

**Diplomarbeit**

**Rekonstruktionsversuch der Frankfurter  
Horizontalen anhand benachbarter, anatomischer  
Schädelstrukturen**

eingereicht von

**Konstanze Trubrig**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der Zahnheilkunde**

**(Dr. med. dent.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Klinische Abteilung für Kieferorthopädie  
der Universitätsklinik für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde Graz**

unter der Anleitung von

**Ass.-Prof<sup>in</sup>.Dr<sup>in</sup> Margit Pichelmayer  
Priv.Doz<sup>in</sup>. Dr<sup>in</sup>. Brigitte Wendl**

*Eidesstattliche Erklärung*

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Graz, am 05.07.2016*

*KonstanzeTrubrig eh*

## Danksagungen

Mein ganz besonderer Dank gilt Frau Ass.Prof<sup>in</sup>.Dr<sup>in</sup>. Margit Pichelmayer für die gemeinsame Auswahl der Thematik und die Unterstützung bei dieser Arbeit mit viel Geduld und Engagement.

Ebenso danke ich Frau Priv.Doz<sup>in</sup>. Dr<sup>in</sup>. Brigitte Wendl für ihre Hilfestellungen und Bemühungen als Zweitbetreuerin.

Weiters danke ich Frau DI Irene Mischak für die statistischen Bearbeitung und Auswertung sowie für die zahlreichen beratenden Gespräche.

Meiner lieben Familie danke ich für die Unterstützung während des gesamten Studiums.

Danke für das Vertrauen in mich.

# Zusammenfassung

## Zielsetzung:

Ziel der Diplomarbeit war eine Untersuchung der Frankfurter Horizontalen (=FH) und die Suche nach errechenbaren Zusammenhängen mit radiologisch gut erkennbaren Nachbarstrukturen, um ihre Einzeichnung im Fernröntgen bei unpräziser Abbildung des Punktes Porion reproduzierbar durchführen zu können.

## Patienten und Methodik:

An 51 lateralen Fernröntgenbildern von Klasse I Patienten wurden von 2 unabhängigen Untersuchern 17 Parameter, die in Beziehung zur Frankfurter Horizontalen standen, vermessen und verglichen. Der Fokus lag auf den Schnittpunkten der FH mit der Fossa pterygopalatina und den Winkeln, die sie mit den Fernröntgenpunkten Sella, Orbitale, Articulare und Gonion einschließt. Die Patienten und Patientinnen, deren körperliches Wachstum abgeschlossen war, waren zum Zeitpunkt der verwendeten Röntgenaufnahmen weder kieferorthopädisch behandelt noch operiert.

## Ergebnisse:

Beobachtet wurde eine große Diskrepanz bezüglich der Höhe der Fossa pterygopalatina. Die Winkel Sella-Orbitale-FH und Articulare-Orbitale-FH ergaben eine beachtliche Streuung. Der Winkel Sella-Orbitale-Gonion zeigte die größte Stabilität und wies durch die Mittelwerte und Standardabweichungen der untersuchten Fernröntgen einen berechenbaren Bereich auf, durch den die Frankfurter Horizontale mit hoher Wahrscheinlichkeit verlief.

## Konklusion:

Bis auf den Winkel Sella-Orbitale-Gonion konnte man aufgrund der großen Streuung der Werte keine errechenbaren Rückschlüsse auf den Verlauf der Frankfurter Horizontale ziehen. Mit einer maximalen Abweichung von  $\pm 4,6$  Grad konnte die FH dargestellt werden.

## **Abstract**

### Objective:

The aim of the thesis was a study of the Frankfort horizontal and the search for an reproducible correlation with precisely visible neighbouring structures, to be able to mark the Frankfort Horizontal on the lateral x-ray, even if the porion point is not clearly evident.

### Methods:

Two independent examiners analyzed and compared 51 cephalometric lateral x-rays of class I patients regarding 17 parameters in relation to the FH. The main focus was on the intersections of the FH, the pterygoid fossa and the angle it formed with the cephalometric radiographic marks S, Or, Ar and Go. At the time of the x-ray participating patients were fully grown up and had not undergone orthodontic treatment including growth stimulating devices or previous surgery on the skull.

### Results:

The reported results showed a high validity and great discrepancy regarding the height of the pterygoid fossa. The angles S-Or-FH and Ar-Or-FH exhibit considerable distribution. The S-Or-Go angle indicated the greatest stability and by means and standard deviations of the aforementioned lateral cephalometric x-rays, an ascertainable area was calculated, through which the FH passes with high probability.

### Conclusion:

Due to the high deviation of results, except for the S-Or-Go-angle no ascertainable conclusion on the FH could be drawn. With a maximum deviation of +/- 4.6 degrees the FH could be depicted.

# Inhalt

Danksagungen .....	ii
Zusammenfassung .....	iii
Abstract .....	iv
Glossar und Abkürzungen .....	vi
Abbildungsverzeichnis .....	vii
Tabellenverzeichnis .....	ix
1 Einleitung und Grundlagen .....	10
1.1 Thematik und Hintergrund .....	10
1.2 Problematik der Frankfurter Horizontale .....	15
1.3 Ziel der Arbeit .....	17
2 Material und Methoden .....	18
2.1 Mathematische Überlegungen .....	18
2.2 Patientenauswahl und Kriterien .....	21
2.3 Bearbeitung der Fernröntgenbilder .....	22
2.4 Parameter .....	22
3 Ergebnisse .....	24
3.1 Alle Parameter .....	24
3.2 Verhältnis X zu Y .....	26
3.3 L zu K .....	28
3.4 $\alpha$ zu $\beta$ .....	31
3.5 $\alpha$ zu $\gamma$ .....	33
3.6 Fallbeispiel 1 .....	35
3.7 Fallbeispiel 2 .....	39
4 Diskussion .....	42
5 Schlussfolgerung .....	48
6 Literaturverzeichnis .....	49

## Glossar und Abkürzungen

FH:	Frankfurter Horizontale
FR:	laterales Fernröntgenbild
HWS:	Halswirbelsäule
Max.:	Maximum
Min.:	Minimum
NHP:	Natural Head Position
SD:	Standardabweichung

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Knöcherner Schädel auf planer Fläche, in seitlicher Ansicht von links, da laut Definition die FH durch das linke Orbitale verläuft.....	13
Abbildung 2: Knöcherner Schädel annähernd in Natural Head Position in seitlicher Ansicht von links.....	14
Abbildung 3: Unterschiede in der Neigung der FH (Bjerin 1957 Acta Odontol. Scand. 1957;15:1-12).....	16
Abbildung 4: Konzept der Einzeichnungen.....	18
Abbildung 5: Schema Höhe der Fossa pterygopalatina im Schnitt mit FH .....	19
Abbildung 6: Laterales Fernröntgenbild: FH (rot) und Fossa pterygopalatina (hellblau) mit Schnittpunkten (gelb) .....	20
Abbildung 7: Verhältnis x zu y in %. Ergebnisse der 51 Messungen. Ein Balken entspricht einem Patienten.....	27
Abbildung 8: Gegenüberstellung: Höhenunterschied der Fossa pterygopalatina der 51 FR .....	28
Abbildung 9: Häufigkeitsdiagramm Verhältnis l zu k in % auf X-Achse und der Häufigkeit auf der Y-Achse.....	29
Abbildung 10: Verhältnis l zu k in %. Die Balken entsprechen den 51 Patienten und Patientinnen. Die Werte wurden in absteigendem Verlauf l betreffend sortiert. ....	30
Abbildung 11: Histogramm mit geschätzter Normalverteilungskurve. X-Achse: Alpha/Beta in %, Y-Achse: Häufigkeit. ....	31
Abbildung 12: Verhältnis Alpha zu Beta in %. Jeder Balken entspricht einem Fernröntgenbild. ....	32
Abbildung 13: Histogramm: X-Achse: Alpha zu Gamma in %, Y-Achse: Häufigkeit. ....	33
Abbildung 14: Verhältnis Alpha zu Gamma in %. Ein Balken entsprach einem FR. ....	34
Abbildung 15: Mittelwerte der Winkel Alpha und Gamma. Angaben in Winkelgraden. Die errechnete Streuung beider Winkel von +/- 4,6 Grad ergab den Bereich für den wahrscheinlichen Verlauf der FH. ....	35
Abbildung 16: Fallbeispiel 1: gemessener Gesamtwinkel S-Or-Go (gelb).....	36
Abbildung 17: Fallbeispiel 1: Berechnung von Alpha und Gamma über Mittelwerte. ....	37
Abbildung 18: Fallbeispiel 1: Darstellung der Winkel Alpha (gelb) und Gamma (grün). Einzeichnung der berechneten FH (blau) und der der tatsächlichen FH (rot).....	37
Abbildung 19: Fallbeispiel 1: Rekonstruktion der Frankfurter Horizontalen .....	38
Abbildung 20: Fallbeispiel 2: Gesamtwinkel S-Or-Go (gelb) .....	39
Abbildung 21: Fallbeispiel 2: Berechnungen Alpha und Gamma über deren Mittelwerte .....	40
Abbildung 22: Fallbeispiel 2: Einzeichnung Alpha (gelb) und Gamma (grün).....	40
Abbildung 23: Fallbeispiel 2: Fehlerwinkel von 0,5 Grad zwischen errechneter FH (blau) und tatsächlicher FH (rot).....	41
Abbildung 24: Strecken mit Or als Ausgangspunkt .....	42
Abbildung 25: Wachstumsstufen (Björk A. 1968) .....	43
Abbildung 26: Schädelbasisknickung (Waldeyer 2003).....	44

Abbildung 27: Variation der Neigung S-N (Bjerin 1957) .....	45
Abbildung 28: Transferbogenanlegetechnik (Hohmann et Hilscher 2004) .....	46
Abbildung 29: Achseorbitalebene (Slavicek R. 2000).....	47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ICC- Werte der 17 Parameter .....	24
Tabelle 2: deskriptive Statistik aller Parameter (Angaben in mm und Winkelgrad) .....	25
Tabelle 3: Verhältnis I zu k. Angaben in %, Minimalwert, Maximalwert, Mittelwert und Standardabweichung. 100% = Summe aus I und k. ....	29
Tabelle 4: Verhältnis Alpha zu Beta. Angaben der Werte in %. Als 100% galt die Summe der Winkel Alpha und Beta.....	31
Tabelle 5: Verhältnis Alpha zu Gamma. 100% = Summe aus Alpha und Gamma. .....	33

# 1 Einleitung und Grundlagen

## 1.1 *Thematik und Hintergrund*

*„ANATOMIA CLAVIS ET CLAVUS MEDICINAE“*

*(Die Anatomie ist Schlüssel und Steuerruder in der Medizin)*

(Guilelmus Fabricius Hildanus 1624)

Dieser Leitspruch, der aus dem 17. Jh. stammt, hat auch heute in der hochtechnisierten modernen Medizin noch gleich wichtige Gültigkeit.

Voraussetzung für die Erstellung eines exakten Behandlungsplans in der Kieferorthopädie ist das umfassende Wissen über die Entwicklung und das Wachstum des Schädels und dessen anatomisches Endergebnisses. Alle anatomischen Strukturen sind einem lebenslangen Umbau in Form und Funktion unterlegen. Diese Veränderungen sind jedoch vernachlässigbar, wenn der Behandlungszeitraum zeitlich begrenzt ist.

Um die Lage der wichtigsten knöchernen Punkte des menschlichen Skelettes im 3-dimensionalen Raum zu bestimmen, sind Orientierungshilfen in allen drei Achsen von praktischer Bedeutung. Unser menschliches Gehirn ist durch die Evolution und die mathematisch geometrische 3D-Darstellung gewohnt, sich an horizontalen und vertikalen Ebenen/Linien zu orientieren. Da der menschliche Schädel, vor allem in der Sicht von anterior, sehr symmetrisch aufgebaut ist, erschien es mehr als logisch, dass zur Beschreibung desselben auf horizontale und vertikale Referenzstrukturen zurückgegriffen wurde.

Betrachtet man den Schädel von der Seite, so wird sofort klar, dass horizontale und vertikale Ebenen und Linien von der Neigung des Kopfes abhängig sind. Wollte man also diese Referenzen standardisiert beschreiben, musste sichergestellt sein, dass der Schädel nicht nur unbeweglich fixiert wird, sondern

auch die Lage des Kopfes so eingestellt wird, dass diese Linien der x- bzw. y Achse entsprechen.

Für die rein anthropologische Schädelbestimmung ist dieser Umstand bedeutungslos, nicht jedoch für die kieferorthopädisch-zahnärztliche Diagnostik am lebenden Individuum. Der Fachkieferorthopäde beurteilt einerseits den Schädel des Patienten oder der Patientin von der Seite, jedoch mit dem Nachteil der Verschleierung des Skeletts durch die Weichteile. Im Rahmen der Fernröntgendiagnostik werden skelettale, dentale und Weichgewebsstrukturen abgebildet.

Hier ist es von essentieller Bedeutung, dass eine einheitliche statische Position des Schädels in Relation zu einem gedachten Koordinatenkreuz steht, dessen x-Achse parallel zum Boden verläuft. Eine solche Position kann durch eine Person so eingenommen werden, dass sie in Bezug auf die Lotgerade eine aufrechte, entspannte Körperhaltung einnimmt (stehend oder sitzend), mit dem Focus auf einen Punkt in der Ferne, der sich auf Augenhöhe befindet. In dieser Weise wurde von Moorrees und Kean 1958 die sogenannte „**Natural Head Position**“ (NHP) definiert. Obwohl die Anweisung zur Einnahme dieser Position sehr „schwammig“ erscheint, wurde bereits damals auf die hohe Reproduzierbarkeit dieser Schädelposition hingewiesen. Dies wurde durch die Arbeiten von Cook und Wie 1988, Lundström et al. 1992, 1995, Peng et al. 1999 und Leitão et al. 2000 bestätigt. Cook und Wie haben eine Abweichung von nur 2 Grad nachgewiesen.

Diese Exaktheit kann noch verbessert werden, wenn man dem Patienten oder der Patientin gezielte Körperanweisungen gibt (in der Regel Aufgabe des Röntgenassistenten oder der Röntgenassistentin), die auf eine Reduzierung des Muskeltonus ausgerichtet sind. Dadurch erreicht man sogar eine auf 1,4° verbesserte Reproduzierbarkeit (Bister et al 2002).

Von der Natural Head Position ist die Natural Head Posture zu unterscheiden. Hierbei handelt es sich um die tagtäglich gewohnheitsmäßig eingenommene Haltung des Schädels in Bezug zur HWS, ohne genauere Anweisung durch einen Therapeuten oder einer Therapeutin.

Sie ist individuell verschieden und steht in keiner Relation zu dem horizontalen und vertikalen Bezug, auf die die Natural Head Position ausgerichtet ist (Verma et al. 2012).

In der internationalen Literatur wurde immer wieder darauf hingewiesen, dass es zu empfehlen wäre, die Fernröntgenaufnahme in dieser standardisierten Schädelposition anzufertigen (Bjerin 1957, Moorrees und Kean 1958, Schönherr 1967, Solow und Tallgren 1971, Siersbaek-Nielsen und Solow 1982).

Das Problem in der Praxis besteht darin, dass die Fernröntgengeräte durch ihre Fixierungsvorrichtung die Einnahme der Natural Head Position eigentlich nicht ermöglichen. Die Hersteller der Röntgengeräte hielten es offensichtlich für einfacher, sich beim Positionieren des Kopfes rein auf von außen erkennbare Strukturen des Schädels bei der Sicht von der Seite zu konzentrieren.

Die geläufigste Referenzstruktur in diesem Zusammenhang ist die **Frankfurter Horizontale (=FH)**.

Sie kommt aus einer anthropologischen Historie. 1873 beschrieb Hermann Ihering eine *Ebene*, welche lt. seiner Definition eine Verbindung zwischen dem cranialsten Punkt des linken und rechten knöchernen Gehörgangs (Porion) und den kaudalsten Punkt des Unterrandes der linken Orbita darstellt.

Offiziell wurde diese Ebene erst 1884 von Kollmann beim Kongress für Anthropologie in Frankfurt vorgestellt. Seitdem heißt sie „Frankfurter“ Horizontale.



Abbildung 1: Knöcherner Schädel auf planer Fläche, in seitlicher Ansicht von links, da laut Definition die FH durch das linke Orbitale verläuft.

*Frankfurt ja – horizontal fraglich.*

Warum „horizontal fraglich“ → die Verbindung zwischen den Gehörgängen und der Orbita ist nur dann horizontal, wenn der Schädel nach dieser Ebene ausgerichtet wird und nicht umgekehrt.

Wenn eine Person die Natural Head Position (NHP) einnimmt, wird in der Literatur von einer Abweichung von ungefähr 5 Grad zu einer exakten horizontalen Ebene berichtet. Schönherr errechnete 1967, dass in nur 31% von 500 Fernröntgenbildern, angefertigt in NHP, die Frankfurter Horizontale exakt horizontal verläuft und verweist in seiner Arbeit auf Simon, der ein Zurechtschneiden der Aufnahmen aus diesem Grund als Methode zur Vereinheitlichung vorschlägt.

Downs bestätigte diese Annahme schon in seiner Analyse 1956 und zeigte, dass starke Schwankungen in der Neigung der FH zwischen Individuen verschwinden, wenn die FH gekippt wird.



Abbildung 2: Knöcherner Schädel annähernd in Natural Head Position in seitlicher Ansicht von links.

## 1.2 **Problematik der Frankfurter Horizontale**

In der Literatur vielfach als Kompromisslösung gehandelt, gilt die FH als annähernd horizontale Bezugsebene und wird standardmäßig verwendet, um den menschlichen Schädel zu vermessen.

Es handelt sich bei der von Ihering gegebenen Definition um eine Ebene, die genaugenommen durch drei und nicht durch vier Punkte dargestellt wird. Sie ist zwar durch beide Porion-Punkte, aber nur durch einen Orbitalpunkt (links) definiert.

Wahrscheinlich hatte Ihering nicht nur die mathematische Definition einer Ebene (= drei Punkte) im Kopf, sondern auch die Überlegung, dass die Orbitae im menschlichen Schädel durch eine natürliche Asymmetrie selten auf einer Höhe liegen. Schönherr verweist 1967 in seiner Arbeit auf Martin, der auf die Problematik, alle 4 Punkte auf einer Ebene darzustellen, aufmerksam macht (Schönherr 1967).

Mit dem Fortschreiten der Technik wurde das Fernröntgen ein unerlässlicher Bestandteil der Diagnostik in der Kieferorthopädie.

Die exakte radiologische Bestimmung der anatomischen Punkte, vor allem das Porion betreffend, ist durch viele Faktoren oft nicht eindeutig möglich (Baumrind et al 1971, Carlsson et al 1967, Ellis et al. 1988, Richardson et al 1966, Ricketts et al 1978). Trpkova et al. beschrieben 1997 zwei Hauptfehlerquellen: *Errors of projection and errors of identifications*. Die Verzerrungen durch den Dimensionsverlust von 3D auf 2D führen, in Summe, zu einer nicht unwesentlichen Verfälschung ihrer Abbildung am Röntgenbild.

Liegen knöcherne Strukturen nicht exakt in der Medianebene, verursacht dieser Umstand Doppelkonturen am Film und stellt ein weiteres Problem für eine exakte Durchzeichnung dar. Üblicherweise werden die Doppelkonturen rein nach Augenmaß gemittelt und nach diesem geschätzten Procedere eingezeichnet.

Laut der ursprünglichen Definition der FH müsste man aber streng genommen das linke Orbitale für die Durchzeichnung verwenden - und nicht wie üblich - die konstruierte Mitte.

Zusätzlich machen kleinste Bewegungen und die knöcherne Dichte dieser anatomischen Region eine genaue Übertragung der Strukturen auf den Röntgenfilm nicht möglich und erschweren eine eindeutige Lokalisation.

Von Methoden, das Porion mit Hilfsmitteln - beispielsweise röntgendichte Ohroliven - besser sichtbar zu machen, wurde abgeraten. Untersuchungen zufolge wurde durch die Manipulation zu tief in den äußeren Gehörgang eingeführten Hilfsmittel die zentrale Position der Condylen in den Fossae wesentlich verändert (Eliasson 1997, Bister et al 2002).

Manche Autoren vertreten die Ansicht, dass die FH für lebende Individuen eine ungeeignete Referenz darstellt, da ihr Verlauf einer natürlichen Variabilität unterliegt und die Punkte Porion und Orbitale statisch nicht stabil sind. Bjerin veranschaulichte schon 1957, wie unterschiedlich der Grad ihrer Neigung ausfallen kann.

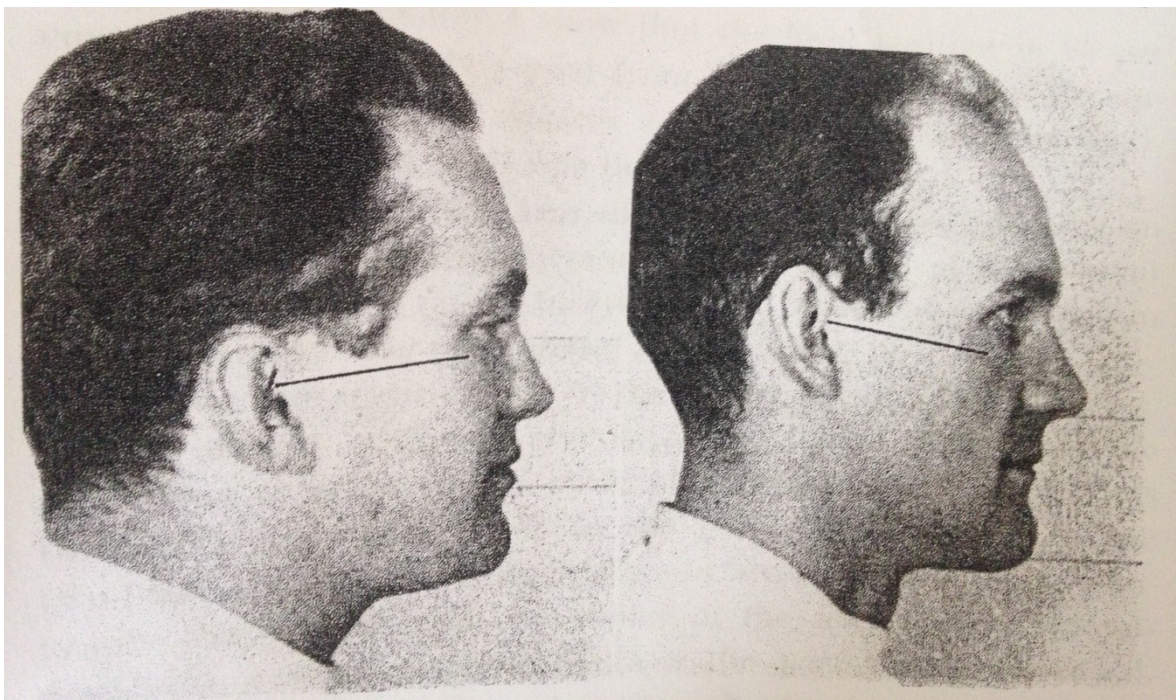


Abbildung 3: Unterschiede in der Neigung der FH (Bjerin 1957 Acta Odontol. Scand. 1957;15:1-12)

Laut Moorrees ist die FH auch nicht geeignet, um verschiedene Ethnien miteinander zu vergleichen (Moorrees 1958).

Diese Annahme erschwert eine internationale, wissenschaftliche Vernetzung sämtlicher kieferorthopädischer Daten.

Alle oben angeführten Aspekte machen die Frankfurter Horizontale insgesamt zu einem relativ ungenauen Anhaltspunkt (Pancherz et al. 1996).

Die Ergebnisse einer Studie aus Brasilien (Romano et al 2005) zeigen auf, dass ein standardisiertes Verfahren bei der Fernröntgendurchzeichnung im Sinne der Exaktheit der Frankfurter Horizontalen hilfreich wäre.

### **1.3 Ziel der Arbeit**

Die Überlegung zur Arbeit war, die Frankfurter Horizontale in mathematischen Zusammenhang mit radiologisch eindeutig erkennbaren Strukturen zu stellen, um ihren Verlauf berechnen zu können. Damit könnte ihre Einzeichnung am FR präziser, eindeutig und reproduzierbar durchgeführt werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Mathematische Überlegungen

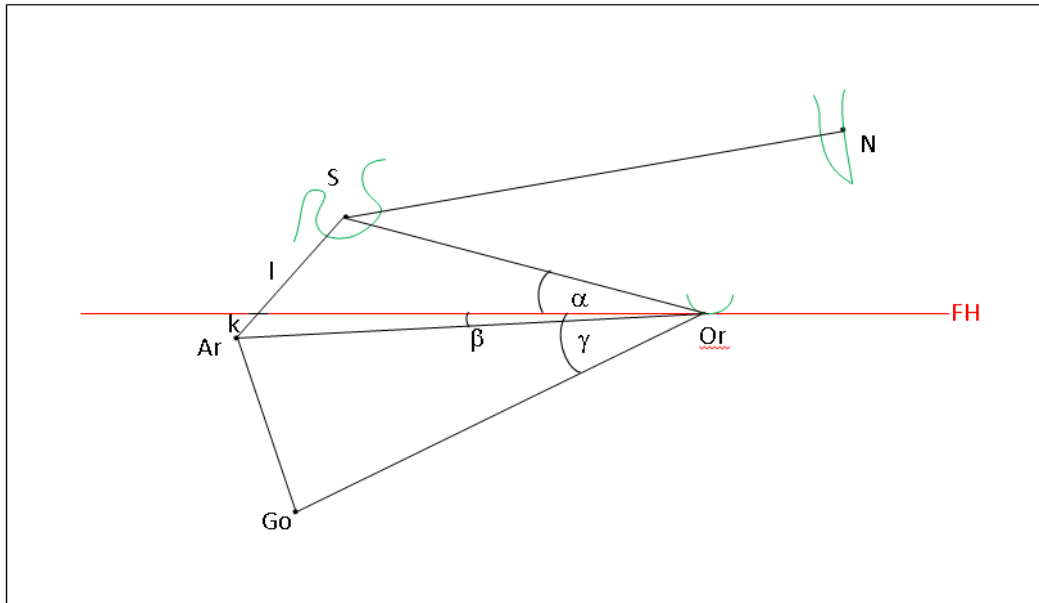


Abbildung 4: Konzept der Einzeichnungen

Am lateralen Fernröntgenbild gut erkennbar sind die Punkte Sella (S), Nasion (N), Articulare (Ar) und Gonion (Go). Verbindet man diese Punkte mit der FH, ergeben sich Strecken, die wiederum Winkel einschließen.

Um auf das in der Einleitung erwähnte Rasterfelddenken zurückzukommen, macht es Sinn, die Linien im rechten Winkel zur FH einzuzeichnen.

Sechs Strecken ( $a, a', s, s', n, n'$ ) davon  $a, a', s, n$  im rechten Winkel zur FH und  $s', n'$  im rechten Winkel zu SN stellen sich dar.

Die Strecke Sella- Articulare wurde, da sie von der FH geschnitten wird, in zwei Abschnitte (l und k) geteilt.

Sella, Orbitale und Gonion schließen einen Winkel ein, der durch die FH geteilt wird (in  $\alpha$  und  $\gamma$ ). Mit der Verbindungslinie Ar-Or schließt die FH den Winkel  $\beta$  ein und stellt damit einen Teilbereich von  $\gamma$  dar.

Ebenfalls gut sichtbar ist die Fossa pterygopalatina. Von ihrer Lokalisation zwischen Porion und Orbitale gelegen, verläuft die FH in ihrer unmittelbaren Nähe und schneidet bis auf wenige Ausnahmen die Flügelgaumengrube.

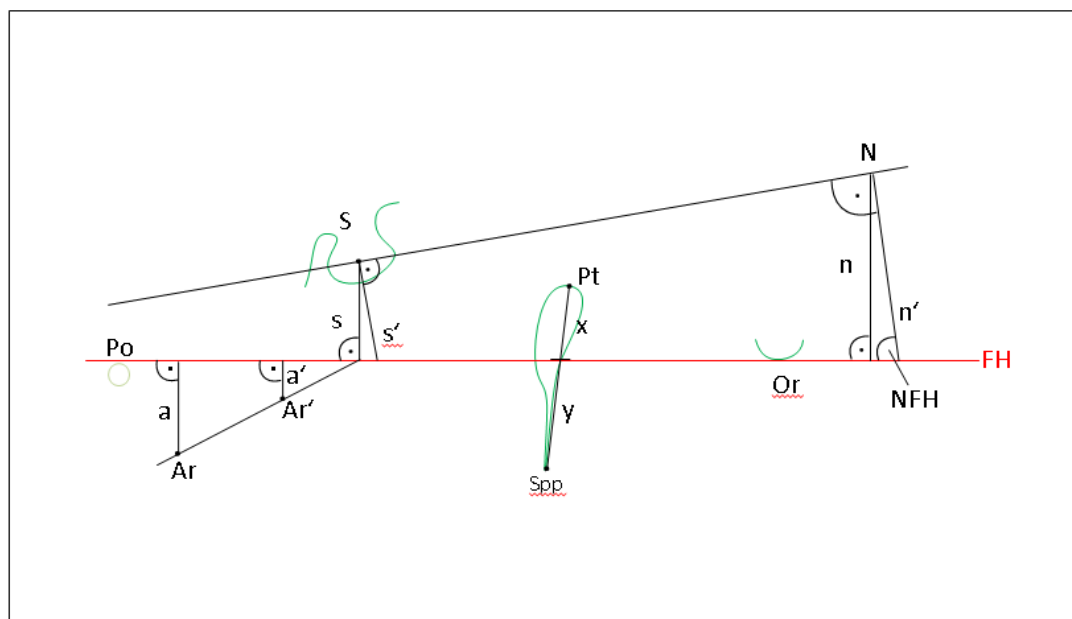


Abbildung 5: Schema Höhe der Fossa pterygopalatina im Schnitt mit FH

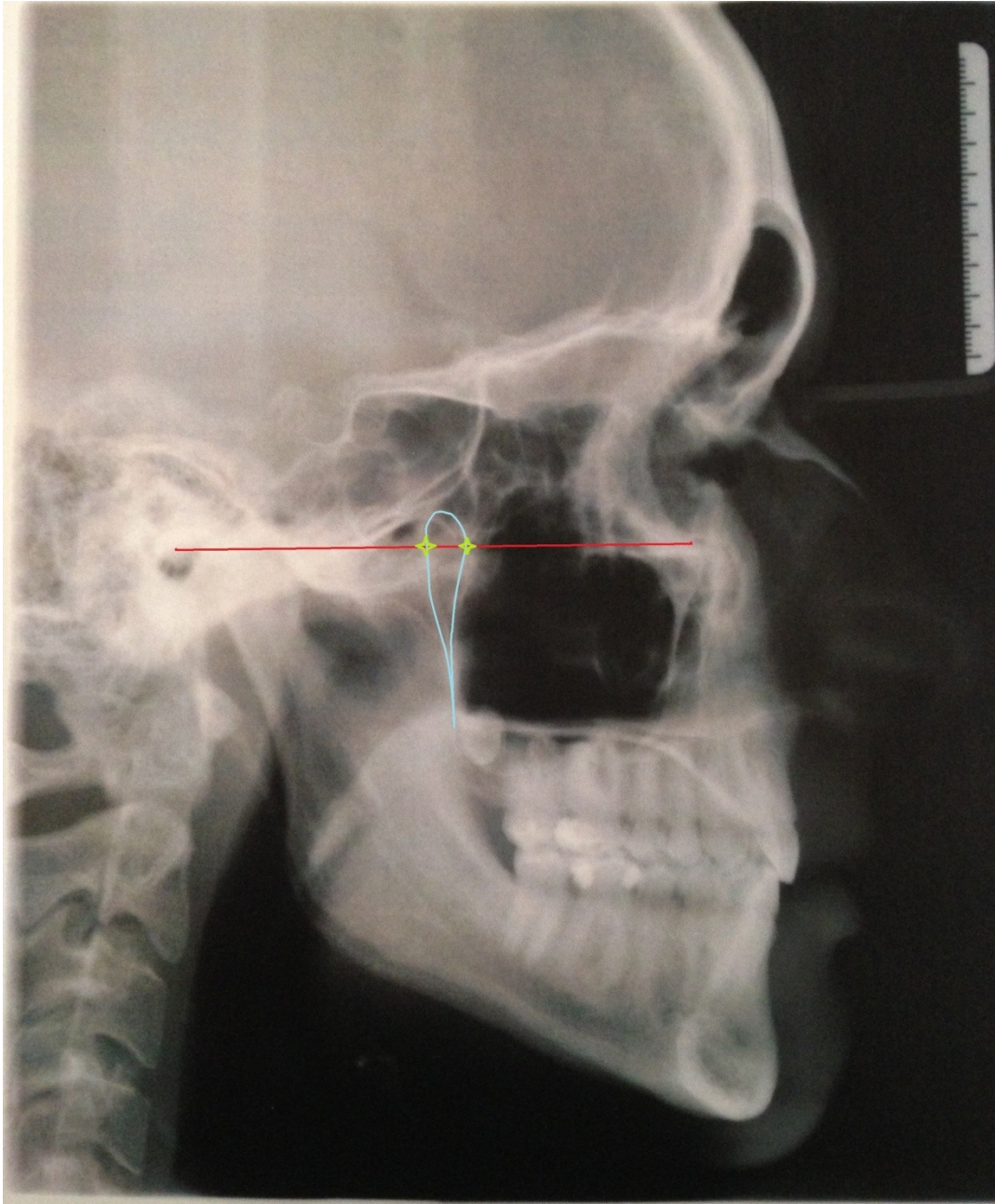


Abbildung 6: Laterales Fernröntgenbild: FH (rot) und Fossa pterygopalatina (hellblau) mit Schnittpunkten (gelb)

Ihre Gesamthöhe  $z$  wird durch den Schnittpunkt in Strecke  $x$  (cranial davon) und Strecke  $y$  (caudal) geteilt. Stellt man diese zueinander ins Verhältnis, lässt das Rückschluss auf einen Punkt zu, der auf der FH liegt.

## 2.2 *Patientenauswahl und Kriterien*

Für die retrospektive Untersuchung wurde ein Patientengut der Abteilung für Kieferorthopädie der Universitätsklinik für Zahn, Mund und Kieferheilkunde Graz ausgewählt. Die Untersuchungsgruppe bestand aus 31 Frauen und 20 Männern. Um eventuelle Abweichungen im Wachstum zu vermeiden, beschränkte man sich bei der Auswahl der Patienten und Patientinnen auf ein orthognathes Krankengut mit Klasse 1 Okklusion.

Ein weithingehend abgeschlossenes Wachstum war Voraussetzung für die Auswahl aus den letzten 500 Fernröntgenbildern, die seit April 2015 an der oben genannten Klinik angefertigt wurden.

Ausschlusskriterien waren die Verwendung wachstumsbeeinflussende kieferorthopädische Geräte, Lippen-Kiefer-Gaumenspalte oder andere Syndrome sowie erfolgte Operationen im Gesichts- bzw. Schädelbereich.

Elisa Nonnenmacher bezieht sich in ihrer Inauguraldissertation auf eine Wachstumsstudie von McKinney aus 2010, nach der signifikante Änderungen im Wachstum der Fossa pterygopalatina ab dem 12. Lebensjahr auszuschließen sind (Nonnenmacher 2014). In Hinblick auf das generalisierte, körperliche Wachstum wurden die weiblichen Probanden ab dem 15. Lebensjahr und die männlichen ab dem 18. Lebensjahr ausgesucht.

Ein wichtiges Einschlusskriterium bei der Auswahl der Röntgenbilder war die eindeutige Lokalisation des Porions, um die tatsächliche und die errechnete FH sinnvoll vergleichen zu können.

Alle 51 Röntgenbilder wurden nach standardisierten Richtlinien (Anode – Sagittalebeneabstand betrug 1,5m) von einem Röntgengerät (Typ Orthophos der Firma Siemens) angefertigt. Die Patienten nahmen eine habituelle Okklusion ein und wurden in NHP fixiert. Der Zentralstrahl verlief 90 Grad zur Sagittalebene, vom rechten zum linken Foramen acusticum externum (Droschl 1990).

## 2.3 *Bearbeitung der Fernröntgenbilder*

Die Durchzeichnung wurde von zwei Untersuchern unabhängig voneinander ausgeführt und die Werte tabellarisch festgehalten.

Die Röntgenbilder wurden in doppelter Ausführung auf Din A4 Papier gedruckt und mit Acetat Tracing Folien beklebt. Die Fernröntgenbilder wurden in ihrer Größe um den Faktor 1,13 vereinheitlicht (10mm am Lineal in natura entsprachen 11,3 mm am Ausdruck).

Für die Einzeichnungen wurden Geodreieck und Minenbleistift verwendet.

## 2.4 *Parameter*

Folgende **Punkte** wurden eingezeichnet:

1. Anatomisches Porion (**Po**): cranialster Punkt des knöchernen Meatus acusticus externus
2. Orbitale (**Or**): tiefster Punkt des Margo inferior der knöchernen Orbita
3. Sella (**S**): geometrischer Mittelpunkt der Sella turcica
4. Nasion (**N**): ventralster Punkt der Sutura nasofrontalis
5. Articulare (**Ar**): Schnittpunkt der kaudalen Kontur der hinteren Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Ramus mandibulae. Ar ist ein konstruierter Punkt.
6. Articulare' (**Ar'**): Schnittpunkt des Vorderrandes des Processus condylaris mit dem Unterrand der hinteren Schädelbasis - ebenfalls ein konstruierter Punkt.
7. Spina nasalis posterior (Spp): der am weitesten posterior gelegene Punkt des knöchernen harten Gaumens in der Midsagittalen
8. Pt: oberster Tangentialpunkt der Fossa pterygopalatina

Folgende **Strecken** wurden eingezeichnet und vermessen

1. Frankfurter Horizontale (FH): Verbindungslinie Po und Or
2. Vordere Schädelbasis: Verbindung S-N

3. a : verläuft durch Ar und schneidet FH im rechten Winkel
4. a' : verläuft durch Ar' und schneidet FH im rechten Winkel
5. z: Höhe der Fossa pterygopalatina - zwischen Pt und Spp
6. y: Teil von z - zwischen Spp und Schnittpunkt mit FH
7. x: z-y, von Pt zum Schnittpunkt mit FH
8. s: verläuft zwischen S und dem Schnittpunkt mit FH im rechten Winkel
9. s': verläuft zwischen S und FH und trifft im rechten Winkel auf die vordere Schädelbasis
10. n: verläuft zwischen N und dem Schnittpunkt mit FH im rechten Winkel
11. n': verläuft zwischen N und FH und trifft im rechten Winkel auf die vordere Schädelbasis
12. l: Teilstrecke Sella-Articulare - verläuft von Sella bis zum Schnittpunkt mit FH
13. k: Teilstrecke von S-Ar - verläuft von Ar bis zum Schnittpunkt mit der FH
14. Strecke S-Or
15. Strecke Ar-Or

Folgende Winkel wurden vermessen:

1. NFH-Winkel: zwischen n' und FH einschließen
2.  $\alpha$ : Winkel zwischen Strecke S-Or und FH
3.  $\beta$ : Winkel zwischen Ar-Or und FH
4.  $\gamma$ : Winkel zwischen Gonion-Or und FH

Streuung der Punkte nach Helmut Droschl (Droschl et al 1984):

1. Po: >3mm <4mm
2. S:<1mm
3. N:<1mm
4. Pt:>1mm, <2mm
5. Ar: >1mm, <2mm
6. Spp: >1mm,<2mm

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 *Alle Parameter*

Um die Messgenauigkeit beider Untersucher zu bewerten, wurde der ICC (Intraclass-Korrelationskoeffizient) berechnet. Dieser lag bei allen der insgesamt 17 vermessenen Parameter zwischen 0,795 und 0,967, woraus sich eine sehr hohe Übereinstimmung der Durchzeichnungen ergab.

Der Winkel  $\beta$  wies mit 0,931 den höchsten ICC auf.

Tabelle 1: ICC- Werte der 17 Parameter

Parameter	ICC
A	0,934
a'	0,937
S	0,853
s'	0,924
Z	0,888
X	0,924
Y	0,927
N	0,835
n'	0,849
NHF-Winkel	0,836
l	0,961
k	0,953
S-Or	0,949
Ar-Or	0,967
$\alpha$	0,913
$\beta$	0,931
$\gamma$	0,795

Folgende Messwerte sind Tabelle 2 zu entnehmen:

Im Mittel war die Strecke a fast doppelt so groß wie a'. Die Streuungen der Strecken a', s und s' ergaben 2,7 mm. X und a' stellten mit einem Minimum von 0,5 mm die kleinsten Strecken dar. Im Gegensatz dazu zeigte z sowohl beim Maximalwert als auch beim Mittelwert den größten Wert der vermessenen Strecken mit der FH als Ausgangspunkt bei einer Streuung von 2,6 mm.

Die Messungen der Strecken N und n' zeigten eine hohe Korrelation. Beide Abschnitte ergaben einen Minimalwert von 22.5 mm und differierten im Maximum um nur 1 mm. Die Durchschnittslänge und Streuung betreffend zeigte N' minimal höhere Werte.

Tabelle 2: deskriptive Statistik aller Parameter (Angaben in mm und Winkelgrad)

<b>Parameter</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>SD</b>
a	5,5	22,5	14,8	3,2
a'	0,5	14,0	7,7	2,7
s	14,5	25,0	19,8	2,7
s'	15,0	24,8	20,2	2,7
z	25,5	38,5	32,2	2,6
x	0,5	12,5	5,7	2,8
y	20,5	34,0	26,6	3,3
n	22,5	34,5	28,5	2,9
n'	22,5	35,5	29,0	3,1
NHF-Winkel	78,0	91,5	84,0	2,9
l	16,0	29,0	22,0	3,0
k	6,0	24,0	16,6	3,5
S-Or	55,5	70,5	62,4	4,0
Ar-Or	64,5	88,0	77,0	5,1
$\alpha$	13,00	23,50	18,4	2,6
$\beta$	4,50	15,50	11,0	2,2
$\gamma$	35,5	49,0	43,6	3,6

Während sich S-Or und Ar-Or im Minimalwert um 9 mm unterschieden, lag die Differenz der Maximalwerte bei 18,5 mm. Die Standardabweichung des Winkels Beta wies mit 2,2 den niedrigsten Wert aller 4 untersuchten Winkel auf, hingegen war die Streuung des Winkels Gamma am höchsten.

### **3.2 *Verhältnis X zu Y***

Die jeweiligen Verhältnisse von Strecke x zu Strecke y wurden in Prozent umgerechnet und grafisch dargestellt.

Das Verhältnis x zu y erstreckte sich von 1%:99% bis 38%:62%. Die Werte wurden x-betreffend in absteigender Reihenfolge aufgelistet. Zur besseren Übersicht wurden x und y zueinander farblich in Kontrast gestellt.

### Verhältnis x zu y

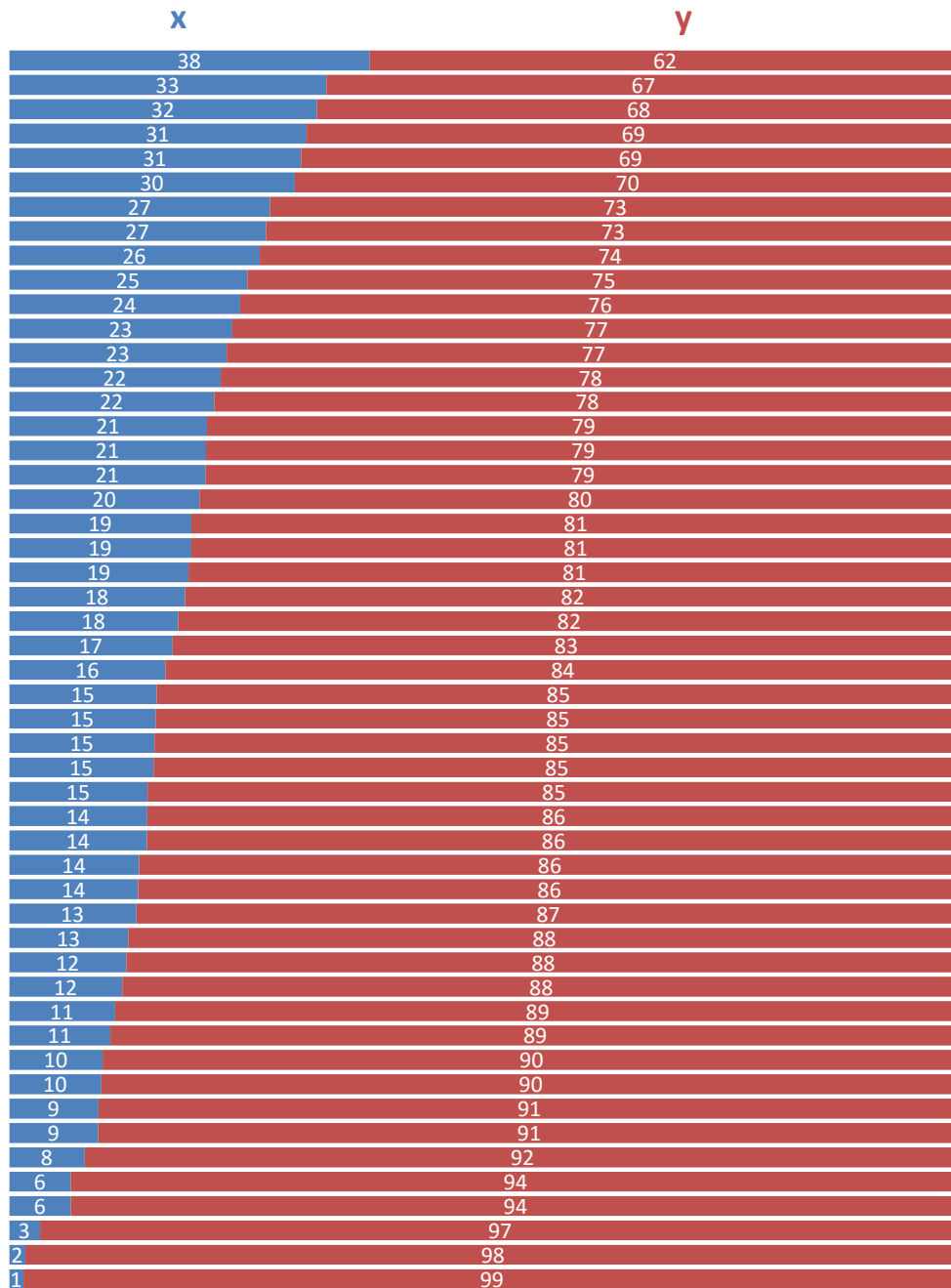


Abbildung 7: Verhältnis x zu y in %. Ergebnisse der 51 Messungen. Ein Balken entspricht einem Patienten.

Beide Parameter standen in keinem stabilen Verhältnis zueinander. Die Berechnungen ergaben hohe Schwankungen die Verhältnisse x zu y betreffend. Es wurden große Unterschiede hinsichtlich der Höhe der Fossa pterygopalatina festgestellt.

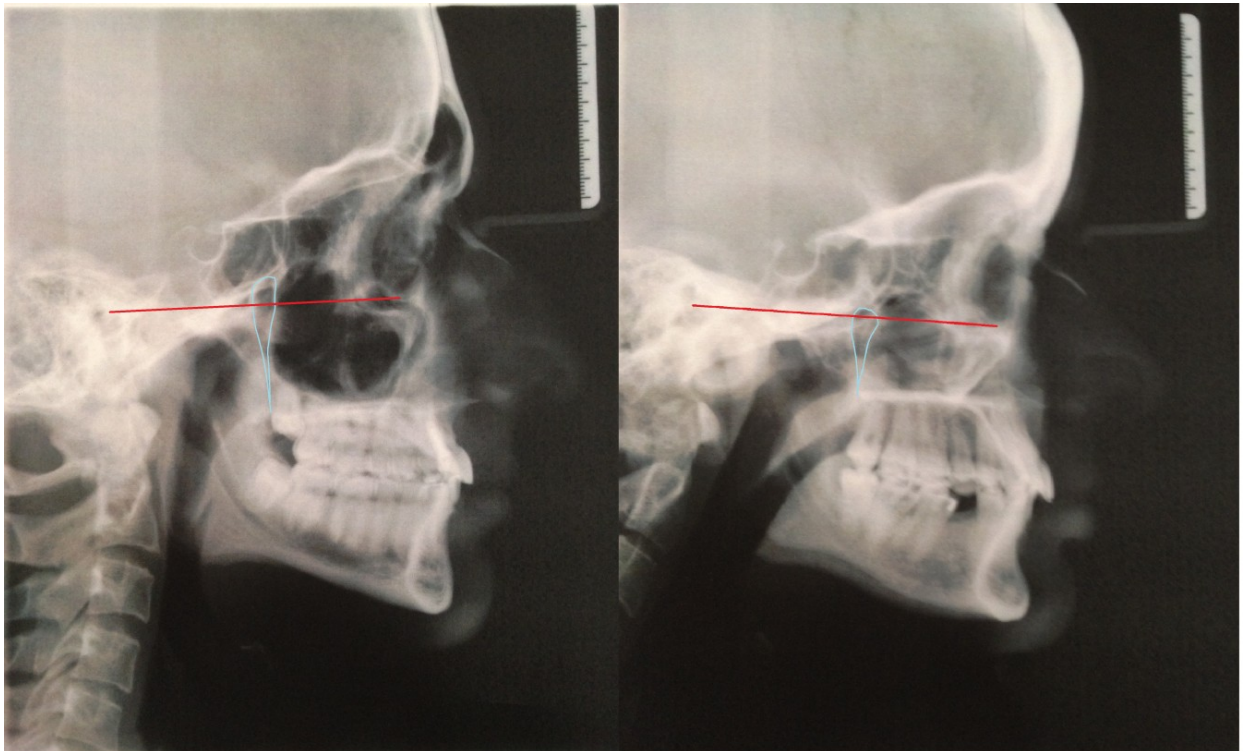


Abbildung 8: Gegenüberstellung: Höhenunterschied der Fossa pterygopalatina der 51 FR

### 3.3 *L zu K*

Weitere Parameter wurden in Zusammenhang mit der Frankfurter Horizontalen in ein Verhältnis gesetzt:

Der Quotient der Strecken l zu k reichte von einem Minimum von 0,83 zu einem Höchstwert von 4,17 bei einer Standardabweichung von 0,55. l war im Schnitt 1,42 mal größer als k und ergab in den 51 Vermessungen immer den höheren Wert.

In Prozent lagen die Mittelwerte von l bei 57,2 % und von k bei 42,8 %, wenn als 100% die Summe beider Parameter angenommen wurde.

Tabelle 3: Verhältnis I zu k. Angaben in %, Minimalwert, Maximalwert, Mittelwert und Standardabweichung. 100% = Summe aus I und k.

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
I zu k	0,83	4,17	1,42	0,55
I %	45,2	80,7	57,2	7,3
k %	19,4	54,8	42,8	7,3

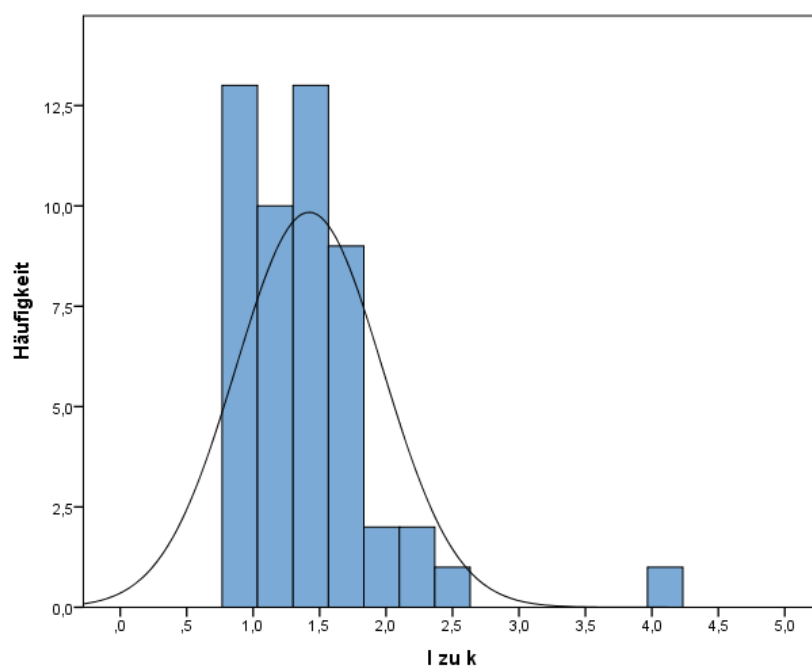


Abbildung 8: Häufigkeitsdiagramm Verhältnis I zu k in % auf X-Achse und der Häufigkeit auf der Y-Achse

Aus den errechneten Mittelwerten und Standardabweichungen wurde eine Normalverteilungskurve geschätzt und in die Graphik Abbildung 9 eingefügt.

Die Häufigkeiten des Quotienten I zu k lagen eher im Bereich der höheren Werte und zeigten keine regelmäßige Normalverteilung. Es lag wiederum eine hohe Streuung der gemessenen Strecken vor.

L ergab im Vergleich zu K immer den höheren Wert. In Abbildung 10 wurde das Verhältnis I zu k in % dargestellt. Die Ergebnisse der 51 Fernröntgenbilder wurden mit dem Maximalwert für L und dem Minimalwert von K in Balken aufgelistet.

Der L%-Wert ist verglichen mit K% in der ersten Zeile fast 4 mal größer, während eine Annäherung der beiden mit 45% zu 55% dem letzten Balken zu entnehmen ist.

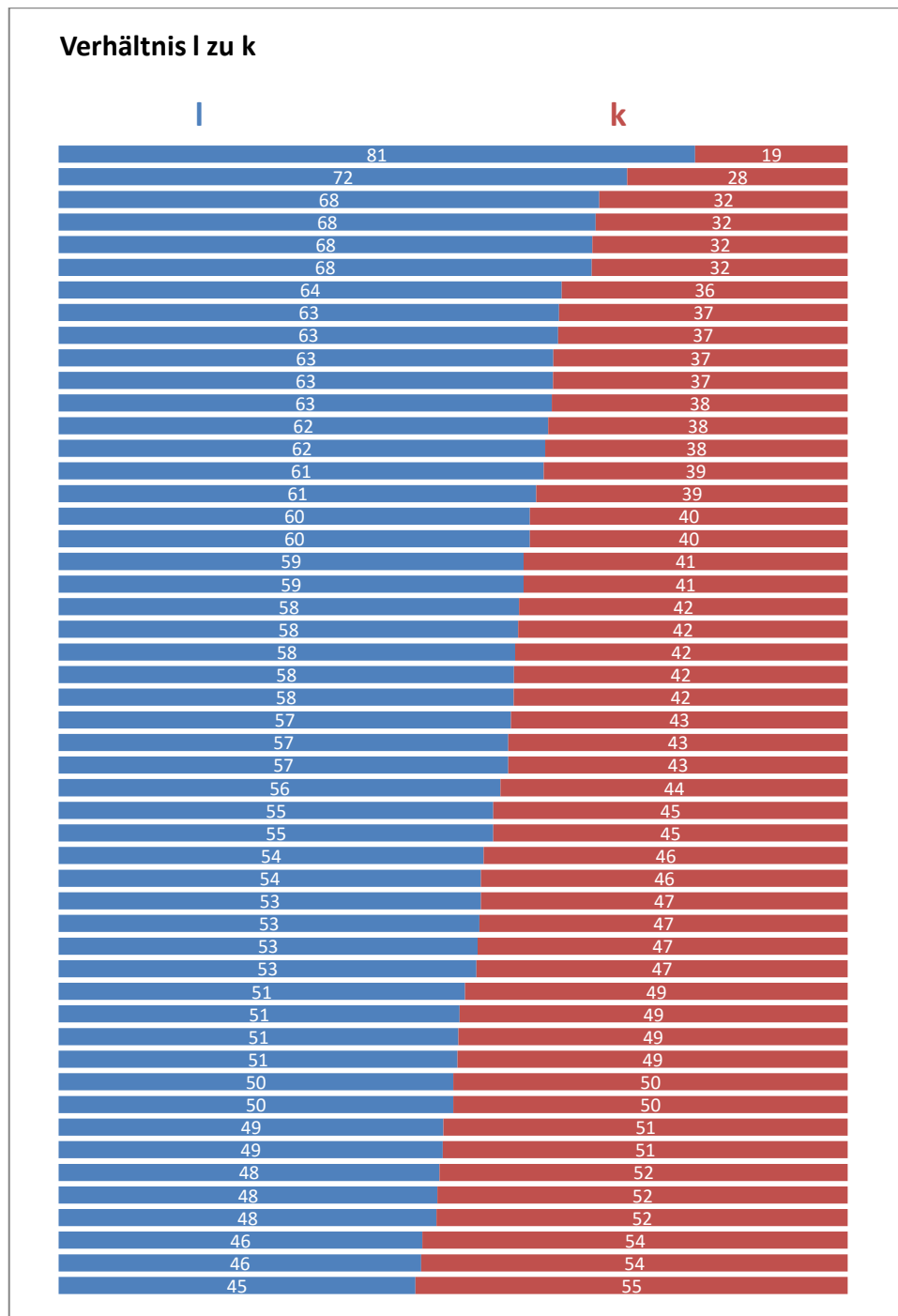


Abbildung 9: Verhältnis I zu k in %. Die Balken entsprechen den 51 Patienten und Patientinnen. Die Werte wurden in absteigendem Verlauf I betreffend sortiert.

### 3.4 $\alpha$ zu $\beta$

Die Winkel Alpha und Beta wurden in Relation gestellt. Im Durchschnitt war Alpha 1,77-mal größer als Beta bei einer Streuung von 0,61. Aus den 51 Messungen resultierte in jedem Fall ein höherer Wert für Alpha. Die Standardabweichung beider Winkel in Prozent, wenn als 100% deren Summe galt, lag in beiden Fällen bei 6,7. Eine Standardkurve aus Mittelwerten und Streuung zeigte keine Normalverteilung der Ergebnisse, wie in Abbildung 11 aufgezeigt. Der Minimalwert des Quotienten der beiden Winkel von 1,03 und dem Maximum von 4,44 ließ auch hier auf eine hohe Bandbreite schließen.

Tabelle 4: Verhältnis Alpha zu Beta. Angaben der Werte in %. Als 100% galt die Summe der Winkel Alpha und Beta.

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
Alpha/ Beta	1,03	4,44	1,77	0,61
Alpha %	50,8	81,6	62,5	6,7
Beta %	18,4	49,2	37,5	6,7

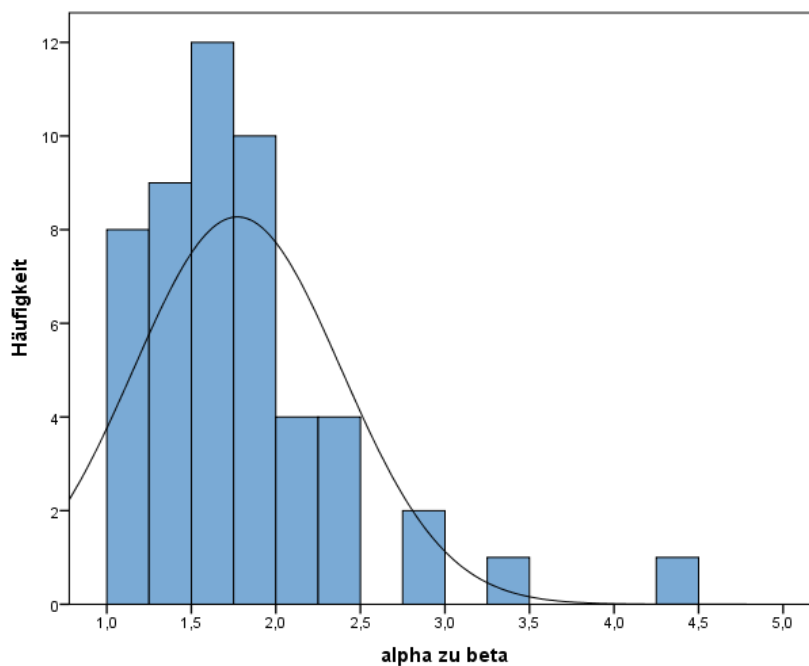


Abbildung 10: Histogramm mit geschätzter Normalverteilungskurve. X-Achse: Alpha/Beta in %, Y-Achse: Häufigkeit.

In Abbildung 12 wurden die 51 Patienten Alpha betreffend in absteigender Reihenfolge sortiert. Der erste Balken stellt den Maximalwert des Winkels Alpha dem Minimalwert von Beta in % gegenüber. Umgekehrt veranschaulicht der letzte Balken den Minimalwert Alphas mit 50,8 % und den Maximalwert Betas mit 49,2 %. Beide Winkel sind hier fast gleich groß.

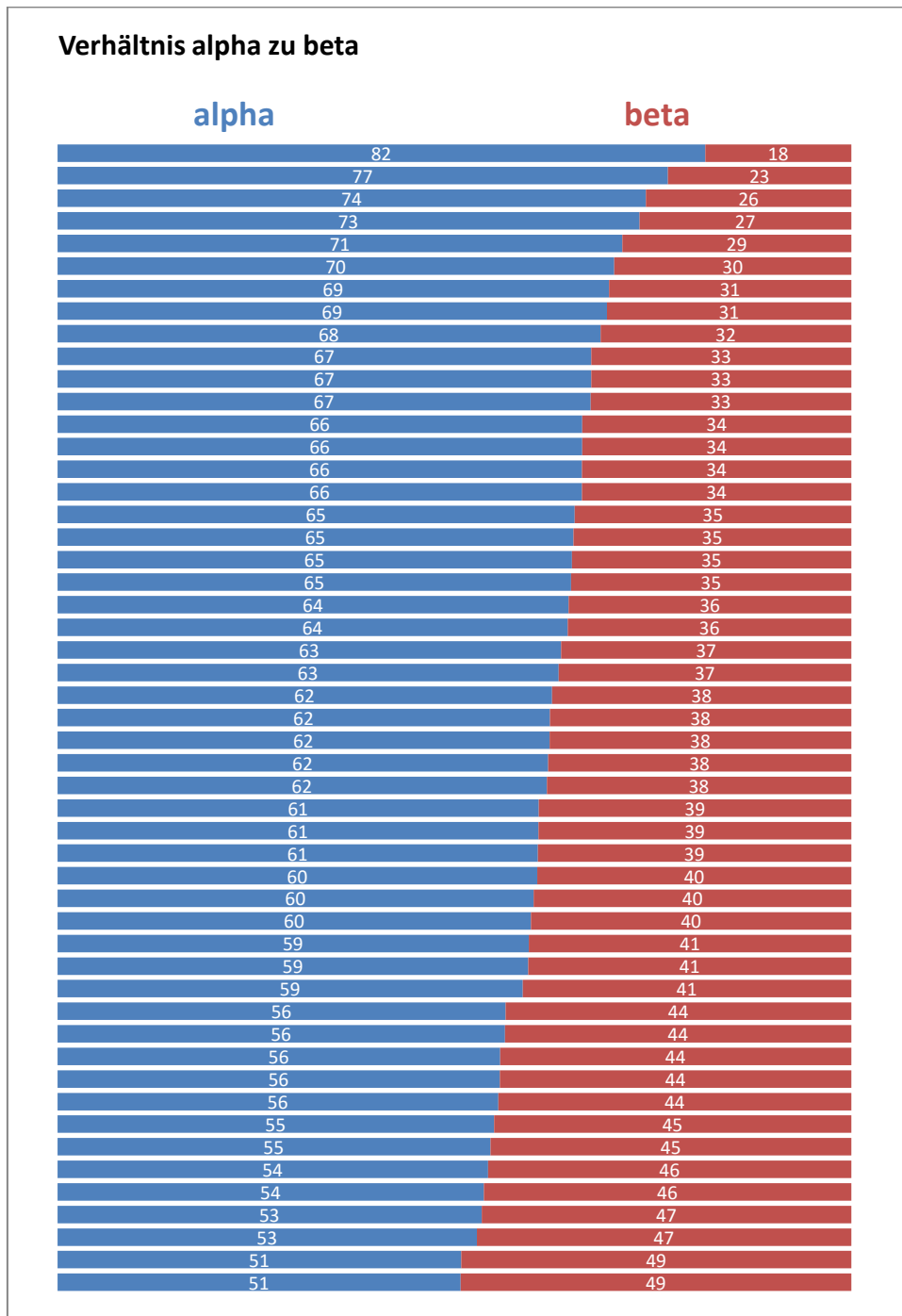


Abbildung 11: Verhältnis Alpha zu Beta in %. Jeder Balken entspricht einem Fernröntgenbild.

### 3.5 $\alpha$ zu $\gamma$

Der Quotient Alpha/Gamma wies im Vergleich zu dem Quotienten Alpha/Beta mit einer Standardabweichung von 0,08 die niedrigere Streuung auf.

Graphisch dargestellt entsprach seine Verteilung am ehesten einer Normalverteilung. Der Winkel Alpha war im Mittel 37,4 % und der Winkel Gamma 77,2 % des Gesamtwinkels.

Tabelle 5: Verhältnis Alpha zu Gamma. 100% = Summe aus Alpha und Gamma.

Parameter	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
alpha / gamma	0,30	0,60	0,43	0,08
alpha %	22,8	37,4	29,6	3,8
gamma %	62,6	77,2	70,4	3,8

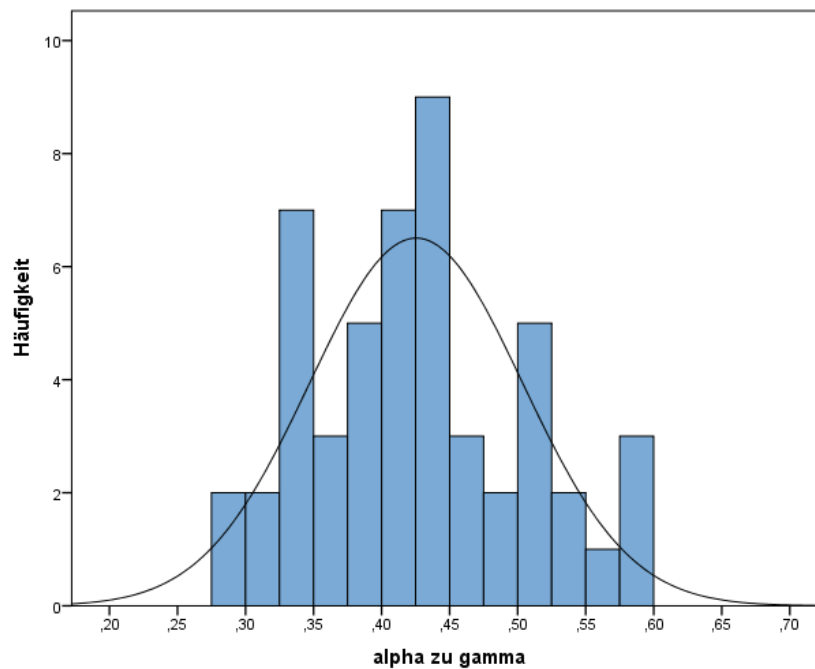


Abbildung 12: Histogramm: X-Achse: Alpha zu Gamma in %, Y-Achse: Häufigkeit.

Wie in den vorangegangenen Verhältnissen wurden auch jene der Winkel Alpha und Gamma in Abbildung 14 aufgelistet. Das Verhältnis in % wurde Alpha betreffend absteigend geordnet. Mit einem Maximum von 37% und einem Minimalwert von 23% weist Alpha eine vergleichsweise stabile Größe auf. Ebenso schwankt der Prozentsatz von Gamma um nur 15%. Das Verhältnis Alpha zu Gamma erwies sich, verglichen mit den weiter oben behandelten Verhältnissen, als stabilstes Ergebnis und zeigte den konstantesten Verlauf in der Graphik (Abbildung 14).

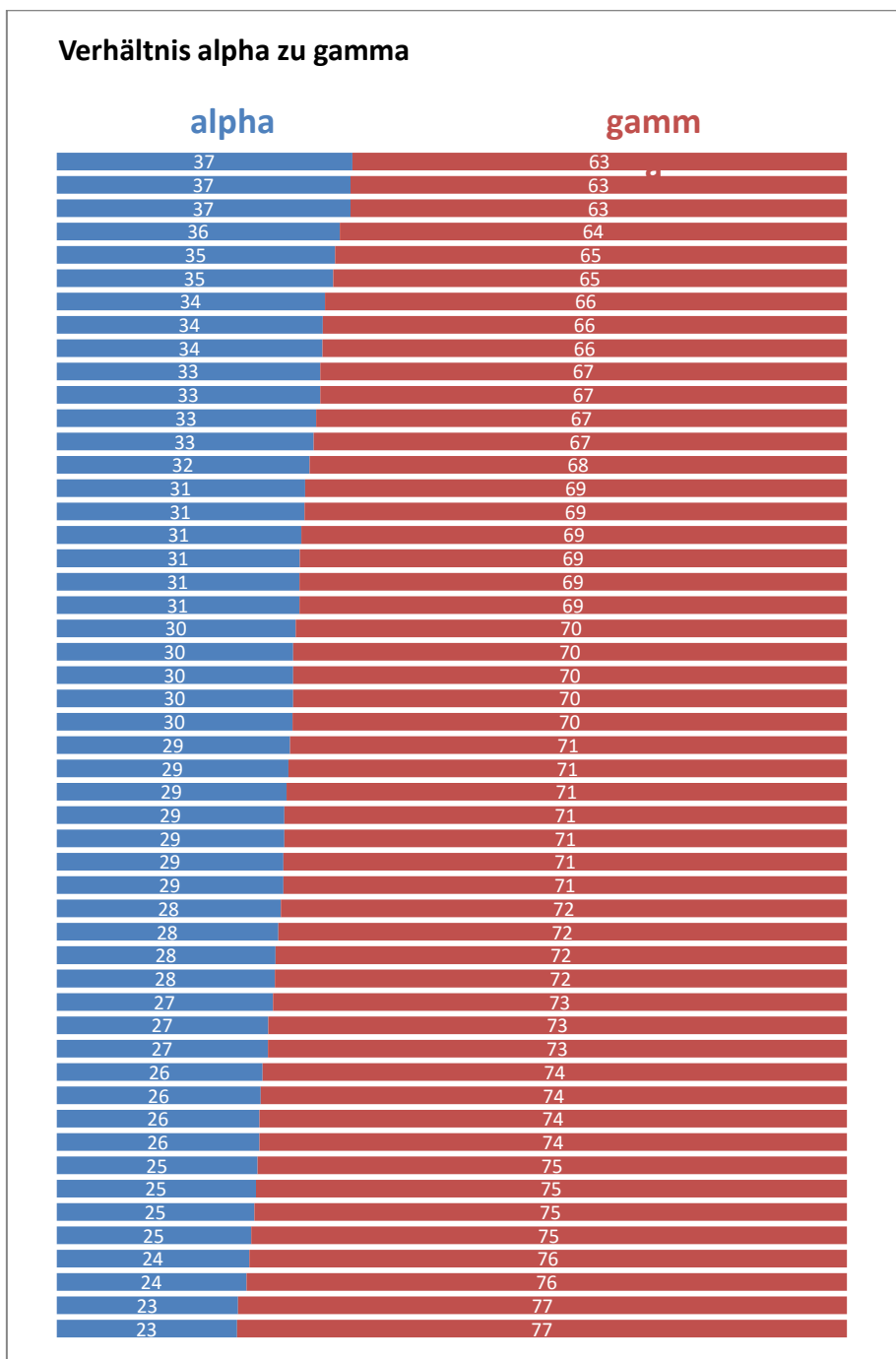


Abbildung 13: Verhältnis Alpha zu Gamma in %. Ein Balken entsprach einem FR.

Aus den Mittelwerten und den Standardabweichungen von Alpha und Gamma, ergab sich in Summe eine Streuung von +/- 4,6 Grad. In diesem Bereich wurde, den Berechnungen zufolge, die Frankfurter Horizontale mit einer über 90 %igen Wahrscheinlichkeit vermutet.

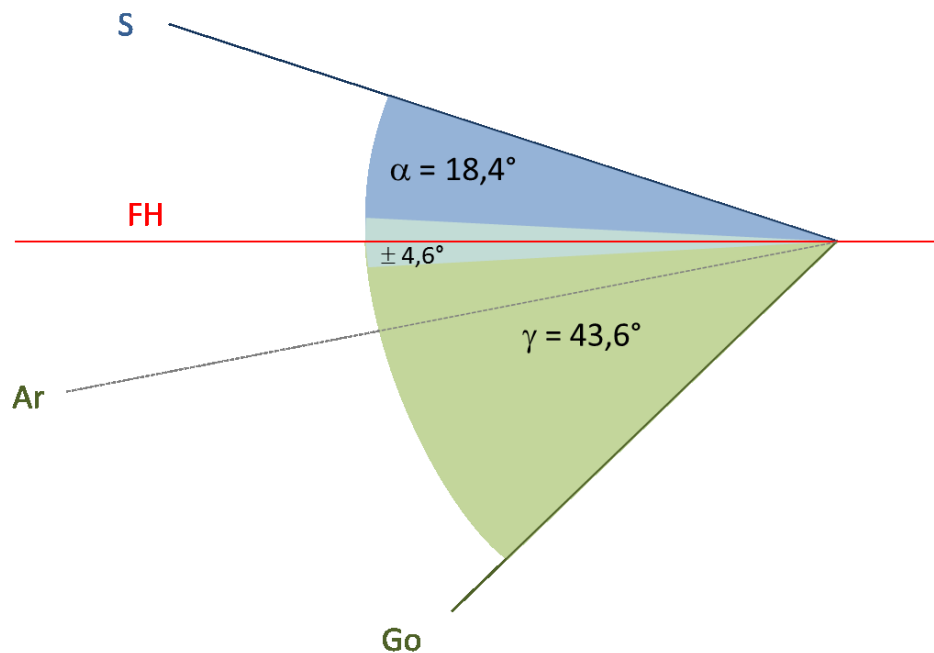


Abbildung 14: Mittelwerte der Winkel Alpha und Gamma. Angaben in Winkelgraden. Die errechnete Streuung beider Winkel von +/- 4,6 Grad ergab den Bereich für den wahrscheinlichen Verlauf der FH.

### 3.6 *Fallbeispiel 1*

Angenommen, die Frankfurter Horizontale ist über ihre herkömmliche Darstellung (vor allem Porion) nicht eindeutig zu finden, könnte man sich, wie in diesem Beispiel beschrieben, mit der Einzeichnung von Sella, Orbitale und Gonion behelfen und den eingeschlossenen Winkel (Summe aus Alpha und Gamma) in diesem Fall 62,7 Grad messen.

Anhand der Mittelwerte der Verhältnisse Alpha zu Gamma in % (aus der Studie) können Alpha und Gamma in ihrer Größe berechnet werden.

29,6% des Gesamtwinkels (= 18,52 Grad) fallen auf Alpha. Gamma ergibt sich aus deren Subtraktion. Nun können beide Winkel in den Gesamtwinkel eingezeichnet werden. An der Grenze Alpha zu Gamma verläuft die errechnete Frankfurter Horizontale.

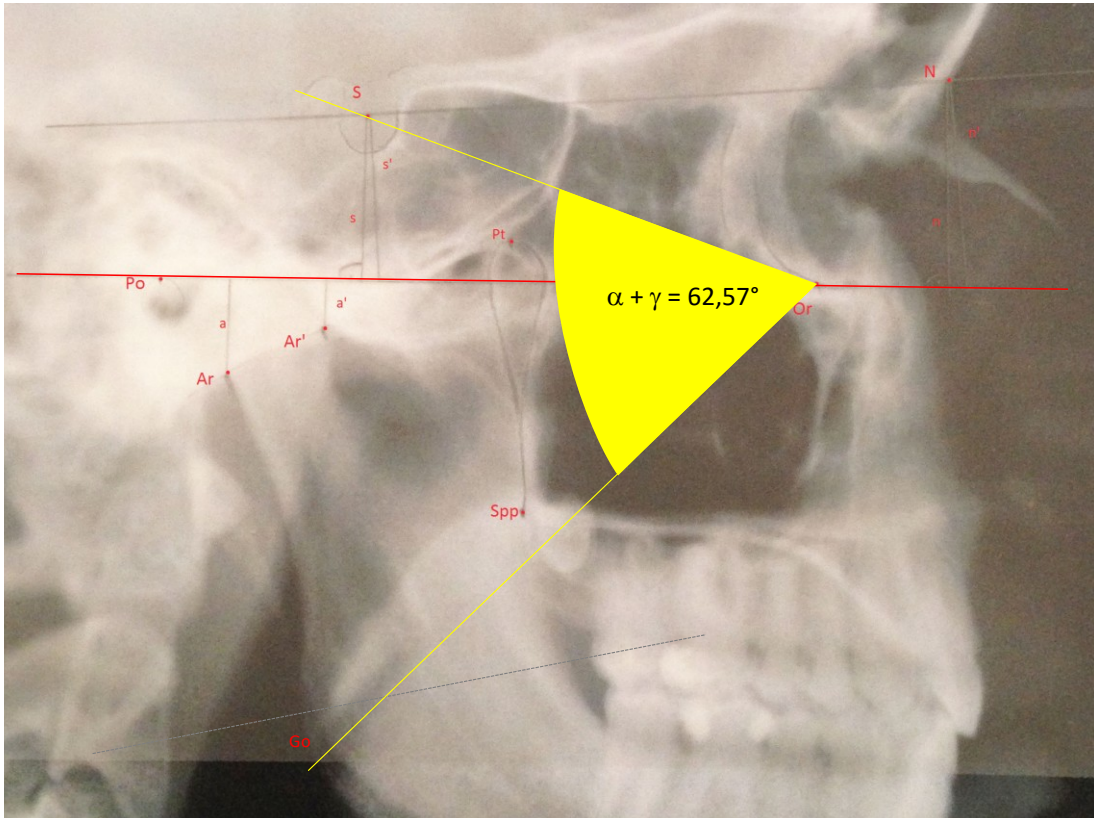


Abbildung 15: Fallbeispiel 1: gemessener Gesamtwinkel S-Or-Go (gelb)

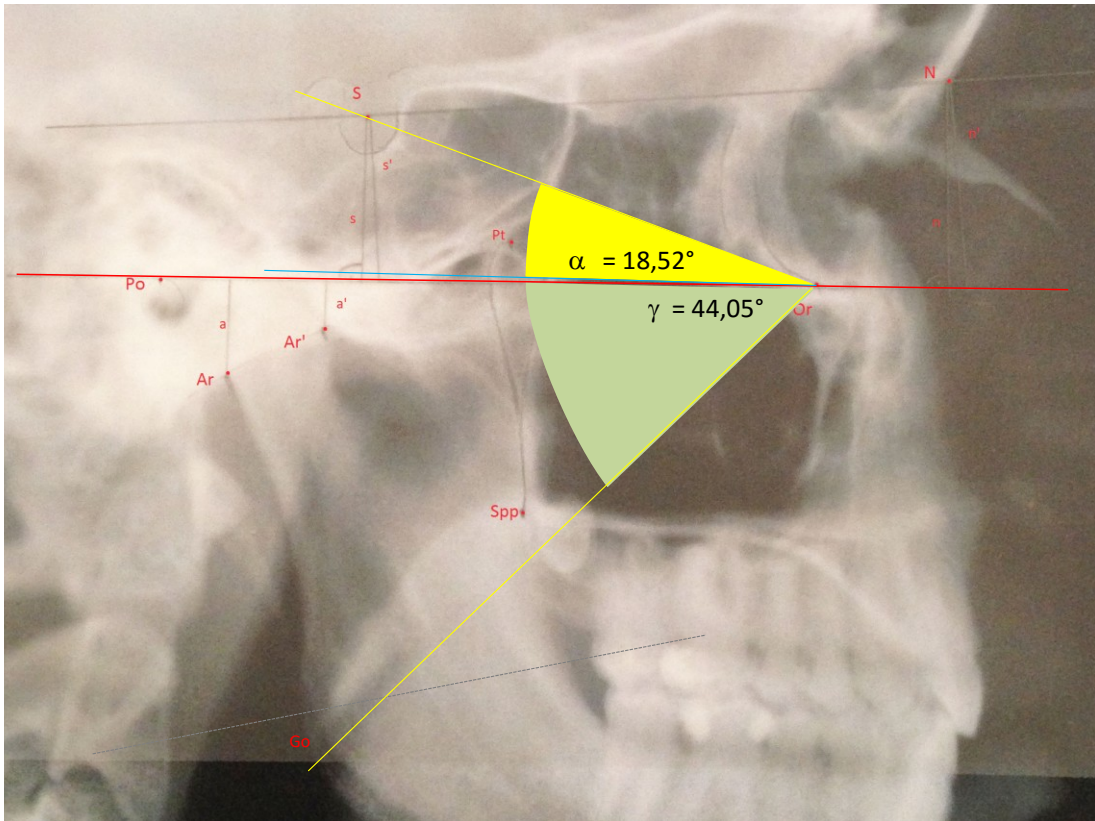


Abbildung 16: Fallbeispiel 1: Berechnung von Alpha und Gamma über Mittelwerte.

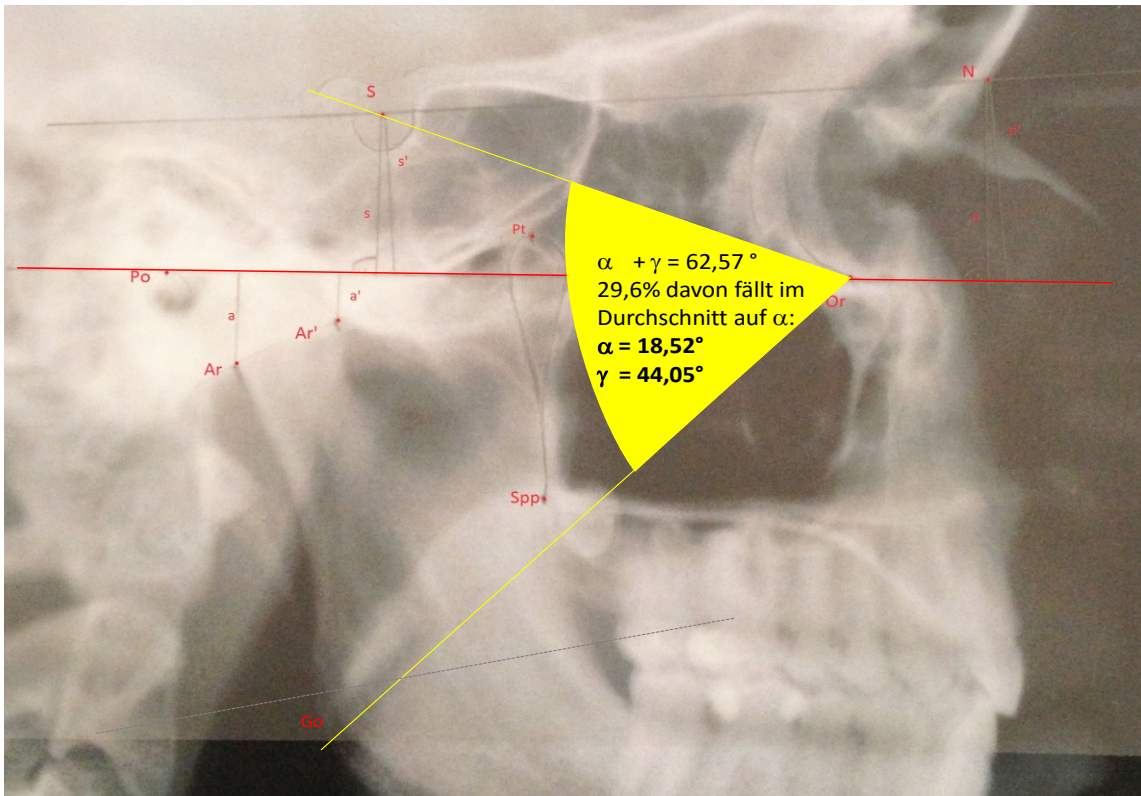


Abbildung 17: Fallbeispiel 1: Darstellung der Winkel Alpha (gelb) und Gamma (grün). Einzeichnung der berechneten FH (blau) und der der tatsächlichen FH (rot).

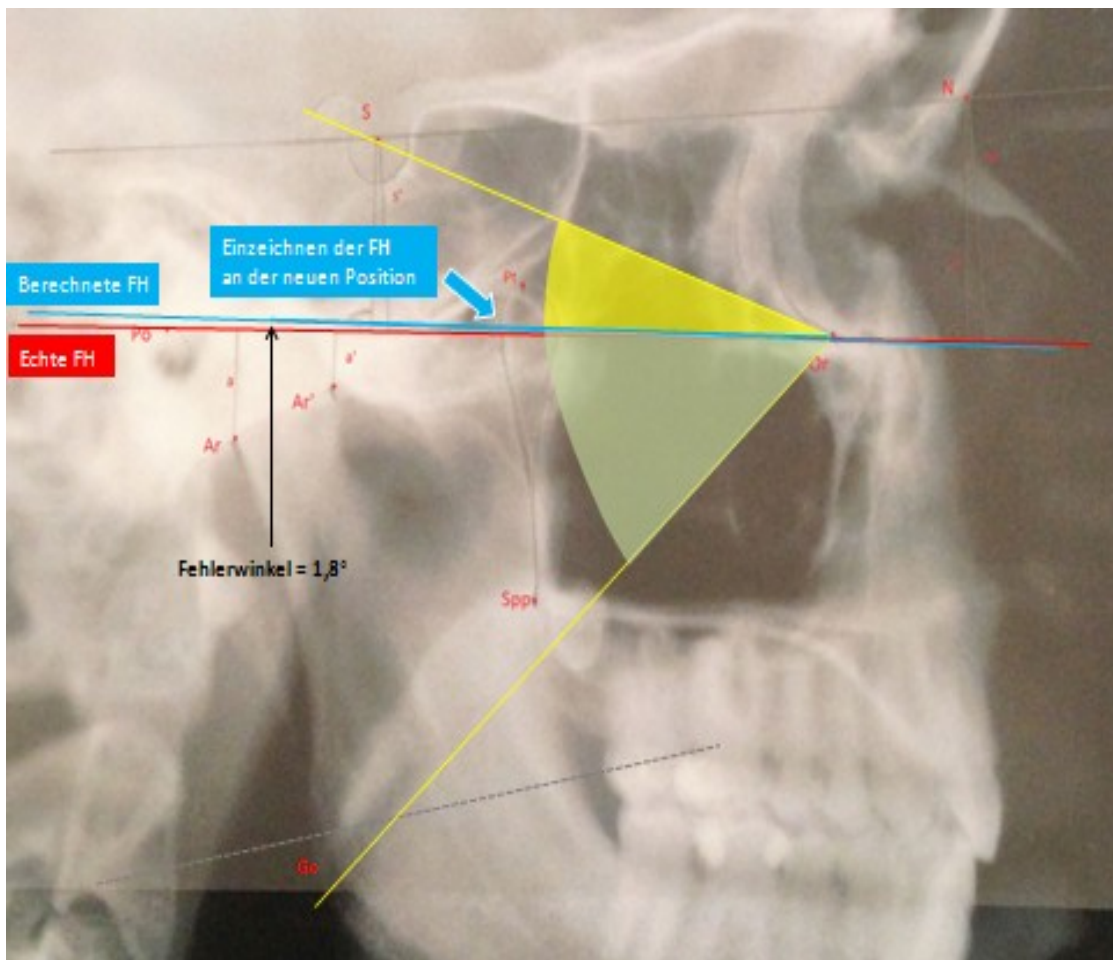


Abbildung 18: Fallbeispiel 1: Rekonstruktion der Frankfurter Horizontalen

Der Fehlerwinkel zwischen errechneter und tatsächlicher FH (Mittelwert +/- 4,6 Grad) lag in diesem Fall bei 1,8 Grad

### 3.7 Fallbeispiel 2

Der Gesamtwinkel S-Or-Go wurde im 2. Fallbeispiel mit 64,50 Grad gemessen. 29,6% (=19,09 Grad) davon nimmt der Winkel Alpha ein. Gamma ergibt sich aus der Subtraktion Gesamtwinkel-Alpha und wird mit 45,41 Grad bestimmt. Nach der Messung Alpha und Gamma kann die berechnete FH an der Winkelgrenze dargestellt werden.

An diesem Röntgenbild weist der Fehlerwinkel zwischen echter und berechneter FH mit 0,5 Grad einen sehr kleinen Wert auf. Die folgenden Abbildungen veranschaulichen das im Text geschilderte Procedere.

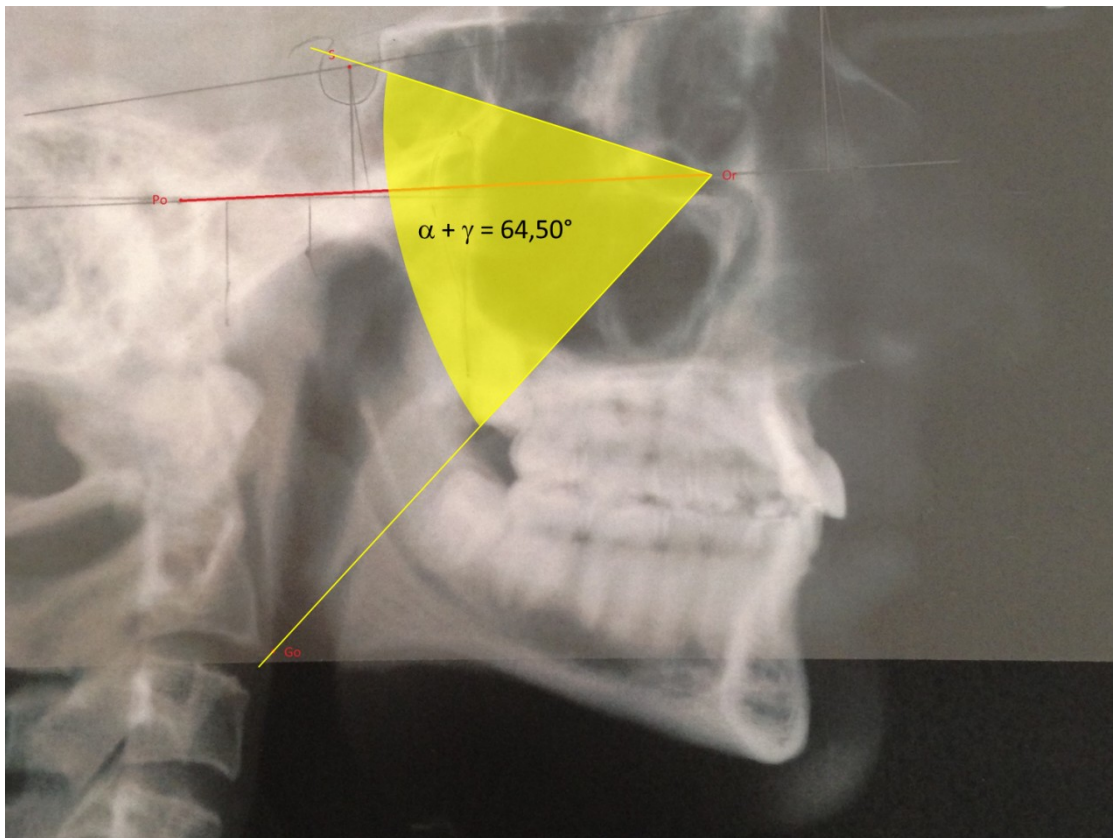


Abbildung 19: Fallbeispiel 2: Gesamtwinkel S-Or-Go (gelb)

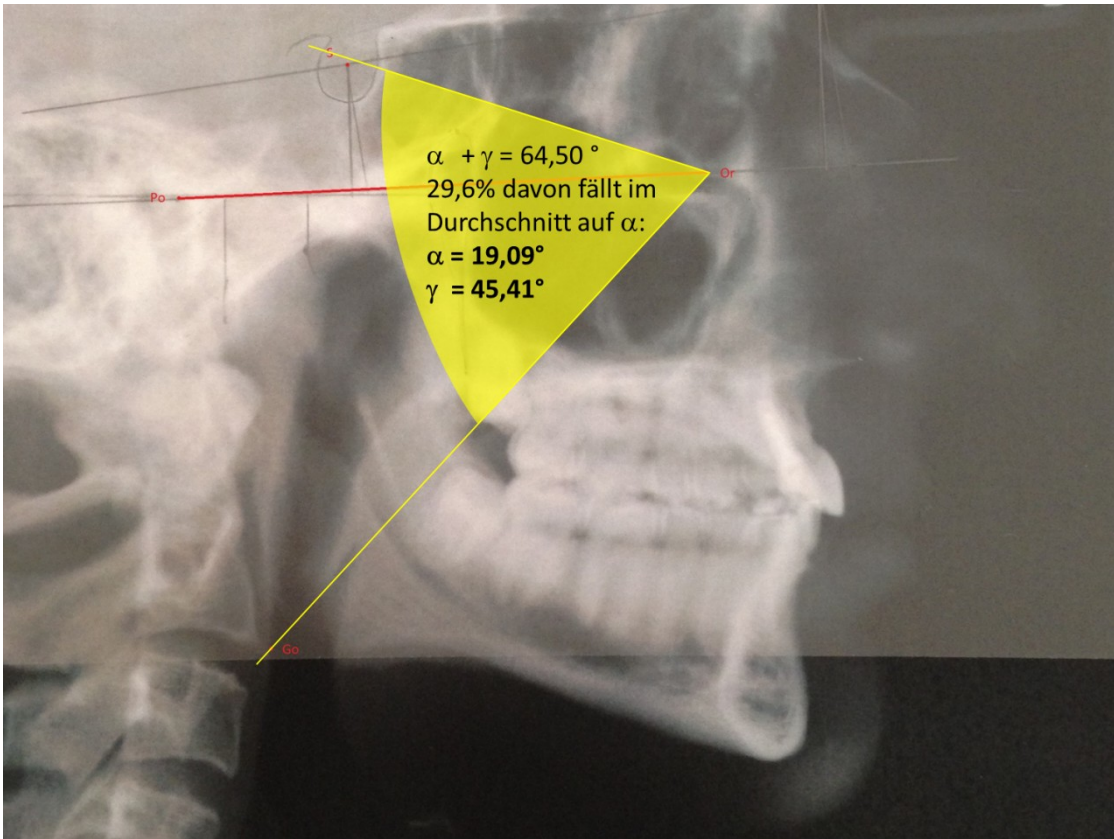


Abbildung 20: Fallbeispiel 2: Berechnungen Alpha und Gamma über deren Mittelwerte

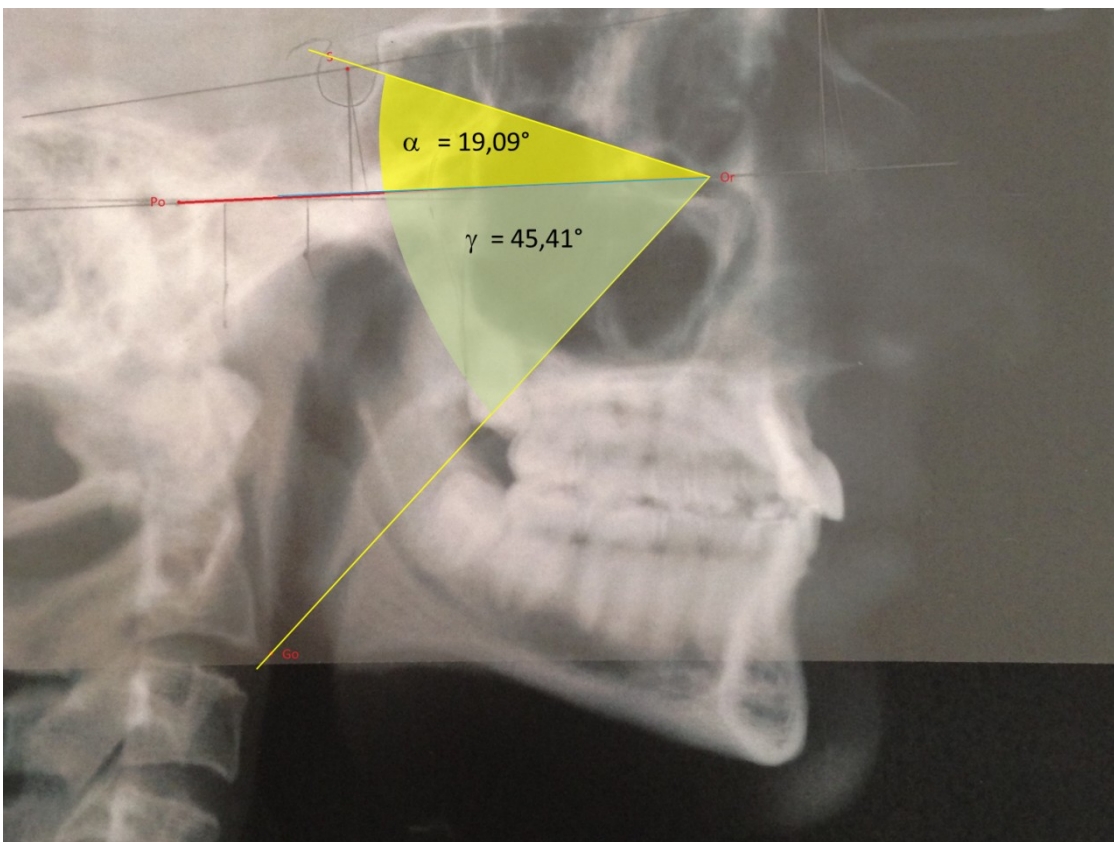


Abbildung 21: Fallbeispiel 2: Einzeichnung Alpha (gelb) und Gamma (grün)

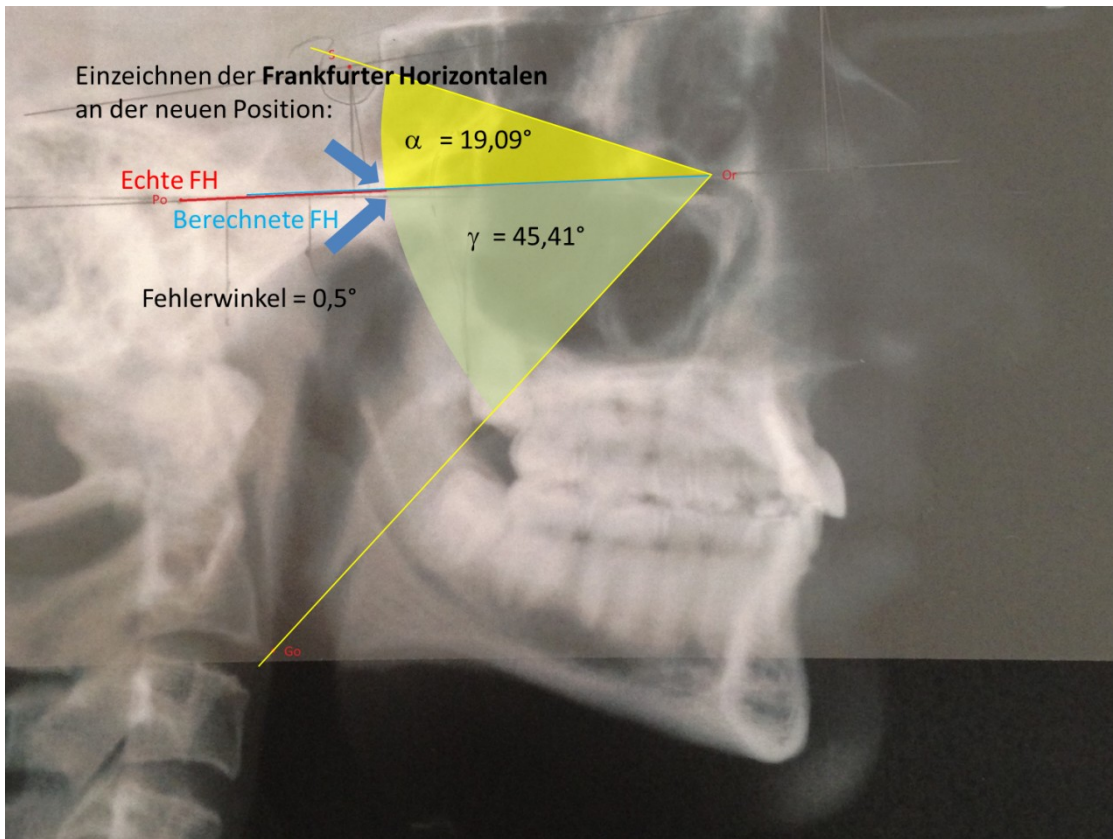


Abbildung 22: Fallbeispiel 2: Fehlerwinkel von 0,5 Grad zwischen errechneter FH (blau) und tatsächlicher FH (rot)

## 4 Diskussion

Aus der Studie ging hervor, dass der Gesamtwinkel Sella-Orbitale-Gonion zwar stark in der Größe variierte, jedoch zeigt sich ein relativ konstantes Verhältnis von Alpha zu Gamma (siehe vorherige Seite).

Das führt zu der Annahme, dass die Frankfurter Horizontale unabhängig von der Größe des Winkels S-Or-Go ist und dass sie, wenn man alle 51 Fernröntgen vergleicht, in einer ähnlichen Höhe durch den Gesamtwinkel verläuft.

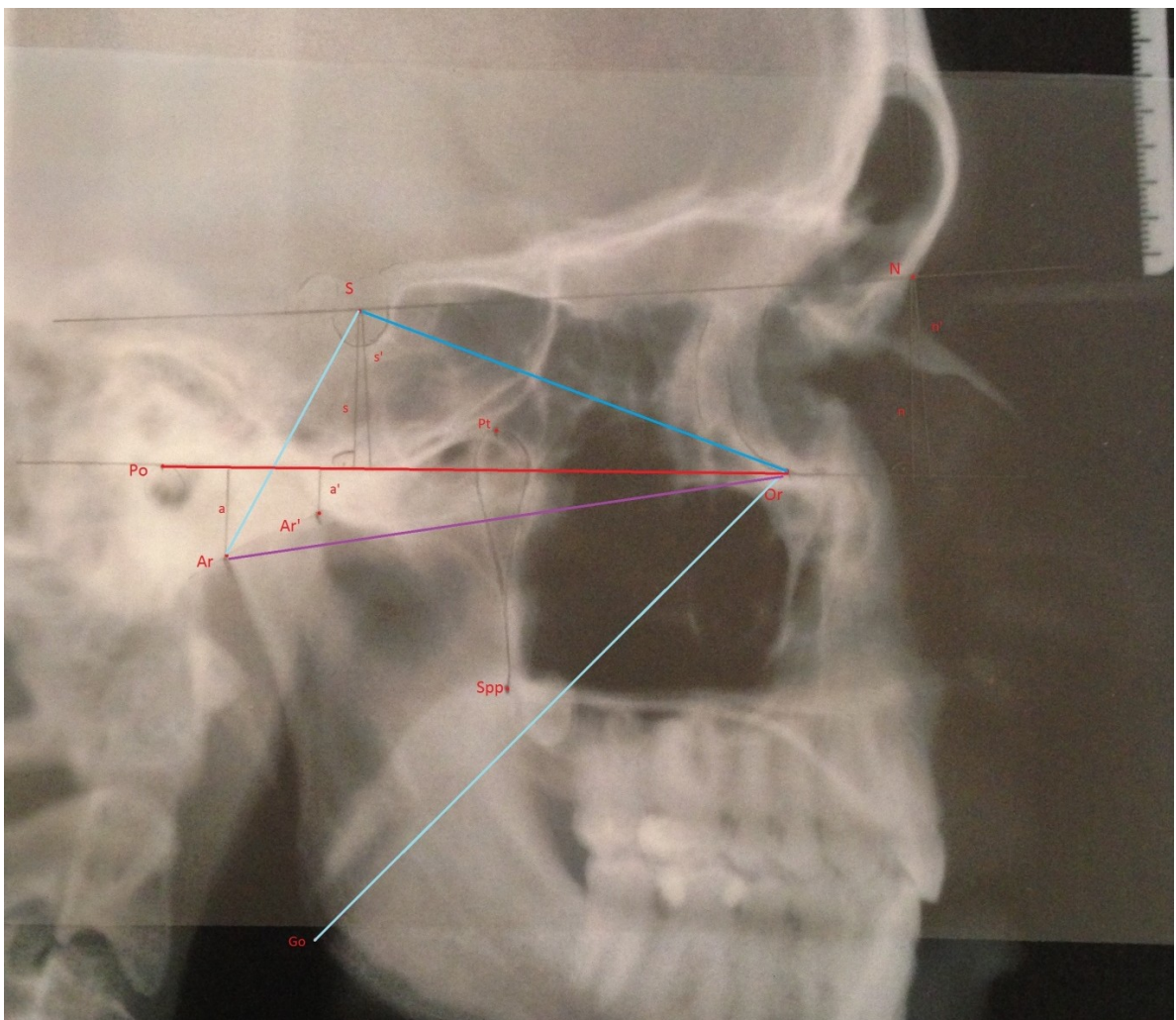


Abbildung 23: Strecken mit Or als Ausgangspunkt

Die sonst stark variablen Werte der Studie verdeutlichen die individuelle Anatomie des Schädels der 51 untersuchten Patienten und Patientinnen als Endresultat des Wachstums. Die Entwicklung des Schädels ist generell sehr diffizil. Trotzdem ist eine gewisse Tendenz zu erkennen, die man wie folgt gliedern kann:

Im Allgemeinen „öffnet“ sich das Gesicht im Laufe der Entwicklung nach vorne unten je nach Altersperiode. Wie in Abbildung 25 zu sehen ist, betrifft dies vor allem den Jochbogenkomplex und den Oberkiefer. Die Fossa pterygopalatina geht mit Fortschreiten des Wachstums nach unten. Während S-N eher abflacht, rotieren Orbita, die Fossa pterygopalatina und der Oberkiefer nach anterior. Zeitlich gesehen sind Sella, Nasion und Porion in ihrer Position relativ früh im Wachstum stabil.

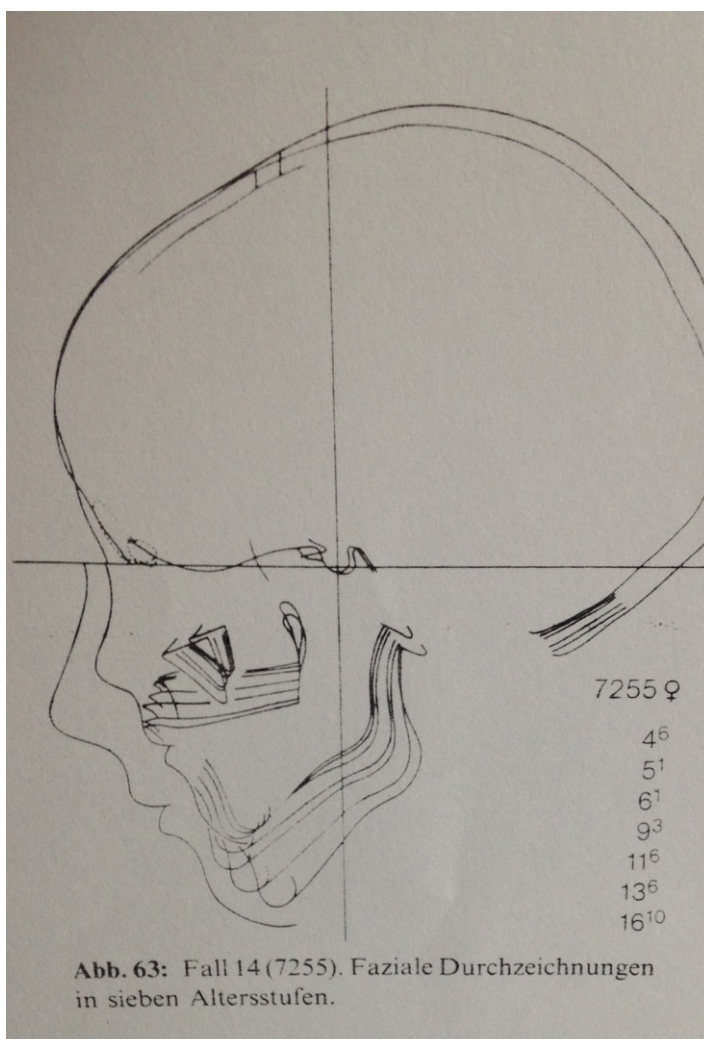


Abbildung 24: Wachstumsstufen (Björk A. 1968)

Das Gonion wird später in seiner Lokalisation fixiert und ist abhängig vom Wachstum der Mandibula und vom Wachstumstyp. Durch Anlagerung von Knochen erfolgt das Kondylenwachstum, wodurch eine Rotation des Unterkiefers beginnt. Je vertikaler die Kondylen wachsen, desto eher kommt es zu einer anterioren Rotation der Mandibula. Bei horizontaler Konstellation verhält es sich umgekehrt (Björk 1955).

Noch früher in der Entwicklung hat die Brachykephalisation oder auch Schädelbasisknickung einen wesentlichen Einfluss auf den Verlauf der FH. Als Folge unseres aufrechten Gangs gewährleistet sie eine horizontale Ausrichtung der Sehachse. Diese stellt sich im Fernröntgen in der Neigung des Clivus zur vorderen Schädelbasis dar und variiert beim Menschen zwischen 90 und 116 Grad. Bei einem steilen Clivus liegt das Porion, der Condylus und das Artikulare tiefer als bei einem flachen, wie die Strecken  $s$ ,  $s'$ ,  $a$  und  $a'$  zeigen.

Eine Rekonstruktion der FH mit den Strecken  $a$ ,  $a'$ ,  $s$ ,  $s'$ ,  $n$  und  $n'$  war jedoch nicht möglich, da sie einer zu großen Variabilität unterlagen.

Die Schädelbasisknickung wird auch im Anatomielehrbuch nach Waldeyer beschrieben, wobei jedoch, wie in Abbildung 26 zu sehen ist, eine andere Definition der vorderen Schädelbasis gewählt wurde, die nicht jener der klassischen Fernröntgendurchzeichnung entspricht.

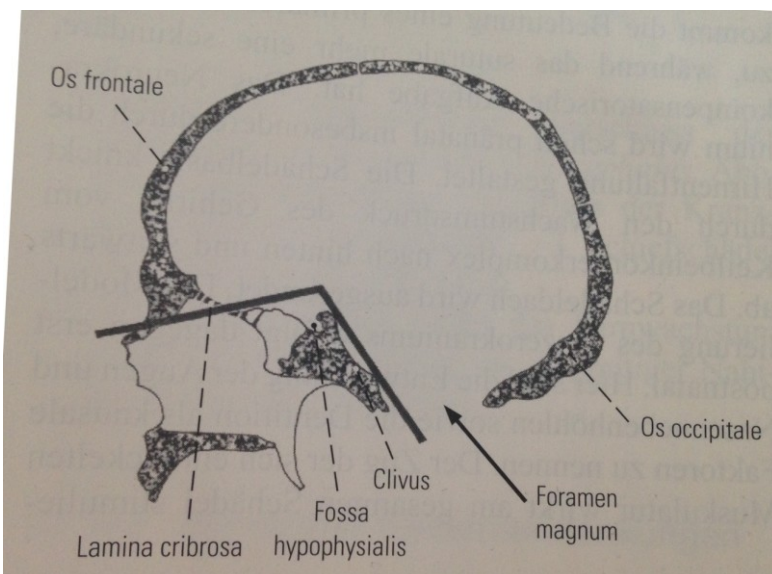


Abbildung 25: Schädelbasisknickung (Waldeyer 2003)

Sie verläuft hier nach Definition vom geometrischen Mittelpunkt der Sella turcica zum Nasion und erlangte große Bedeutung als eine der am häufigsten verwendeten horizontalen Referenzebene (Ricketts 1976).

Es ist schon lange bekannt, dass die Neigungen der horizontalen Bezugsebenen nicht konstant sind, da die Punkte, durch die sie definiert sind, einer biologischen Variabilität unterliegen (Downs 1956). Dies führt zu unterschiedlichen Untersuchungsergebnissen klinischer und radiologischer Parameter.

Patienten mit sehr flacher und sehr steiler vorderer Schädelbasis (in Abhängigkeit der Sella und des Os Nasale in Bezug auf den Restschädel) erschweren den Vergleich einzelner Patienten innerhalb eines Untersuchungsgutes.



Abbildung 26: Variation der Neigung S-N (Bjerin 1957)

Ellis hingegen hat 1988 die vordere Schädelbasis der Frankfurter Horizontalen gegenübergestellt und hat festgehalten, dass die Wertigkeit der FH als Referenzlinie bezüglich der Kieferpositionen höher anzusetzen ist. Er begründet dies mit der größeren Variablen der Sella-Position. Ellis vergleicht seine Ergebnisse mit den Aussagen von Downs und Ricketts, welche festgestellt hatten, dass sich die Sella zum restlichen Gesicht völlig unabhängig verhält, die Frankfurter Horizontale tut dies lt. Ellis jedoch nicht.

Trotz vielfach in der Kieferorthopädie verwendet, hat die FH auch noch in anderen Fachgebieten der Zahnmedizin praktische Bedeutung, nämlich in der Prothetik.

Die mathematisch definierten Ebenen, auf die sich weitere anthropologische Messungen beziehen, dienen je nach Konzept als Bezugsebenen der schädelbezüglichen Modelljustierung in der Praxis. Es gilt, sie mit Hilfsmitteln vom Patienten/von der Patientin auf den Artikulator zu übertragen, dessen Oberteil parallel dazu ausgerichtet wird.

Vielfach korrespondierend zur Frankfurter Horizontalen verwendet, gilt die Schanierachsen- Orbital-Ebene oder auch AOE (Achse-Orbital-Ebene) als Bezugsebene zur automatischen Symmetrierung am Schädel. Der Transferbogen wird links und rechts in den äußeren Gehörgang eingesetzt und mittels patentierten, auf das Hautorbitale gerichteten Nivellierstab angelegt. So kann später das Modell schädelrichtig im SAM- Artikulator eingegipst werden.

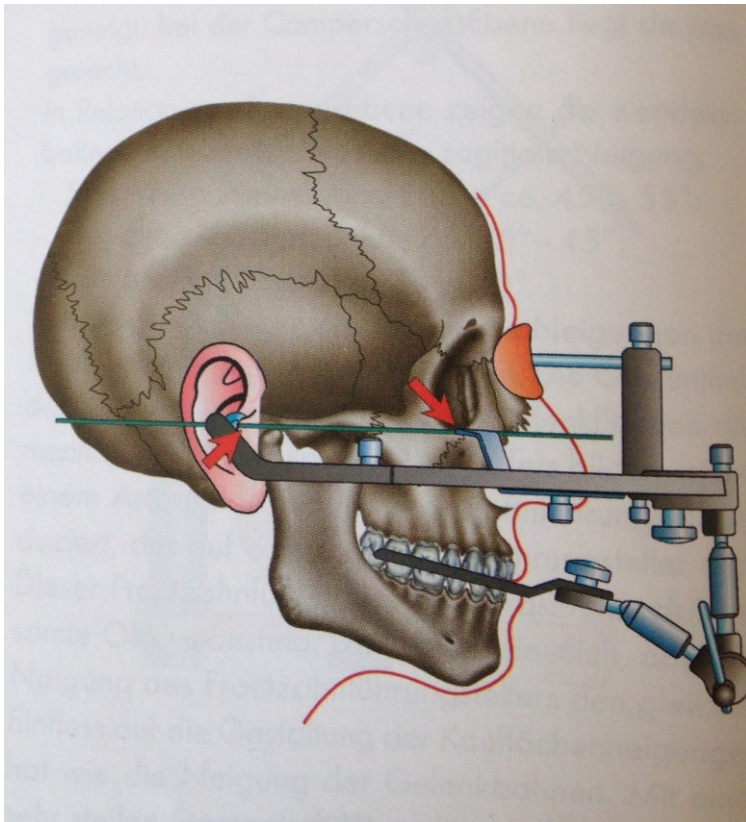


Abbildung 27: Transferbogenanlegetechnik (Hohmann et Hilscher 2004)

Die Problematik liegt in der undifferenzierten Verwendung radiologischer Punkte und Hautpunkte, die nicht gleichzusetzen sind und woraus sich wiederum Ungenauigkeiten ergeben. Das Porion ist ein radiologisch festgelegter Punkt und am lebenden Individuum von außen an der Haut nicht ermittelbar. Die Schanierachse-Orbitale Ebene gilt trotz der beiden abweichenden posterioren Definitionspunkte, die deutlich unter den Porionpunkten liegen (siehe Abbildung 27), als Annäherung an die FH.

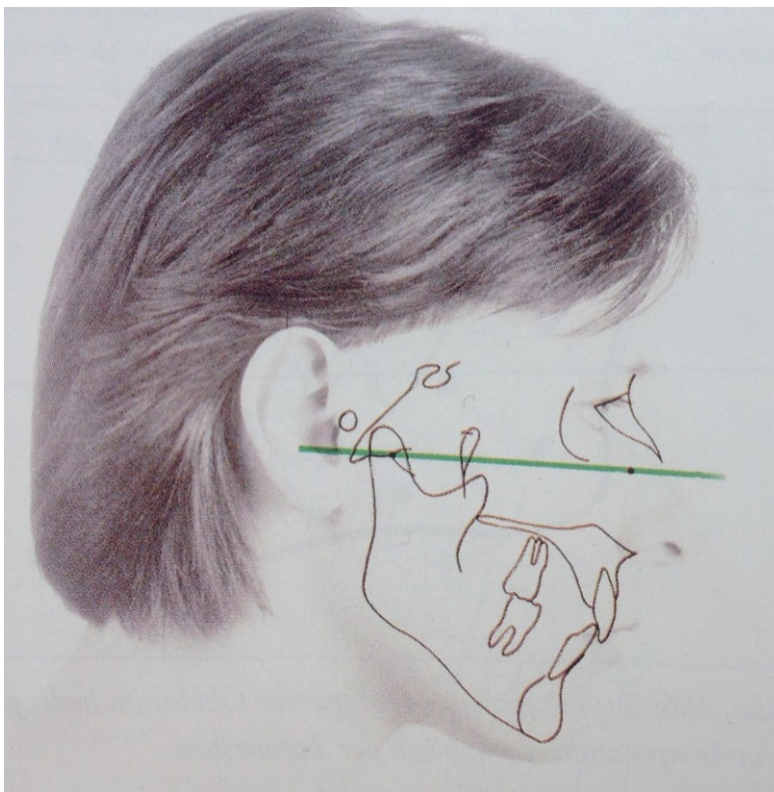


Abbildung 28: Achseorbitalebene (Slavicek R. 2000)

## 5 Schlussfolgerung

Die Frankfurter Horizontale gilt nach wie vor als Kompromiss einer Referenzebene in der Zahnmedizin: Nicht nur hinsichtlich der Exaktheit ihrer Darstellung am lateralen Fernröntgen in der Kieferorthopädie, sondern auch in der Prothetik. Als Bezugsebene für die schädelbezügliche Modelljustierung dient diese der Übertragung vom lebenden Individuum auf die Artikulatoren und unterliegt besonderer Sorgfalt.

Hinsichtlich der Problematik in der Fernröntgenanalyse kann mit den Werten aus der Studie die Lokalisation des Porions in fraglichen Fällen eingegrenzt werden. Die Frankfurter Horizontale konnte in der vorliegenden Studie mit einer Standardabweichung von  $\pm 4,6$  Grad über den Winkel, der sich zwischen den radiologisch gut sichtbaren Punkten Sella, Orbitale und Gonion darstellt, errechnet werden.

Um daraus eine generelle Rekonstruktionsmöglichkeit der FH als Methode zu etablieren, bedarf es jedoch weiterer Studien an einem größeren Patientengut und sollte auch im Umkehrschluss (das heißt zuerst rekonstruieren und dann per Definitionem einzeichnen) im Vergleich verifiziert werden.

## 6 Literaturverzeichnis

**Baumrind S, Frantz RC** (1971) The reliability of head film measurements. 1.Landmark identification. AM J Orthod 60: 111-127

**Bister D, Edler RJ, Tom B, Prevost A**, (2002) Natural head posture-considerations of reproducibility. European Journal of Orthodontics 24, 457-470

**Bjerin, R.A.** (1957) A comparison between the Frankfort horizontal and the sella turcica-nasion as reference planes in cephalometric analysis. Acta Odontol. Scand. 1957;15:1–12.

**Björk A** (1955) Cranial base development Am J Orthod 41, 198

**Björk A** (1968) The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. Am J phys Anthrop 29, 243

**Carlsson G E** (1967) Error in x-ray cephalometric. A method study and a longitudinal investigation of the facial skeleton on series with and without natural teeth over a 5 year period. Odontologisk Tidskrift Scand Dent J 75: 99-129

**Cooke MS, Wie SHY** (1998) The reproducibility of natural head posture: a methodical study. Am J Orthod Dentofac Orthop 1988;93:280-8

**Downs W B** (1956) Analysis of the dento-facial profile. Angle Orthodontist 4: 191-212

**Droschl H** (1984): Die Fernröntgenwerte unbehandelter Kinder zwischen dem 6. und 15. Lebensjahr. Quintessenz Bibliothek, Quintessenz, Berlin

**Droschl H** (1990) In Skriptum Kieferorthopädie. Klinische Abteilung für Kieferorthopädie der Univ.Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Graz.

**Eliasson S.** (1997) Postural position of the mandible with ear plug fixation and light cross-orientation. Swedish Dental J 1977;1:39-43

**Ellis E, McNamara J Jr** (1988) Cephalometric reference planes –sella nasion vs Frankfort horizontal, *The international Journal of Adult Orthodontics and Orthognathic Surgery* 3(2): 81-7

**Hohmann A, Hilscher W** (2004) *Lehrbuch der Zahntechnik Band 1.7. Auflage.* Berlin. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin

**Ihering H** (1872) Über das Wesen der Prognathie und ihr Verhältnis zur Schädelbasis. *Archiv für Anthropologie* Bd. 5, 359-407

**Ihering H** (1873) Zur Reform der Craniometrie, *Zeitschrift für Ethnologie* 6 359-407

**Kollmann J, Ranke J, Virchow R** (1883) Verständigung über ein gemeinsames craniometrisches Verfahren: Frankfurter Verständigung. *Archiv für Anthropologie* 1883;15:1-8

**Leitão P, Nanda R S** (2000) Relationships of natural head position to craniofacial morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117(4):406-17

**Lundström A, Lundström F, Le Bret LM, Moorrees CF** (1995) Natural head position and natural head orientation: basic considerations in cephalometric analysis and research

**Lundström A, Lundström F** (1992) Natural head position as a basis for cephalometric analysis *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992;101:244-7

**McKinney KA, Stadler ME, Wong Y, Shah RN, Rose AS, Zdanski CJ, Ebert CS, Wheless SA, Senior BA, Drake AF, Zanation AM** (2010) Transpalatal greater palatine canal injection: radioanatomic analysis of where to bend the needle for pediatric sinus surgery. *American Journal of Rhinology and Allergy* 24: 385–388.

**Moorees CFA, Kean MR** (1958) Natural head position: a basic consideration in the interpretation of cephalometric radiographs. *Am J Phys Antropol* 1958;16:213-34

**Nonnenmacher E.** (2014) Zur funktionellen Morphologie der Fossa pterygopalatina der Hominoidea: eine biometrische Studie auf der Grundlage der digitalen Volumentomographie. Inauguraldissertation an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald

**Panche.rz H, Gökbuget K** (1996) The reliability of the Frankfort Horizontal in roentgenographic cephalometry. *European Journal of orthodontics* 18 (1996) 367-372

**Peng L, Cooke MS.** (1999) Fifteen-year reproducibility of natural head posture: A longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116(1):82-5.

**Richardson A** (1966) An investigation into the reproducibility of some points, planes and lines used in a cephalometric radiographs. *Am J Orthod* 52: 637-651

**Ricketts R M** (1978) An update on the status of computerized cephalometrics. *Angle Orthod J* 5 (3) 89-104

**Ricketts R M, Schulhof R J, Bagha L**(1976) Orientation –Sella-nasion or Frankfort horizontal. *Am J Orthod* 1976;69:648-54

**Romano F, Ramalli E, Tavare S, Neto J, Borges de Araujo Magnani M, Nouer D** (2005) Comparison between cephalometrics measure using anatomic and metallic porion point. *Braz J Oral Sci* Vol. 4 Number 13 2005

**Schönherr E** (1967) Natürliche Kopfhaltung, individuelle Kauebene und ihr Wert für die kieferorthopädische Profil- und Modellanalyse. *Fortschritte der Kieferorthopädie*, Band 28, Heft 3, 297-312

**Siersbaek-Nielsen, Solow B** (1982) Intra- and interexaminer variability in head posture recorded by dental auxiliaries. *American Journal of Orthodontics* 82:50-57

**Slavicek Rudolf** (2000): *Das Kauorgan: Funktionen und Dysfunktionen*. 1. Auflage. Klosterneuburg. GAMMA medizinisch-wissenschaftliche Fortbildungs Ges.m.b.H., Klosterneuburg

**Solow B, Tallgren A** (1971) Natural head position in standing subjects. *Acta Odontologica Scandinavica* 29: 591-607

**Trpkova B, Major P, Prasad N, Nebbe B,** (1997) Cephalometric landmarks identification and reproducibility: A Meta analysis. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997; 112:165-70

**Verma S, Maheshwari S, Gautam S, Prabhat KC, Kumar S,** (2012) Natural head position: key position for radiographic and photographic analysis and research of craniofacial complex. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research* 2012; Volume 2, Number 1; pp 46–49

**Waldeyer** (2003) (Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R) *Die Anatomie des Menschen*. 17. Auflage. Berlin. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 10785 Berlin