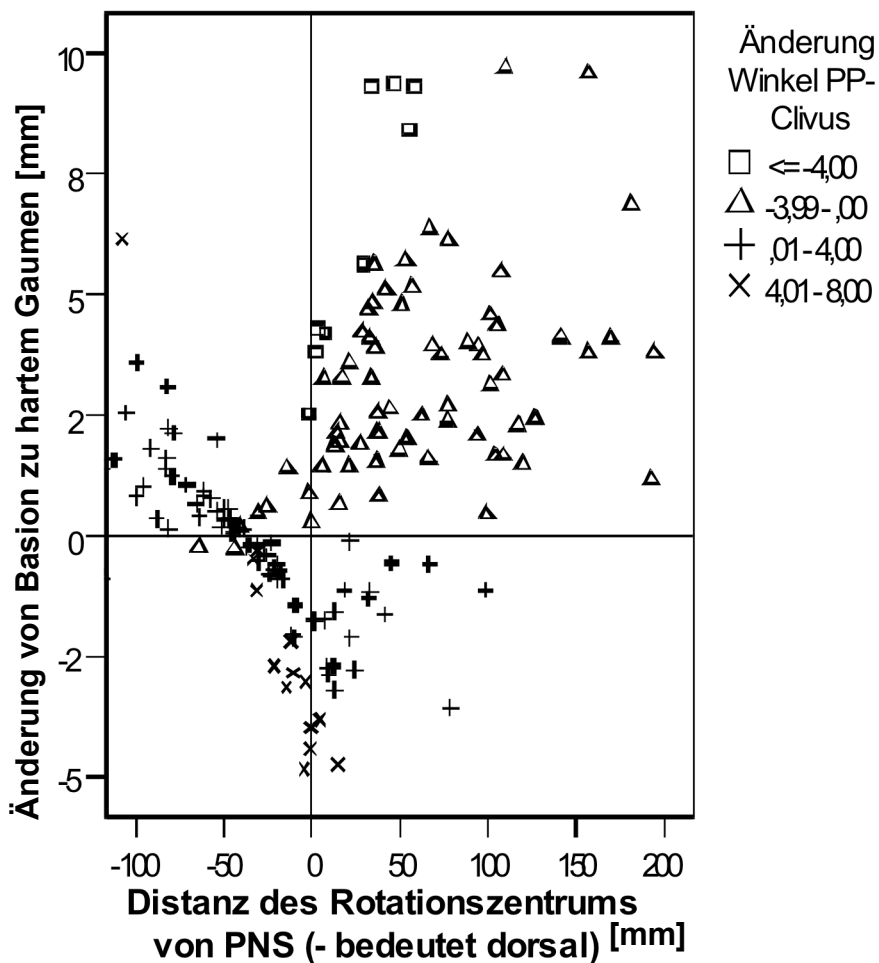


Abbildung 17: Position des Rotationszentrums in Relation zu Spina nasalis posterior

Es ist die Änderung der Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen in Abhängigkeit von der Lage des Rotationszentrums von Spina nasalis posterior in mm dargestellt. Zusätzlich wurden die Punkte zum besseren Verständnis in Untergruppen unterteilt. Dabei werden die Untergruppen nach dem Ausmaß der Winkeländerung zwischen der Ebene des harten Gaumens und der Clivusebene gebildet. Dieses Diagramm wurde anhand des Originaldatensatzes, der nicht interpoliert worden ist, erstellt.

Es ergeben sich zwei Gruppen.

Gruppe 1: Bei einer positiven Winkeländerung ergibt sich ein Zusammenhang zwischen der Zunahme der gemessenen Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen und der Lage des Rotationszentrums. In diesen Fällen kann man aus der Lage des Rotationszentrums auf die Zunahme der Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen schließen. In allen hier gezeigten Fällen, sackt Spina nasalis anterior und Spina nasalis posterior ab. Spina nasalis anterior sackt mehr ab, so dass es zur Winkelvergrößerung kommt.

In diesen Fällen nimmt die Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen im Mittel um 0,34 mm zu.

Gruppe 2: In allen Fällen, in denen der Winkel Clivus zu Palatal Plane abnimmt, wird der Abstand von Basion senkrecht auf den harten Gaumen größer. Außerdem liegt das Rotationszentrum bei diesen Fällen ventral von Spina nasalis posterior.

Das bedeutet, Spina nasalis posterior ändert seine Lage in allen Fällen nach kaudal, und Spina nasalis anterior ändert seine Lage um einen geringeren Betrag nach kaudal oder ändert seine Lage nach kranial.

Der Mittelwert der Änderung von Basion senkrecht auf den harten Gaumen liegt bei 3,19 mm, wenn nur Fälle betrachtet werden, bei denen der Winkel Clivus zu Palatal Plane kleiner wird.

In 104 Fällen wird der Winkel kleiner und in 124 Fällen wird der Winkel größer.

4. Diskussion

4.1. Fehlerdiskussion

4.1.1. Fehler beim Messen des Abstands von Basion auf den harten Gaumen bei der Querschnittsstudie

Die Messgabel wird von dorsal auf den Kieferboden aufgesetzt und in einer optimalen Position in der Mediosagittalen fixiert.

Anschließend wird der Messstift auf der Schiene fixiert und der Wert wird anhand des mit Bleistift markierten Punktes Basion abgemessen.

Wenn Basion kranial des harten Gaumens liegt, wird ein positiver Wert eingetragen.

Beachtet werden muss die Abweichung zwischen der so gemessenen Lage des harten Gaumens im Verhältnis zur Lage des harten Gaumens, die durch Verbinden der Messpunkte SNA und SNP entsteht. Das unten dargestellte Schema verdeutlicht dies.

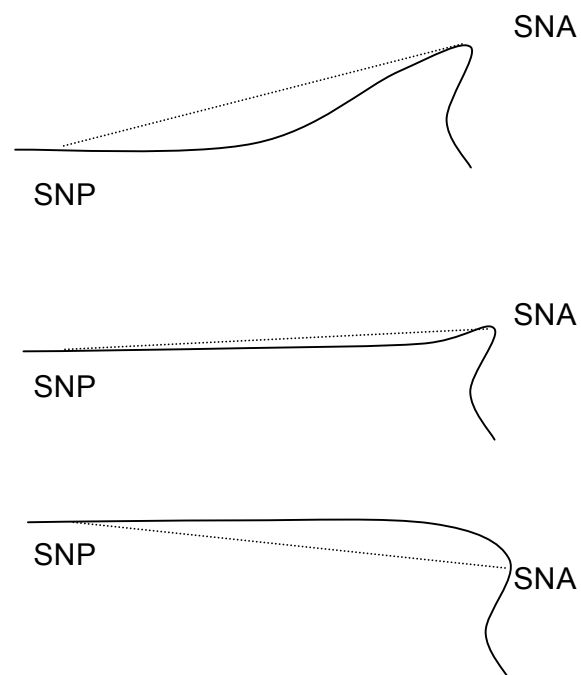


Abbildung 18: Verlauf des harten Gaumens

Mit Hilfe der Messgabel wird lediglich die Position von SNP im Verhältnis zu Basion erfasst. Die Lage von SNA, die variieren kann, wird so nicht berücksichtigt.

Die Untersuchung der Fernröntgenseitenbilder gibt die Lage des gesamten harten Gaumens wieder, der durch SNA und SNP definiert ist.

4.1.2. Fehler bei Identifizierung der Messpunkte im Fernröntgenseitenbild

Es können Fehler durch die Identifizierung der Referenzpunkte im Fernröntgenseitenbild entstehen.

Bhatia und Leighthon (1993) führten eine doppelte Digitalisierung der Fernröntgenseitenbilder durch, um die Genauigkeit der Identifizierung zu überprüfen. Im Alter von 8 bis 16 Jahren ergab sich für Basion eine Standardabweichung von durchschnittlich 0,37 mm, wobei die Abweichung in der Horizontalen der Vertikalen entspricht.

Für Spina nasalis anterior ergibt sich vergleichsweise ein Wert von 0,47 mm und für Spina nasalis posterior ein Wert von 0,58 mm (Bhatia und Leighthon 1993). Dabei sind die größeren Werte für die Referenzpunkte des harten Gaumens vor allem auf die sagittale Ebene zurückzuführen. Außerdem ist der Fehlerwert für Spina nasalis posterior größer, da dieser Referenzpunkt durch den Schnittpunkt des harten Gaumens mit der Fossa pterygopalatina definiert ist und nicht so exakt zu bestimmen ist. Diese Fehlerwerte haben jedoch einen geringen Einfluss auf die vertikale Lage des harten Gaumens.

Für den Abstand vom harten Gaumen auf Basion ist lediglich die Verlängerung des harten Gaumens nach dorsal relevant, so dass Fehler in der Horizontalen kaum Auswirkung auf die Lage des harten Gaumens im Fernröntgenseitenbildern haben.

4.2. Datenaufbereitung bei der longitudinalen Studie

Durch die Aufbereitung der Daten kam es zu einer Glättung der Daten. Im Einzelnen wurden die Daten auf Ausreißer untersucht, um diese zu entfernen. Anschließend wurden die Angaben auf ganze Lebensjahre interpoliert. Die Glättung kann anhand der linearen Regression der Originaldaten und interpolierten Daten (s. Tabelle 3) und anhand des Vergleichs der Originaldaten mit den interpolierten Daten (s. Kap. 3.2.1 und Kap. 6.4 im Anhang) bestätigt werden.

Bei der linearen Regression wird der Y-Wert der Funktion geringer, d.h. der Graph nähert sich der X-Achse mehr an (s. Kap. 3.2.1).

Auch der absolute Mittelwert der Daten nähert sich durch die Interpolation der X-Achse an (s. Tabelle 3)

Beachtet werden muss bei der Aufbereitung auch die Bildung der Mittelwerte, da deren Angabe keine Informationen über die Anzahl der Messungen enthalten, aus denen diese berechnet wurden. Um diesen Faktor zu berücksichtigen, wurde die jeweilige Anzahl Messungen (s. Kap 6.6.) zusätzlich bei den jeweiligen Diagrammen angegeben.

Es wurden keine Mittelwerte dargestellt, bei deren Berechnung weniger als 25 Messungen durchgeführt wurden, da diese als nicht repräsentativ angesehen werden können.

Vorteilhaft stellte sich die Berechnung von Änderung pro Zeit mit einem konstanten Zeitraum von einem Jahr heraus, die erst durch die Interpolation auf ganze Jahre ermöglicht wurde. Diese Änderung pro Jahr stellt das individuelle Wachstum jedes Probanden im Einzelnen dar und kann so verglichen werden.

Das bedeutet, die jeweilige Funktion konnte von den absoluten Streckenangaben bereinigt werden und die erste Ableitung, d.h. die Änderung des Wertes jedes Probanden, die sich durch das Wachstum innerhalb eines Jahres ergibt, konnte berechnet werden. Die Variabilität der Streckenlängen für ein bestimmtes Alter kann auf die Variabilität der Streckenänderung reduziert werden.

Die unterschiedliche Aussagekraft von Wachstum und absoluten Werten wird anhand der unterschiedlichen Verläufe der Graphen in 3.4.1 und 3.6 deutlich.

Obwohl die absoluten Werte in Abbildung 15 bei den weiblichen Kindern größer sind als die der männlichen, ist das Wachstum bei den männlichen Kindern in Abbildung 16 größer. Das bedeutet, diese Abbildung zeigt ein größeres Wachstum bei den Jungen als bei den Mädchen. Die Graphik der Mittelwerte verschleiert das. Dies entspricht der Aussage von Coben (1955, 1961), wonach das vertikale Wachstum bei den Jungen größer ist.

4.3. Vergleich der Ergebnisse für den vertikalen Abstand von Basion zum harten Gaumen zwischen der Querschnittsstudie und der Longitudinalstudie

Die Regressionsgeraden der Querschnitts- und Longitudinalstudie (s. Gleichung 1 und Gleichung 3) unterscheiden sich.

Die Messungen unterscheiden sich im Altersbereich. Die Longitudinalstudie beginnt erst im Alter von 7 Jahren. Die Querschnittsstudie beginnt hingegen schon im Alter von einem Jahr. Beide Studien enden im Alter von ca. 30 Jahren.

Obwohl sich beide Messungen im Verlauf und bei den absoluten Werten unterscheiden, kann davon ausgegangen werden, dass die verschiedenen Messergebnisse aufgrund der in Kap 4.1.1 angegebenen Fehler, die beim Messen der Schädelammlung auftreten und der verschiedenen Messmethoden, entstanden sind (s. Kap. 4.6).

4.4. Strecke Basion auf harter Gaumen (BaL)

Bei beiden Geschlechtern kommt es zu einer Phase des Anstiegs, gefolgt von einem Plateau, dem wiederum eine Phase des Anstiegs folgt (s. Abbildung 15).

Auffällig dabei ist, dass bei den weiblichen Probanden die Plateauphase später einsetzt und die Werte ab dem 13. Lebensjahr deutlich größer sind als bei den männlichen Probanden.

Bei den Jungen findet eine Abnahme der gemessenen Strecke zu Beginn des sistierenden Wachstumsplateaus statt. Dies kann als Bestandteil dieses Plateaus angenommen werden (s. Abbildung 15).

Eine Ursache für den oben beschriebenen divergierenden Verlauf der Graphen zwischen den weiblichen und männlichen Probanden kann in der Altersstruktur der Datengruppen liegen (s. Abbildung 3 bis Abbildung 5). Im Altersbereich von 11 bis 13 Jahren werden viele neue Messungen begonnen. 35 von 144, d.h. 24% der Messwerte für 11-Jährige stammen von Probanden, die im Alter von 11 Jahren entweder erst in die Untersuchung aufgenommen wurden oder bei denen im Alter von 11 Jahren die letzte Messung stattgefunden hat. Für das Alter von 12 Jahren liegt dies bei 39 von 144 Untersuchungen, d.h. 28% vor. Man kann daraus schließen, dass im Bereich von 11 bis 12 Jahren über die Hälfte der Probanden wechselt. Anhand der Abbildung 3 bis Abbildung 5 wird deutlich, dass die Untersuchung der Probanden im Rahmen der „Groninger-Klasse I“ Studie, die nur Klasse I Fälle enthielt, überwiegend im Alter von 12 Jahren begonnen wurde.

Gleichzeitig endet ein auffälliger Anteil der Groninger Grundschuluntersuchung mit 12 Jahren, so dass sich die absolute Anzahl an Messwerten für den Bereich von 12 bis 13 Jahren nicht merklich verändert. Das frühe Beenden der Untersuchung kann man auf die Struktur des Schulsystems zurückführen, bei dem nach der Grundschule ein Schulwechsel ansteht.

Eine andere mögliche Ursache für den negativen Verlauf des Graphen beschreibt Björk (1966). Er gibt an, dass das suturale Wachstum bei Jungen im Alter von ca. 11,5 Jahren ein präpubertäres Minimum erreicht (0,25 mm / Jahr sagittal), bevor es im Alter von 14 Jahren zum pubertären Wachstumsmaximum (1,5 mm / Jahr sagittal) kommt. Suturales Wachstum führt zu einer Vergrößerung der vorderen Gesichtshöhe, gemessen von Nasion auf SNA. Wenn das suturale Wachstum ein Minimum erreicht, kann Wachstum innerhalb der Synchronisation sphenoccipitalis dazu führen, dass

die gemessene Strecke von Basion auf den harten Gaumen wieder kleiner wird.

Coben (1998) schreibt, dass es vor der Pubertät noch zu einem Wachstum innerhalb der Suturen und der Synchondrosen kommt. Während der Pubertät findet das Wachstum dann nur noch innerhalb der Synchondrosis sphenoccipitalis und des Condylus in Verbindung mit Oberflächenremodelling statt. Dies kann erklären, wie es zu der Plateauphase bei der longitudinalen Studie kommt. Vor Beginn der Pubertät wächst die Maxilla innerhalb der Suturen noch vertikal, so dass der Abstand von Basion zum harten Gaumen noch zunimmt. Während der Pubertät entfällt diese Wachstumskomponente, so dass sich das nach kaudal gerichtete Remodeling des harten Gaumens und das vertikale Wachstum in der Synchondrosis sphenoccipitalis ausgleichen.

Die Funktionelle-Matrix-Theorie von Moss (1971) beschreibt einen sich der Funktion anpassenden Knochen. Die kranial gelegene Nasenhöhle dient mehreren Funktionen, unter anderem der Atmung. Ein nach kaudal gerichtetes Remodeling des harten Gaumens kann durch das Lungenvolumen, das bei den männlichen Probanden im Laufe des Wachstums größer wird, induziert werden. Wenn mehr Ventilation der Lungen stattfindet, müssen auch die oberen Atemwege im Durchmesser angepasst sein. Dies würde ein stärkeres Remodeling nach kaudal bei den männlichen Probanden erklären, das die größere Zunahme der Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen bei diesen erklären könnte (s. Kap. 3.6).

Folgende Faktoren haben Einfluss auf die Stellung des harten Gaumens zu Basion:

- a) Basion
- b) Remodeling des harten Gaumens innerhalb der Maxilla
- c) Suturelle Apposition der Maxilla an Sutura frontomaxillaris, zygomaticomaxillaris, zygomaticotemporalis, pterygopalatina, ethmoidomaxillaris, nasomaxillaris

- d) Synchrondrosis speno-occipitalis
- e) Sutura spenoethmoidalis
- f) Rotation der Maxilla

zu a Basion kann als Bestandteil der Schädelbasis, am Vorderrand des Foramen magnum als konstante Referenzstruktur angesehen werden.

Das Os occipitale ist durch seine umgebenden, lebensnotwendigen Strukturen wie Gehirn und Rückenmark im Ausmaß seiner Veränderung eingeschränkt.

Auch ein Vergleich der umliegenden Bestandteile des Nervensystems mit denen im Bereich der vorderen Schädelbasis spricht für die Konstanz von Basion.

In nächster Umgebung dieses Punktes ist der Hirnstamm zu finden, bei dem das Wachstum nach der Geburt gering ist.

Enlow und Hans (1996) beschreiben ein Absinken des Foramen magnum durch Oberflächenremodeling.

Auch Thilander und Ingervall (1973) geben an, dass es bei allen von ihnen histologisch untersuchten Zellblöcken vor Verschluss der Synchrondrosis speno-occipitalis im Bereich des Clivus kranial zu Resorption und kaudal zu Apposition kommt. Allerdings machen sie keine Angaben über das Ausmaß.

zu b Baumrind et al. (1987) untersuchten das Remodeling des harten Gaumens in Relation zu Implantaten. Sie stellten fest, dass es im Alter von 13,5 Jahren zu einer deutlichen Abnahme der Wachstumsvorgänge kommt. Dies stimmt mit den hier erhobenen Daten überein (s. Abbildung 15). Zusätzlich zum Sistieren des suturellen Wachstums endet also auch das Remodeling des harten Gaumens nach kaudal im Alter von ca. 13 Jahren.

zu c Björk (1975) beschreibt, dass der Nasenbodens durch Oberflächenremodeling innerhalb der Maxilla um 4,4 mm nach kaudal remodelt. Gleichzeitig kommt es zu einem suturellen Absinken der Maxilla um 10,6 mm, so dass insgesamt eine Lageänderung des Nasenbodens zu Sellanasion von 15,0 mm vorliegt.

Die vorliegenden Messungen ergaben eine Änderung von 3 mm des Nasenbodens im Verhältnis zu Basion als Bezugspunkt. Hierbei ist zu beachten, dass es sich um unterschiedliche Bezugssysteme handelt.

Die oben angegebenen Messungen unterscheiden sich im Altersbereich. Björk hat bereits Probanden im Alter von 4 Jahren untersucht, wobei in unserer Studie erst ab 7 Jahren Untersuchungen durchgeführt wurden. Beide Studien endeten im Alter von ca. 21 Jahren. Trotz dieser Abweichung in der Zeit kann die Differenz zwischen den von Björk und den in dieser Arbeit durchgeführten Messungen nicht allein durch die unterschiedlichen Untersuchungszeiträume entstanden sein.

zu d Das Wachstum der Synchronosis sphenoccipitalis hat sowohl eine horizontale als auch eine vertikale Komponente.

Greiner (1999) hat anhand der Marburger Schädelammlung die Strecke von Basion bis Sellaboden gemessen. Dies entspricht ungefähr dem Wachstum der Synchronosis sphenoccipitalis. Bereits im 9. Lebensjahr sind 72% der Endlänge erreicht.

Die hier durchgeführten Berechnungen der Longitudinalstudie beginnen im 7. Lebensjahr, so dass ein wesentlicher Einfluss des Wachstums der Synchronosis sphenoccipitalis auf die gesamte Messreihe angenommen werden kann.

Greiner (1999) hat für das dentale Alter von 5,0 bis 8,0 Jahren einen senkrechten Abstand von Basion auf Sella-Nasion von 24,7 mm gemessen. Für das dentale Alter von 30 Jahren ergab sich ein Wert von 27,7 mm. Die Ursache kann in einer Rotation der Schädelbasis oder im Wachstum der vertikalen Komponente innerhalb der Synchronosis sphenoccipitalis liegen.

zu e Die Sutura sphenoccipitalis führt lediglich zu einer horizontalen Lageänderung und wird nicht weiter analysiert. Laut Coben (1961) ist das Wachstum dieser Sutur bereits im Alter von 7 Jahren abgeschlossen.

Laut Ford (1958) ergibt sich ein Wachstum von ca. 4 mm in sagittaler Richtung, das im Alter von 6 Jahren abgeschlossen ist.

Melsen (1974) gibt an, dass nach dem 7. Lebensjahr innerhalb der Sutura sphenothmoidalis kein Wachstum mehr stattfindet, weil diese dann verknöchert.

zu f Auch eine Rotation des harten Gaumens innerhalb der Maxilla könnte für die unterschiedlichen Ergebnisse dieser Studie gegenüber der von Björk und Skieller (1977) verantwortlich sein.

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Messungen des Winkels von Sella-Nasion zum harten Gaumen (s. Abbildung 14), die keine eindeutige Rotation erkennen lassen, können dies nicht bestätigen. Die Bedeutung der Rotationsrichtung auf die gemessene Strecke wird weiter unten besprochen.

4.5. Winkel Sella-Nasion zu hartem Gaumen (ASNPP)

Für die Änderung des Winkels kann keine eindeutige Rotationsrichtung definiert werden (s. Abbildung 14).

Die Änderung des Winkels ist nur sehr gering. Es kann angenommen werden, dass der Winkel zwischen Sella Nasion und hartem Gaumen konstant bleibt.

4.6. Ursache der Änderung der Senkrechten von Basion auf den harten Gaumen

Anhand der geometrischen Konstruktion (s. Abbildung 9) konnten die Faktoren, die die Änderung der Senkrechten von Basion auf den harten Gaumen verursachen, im einzelnen untersucht werden und eine genauere Aussage über die mögliche Ursache der Streckenänderung von Basion senkrecht auf den harten Gaumen gemacht werden. Im Rahmen der Querschnittsstudie wurde eine jährliche Zunahme der Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen von -0,01 mm gemessen. Die Longitudinalstudie ergab einen Wert von 0,20 mm pro Jahr (s. Kap. 3.1.1 und 3.2.1)

Der Winkel zwischen der Clivusebene und der Ebene des harten Gaumens (APPCli) verkleinert sich im Durchschnitt nur um $-0,06^\circ$ pro Jahr (s. Kap. 6.5). Die Winkeländerung ist damit im Durchschnitt sehr gering. Die Änderung bei den einzelnen Probanden streut allerdings erheblich um diesen Mittelwert. Es darf also nicht aufgrund der geringen mittleren Winkeländerung bei der Longitudinalstudie darauf geschlossen werden, dass diese keinen Einfluss auf die gemessene Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen bei einem einzelnen Individuum bewirkt.

Die Abbildung 17 zeigt, dass sich die dort dargestellten Werte der Longitudinalstudie in Untergruppen aufteilen lassen. In Gruppe 1 ändert Spina nasalis anterior seine Position um einen größeren Betrag nach kaudal als Spina nasalis posterior und der Winkel zwischen Clivus und der Ebene

des harten Gaumens wird größer. Diese Gruppe wurde mit den Kreuzen als Symbol dargestellt.

In Gruppe 2 wandert Spina nasalis anterior nach kranial oder wandert um einen geringeren Betrag nach kaudal als Spina nasalis posterior und der Winkel zwischen Clivus und harter Gaumen wird kleiner. Diese Gruppe wird durch die Dreiecke und Vierecke als Symbole dargestellt.

Wenn Spina nasalis anterior seiner Lage um einen geringeren Betrag als Spina nasalis posterior nach kaudal ändert (Gruppe 2), nimmt der Abstand von Basion senkrecht auf den harten Gaumen im Durchschnitt über den gesamten Zeitraum der Untersuchung um 3,2 mm zu. Für den Fall, dass Spina nasalis anterior seine Lage um einen größeren Betrag als Spina nasalis posterior nach kaudal ändert (Gruppe 1), nimmt die gemessene Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen nur um 0,3 mm über den gesamten Zeitraum der Untersuchung zu. Für diese Messungen wurden jeweils der erste und letzte Datensatz jedes Probanden miteinander verglichen.

Das bedeutet, dass die Rotation des harten Gaumens im Fernröntgenseitenbild verantwortlich ist für die beobachtete Streckenänderung von Basion senkrecht auf den Gaumen in der Auswertung der longitudinalen Daten.

Die Fälle, in denen der Winkel kleiner wird, haben einen etwa 10 mal so großen Einfluss auf die gemessene Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen, wie die Fälle, in denen der Winkel größer wird.

Wenn der Winkel kleiner wird, liegt das Rotationszentrum ventral von Spina nasalis posterior. Das bedeutet, die Auswirkung auf die gemessene Strecke ist größer, als in den Fällen, bei denen der Winkel größer wird und das Rotationszentrum dorsal von Spina nasalis posterior liegt. Je näher das Rotationszentrum nämlich an Basion liegt, desto geringer ist die Auswirkung auf die Strecke von Basion senkrecht auf den harten Gaumen.

Dies erklärt zusätzlich die unterschiedlichen Messergebnisse der Querschnittsstudie gegenüber der Longitudinalstudie. Bei der

Querschnittsstudie wird nur die Lage von Spina nasalis posterior im dorsalen Anteil des harten Gaumens mithilfe der Messgabel erfasst. Bei der Longitudinalstudie hingegen, wird die Lage des gesamten Gaumens untersucht, so dass die Rotation Einfluss auf die untersuchte Strecke BaL nehmen kann.

Es wird deutlich, dass Spina nasalis anterior seine Position während der Untersuchung auch nach kranial ändern kann, was bei Spina nasalis posterior nicht vorliegt. Dies bewirkt zusätzlich eine große Streuung der Rotation und für die hier untersuchte Strecke BaL eine starke Zunahme. Die Rotation kommt durch die Variabilität der Position von Spina nasalis anterior im Fernröntgenseitenbild zustande, wie in Abbildung 18 dargestellt.

4.7. Schlussfolgerung

Spina nasalis anterior ist aufgrund der ungenauen Definition im Fernröntgenseitenbild nicht geeignet, um Fernröntgenseitenbilder auf konstanten Strukturen zu überlagern. Ebenso wenig ist der harte Gaumen geeignet, weil dieser im Fernröntgenseitenbild auch durch Spina nasalis anterior definiert ist.

Björk und Skieller (1977) geben an, dass die vordere vertikale Gesichtshöhe zwischen Sella Nasion und Spina nasalis anterior insgesamt um 10,6 mm zunimmt. Sie bezeichnen dies als „sutural lowering“. Dabei ist noch zu berücksichtigen, dass der harte Gaumen zusätzlich zu diesem „sutural lowering“ innerhalb der Maxilla nach kaudal um 4,4 mm remodelt, so dass die Maxilla um einen noch geringeren Betrag gegenüber Basion ihre vertikale Lage ändert. Die hier durchgeführte Messung ergab lediglich eine Änderung zwischen dem harten Gaumen und Basion von 3 mm. Die Differenz zwischen den zwei Messungen ist so groß, dass sie nicht durch Rotation oder ähnliches erzeugt worden sein kann.

Das bedeutet, das suturale Wachstum der Maxilla nach kaudal wird durch vertikales Wachstum in der Synchondrosis sphenoccipitalis weitgehend wieder ausgeglichen, um die vertikale Distanz im Bereich des Pharynx zu erhalten.

5. Zusammenfassung

Die Datenerhebung erfolgte anhand von zwei Untersuchungsgruppen. Es wurde eine Querschnittsstudie anhand der Marburger Schädelammlung, bestehend aus 236 Schädeln ausgewertet. Die Datenerfassung erfolgte mit Hilfe einer speziellen Messgabel. Außerdem wurden im Rahmen einer Longitudinalstudie insgesamt 1536 FRS-Durchzeichnungen von holländischen Kindern ausgewertet.

Ergebnisse

1. Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Messungen ergaben, dass sich die Lage des harten Gaumens gegenüber dem Punkt Basion in der Vertikalen während des Wachstums nur um 3 mm ändert. Von einem Absenken der Maxilla gegenüber der Schädelbasis während des Wachstums zu sprechen, ist inkorrekt. Es handelt sich um ein Anheben. Diese Erkenntnis hat Einfluss auf skelettale Funktionstherapien, die darauf abzielen, das vertikale Wachstum der Maxilla auszunutzen.
2. Durch Interpolation der Rohdaten und trigonometrische Berechnungen konnte das Wachstum des harten Gaumens genauer untersucht werden und eine Aussage über den Einfluß der Rotation auf die gemessene Strecke gemacht werden. Die Interpolation ermöglichte außerdem, eine genauere Aussage über die individuelle Zunahme der untersuchten Strecke zu machen, die ohne diese nicht angegeben werden kann. Nur so konnte gezeigt werden, dass das vertikale Wachstum bei den Jungen größer ist.
3. Die trigonometrischen Berechnungen ergaben, dass Spina nasalis posterior konstanter ist, als Spina nasalis anterior. Spina nasalis anterior kann seine Lage sogar nach kranial ändern. Dies vergrößert die gemessene Strecke zusätzlich.

6. Anhang

6.1. *Differenz der Messung Buchwald und Mönchmeyer*

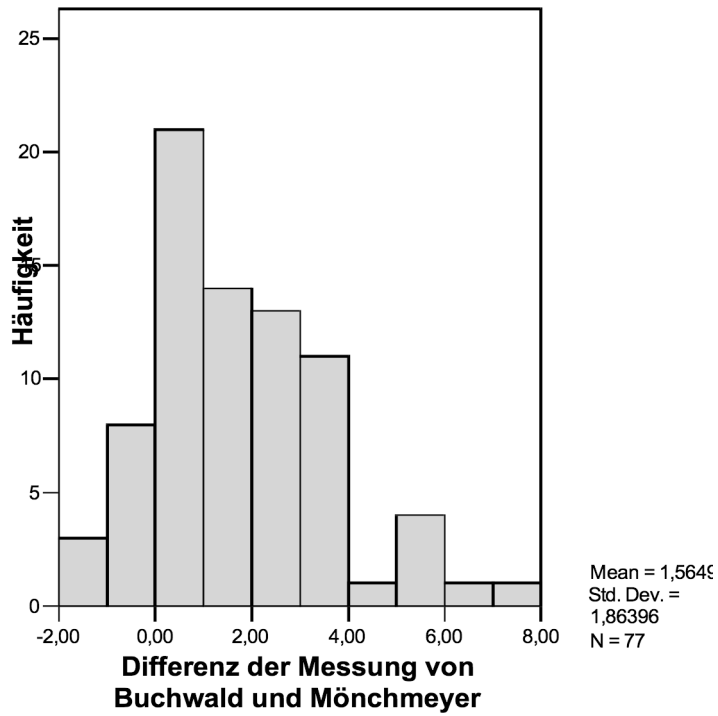


Abbildung 19: Differenz des Messung Buchwald und Mönchmeyer

6.2. *Differenz der Messung Buchwald und Groningen*

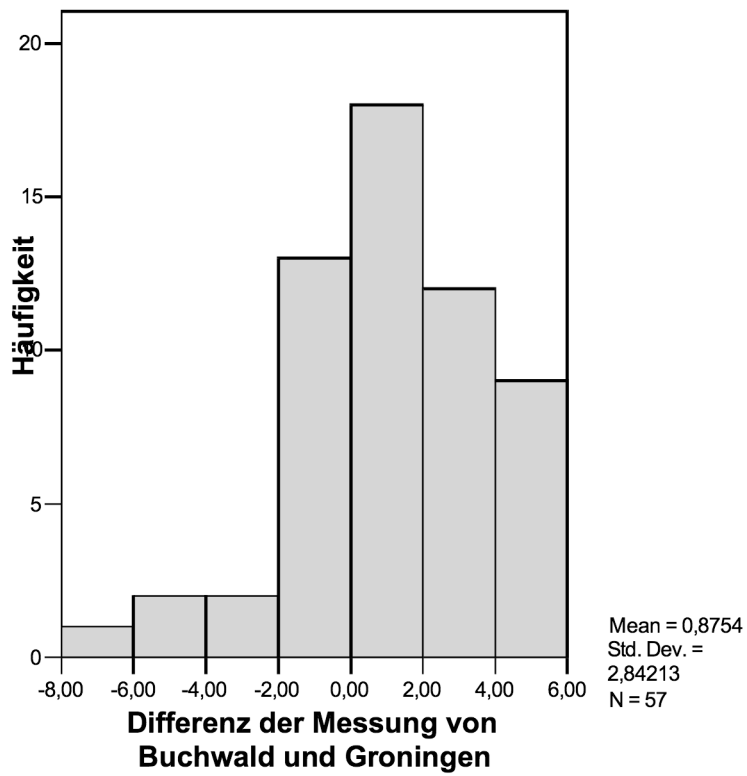


Abbildung 20: Differenz der Messung Buchwald und Groningen

6.3. **Differenz der Messungen aus Marburg und Groningen des vertikalen Abstandes von Basion auf die Ebene des harten Gaumens**

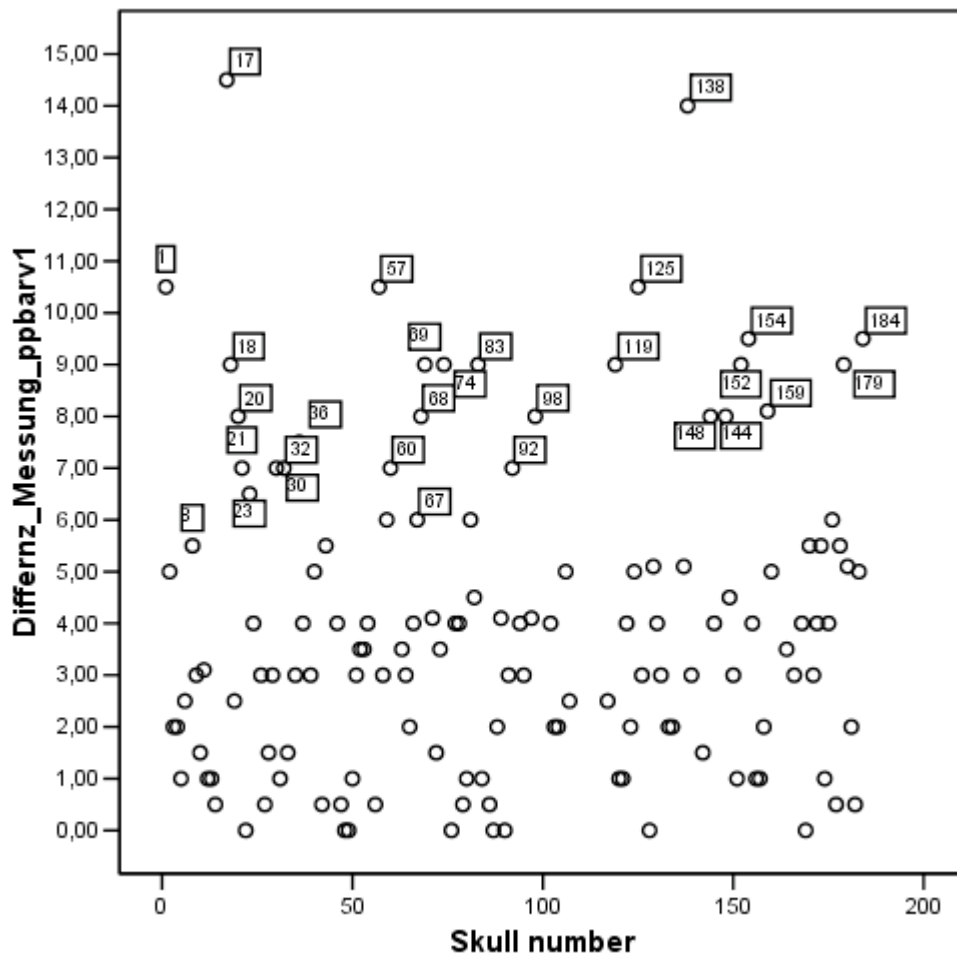


Abbildung 21: Differenz der Messung aus Marburg und Groningen des vertikalen Abstandes von Basion auf die Ebene des harten Gaumens

6.4. Vergleich des Winkels zwischen den Ebenen Sella-Nasion und harter Gaumen der Originaldaten mit den interpolierten Daten

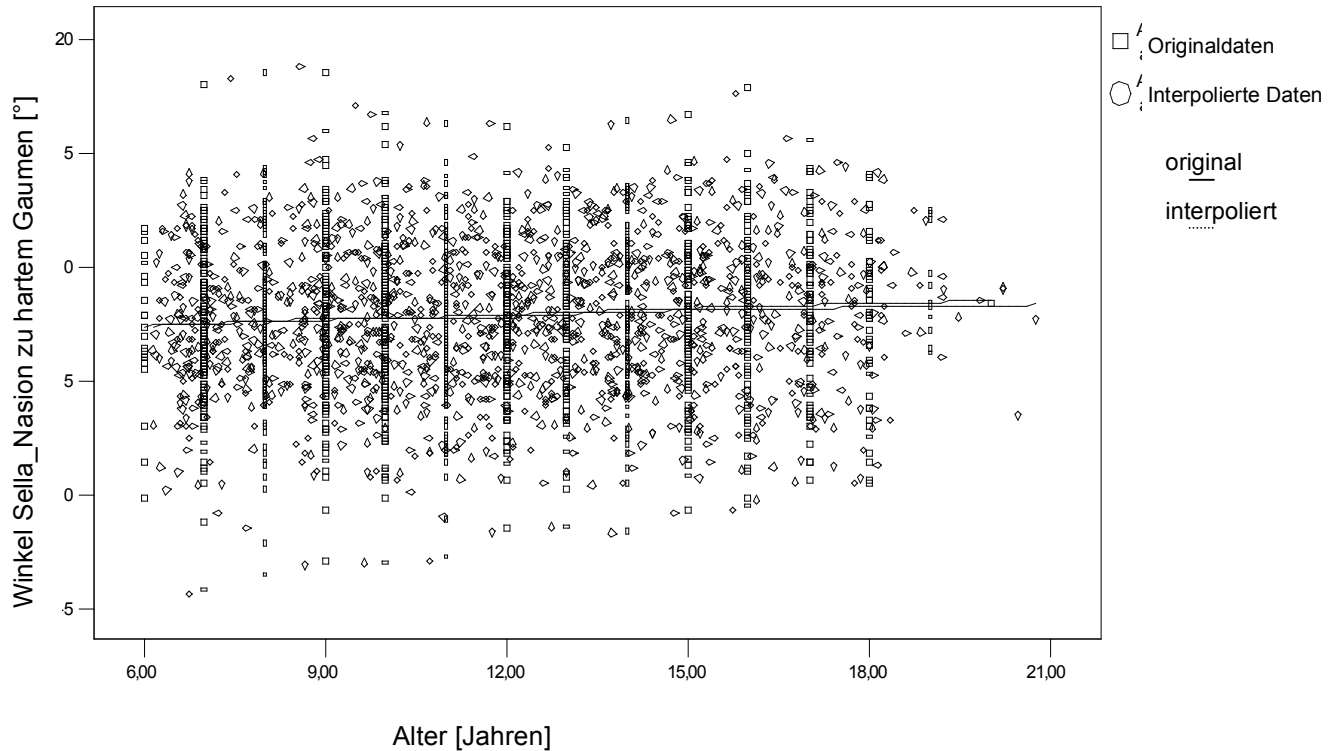


Abbildung 22: Vergleich des Winkels zwischen den Ebenen Sella-Nasion und harter Gaumen original / interpoliert

Beide Originaldatengruppen wurden zusätzlich durch eine Funktion nach Loess beschrieben. Die durchgehende Linie entspricht den Originaldaten, die gestrichelte Linie entspricht den interpolierten Daten.

Beide Graphen divergieren zunehmend mit dem Alter, so dass die Zunahme des Winkels in den Originaldaten ca. $0,25^\circ$ kleiner ist.

Außerdem ist bei größerer Auflösung der Graphen die Glättung des interpolierten Graphen deutlich zu erkennen.

Ein t-Test für unabhängige Stichproben ergibt für die Altersklasse 15 der interpolierten Daten bzw. den entsprechenden Altersbereich 14,5 bis 15,5 Jahren der Originaldaten eine beidseitige Wahrscheinlichkeit von $p = 0,941$. Der unterschiedliche Verlauf der Graphen ist statistisch also nicht signifikant.

Die Differenz zwischen den jeweiligen Mittelwerten der Datensammlungen beträgt $0,03^\circ$.

6.5. *Winkel zwischen der Clivusebene und der Ebene des harten Gaumens in Abhängigkeit vom Alter (Originaldatensatz)*

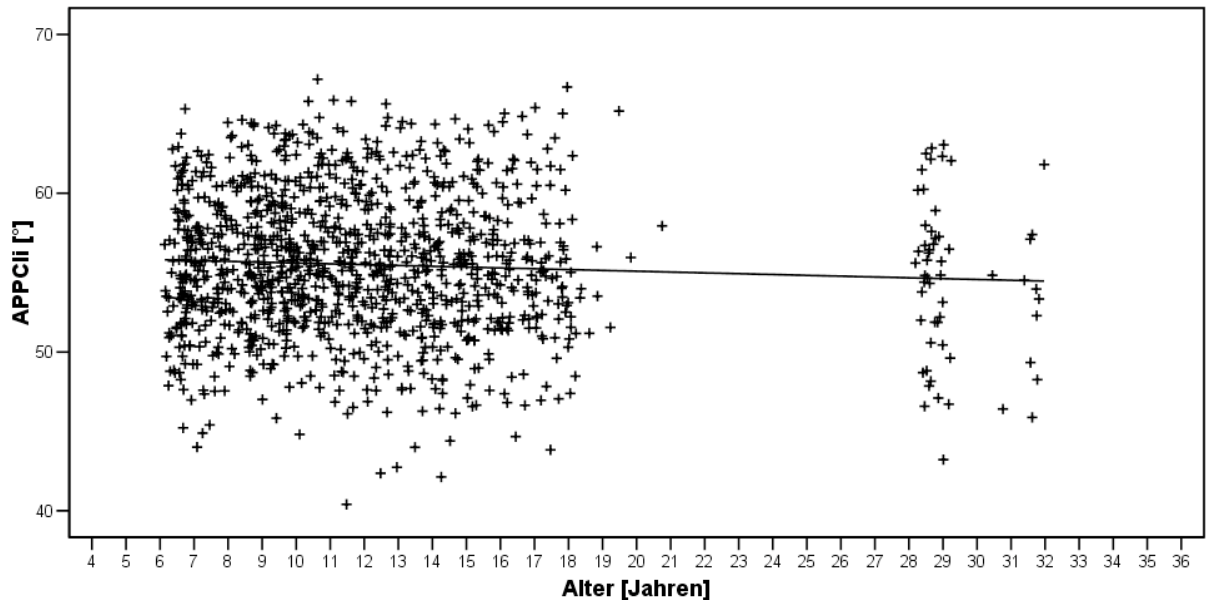


Abbildung 23: AClIPP: Winkel zwischen Clivusebene (BaS) und hartem Gaumen (SNA-SNP) in Abhängigkeit vom Alter

Die Abbildung 23 zeigt den Winkel in Abhängigkeit vom Alter. Es wurde der Originaldatensatz verwendet, der nicht interpoliert worden ist. Die auffällige Struktur des Diagramms mit einer geringen Anzahl an Messwerten zwischen dem 20. und 28. Lebensjahr ist anhand der Studiendurchführung zu erklären. Darauf wird in der Diskussion eingegangen.

Die lineare Regression ergibt folgende Funktion:

$$f(x) = 56,25 - 0,06 \times \text{Alter} \quad [6]$$

Die Abhängigkeit der Werte voneinander beträgt 0,64 und die Irrtumswahrscheinlichkeit für die Änderung des Winkels 0,02. Das bedeutet, der Winkel nimmt im Durchschnitt pro Jahr um $0,06^\circ$ ab.

Diese Änderung ist als sehr gering einzustufen, so dass keine eindeutige Rotationsrichtung festgestellt werden kann.

6.6. Mittelwerte der Senkrechten von Basion auf harter Gaumen (BaL), unterteilt nach Geschlecht

Tabelle 6: Mittelwerte der Senkrechte von Basion auf harter Gaumen (BaL), nach Geschlecht unterteilt, interpolierte Daten

Altersgruppe	Häufigkeit weiblich	Mittelwert BaL weiblich	Häufigkeit männlich	Mittelwert BaL männlich
6	9	1,58	14	3,65
7	67	2,33	78	1,96
8	64	2,64	71	2,38
9	65	2,85	73	2,60
10	68	2,84	72	2,75
11	56	3,38	64	3,19
12	47	3,99	61	3,43
13	41	4,07	54	3,43
14	45	4,41	47	3,86
15	42	4,96	42	3,53
16	36	5,00	35	3,39
17	30	4,65	25	3,57
18	21	4,99	16	4,93
19	2	2,94	3	4,28
29	1	4,84	1	5,50

6.7. Mittelwerte des Winkels Sella-Nasion zu harter Gaumen, unterteilt nach Geschlecht

Tabelle 7: Mittelwerte des Winkels Sella-Nasion zu harter Gaumen (ASNPP), nach Geschlecht unterteilt, interpolierte Daten

Altersgruppe	Mittelwert ASNPP männlich	Häufigkeit männlich	Standardabweichung [mm]	Mittelwert ASNPP weiblich	Häufigkeit weiblich	Standardabweichung [mm]
6	6,25	14	3,31	8,63	9	1,99
7	7,53	79	3,31	7,48	67	3,19
8	7,71	72	3,63	7,53	66	3,12
9	7,90	75	3,53	7,66	70	3,15
10	7,87	77	3,48	7,78	77	3,30
11	7,70	71	3,36	7,50	73	3,51
12	7,82	75	2,87	7,42	64	3,24
13	7,93	72	3,16	8,15	60	3,33
14	8,03	66	3,17	8,02	64	3,38
15	8,29	61	3,15	7,80	59	3,53
16	8,44	50	3,44	7,87	48	3,79
17	8,25	38	3,20	7,87	40	3,74
18	7,82	27	2,96	8,00	26	3,99
19	8,68	7	2,09	9,78	5	2,41
20	8,45	1	-	-	-	-
29	7,99	32	3	7,48	30	3,68
	MW: 7,89	Σ: 785	MW: 3,28	MW: 7,75	Σ: 728	MW: 3,36

6.8. Interpretation der Ausreisser

Cave: Punkte im Bereich der Halswirbelsäule ändern sich unabhängig vom Wachstum, weil die Patienten verschieden stehen.

Id 185

Ausreißer bei Aufnahme-Nr. 4 (in Bezug auf FRS-Bilder)

Basion bleibt konstant allerdings starke Anteinklination des Nasenbodens in Relation zum vorherigen Durchzeichnung.

In Relation zum anschließenden Bild bleibt Anteinklination erhalten. Allerdings wächst Nasenboden nach kaudal → führt zum Ausgleich der Ausreißers.

Empfehlung: Ausreißer durch Rotation und anschließendes Absinken bedingt → Messung beibehalten.

Id 177

Ausreißer bei Aufnahme Nr. 7

Basion wandert in Relation zu vorherigen Bild nach kaudal, allerdings die übrigen Strukturen der Mandibula auch, inkl. Porus acusticus externus.

In Relation zu nachfolgenden Bild Retroinklination der Maxilla und Absenken des Basions führen zu Ausgleich. Allerdings wandern die Strukturen der Mandibula wieder nach Kranial dorsal zurück.

Empfehlung: Messung (v.a. Aufnahme Nr. 7 aus Messung nehmen, weil das Bild chronologisch falsch eingeordnet zu sein scheint.

Id 171

Ausreißer Aufnahme 1

In Relation zu nachfolgendem Bild Wachstum der Maxilla und Mandibula nach vorne unten Alle Strukturen wachsen. Allerdings Rotation der Maxilla, die im übernächsten Bild wieder aufgehoben wird.

Empfehlung: Aufnahme 3 als Ausreißer betrachten und rausschmeißen.

Id 147

Aufnahme 10

Retroinklination und kaudales Wachstum des Basion verursachen Ausreißer.
Übrige Strukturen wachsen mit.

Empfehlung: Wert beibehalten Cave: großer Zeitraum zu vorheriger Messung

ID 130

Aufnahme 5

Auf der anschließenden letzten Messung ist „Sunday“ auf der Durchzeichnung vermerkt.

Empfehlung: Entfernen der letzten Messung dieses Patienten.

ID 118

Aufnahme 1

Anteinklination der Maxilla und kaudales Wachstum des Basion inkl. Übriger
Strukturen

Empfehlung: Messung beibehalten.

Bild nicht in Okklusion aufgenommen.

Id 113

Aufnahme 1

Alle Strukturen ändern sich gleichmäßig.

Empfehlung: Ausreißer beibehalten.

Id 111

Aufnahme 4 und 5

In Relation zur vorherigen Durchzeichnung: Anteinklination des Nasenbodens
und der übrigen Struktur führt zu Ausreißer. Empfehlung: Aufnahme 4
beibehalten.

Auch bei folgenden Durchzeichnungen ändern sich die Strukturen parallel.

Empfehlung: Messung beibehalten.

Id 89

Messung 3

Die Spina nasalis posterior verändert sich nicht parallel zu den übrigen Punkten der Maxilla. Empfehlung: Entfernen der Messung vom 17.1.1956

Id 88

Alle Werte verändern sich gleichmäßig. Ausreißer durch Retroinklination der Maxilla verursacht.

ID 83

Ausreißer bedingt durch Anteinklination in Relation zur vorherigen Durchzeichnung und Retroinklination in Relation zur anschließenden Durchzeichnung. Die übrigen Strukturen der Maxilla ändern sich parallel.

Empfehlung: Messung beibehalten.

Id 76

Durchzeichnung 4

Ausreißer bedingt durch Retroinklination in Relation zu vorherigem Bild, bedingt durch Spina nasalis anterior. Das sich nicht parallel zu übrigen Werten verhält.

Empfehlung: Entfernen von Messung Nr. 4. vom 10.5.54

ID 69

Durchzeichnung Nr. 1

Ausreißer bedingt durch Anteinklination des Nasenbodens zwischen 1. und 2. Messung, wobei SNP nicht in Relation zu übrigen Punkten steht.

Empfehlung: Entfernung der 1. Messung

Id 67

Durchzeichnung nr. 5

Nicht beurteilbar, da Strukturen in Messung 4 nicht durchgezeichnet.

Empfehlung: letzte Messung entfernen.

Id 60

Durchzeichnung 6 und 3

Alle Strukturen ändern sich parallel. Die Ausreißer entstehen durch Ante und Retroinklination.

Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 55

Durchzeichnung 5

Hier lag tatsächlich ein Messfehler vor. Neuer Wert: +2

Id 47

Durchzeichnung 1

Die Werte sind parallel.

Empfehlung: Messung beibehalten.

Id 43

Durchzeichnung 1

Die Werte verhalten sich parallel.

Empfehlung: Messung beibehalten.

Id 40

Durchzeichnung 5

Dieser Wert kommt zustande durch ein nach kaudal wachsendes Basion. Der Nasenboden liegt stabil.

Empfehlung: Wert beibehalten.

Id 30

Durchzeichnung 1

Die Werte ändern sich parallel, pp konstant, Basion sackt ab.

Empfehlung: Wert beibehalten.

Id 27

Durchzeichnung 4

Der Wert kommt durch eine Retroinklination des pp zustande. Die übrigen Strukturen verändern sich parallel.

Empfehlung: Wert beibehalten.

Id 26

Durchzeichnung 1

Der Wert entsteht durch eine Anteinklination der Maxilla.

Empfehlung: Wert beibehalten.

Id 25

Durchzeichnung 5

Die Werte ändern sich parallel.

Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 23

Durchzeichnung 1

Die Werte ändern sich parallel.

Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 16

Durchzeichnung 4

Die Werte verändern sich parallel.

Empfehlung: Messung beibehalten.

Id 8

Durchzeichnung 8

Die Werte verändern sich parallel.

Empfehlung: Messung beibehalten.

Id 7

Durchzeichnung 1

Die Werte kommen durch eine Anteinklination zur nächsten Durchzeichnung zustande und einem nach kaudalen Wachstum des Basions.

Empfehlung: Wert beibehalten.

Id 6

Durchzeichnung 6

Die Werte ändern sich parallel.

Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 4

Durchzeichnung 4

Die Werte ändern sich parallel.

Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 363

Wert kommt durch Anteinklination des Nasenbodens zustande. Außerdem großer zeitlicher Abstand zu vorherigen Messungen. Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 344

Durchzeichnung 8

Wert entsteht durch ein kranial verlagertes Basion und eine Retroinklination des Nasenbodens in Relation zum vorherigen Bild.

Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 334

Durchzeichnung 1

Das Basion liegt im Verhältnis zu den übrigen Strukturen in der 1. Durchzeichnung höher.

Empfehlung: 1. Messung löschen.

Id 329

Durchzeichnung 3

Die Werte verhalten sich parallel.

Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 325

Messung 2

Der Wert entsteht durch Anteinklination des Nasenbodens. Außerdem legt der dritte Wert zeitlich weit entfernt. Empfehlung: Werte beibehalten.

Id 301

Die Strukturen verhalten sich parallel. Allerdings fehlen im vorherigen Bild einige Strukturen zur Kontrolle.

Empfehlung: Werte beibehalten.

7. Literaturverzeichnis

Baumrind MS, Korn EL, Ben-Bassat Y, West EE 1987

Quantitation of maxillary remodeling. American Journal of Orthodontics and Dentofacial orthopedics, 91: 29 – 41

Bhatia SN, Leighton BC 1993

A computer analysis of longitudinal cephalometric growth data. A manual of facial growth, Oxford University Press, New York

Björk A 1966

Sutural growth of the upper face studied by the implant method. Transactions of the European Orthodontic Society, 40: 49 - 65.

Björk A 1968

The use of Metallic Implants in the Study of Facial Growth in Children: Method and application, American Journal Physical Anthropology, 29: 243 – 254

Björk A, Skieller V 1976

Postnatal growth of the maxillary complex. In: Factors affecting the growth of the midface. Mc Namara JA ed. Center for Human Growth and Development, University of Michigan, Ann Arbor, 6: 61-99

Björk A, Skieller V 1977

Growth of the Maxilla in Three Dimensions as Revealed Radiographically by the Implant Method. British journal of Orthodontics, 4: 53 – 64

Björk A, Sarnäs KV, Rune B 1995

Intramatrix rotation - the frontal bone, European Journal of Orthodontics, 17: 3 – 7

Brodie AG 1941

On the growth pattern of the human head, American Journal of Anatomy, 68: 209 – 268

Broseghini B 2004

Das Wachstum des Pharyngealraums. Eine laterale röntgenkephalometrische Untersuchung auf der Grundlage einer Schädelammlung. Medizinische Dissertation, Phillips-Universität Marburg

Coben SE 1955

The Integration of facial skeletal variants, American Journal of Orthodontics, 41: 407 – 434

Coben, SE 1961

Growth Concepts. Angle Orthodontist, 31:194 – 201

Coben SE 1979

Basion Horizontal Coordinate Tracing Film. Journal of clinical orthodontics, 12: 598 – 605

Coben SE 1998

The speno occipital synchondrosis: The missing link between the profession`s concept of craniofacial growth and orthodontic treatment, American Journal of Orthodontics and Dentofacial orthopedics, 114: 709 – 712

Dahlberg G 1940

Statistical methods for medical and biological students. Interscience Publications, New York

Dibbets JMH, Müller B 2004/2005

Wachstumsprozesse und –Mechanismen I und II. Vorlesungsbegleitendes Skript für das vierte und fünfte klinische Semester, Philipps-Universität Marburg

Dibbets JMH, Djafari J 2002

Befunderhebung, Gewichtung, Lösungsansätze von kieferorthopädischen Problemen. Vorlesungsbegleitendes Skript für das erste und zweite klinische Semester, Philipps-Universität Marburg

Dibbets JMH, Trotman CA, McNamara JA., Van der Welle LT 1997

Multiple Linear Regression as an Analytical tool in Cephalometric Studies. British Journal of Orthodontics, 24: 61 – 66

Enlow DH, Bang S 1965

Growth and Remodeling of the human Maxilla. American Journal of orthodontics, 51, Vol 6, 446 – 464

Enlow DH 1990

Facial growth, WB Saunders Company, Philadelphia, Pennsylvania

Enlow DH, Hans MG 1996

Essentials of facial growth. WB Saunders Company, Philadelphia, Pennsylvania

Ford, EHR 1958

Growth of the human cranial base, American Journal of Orthodontics, 44: 498 – 506

Fränkel R 1980

The applicability of the occipital reference in cephalometrics. American Journal of Orthodontics, 77: 379 – 395

Gasson N, Laverne J 1977

The maxillary rotation: Its relation to the cranial base and the mandibular corpus. An implant study, Acta Odontologica Scandinavica. 35: 89 – 94

Gasson N, Lavergne J 1982

Analysis and Classification of the Rotational Growth Pattern Without Implants. *British Journal of Orthodontics*, 9: 51 – 56

Greiner P 2000

Die Frankfurter Horizontale. Eine anatomische – röntgenkephalometrische Untersuchung zur Lageveränderung von Porion und Orbita während des Wachstums. Medizinische Dissertation, Philipps-Universität Marburg

Hunter WS 1968

Elementary principles of cephalometrics, in Enlow DH: *The human face, an account of the postnatal growth and development of the craniofacial skeleton*. Harper and Row, New York

Iseri H, Solow B 1990

Growth displacement of the Maxilla in girls studied by the implant method, *European Journal of Orthodontics*. 12: 389 – 398

Iseri H, Solow B 1995

Average surface remodeling of the maxillary base and the orbital floor in female subjects from 8 to 25 years. An implant study. *American Journal of Dentofacial Orthopedics*, 107: 48 – 57

Latham RA 1972

The sella point and postnatal growth of the human cranial base. *American Journal of Orthodontics*, 61: 156 – 162

Melsen B 1972

Time and mode of closure of the spheno-occipital synchondrosis determined on human autopsy material. *Acta anatomica*, 83: 112 – 118

Melsen B 1974

The cranial base. Acta odontologica skandinavia, Vol 32, Supplement 62:
Thesis

Melsen B 1975

Palatal growth studied on human autopsy material. A histological
microradiographic study. American Journal of Orthodontics, 68: 42-54

Melsen B, Melsen F 1982

The postnatal growth of the palatomaxillary region studied on human
autopsy material, American Journal of Orthodontics, 82: 329 – 341

Mönchmeyer N, 2006

Vertikales Wachstum der Maxilla. Eine vertikal frontale anatomische
Untersuchung auf der Grundlage einer Schädelammlung, Diss., Philipps-
Universität Marburg

Moore CFA, Kent RL 1978

A step function model using tooth counts to assess the development timing
of the dentition. Annals of Human Biology, 5: 55 – 68

Moss ML, Greenberg SN 1955

Postnatal growth of the human skull base, Angle orthodontist, 25: 77 – 84

Moss ML, Greenberg SN 1967

Functional Cranial Analysis of the Human Maxillary Bone: I, Basal Bone.
Angle orthodontist, 37: 151 – 164

Moss ML 1971

Functional Cranial Analysis and the functional Matrix. American Speech
and Hearing Association, 6: 5 – 18

Nielsen L, Bravo LA, Miller AJ 1989

Normal maxillary and mandibular growth and dentoalveolar development in *Macaca mulatta*. *American Journal of Dentofacial Orthopedics*, 96: 405 – 415

Powell TV, Brodie AG 1963

Closure of sphenoid-occipital synchondrosis, *Anatomical Record*, 147: 15 - 23

R Development Core Team – R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL www.R-project.org

Rommelink, J. H. 1998

Orientation of maxillary surfaces *European Journal of Orthodontics*, 10: 223 – 226

Scott JH 1958

The Analysis of Facial Growth. *American Journal of Orthodontics*. 44:7: 507 – 512

Thilander B, Ingervall B 1973

The Human sphenoid-occipital synchondrosis. *Acta Odontologica Scandinavica*, 31: 323 – 336

7.1. Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer während meines Studiums an der Philipps-Universität in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten

Aumüller, Austermann, Barth, Cetin, Coca, Czubayko, Dibbets, Dünne, Feuser, Flores de Jacoby, Folz, Gente, Glörfeld, Gudermann, Hasilik, Holzheidt, Höffken, Koolmann, Lehmann, Lill, Löffler, Lotzmann, Maier, Mandrek, Mengel, Mittag, Neumüller, Pieper, Radsack, Ramaswamy, Rogausch, Seitz, Sonntag, Stiletto, Stachniss, Steiniger, Stelzel, Stoll, Suske, Umstadt, Wagner, Weihe, Werner

7.2. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. J. M. H. Dibbets und natürlich Herrn Dr. Bernd Müller für die Überlassung des Themas, das große Interesse, das sie dieser Arbeit stets entgegenbrachten und die bei der Ausführung erwiesene Unterstützung.

Sie haben mir auf diese Weise gezeigt, wie wissenschaftlich gearbeitet wird und haben mich stets zu kritischem Denken angeregt.

8. Lebenslauf

Name: Buchwald
Vorname: Bernhard
Geburtsdatum: 24.1.1982
Geburtsort: Bremerhaven
Eltern: Dr. Bernhard Buchwald, Zahnarzt
Renate Buchwald, Rechtsanwältin u. Notarin

Schulausbildung:

August 1989- Juli 1993 Grundschule und Orientierungsstufe in Bremerhaven
September 1993-Juli 1999 Gymnasium der Wilhelm-Raabe-Schule in
Bremerhaven,
August 1998- Juni 2001 Gymnasiale Oberstufe der Bürgermeister-Smidt-
Schule Bremerhaven, Abitur im Juni 2001

Studium:

Oktober 2001-Sommer 2007 Studium der Zahnmedizin am Medizinischen
Zentrum für Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde der Philipps-Universität
Marburg

September 2002 Naturwissenschaftliche Vorprüfung

Oktober 2004 Zahnärztliche Vorprüfung

Juni 2007 Zahnärztliche Prüfung

September 2007 Beginn der Weiterbildung Oralchirurgie,
RÜ-Klinik Essen und zahnärztliche Tätigkeit
Praxis Dr. Buchwald und Partner,
Bremerhaven
Veröffentlichungen zum Thema
dreidimensionale, schablonengeführte
Implantation und Operation

9. Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Humanmedizin der Universität Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „vertikale Höhe des Nasenbodens im Vergleich zu Basion“ im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsklinik Marburg unter der Leitung von Prof. Dr. J. M. H. Dibbets ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.