

**Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität Würzburg
Vorstand: Professor Dr. med. Michael Bohnert**

***Pterion als Merkmal zur Bestimmung von
Geschlecht und Ethnizität unbekannter
Schädelfunde***

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Sajid Matin

Würzburg, Mai 2020



Referent : Professor Dr. Michael Bohnert

Korreferentin : Professor Dr. Srikanth Karnati

Dekan : Professor Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 19.05.2020

Der Promovend ist Arzt.

Meinen Eltern und Großeltern in Dankbarkeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Forensische Osteologie – Begriffsbestimmung und Allgemeines..... | 2 |
| 1.2 | Osteologische Geschlechtsbestimmung | 3 |
| 1.3 | Osteologische Abschätzung des Lebensalters..... | 10 |
| 1.3.1 | Lebensalterbestimmung beim Kind..... | 10 |
| 1.3.2 | Lebensalterbestimmung in der Adoleszenz | 12 |
| 1.3.3 | Lebensalterbestimmung beim Erwachsenen: | 12 |
| 1.4 | Osteologische Abstammungs- und Ethnienbestimmung..... | 16 |
| 1.5 | Das Computerprogramm Fordisc | 21 |
| 1.6 | Die Landmarke Pterion - Begriffsbestimmung..... | 24 |
| 1.7 | Methodik und Zielsetzung | 28 |
| 2 | Material und Methoden..... | 30 |
| 2.1 | Untersuchte Schädelansammlungen | 31 |
| 2.2 | Einschlusskriterien | 33 |
| 2.3 | Ausschlusskriterien | 33 |
| 2.4 | Erläuterung des Messvorgangs..... | 34 |
| 2.5 | Untersuchte Landmarken am Schädel | 34 |
| 2.6 | Fixierung des Schädels für den Messvorgang | 42 |
| 2.7 | Digitale Datenerfassung der Schädelansammlungen | 43 |
| 2.8 | Software zur Erfassung der Schädelansammlungen: 3Skull | 43 |
| 2.9 | Statistische Methoden zur Bestimmung von Sphenion | 48 |
| 3 | Ergebnisse | 50 |
| 3.1 | Deskriptive Statistik | 51 |
| 3.2 | Datenverteilung | 54 |
| 3.3 | Ergebnisse des Geschlechtsvergleichs..... | 61 |
| 3.4 | Ethnische Unterschiede der linken Krotaphion–Sphenion-Distanz | 64 |
| 3.5 | Ethnische Unterschiede der rechten Krotaphion–Sphenion-Distanz... .. | 69 |
| 4 | Diskussion..... | 74 |
| 4.1 | Geschlechtsvergleich | 77 |
| 4.2 | Ethnienunterschiede..... | 80 |
| 5 | Zusammenfassung..... | 84 |
| | Literaturverzeichnis | 87 |
| | Tabellenverzeichnis..... | 95 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 96 |

| | |
|------------------|----|
| Danksagung | 97 |
| Lebenslauf | 98 |

1 Einleitung

1.1 Forensische Osteologie – Begriffsbestimmung und Allgemeines

Der Begriff forensische Osteologie umfasst die Lehre der Knochen im forensischen Kontext. Das Wort „forensisch“ kommt aus dem Lateinischen (in foro) und bedeutet vor Gericht. Somit bedeutet forensische Osteologie gerichtliche Knochenlehre [1]. Üblicherweise bezieht man die forensische Osteologie auf die Untersuchung und das Beurteilen von aufgefundenen Knochen. Hierbei kann es sich überwiegend bis nahezu vollständig um skelettierte Leichen, um vollständige oder unvollständige Skelette bis hin zu einzelnen Knochen oder sogar nur Knochenfragmenten handeln [1, 2, 3]. Am häufigsten treten Knochenfunde im Rahmen von Bauarbeiten oder durch spielende Kinder zu Tage [4]. Forensisch-osteologische Untersuchungen werden in Deutschland von Rechtsmedizinern oder Anthropologen durchgeführt. Die Rechtsmedizin beschäftigt sich vor allem mit Leichen kürzerer Liegezeit, während Anthropologen überwiegend an historischen Skelettfunden ausgebildet sind [1]. Ein Teil der forensischen Osteologie beinhaltet die Auswertung morphologischer oder morphometrischer Daten in der Form von standardisierter Messtrecken und Messpunkten an Knochen, um so ein „biologisches Profil“¹ eines Verstorbenen zu erstellen. Das biologische Profil erlaubt konkretere Aussagen zum Geschlecht, zum Sterbealter, zur Herkunft etc. als es ein Knochen alleine erlauben würde. Ein eingeführter Begriff ist die Osteobiographie, zu der die Einschätzung der Abstammung, des Alters, des Geschlechts und der Statur gehört. Der Begriff wurde von dem forensischen Anthropologen Clyde Snow geprägt, er beschrieb mit der Osteobiographie den Prozess der Identifizierung menschlicher Knochenreste. So gehört die Osteobiographie zu den primären Fragestellungen der Rechtsmedizin und der Anthropologie. In der Rechtsmedizin wird die Osteobiographie angewandt, um der Justiz beispielweise bei der Aufklärung von Gewaltdelikten und Vermisstenfällen zu helfen. Rechtsmediziner und Anthropologen können durch die Bestimmung biologischer und individueller Merkmale (Alter, Geschlecht, etc.) am unbekanntem Skelett die Suchbreite von Vermissten einschränken und

¹ Das biologische Profil eines Menschen beinhaltet Geschlecht, Alter, Abstammung und Körpergröße.

so die Identifizierung erleichtern. Allein durch die Bestimmung des Geschlechts kann man dadurch nahezu 50% der Bevölkerung ausschließen. Durch die weitere Einschätzung von Lebensalter, Abstammung, Körpergröße und Liegedauer hätte man somit alle relevanten Informationen, um die gesuchte Person anhand ihres Skeletts mit den Vermisstenfällen aus der Region zu vergleichen.

Durch die Bestimmung der Liegedauer wird nicht nur der Todeszeitpunkt allein bestimmt, sondern auch, ob eine Straftat noch rechtlich verfolgbar ist, da z. B. für Totschlag in schweren Fällen eine Verjährungsfrist von 30 Jahren gilt.

Ein Problem bei der Identifizierung des Individuums ist der Zustand des Knochens. Oft sind es nur einzelne Knochen oder Knochenfragmente, die durch Zerfallsprozesse, Traumata kurz vor dem Tod oder durch eine Beschädigung im Rahmen der Auffindung schlecht erhalten sind. Dadurch wird die Bestimmung des biologischen Profils erheblich erschwert [5].

1.2 Osteologische Geschlechtsbestimmung

Die Geschlechtsbestimmung anhand von Knochenfunden ist eine der wichtigsten Aufgaben der Rechtsmedizin und der Anthropologie. Grundlage für die Geschlechtsbestimmung ist die genaue Kenntnis der geschlechtsspezifischen Unterschiede der zu untersuchenden Skelettfragmente. Die Bestimmung des Geschlechts anhand des Skeletts beruht auf dem sexuellen Dimorphismus², dem phänotypischen Unterschied zwischen Mann und Frau, der sich vor allem in der Morphologie widerspiegelt. Die wesentlichen geschlechtlichen Unterschiede ergeben sich durch die unterschiedlichen biomechanischen Funktionen für Mann und Frau. Eines der besten Beispiele ist das weibliche Becken, da dieses die optimalen Bedingungen für den Durchtritt eines Kindes beim Geburtsvorgang bieten muss

² Sexueller Dimorphismus: Deutliche Unterschiede in der Erscheinungsform spezifischer Merkmale von männlichen und weiblichen Individuen, die nicht auf die Geschlechtsorgane bezogen sind

[6]. Je nach verfügbaren Knochenfragmenten, werden verschiedene Methoden angewandt.

Frühere Methoden beruhten meist auf der deskriptiven Beschreibung der Morphologie (Morphognostik). Hier werden sichtbare und tastbare Eigenschaften am Knochen aufgefunden und tabellarisch mit einer Kategorie (z. B. des Mannes) verglichen.

Bei der morphologischen Auswertung werden standardmäßig die Beckenknochen oder der Schädel benutzt, da es hier ausgeprägte sexuelle Dimorphismen gibt [7]. Die Auswertung des Beckenknochens ist für die Geschlechtsidentifizierung eine der zuverlässigsten Methoden [8]. Bei der Geschlechtsbestimmung durch die Beckenknochen nach Phenice werden der ventrale Bogen, der mediale Aspekt des Sitz- und Schambeinastes und die subpubische Konkavität betrachtet [8] (Siehe Abbildung 1). Phenice beschäftigte sich zuerst nur mit den Studien von Grant et al. [9], der für die Geschlechtsidentifizierung nur den Sitz- und Schambeinast heranzog. Phenice erweiterte die Kriterien und wertete auch die subpubische Konkavität und den ventralen Bogen des Beckenknochens aus. In der Untersuchung von 275 Beckenknochen aus der Terry Skeletal Collection (davon 180 männliche und 95 weibliche Beckenknochen) konnte das Geschlecht nach seiner Methode für 264 Beckenknochen (95% der Fälle) korrekt zugeordnet werden. Phenice beschrieb einen ventralen Bogen am Schambein der Frau, dieser fehlt beim Mann. Auch zeigte sich der subpubische Teil des Knochens bei der Frau konkav, beim Mann jedoch konvex. Bei der Frau zeigte sich der mediale Aspekt des Sitz- und Schambeinastes als ein sehr dünner Grat, beim Mann jedoch abgerundet und flach.

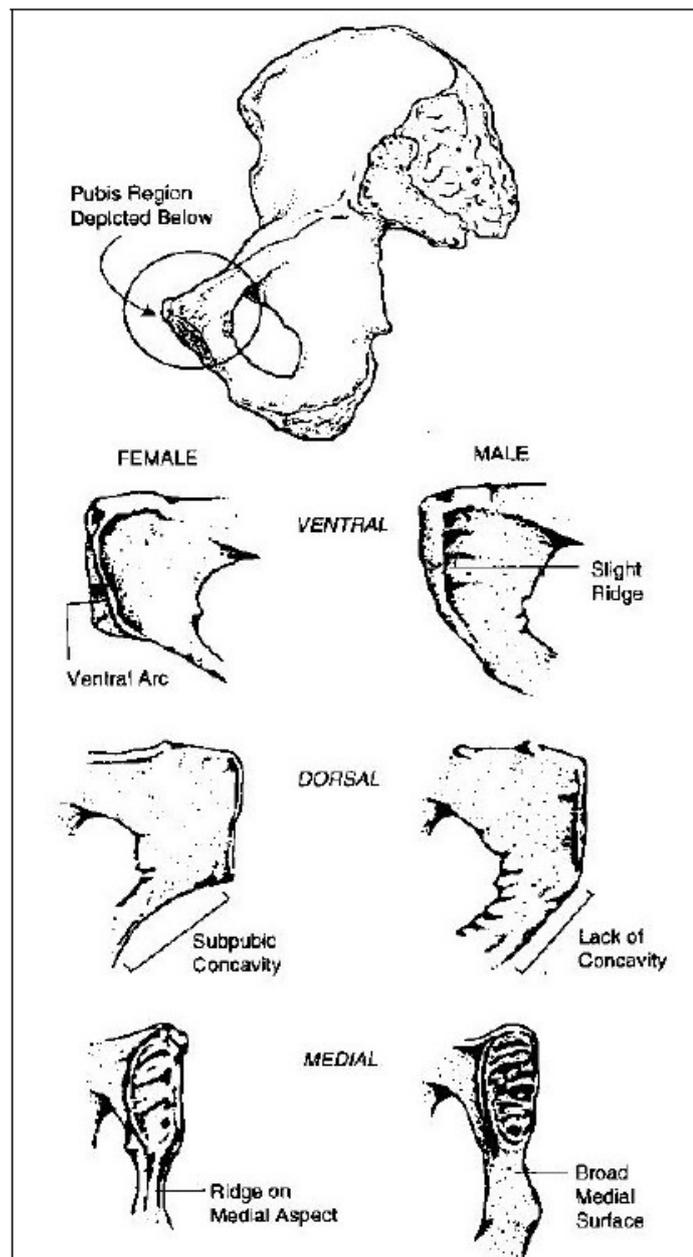


Abbildung 1 - Geschlechtsdimorphismus am Beckenknochen aus [10]

Oben links– ventraler Bogen am Schambein (Frau), Oben rechts – kein ventraler Bogen (Mann)

Mitte links – subpubische Konkavität (Frau), Mitte rechts – subpubisch eher konvex (Mann)

Unten links – dünner Grat (Frau), Unten rechts – breit und abgerundet (Mann)

Ein weiterer Träger geschlechtsspezifischer Merkmale ist der Schädel, der in der Anthropologie einer der am meisten untersuchten Knochenabschnitte des

menschlichen Körpers ist [11]. Giles beschrieb 1964 den Schädel nach dem Beckenknochen als am besten verwendbar für die morphologische Geschlechtsbestimmung [12]. Merkmale wurden von Verhoff [4] in Bezug auf den sexuellen Dimorphismus des Schädels beschrieben.

Tabelle 1 - Geschlechtsspezifische Merkmale am Schädel (aus [4], 2005).

| Merkmale | Männliche Eigenschaft | Weibliche Eigenschaft |
|------------------------|---|---|
| Allgemeine Größe | Größer | Kleiner |
| Allgemeiner Schädelbau | Kräftig, massiv, unebene Oberfläche | Grazil, glatte Oberfläche |
| Muskelmarken | Stark ausgebildet | Gering ausgebildet |
| Occipitalregion | Ausgeprägte Muskelansätze und Protuberanzen | Geringe Ausprägung dieser Merkmale |
| Stirn | Nach hinten fliehend | Steiler |
| Tubera frontalia | Gering hervortretend | Stärker hervortretend |
| Arcus superciliaris | Mittel bis groß | Klein bis mittel |
| Glabella | Stark ausgebildet | Schwach ausgebildet |
| Orbita | Eckiger, niedriger, relativ kleiner, gerundete Ränder | Rundlicher, höher, relativ größer, scharfe Ränder |
| Processus mastoideus | Mittel bis groß | Klein bis mittel |
| Os zygomaticum | Massiver, gebogen, seitlich ausladend | Zierlicher, weniger weit gebogen |
| Gaumen | Größer, breiter, eher U-förmig | Kleiner, eher parabolisch |
| Unterkiefer | Größer, höhere Symphyse, breiterer Ramus ascendens | Kleiner, geringerer Ausmaße |
| Hinterhaupt-Scondylen | Größer | Kleiner |

Ramsthaler et al. [13] bewerteten den Geschlechtsdimorphismus anhand von 50 3-D rekonstruierten CT Schädelaufnahmen. Sie orientierten sich an dem Knussmann-Schema, das siebzehn Merkmale am Schädel erfasst und diese je nach Ausprägungsgrad in Hyperfeminin, Feminin, Indifferent, Maskulin oder Hypermaskulin einteilt. Nach Auswertung der Merkmale konnte eine richtige Geschlechtszuordnung in 96 % der Fälle erreicht werden. Die Merkmale mit der größten Ausprägung des sexuellen Dimorphismus waren der Überaugenwulst, die Glabella³, der Warzenfortsatz und die Erhöhungen des oberen Augenhöhlenrandes. Der Rechtsmediziner Leopold untersuchte 1998 den geschlechtlichen Unterschied des Schädels in Bezug auf das Gewicht und die Abmessung der Schädelbasis [14]. Er stellte fest, dass der Schädel des Mannes schwerer ist als der der Frau. Auch die Gesamtfläche des Foramen magnum war beim Mann größer als bei der Frau.

Duric et al. untersuchten sechszehn geschlechtsspezifische Merkmale von 252 Beckenknochen und 180 Schädeln einer Balkan-Population und konnten feststellen, dass erfahrene Anthropologen anhand dieser Merkmale das Geschlecht in 100 % der Fälle korrekt zuordnen konnten. Wurden nur die Merkmale am Schädel betrachtet, konnte das Geschlecht in 70,57 % der Fälle richtig zugeordnet werden [15]. Daher konnte man allein durch die visuellen Methoden eine hohe Treffsicherheit erreichen.

Neuere Methoden beruhen auf morphometrischen Abmessungen von biologischen Distanzen [11]. Hier werden Distanzen zwischen klar definierten Punkten am Skelett gemessen. Diese Punkte werden auch Landmarks genannt und wurden u. a. von Howells definiert oder modifiziert [16]. Howells war ein amerikanischer Anthropologe und Professor an der Harvard University in den USA. Er beschäftigte sich mit der Skelettmorphologie des Menschen und war ein Vorreiter bei der Entwicklung c. Um die populationsspezifischen Schädelmaße zu untersuchen, stellte er eine Datenbank aus 57

³ Knöcherne Erhebung des Stirnbeins über der Nasenwurzel.

morphometrischen Messstrecken der Knochen von 1348 männlichen und 1156 weiblichen Individuen aus 28 verschiedenen Bevölkerungen zusammen. Diese geschlechtsspezifischen morphometrischen Daten (Längen- und Distanzmaße) können mit Klassifikations- oder auch Mustererkennungsmethoden (engl. Pattern recognition) wie der Diskriminanz-Analyse verarbeitet werden. Das Ziel diskriminanz-analytischer Verfahren besteht darin, eine Grundgesamtheit anhand aussagefähiger Merkmale in Gruppen einzuteilen. Bei der Diskriminanz-Analyse für die Geschlechtsbestimmung könnte die Grundgesamtheit eine bekannte Schädelnsammlung sein. Analysiert werden dann die geschlechtsspezifischen Merkmale, die in der Referenzgruppe auftauchen. Basierend darauf wird mittels einer Diskriminanz-Funktion ein Trennwert errechnet, der die Referenzgruppe in mehrere Gruppen unterteilt wie z. B. männlich/weiblich. Die errechneten Trennwerte werden dann genutzt, um Wahrscheinlichkeiten der Gruppenzugehörigkeit eines unbekanntes Schädelns zu errechnen. Je entfernter der errechnete Wert des unbekanntes Schädelns vom Trennwert einer Gruppe liegt, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit der Geschlechtszugehörigkeit zu dieser Gruppe [17].

Die Diskriminanzanalyse wurde das erste Mal 1957 von Thieme und Schull für die Geschlechtsbestimmung von 200 Individuen angewandt. Insgesamt wurden sieben Konchendistanzen analysiert, eine richtige Geschlechtszugehörigkeit konnte bei der Analyse aller 7 Distanzen bei 98% der Schädel erreicht werden. [18]. 1963 wurde die Diskriminanz-Analyse von Giles und Elliott [19] für eine Geschlechtsbestimmung von 408 Schädeln angewandt. Sie unterteilten die Schädelnsammlung in zwei Gruppen: 300 dieser Schädel wurden als Referenzgruppe benutzt und mittels linearer Diskriminanz-Analyse wurde ein Trennwert zwischen den beiden Geschlechtern erstellt. Die gleiche Formel der Diskriminanz-Analyse wurde dann auf die restlichen Schädel angewandt. Bei 82-89 % dieser Schädel konnte eine richtige Geschlechtszugehörigkeit erreicht werden.

Auch können die Zähne, die langen Röhrenknochen und weitere Knochen wie das Schlüsselbein oder das Schulterblatt für die Geschlechtsbestimmung herangezogen werden [20]. Spradley und Jantz konnten bei einer metrischen Analyse von kranialen und postkranialen Distanzen einer euroamerikanischen und afroamerikanischen Population zeigen, dass die langen Röhrenknochen am Besten für die morphometrische Geschlechtsbestimmung geeignet und somit für die untersuchten Populationen den kranialen Distanzen überlegen sind [21].

Chemische Methoden beruhen auf der Analyse des Citratgehalts im spongiösen Knochen. Weibliche Knochen haben mit dem Beginn der Pubertät und bis zum Anfang der Menopause einen höheren Citratgehalt als männliche Knochen. Diese Methode kann daher genutzt werden, um Knochen männlicher und weiblicher Individuen voneinander zu unterscheiden [22]. Diese Methode hat sich jedoch wegen des großen zeitlichen und materiellen Aufwands gegenüber der modernen molekularbiologischen DNA-Analyse der Knochen nicht durchsetzen können. Heutzutage ist die DNA-Analyse die am weitesten verbreitete Methode der Geschlechtsdifferenzierung, da auch geringste Knochenfragmente dafür ausreichen. Untersucht werden spezifische Abschnitte des Amelogenin-Gens, das sich in unterschiedlichen Formen auf dem X- und dem Y- Chromosom befindet [23].

Ein weiterer Bestandteil der Osteobiographie ist die Einschätzung des Lebensalters, was in den meisten Fällen zwangsläufig mit der Geschlechtsdifferenzierung verbunden ist, da einige Methoden der Geschlechtsbestimmung nur für spezifische Altersgruppen geeignet sind.

1.3 Osteologische Abschätzung des Lebensalters

Bei der Abschätzung des Lebensalters gibt es morphologische und morphometrische Methoden. Die morphologischen Methoden beziehen sich auf die körperlichen Veränderungen, die mit dem Alter verbunden sind. Deshalb gibt es für Kinder und Erwachsene verschiedene Methoden. Bei den morphologischen Methoden für Kinder werden die aufbauenden Prozesse des Knochens, bei Erwachsenen, die mit dem Alter eintretenden abbauenden und degenerativen Prozesse betrachtet. Ein Nachteil der morphologischen Methoden besteht darin, dass man dadurch das biologische Alter, das, sehr stark von Umweltfaktoren verfälscht werden kann, und nicht das chronologische Alter erfasst. Das chronologische Alter beschreibt die Zeitspanne vom Geburtstermin bis zum gegenwärtigen Leben bzw. bis zum Zeitpunkt des Todes. Es ist ein rein physikalisches Maß. Das biologische Alter erfasst zusätzlich zum chronologischen Alter noch die verschiedenen Faktoren, die das Altern beschleunigen oder verlangsamen können. Zu diesen Faktoren gehören etwa Krankheiten, Mangelerscheinungen und frühzeitige Verschleißanzeigen durch übermäßige körperliche Betätigung.

1.3.1 Lebensalterbestimmung beim Kind

1.3.1.1 Bestimmung anhand der Dentition

Die Methode der Wahl für die Lebensalterbestimmung beim Kind ist die Erfassung der Mineralisation der Zähne. Wichtig sind die Stadien der Mineralisation wie ausgewachsene Krone oder Wurzel [24]. Beim Milchgebiss untersuchte Liversidge [25] 63 Individuen im Alter von 0 bis 5,4 Jahren und fand nach einer Auswertung der Daten einen linearen Zusammenhang zwischen Alter und Zahnlänge. Er kam zu der Schlussfolgerung, dass man die Zahnlänge für die Lebensaltereinschätzung beim Milchgebiss verwenden kann. Für das permanente Gebiss gibt es Dentitionstabellen, wie die schon 1940 von Schour und Massler [26] entworfenen. Das Schema dient zur Darstellung der Entwicklung und des Durchbruchs der Milch- sowie der permanenten Zähne, die man als Vergleich für die Abschätzung des Lebensalters heranziehen kann.

Jede Stufe des Schemas entspricht einer bestimmten Altersspanne, sodass eine Lebensaltereinschätzung möglich ist. Die Dentitionstabelle wurde 1985 von Kahl und Schwarze [27] durch die Untersuchung von 993 Panoramaschichtaufnahmen geschlechtsspezifisch aktualisiert.

Ein weiteres Verfahren stellt die Zahnzement-Annulation auch TCA (Tooth cementum annulation) dar. An der Zahnwurzel zeigen sich im Mikroskop in abwechselnder Reihenfolge helle und dunklere Schichten der extrazellulären Matrix. Die erste Schicht legt sich direkt nach dem Zahnbruch an, danach wechseln sich die hellen und dunklen Schichten im jährlichen Rhythmus ab. Die Anzahl der Schichten zusammen mit dem Alter des Zahndurchbruchs erlaubt so eine Einschätzung des Alters. Die TCA Methode ist von diversen Autoren als eine zuverlässige Methode der Alterseinschätzung eingestuft worden [28, 29].

1.3.1.2 Lebensaltersbestimmung anhand der langen Röhrenknochen

Die Länge der Röhrenknochen⁴ kann auch für eine Lebensaltereinschätzung bei Kindern herangezogen werden, obwohl diese Methode mit einer höheren Fehlerrate als die Untersuchung der Zähne verbunden ist [24]. Stloukal & Hanakova [20, 30] stellten durch die Untersuchung der Länge der Röhrenknochen einer slawischen Population eine Vergleichstabelle für Kinder von 0,5 – 14 Jahren auf, mit denen man Knochenlängen vergleichen und so eine Lebensaltereinschätzung treffen kann. So sprechen nach Stloukal et al. eine Länge des Oberarmknochens von ca. 88 mm, eine Länge der Speiche von ca. 70 mm, eine Länge des Oberschenkelknochens von ca. 108 mm und eine Länge des Unterschenkelknochens von ca. 88 mm für die Maße eines 6-monatigen Kindes. Ähnliche Vergleichstabellen wurden u. a. von Sundick 1978 [31] für eine süddeutsche Population erstellt. Die Methode nach Stloukal & Hanakova kann bis zum Beginn der Verknöcherung der Epiphysenfuge angewandt werden, die durchschnittlich ab dem Alter von 10 Jahren beginnt [32].

⁴ Röhrenknochen: Röhrenknochen sind Knochen, welche eine einheitliche Markhöhle haben und dem Namen entsprechend eine längliche Form zeigen.

1.3.2 Lebensalterbestimmung in der Adoleszenz

Im jugendlichen Alter steht vor allem der Schluss der Epiphysenfuge der langen Röhrenknochen bei einer Abschätzung des Lebensalters im Vordergrund. Der Verschluss der Epiphysenfuge korreliert positiv mit dem Alter und kann daher für die Schätzung des Lebensalters herangezogen werden [5]. Nach Buikstra et al. [33] verschließen sich die distalen Epiphysenfugen des Oberarmknochens zuerst im Alter von 8-14 Jahren, am spätesten wird die sphenooccipitale Synchronrose im Alter von 20-25 Jahren verschlossen.

Eine weitere zuverlässige Methode, die auf dem Verschluss der Epiphysenfuge beruht, ist die Klassifikation, die 1998 von Kreitner et al. vorgeschlagen wurde. Hier wurde erstmals die Computertomographie angewandt, um die Ossifikation der Epiphysenfuge des Schlüsselbeins in fünf chronologische Stadien einzuteilen. Jedes Stadium korrelierte so mit einer bestimmten Altersspanne [34]. Schmeling et al. bauten auf den neuen Erkenntnissen auf und untersuchten nach dem gleichen Verfahren ein noch größeres Kollektiv. Auch hier wurden fünf Stadien der Verknöcherung der Epiphyse des Schlüsselbeins beschrieben, jedoch geschlechtsspezifisch [35]. Kellinghaus et al. untersuchten 2009 den altersabhängigen Epiphysenverschluss des Schlüsselbeins eines Patientenkollektivs aus 592 Individuen im Alter von 10-35 Jahren. Die Einteilung der Stadien des Epiphysenverschlusses stimmte mit den vorgelegten Resultaten von Kreiter und Schmeling überein [36].

1.3.3 Lebensalterbestimmung beim Erwachsenen:

Bei Erwachsenen werden die mit dem Alter eintretenden abbauenden und degenerativen Prozesse für eine Abschätzung des Lebensalters betrachtet. Daher wird der Fokus u. a. auf nicht-synoviale Gelenke⁵ wie z. B. Syndesmosen und Synchronrosen gerichtet. Aufbauend auf dieser Idee analysierte Todd im Jahre 1920 die Schambeinfugen von 306 männlichen Schambeinknochen und stellte dabei altersspezifische Degenerationen und morphologische

⁵ Gelenke ohne eine Gelenkkapsel

Veränderungen fest [37]. Er teilte die beschriebenen Veränderungen in zehn Phasen ein: Die 1. Phase korrelierte mit einem Alter von 18-19 Jahren, die 10. Phase mit einem Alter von über 50 Jahren. Da die Ergebnisse nur auf einem männlichen Skelettkollektiv basierten, wurden die Ergebnisse mit den Jahren angepasst, u. a. von McKern und Stewart 1957 [38] und für das weibliche Geschlecht von Gilbert und McKern 1973 [39]. Gilbert und McKern erstellten zehn deskriptive Phasen für die morphologische Veränderung der weiblichen Schambeinfuge. Die heutzutage am häufigsten angewandte Methode ist jedoch die nach Suchey und Brooks [40, 41]. Hier wurde eine Sammlung von 1225 Schambeinknochen aus Los Angeles analysiert. Im Rückgriff auf die Einteilung von Todd in zehn Phasen wurde eine Reduktion auf nur sechs deskriptive Phasen vorgeschlagen, wobei jede Phase einer bestimmten Altersspanne entspricht. Suchey und Brooks beschrieben bei jüngeren Erwachsenen vor allem horizontal verlaufende Linien im Alter von 19-24 Jahren. Der Zwischenraum dieser Linien wird mit dem Alter aufgefüllt bis hin zur Bildung eines Plateaus im Alter von 25-30 Jahren. Am ventralen und dorsalen Rand kommt es mit dem Alter zu einer wallartigen Ausbuchtung, sodass die ursprüngliche Gelenkoberfläche eingebuchtet wird (30-40 Jahre). Mit fortschreitendem Alter degeneriert die Gelenkoberfläche immer weiter unter einer Ausbildung von Osteophyten und einem irregulären Rand. Es bildet sich eine raue, unregelmäßige und poröse Oberfläche (über 60 Jahre). Die Analyse der Schambeinfuge ist immer noch eine der häufigsten Methoden der Altersbestimmung an einem unbekanntem Skelett.

Eine weitere Methode der Abschätzung des Lebensalters ist die Analyse des Verschlusses der Schädelnähte (Suturen). Jedoch konnte gezeigt werden, dass der Suturenverschluss nicht immer mit dem Alter korreliert [42], weshalb diese Methode nur als eine zusätzliche Methode angesehen wird. Die Schädelnähte wachsen mit der Zeit immer weiter ineinander, um dann im hohen Alter fast komplett zu verschwinden. Diverse Standardverfahren wurden vorgeschlagen, z. B. durch Acsadi und Nemeskeri [43] oder Meindl et al. [44]. Die Lebensalterbestimmung nach Acsadi und Nemeskeri wird endokranial

durchgeführt (Verschluss der Suturen im Schädelinneren). Sie werteten sechzehn spezifische Stellen von 285 Schädeln mit bekanntem Alter und Geschlecht aus einer Schädelammlung der Semmelweis Universität in Budapest aus. Sie verwendeten eine numerische Auswertung (Scores), um die einzelnen Suturen zu beschreiben: Eine 0 für offene Suturen und eine 4 für eine komplett verschlossene Suture. Durch einen Vergleich der Durchschnitts-Scores mit dem Alter der Schädel wurde eine Vergleichstabelle erstellt, womit man durch den errechneten Score auf das Alter schließen kann. Meindl et. al. beschäftigten sich mit dem ektokraniellen Suturenverschluss (Verschluss von außen) und untersuchten 236 Schädel der Hamann-Todd Kollektion. Auch hier wurden wieder die Suturen numerisch ausgewertet, ein Score wurde errechnet und eine Tabelle der Scores mit korrelierendem Alter veröffentlicht. Die Lebensalterbestimmung durch Suturen nach Meindl et al. ist unter den Anthropologen noch immer eine der am meisten benutzten [40]. Es konnte gezeigt werden, dass die Methode nach Acsadi und Nemeskeri eine der sichersten ist, wobei jedoch der endokranielle Suturenverschluss bei der Altersbestimmung dem ektokraniellen Suturenverschluss überlegen ist [45]. Des Weiteren wurden neben den Hauptsuturen der Schädelkalotte weitere Suturen erforscht, wie z. B. die frontosphenoidalen Suturen [46, 47], die frontonasalen Suturen [48] und die Suturen des Oberkieferknochens und des Gaumenbeins [49, 50].

Ein Knochenabschnitt, der verschiedenen altersbedingten morphologischen Veränderungen unterliegt und sich somit zur Lebensalterbestimmung am Skelett eignet, ist das sternale Ende der Rippenknochen. Iscan et al. etablierten 1984 durch die Beurteilung drei morphologische Komponenten am sternalen Ende der Rippe [51]. Die rechte vierte Rippe wurde bei der Autopsie von 93 kaukasischen Männern gesammelt. Das sternale Ende jeder Rippe wurde in Bezug auf die Pit-Tiefe (Komponente I, Einsenkung an der sternalen Oberfläche), die Pit-Form (Komponente II, Form der Einsenkung) und Rand- und Wandkonfigurationen (Komponente III) analysiert, die jeweils in sechs Stufen unterteilt waren. Die Ergebnisse zeigten, dass das Sterbealter innerhalb

von zwei Jahren im zweiten Jahrzehnt und bis zu sieben Jahren im fünften und sechsten Lebensjahrzehnt anhand einer Rippe geschätzt werden kann. Grubenform und Rand- und Wandkonfigurationen lieferten bessere Ergebnisse als die absolute Pit-Tiefe allein.

Andere Methoden zur Einschätzung des Lebensalters basieren auf der histologischen Analyse der Knochen oder der Zähne. Die Analyse der Knochen erfolgt mikroskopisch und beruht auf der Diagnose des Knochen-Remodellings, einem Prozess, bei dem alte Knochensubstanz durch neue Knochensubstanz ersetzt wird. Die einzelnen Strukturelemente der Knochen weisen bei den jeweiligen Altersgruppen charakteristische Anteile und Ausprägungen auf. In der Altersklasse 20-40 Jahre vermindert sich der lamellare Bereich im Knocheninneren, die Osteonen⁶ haben eine unregelmäßige Form. Im Intervall 40-60 Jahre sind die Osteonen jedoch regelmäßig geformt und dicht aneinander gepackt. Ab 60 Jahren enthält der Knochen zahlreiche Resorptionslakunen⁷ und macht einen löchrigen Gesamteindruck [52].

Bei den Zähnen betrachtet man das Verhältnis der optischen Stereoisomere D und L der Aminosäure Asparagin im Dentin der Zähne. Asparagin wird im menschlichen Körper nur in der L-Form synthetisiert, aber ab dem Zeitpunkt der Biosynthese kommt es zu einer nicht-enzymatischen Umwandlung in die D-Form, sodass diese sich mit der Zeit akkumulieren kann. Die Akkumulation wird vor allem in Geweben beobachtet, die einen niedrigen Stoffwechselumsatz und daher innerhalb der Zeit sehr stabile biochemische Verhältnisse haben, wie z. B. im Dentin der Zähne [53, 54]. Die Korrelation der Racemisierung⁸ zum Alter wurde zuerst von Helfman et al. 1975 beschrieben [55]. Ohtani und Yamamoto [56] konnten anhand von fünf forensischen Fällen zeigen, dass das Alter mit der

⁶ Osteon: Die funktionelle Einheit aus einem zentralen Knochenkanal und konzentrisch angeordneten Knochenlamellen.

⁷ Resorptionslakunene: Die mikroskopisch sichtbaren Ausbuchtungen (Lakunen) an Knochenoberflächen durch knochenabbauende Prozesse.

⁸ Racemat: Die Racemisierung ist die Angleichung der Konzentration von zwei optisch aktiven Isomeren in einem Stoffgemisch. Ein Racemat ist eine Mischung mit einer Gleichverteilung der beiden Isomere im Stoffgemisch.

Racemisierungs-Methode in allen fünf Fällen mit einer Fehlerspanne von 3–4 Jahren richtig eingeschätzt werden kann.

Für eine möglichst genaue Einschätzung des Lebensalters sollten alle verfügbaren morphologischen, morphometrischen und histologischen Methoden ausgeschöpft werden [57].

1.4 Osteologische Abstammungs- und Ethnienbestimmung

Die Abstammungsbestimmung hat einen hohen Stellenwert in der forensischen Osteologie und Anthropologie. Sie wird im Rahmen der Osteobiographie angewandt, um damit die Identifikation von Skelettresten zu vereinfachen. Die Abstammung bezieht sich auf die ursprüngliche geographische Herkunftsregion eines Individuums. Die Abschätzung der Abstammung von Knochenresten ist möglich durch die morphologische Variation verschiedener Populationen. Im Laufe der Entwicklung entstehen diese Variationen u. a. durch natürliche Selektion, Mutationen und Genfluss⁹. Diese Einflussfaktoren prägen die Phänotypen und dadurch auch die Variationen im Skelett. Durch Beobachtung und Messung dieser Variationen kann man die Abstammung einschätzen [5].

Die Abstammungsbestimmung anhand von Skelettmerkmalen wird in der Literatur kontrovers diskutiert [58, 59, 60]. Armelagos zum Beispiel, argumentiert, dass die "Rasse"¹⁰ lediglich ein soziales und kein biologisches Konzept sei [61] und dass daher eine Abstammungsbestimmung verfehlt ist. Kritiker argumentieren, dass die Abstammungsbestimmung auf die Untersuchungen im 19. Jahrhundert zurückgreift, die damals Rassen nach Überlegenheit klassifizierten.

Schädelmerkmale mit denen man versucht, die Abstammung zu bestimmen, unterliegen Umwelteinflüssen, vor allem während des Wachstums [62], wie z. B. der Schädel, der in einem kalten Klima eher brachyzephal, also kürzer und breiter wird, da dies die Thermoregulation vereinfacht [63, 64]. Kritiker beziehen

⁹ Genfluss: Die Weitergabe von Genen einer Population an eine andere Population.

¹⁰ Dieser Begriff kann von Diskriminierung und Ausgrenzung geprägt sein und sollte laut UNESCO durch das Wort Ethnie ersetzt werden.

sich auf die Untersuchung von Franz Boas aus dem Jahr 1912 [65]. Boas untersuchte dafür morphometrische Daten von ca. 13000 Schädeln europäischer Migranten und deren in Amerika geborenen Nachkommen. Boas beschrieb eine Veränderung der Schädelform bei den Nachkommen der Migranten, die nun anderen Umwelteinflüssen ausgesetzt waren und prägte so den Begriff der kranialen Plastizität, der sich auf die zeitliche Veränderung des Schädels durch Umwelteinflüsse bezieht. Welche konkreten Umwelteinflüsse dies waren, wurde durch Boas nicht beantwortet. Er argumentierte, dass Schädelmerkmale nur in einem sehr geringen Ausprägungsgrad an die Nachkommen vererbt werden, weshalb eine Abstammungseinschätzung durch kranio-metrische Daten nicht möglich sei. Es gibt verschiedene Erklärungsansätze für die Veränderung der Schädelmorphologie. U. a. wird das Klima als Einflussfaktor beschrieben, da der Schädel sich anpasst, um die Thermoregulation zu verbessern. Koybliaksky [66] untersuchte die Schädelmorphologie von afrikanischen, arabischen und europäischen Migranten und ihren in Israel aufgewachsenen Kinder. Da die Kinder anderen Umwelteinflüssen ausgesetzt waren, beschrieb Koybliaksky den Einfluss der Migration durch eine Zunahme der Schädellänge und eine Abnahme der Schädelbreite bei den Kindern der nach Israel ausgesiedelten europäischen Migranten. Eine Veränderung der afrikanischen oder arabischen Auswanderer konnte nicht nachgewiesen werden. Little et al. [67] untersuchten die Veränderung der kraniofazialen Morphologie einer einheimischen Bevölkerung im Süden Mexikos von 1968-2000. Sie stellten eine Zunahme der Schädellänge und eine Abnahme der Schädelbreite fest, vor allem nach der Einführung von weicherem Essen ab 1978. Weicheres Essen führte zu einer abnehmenden Beanspruchung des Kauapparates, wodurch das Gesicht schmaler und der Unterkiefer kleiner wurde. Jantz et al. [68] untersuchten säkulare Veränderungen der kraniofazialen Morphologie an zwei amerikanischen Schädel-sammlungen, eine aus dem Zeitraum 1900-1970 (Terry and Hamann Todd Collection), die andere Sammlung (Forensic Anthropology Databank) mit rezenten Schädeln. Mit säkularen Veränderungen bezeichnet man Veränderungen der körperlichen Entwicklung von einer Generation zur

nächsten [69]. Ein prominenter säkularer Trend ist die Zunahme der Körpergröße. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts nahm die Erwachsenengröße in den meisten Ländern Europas deutlich zu (1-2 cm/Dekade). Als Ursachen für diesen säkularen Trend werden u. a. bessere Ernährung, verbesserte hygienische Verhältnisse und eine bessere medizinische Versorgung diskutiert [70, 71]. Jantz et al. konnten zeigen, dass es einen signifikanten Unterschied der Schädel zwischen dem 19. und 20. Jahrhundert gibt, vor allem in der Form der Schädelkalotte, die höher und schmaler wird. Des Weiteren zeigen Schädelhöhe und Länge der Röhrenknochen eine positive Korrelation, was zeigt, dass beide dem gleichen Veränderungsdruck unterliegen. Weisensee et al. [72] untersuchten säkulare Trends der Schädelmorphologie einer dokumentierten Schädelammlung aus Lissabon. Die Schädel stammten aus dem Zeitraum von 1806-1954, einem Zeitraum, in dem Portugal massiven Veränderungen im Zuge der Säkularisierung ausgesetzt war, wie z. B. einem Bevölkerungszuwachs und einer stärkeren Urbanisierung [73], einer Verringerung der Säuglingsmortalität [74] und einer erhöhten Lebenserwartung [75]. Die Analyse durch eine 3D Aufzeichnung von 67 Landmarks zeigte auch hier eine Veränderung der kranialen Morphologie: Eine Zunahme der Gaumenbreite, eine Abnahme der Gesichtsbreite und eine etwas vertiefte und nach vorne verlagerte Schädelbasis. Ein weiterer Säkularisierungstrend wurde in einem japanischen Kollektiv untersucht. Hossain et al. untersuchten zwei Kohorten (1998-2001 und 1975-1979) und belegten eine Zunahme der Gesichtsschädelhöhe und eine Verschmälerung der Gesichtsbreite.

Die morphologische Veränderung der Schädel ist nicht nur der Umwelt zuzuschreiben. Sparks und Jantz konnten 2002 [76] durch die Daten von Franz Boas [65] zeigen, dass die Schädelmerkmale der in Amerika lebenden europäischen Migranten an die Nachkommen weitergegeben wurden, obwohl die Kinder durch die Migration der Eltern nun anderen Umwelteinflüssen ausgesetzt waren. Durch moderne statistische Auswertung der von Boas erhobenen Daten konnten Sparks und Jantz zeigen, dass die kraniale Morphologie nicht nur den Umwelteinflüssen unterliegt, sondern dass es auch

eine hohe Vererbbarkeit durch populationsbedingte, genetische Einflüsse der Merkmale gibt. Sparks und Jantz beschrieben eine bei den Nachkommen der Migranten unveränderte Variation zwischen den verschiedenen europäischen Ethnien, trotz der neuen amerikanischen Umwelteinflüsse. Sie argumentierten, dass in Amerika sowohl Afroamerikaner als auch Euroamerikaner signifikante Säkularisierungstrends und Veränderungen der Schädelmorphologie zeigen. Jedoch ist die Schädelmorphologie beider Gruppen, trotz der nun gleichen Umwelteinflüsse, nicht zu einer gemeinsamen Schädelmorphologie zusammengelaufen [68], wie man es erwarten würde, wenn die Umweltplastizität die treibende Kraft wäre.

Da Schädelmerkmale eine hohe Vererbbarkeit und dadurch eine signifikante Variation zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen zeigen, kann man diese Unterschiede in den Schädelmerkmalen für die Abstammungseinschätzung verwenden. Vor allem die aktuellen Weltgeschehnisse und die große Zunahme der Migration in den letzten Jahrzehnten geben der modernen Abstammungsbestimmung einen neuen Stellenwert. Laut einem UN-Report lebten 2017 schätzungsweise 258 Millionen Menschen nicht in Ihrem Heimatland – seit 2010 ist das eine Zunahme von 49 % [77].

Eine Methode der Ethnienbestimmung ist die morphoskopische, nicht-metrische Analyse. Hier werden die Eigenschaften beobachtet und beschrieben, bei denen sich genetische Variationen unter den Ethnien zeigen. Hierfür wurden z. B. verschiedene Eigenschaftslisten mit genauen Merkmalen erstellt, anhand derer die Skelettmerkmale verglichen werden können [78, 79, 80] und so eine Zuordnung treffen kann. Gill [78] erstellte Vergleichstabellen der meist benutzten Merkmale aus verschiedenen Werken. Mit hohem Stellenwert beschrieb er vor allem die Nase und den Mund als kraniofaziale Merkmale für die Identifizierung von Ethnien. In seiner Merkmalsliste beschrieb er vor allem den Nasenrücken, den Oberkiefer und die Form der Schädelkalotte als Merkmale, die für die Identifizierung von Ethnien geeignet sind.

Ähnlich wie bei diesem Verfahren, ist es auch möglich, die morphologischen Eigenschaften der Zähne zu benutzen [81]. Hierfür werden Beobachtungen von kleineren Strukturen der Zahnkrone und -wurzel, einschließlich der Rillen, Grate und Höcker ausgewertet [82]. Die nicht-metrische Methode der Abstammungsbestimmung hat jedoch Nachteile, da es keine Standards für die Identifizierung der einzelnen Merkmale gibt [83]. Sie ist anfälliger für Beobachtungsfehler, bei denen zwei verschiedene Beobachter dasselbe Merkmal unterschiedlich bewerten [84] und hängt daher wesentlich von den Fähigkeiten und der Erfahrung des Untersuchers ab [85].

Um eine höhere Objektivität, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu erreichen, wird heute meistens die morphometrische Methode zur Klassifizierung von Ethnien angewandt. Diese Methode konnte erst mit der Entwicklung moderner statistischer Methoden und Computertechnologien, die sehr große Datensätze verarbeiten können, realisiert werden. Hierbei werden verschiedene biologische Distanzen von definierten Punkten am Skelett gemessen. Die Punkte werden Landmarks genannt und wurden unter anderem von Howells [16] definiert oder modifiziert. Diese metrische Analyse macht es möglich, ethnische Variationen des Schädels zu erkennen, die sonst mit dem Auge nicht zu erfassen wären. Vor allem wird die Diskriminanz-Analyse angewandt, eine Methode die für die Identifizierung von Ethnien zuerst von Giles und Elliot [86] im Jahre 1962 benutzt wurde. Bei der Diskriminanz-Analyse werden die gemessenen morphometrischen Daten mit einer Referenzgruppe verglichen, um so eine Aussage über die Affinität zu einer dieser Referenzgruppen zu treffen. Diese Analyse kann nicht nur für die Abstammung angewandt werden, sondern wie Giles und Elliot schon demonstrierten, auch für die Geschlechtsdifferenzierung [19]. Außer dem Schädel kann man auch postkraniale¹¹ Knochen analysieren und abmessen, wie z.B. den Oberschenkelknochen [87], den Unterschenkelknochen [88] und das Sprungbein [89], um die Abstammung und das Geschlecht zu bestimmen.

¹¹ Alle Knochen des menschlichen Skeletts exklusive des Schädels.

Ein Programm, das metrische Knochendaten erfassen kann und mit der Diskriminanz-Analyse das Geschlecht, die Abstammung und das Alter bestimmt, ist Fordisc®, worauf im nächsten Kapitel weiter eingegangen wird.

1.5 Das Computerprogramm Fordisc

Fordisc [90] ist ein Computer-Programm, das 1993 von Prof. Richard Jantz und Stephen Ousley an der Universität Tennessee entwickelt wurde und anhand von morphometrischen Knochendistanzen eine Einschätzung der Ethnie, des Lebensalters und des Geschlechts ermöglicht. So kann durch die Software ein biologisches Profil erstellt werden, was viele Fragestellungen der Anthropologie und der Rechtsmedizin beantworten kann. Fordisc ist ein Akronym und steht für Forensic Discriminants. Die erste Version wurde 1993 veröffentlicht, die 2. Version folgte dann 1996. Die neueste Version (3.1) ist 2005 erschienen.

Fordisc arbeitet mit der Diskriminanz-Analyse, vergleicht die angegebenen morphometrischen Daten des Knochens oder Knochenteils mit schon erhobenen Referenzdaten und kann dann angeben, zu welcher Population diese Daten am besten passen. Die lineare Diskriminanz-Analyse wurde zuerst 1936 von Fisher [91] publiziert. Der Einsatz in den forensischen Wissenschaften erfolgte später in drei getrennten Phasen [92].

Zuerst wurde sie in den 1950ern von Thieme [93] und Thieme und Schull [18] für die Geschlechtsidentifikation durch skeletale Abmessungen eingeführt. Kurz danach (1962 und 1963) wurde sie von Giles und Elliot [19, 86] für die Bestimmungen der Abstammung und des Geschlechts angewandt. Giles und Elliot publizierten eine einfache Formel, in die man die Variablen, also die morphometrischen Knochendistanzen, einsetzen und so auf einen Wert kommen konnte. Für die einzelnen Gruppen wie z. B. Mann oder Frau gab es Cut-Off-Werte. Je weiter entfernt der Wert von dem Cut-Off-Wert war, desto unwahrscheinlicher war die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Gruppe.

Die zweite Phase begann mit der immer weiteren Verbreitung des Computers, die es durch Eingabe der Abmessung sehr einfach machte, einen Wert bei der Diskriminanz-Analyse zu kalkulieren. Eine Schwäche dieser Formeln bestand jedoch darin, dass alle Variablen eingesetzt werden mussten, bevor man zu einem Ergebnis kam. Das hieß, dass man diese Methode nur anwenden konnte, wenn alle Knochen und somit alle Messpunkte vorhanden waren. Die rechtsmedizinische Erfahrung zeigt, dass in der Vielzahl der Fälle nur Knochenfragmente gefunden werden, teilweise sind die Knochen als Ganzes erhalten, aber durch das Liegemilieu (hohe pH-Werte, Feuchtigkeit, Temperatur, Sonneneinstrahlung, Mikroorganismen) [94] stark beschädigt, sodass viele Messpunkte nicht vorhanden sind.

Die dritte Phase begann 1993 mit der ersten Version von Fordisc, die es nun erlaubte, die Diskriminanz-Analyse mit so vielen morphometrischen Knochendistanzen wie vorhanden durchzuführen und so eine Einschätzung bezüglich Geschlecht oder Abstammung zu treffen. Das heißt, dass nur Skelettfragmente verwendet werden können, um das biologische Profil eines Individuums zu erstellen. Das Programm nutzt für seine Analysen hauptsächlich zwei Referenz-Datenbanken mit biologischen Profilen bekannter Individuen. Eine ist die „Howells“ Schädelammlung, eine der umfangreichsten amerikanischen Schädelansammlungen [95]. Howells war ein amerikanischer Anthropologe, der sich mit den morphometrischen Methoden für die Bestimmung des biologischen Profils beschäftigte. Dafür erstellte er von 1965 bis 1980 eine Datenbank mit den Messstrecken am Schädel von mehr als 2500 Individuen zusammen. Der zweite Referenzsatz ist die Forensic Anthropology Data Bank (FDB) [96], eine Skelettsammlung forensischer Fälle – hauptsächlich moderner Amerikaner –, zu denen komplette Skelettmaße sowie Geburtsort, Beruf, Größe und andere Informationen vorliegen. Die Forensic Anthropology Data Bank wurde 1986 von Richard Jantz mit Unterstützung des US-amerikanischen Justizministeriums in Knoxville etabliert. Ursprünglich ist sie entstanden, um metrische, nicht-metrische und demografische Informationen zu archivieren. Die FDB war die erste Datenbank mit modernen Skelettdaten, die

für weitere Forschungen in der forensischen Anthropologie öffentlich zugänglich war. Inzwischen enthält die Datenbank die Skelettmaße von mehr als 3400 (Stand 2015) Individuen. Die Datenbank wird kontinuierlich erweitert [97].

Da der Datensatz für Fordisc primär nur aus amerikanischen und einigen asiatischen Exemplaren besteht, ist der Einsatz von Fordisc im europäischen Raum sehr eingeschränkt, da für europäische Schädel keine Vergleichsgrundlage vorliegt. Ramsthaler et al. [98] untersuchten 98 Schädel einer Sammlung aus Frankfurt und Mainz. Ziel der Studie war es, die Anwendbarkeit softwarebasierter Geschlechterschätzungen außerhalb der Referenzgruppen zu überprüfen. Ausgewählt wurden Schädel europäischer Herkunft mit bekanntem Alter und Geschlecht, da europäische Daten im Fordisc Datensatz unterrepräsentiert sind. Um einen Vergleich zu schaffen, wurde zuerst das Geschlecht mit einem Score bestimmt, der neun morphologische Merkmale umfasste. Mit dieser Methode wurde das Geschlecht in 92 von 98 Fällen (94 %) richtig zugeordnet. Danach bestimmten Ramsthaler et al. das Geschlecht mit Fordisc. Mit dieser Methode wurden 89 der 98 Schädel (91 %) dem richtigen Geschlecht zugeordnet. Somit konnte gezeigt werden, dass eine Einschätzung europäischer Schädelmessungen verzerrte Ergebnisse liefert, da europäische Individuen in den Referenzdaten von Fordisc unterrepräsentiert sind. Ramsthaler et al. kommen zum Ergebnis, dass die Geschlechtsbestimmung nur akkurate Ergebnisse liefern und somit gegenüber morphologischen Methoden gleichwertig sein kann, falls europäische Schädel in der Referenzdatenbank miteingefasst werden. Sollte die Zielpopulation unterrepräsentiert sein, so sollte die morphometrische Analyse nur in einer Kombination mit der morphologischen Analyse verwendet werden.

Die Knochendaten, die im Rahmen dieser Doktorarbeit entstanden sind, werden auch in Datenbank von Fordisc integriert. Die Entwickler sind sich einig, dass der Datensatz erweitert werden soll und dass man sehr vorsichtig mit der Interpretation der Ergebnisse sein muss, falls eine Interessengruppe in dem Datensatz unterrepräsentiert ist.

1.6 Die Landmarke Pterion - Begriffsbestimmung

Pterion beschreibt eine Region am menschlichen Schädel, die in der Schläfengrube, auch Fossa temporalis genannt, liegt, einem wichtigen Abschnitt des menschlichen Schädels, da hier zwischen den Ethnien eine hohe Variation der Schädelnähte besteht und hier auch Landmarken für verschiedene neurochirurgische Eingriffe sitzen. Pterion stammt vom griechischen Wort pterón, das u. a. „Flügel“ bedeutet. In der griechischen Mythologie war Hermes flugfähig wegen der Flügel, die am Kopf, also am Pterion, saßen. Die Fossa temporalis wird kaudal vom Jochbogen (Arcus zygomaticus) und oben von der unteren und oberen Schläfenlinie (Linea temporalis inferior et superior) begrenzt. Die ventrale Begrenzung ist das Jochbein (Os zygomaticum). Unter ihr liegt die Fossa infratemporalis. Pterion beschreibt die Region des Zusammentreffens des frontalen, sphenoidalen, temporalen und parietalen Knochens [99]. Pterion wird in der Klinik als anatomische Landmarke benutzt und ist daher ein gut untersuchter Abschnitt des Schädels. Pterion wird als chirurgische Landmarke benutzt, da hier ein Teil der Meningealarterie in anatomischer Nähe verläuft [99]. Dies ist dann sehr relevant, wenn es bei stumpfer Gewalteinwirkung zu einer epiduralen Blutung kommt [100]. Pterion dient auch als Landmarke für diverse chirurgische Eingriffe wie z. B. bei einem Aneurysma [101, 102]. Als weitere Landmarke kann Pterion für die Lokalisation des Broca-Areals (motorisches Sprachzentrum), der Insula und des lateralen Sulcus dienen [103]. Standring et al. [103] beschreiben Pterion als meist 3 cm über dem Jochbeinbogen und 3,5 cm hinter der frontozygomatischen Sutur [104]. Lovejoy et al. [105] berichteten 1985 über einen Einsatz des Verschlusses der Suturen am Pterion für die Lebensalter- und Geschlechtsbestimmung bei archäologischen und forensischen Skelettresten.

Im Pterion sind 2 Landmarks nach Martin & Knußmann definiert [106] lokalisiert:

- 1) Sphenion - vorderer Endpunkt der Sutura sphenoparietalis
- 2) Krotaphion - hinterer Endpunkt der Sutura sphenoparietalis

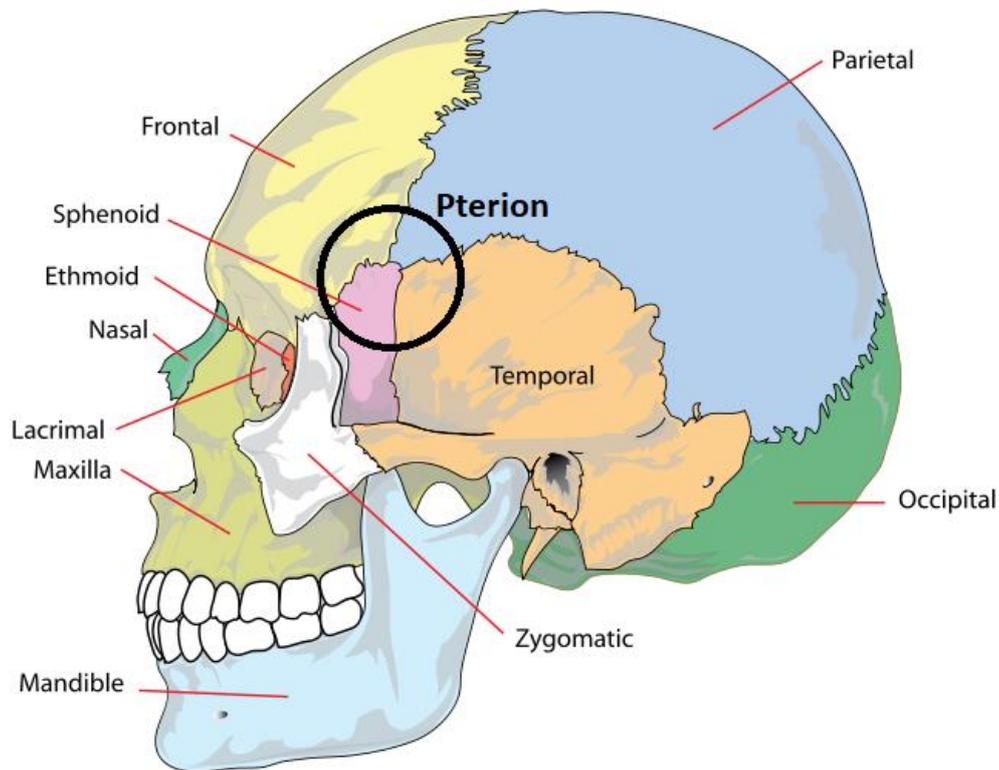


Abbildung 2– Pterion in der seitlichen Ansicht des menschlichen Schädels

Die Einteilung der anatomischen Varianten des Pterion wurde erstmals 1875 von dem französischen Chirurgen Paul Broca [107] beschrieben und in drei Varianten unterteilt:

- 1) Sphenoparietal (auch als „H“ bekannt) – die Sutura coronalis trifft auf die Sutura sphenoparietalis/sphenofrontalis.
- 2) Frontotemporal (auch als „K“ bekannt) – die Sutura coronalis trifft auf die sutura squamosa.
- 3) Stellate – alle vier Knochen treffen auf einen Punkt.

Murphy, ein australischer Professor für Anatomie, definierte noch eine vierte Variante:

4) Epipteric – hier beschrieb er 1956 die Präsenz eines kleinen suturalen Knochens bei Untersuchungen an den Schädeln australischer Ureinwohner [108].

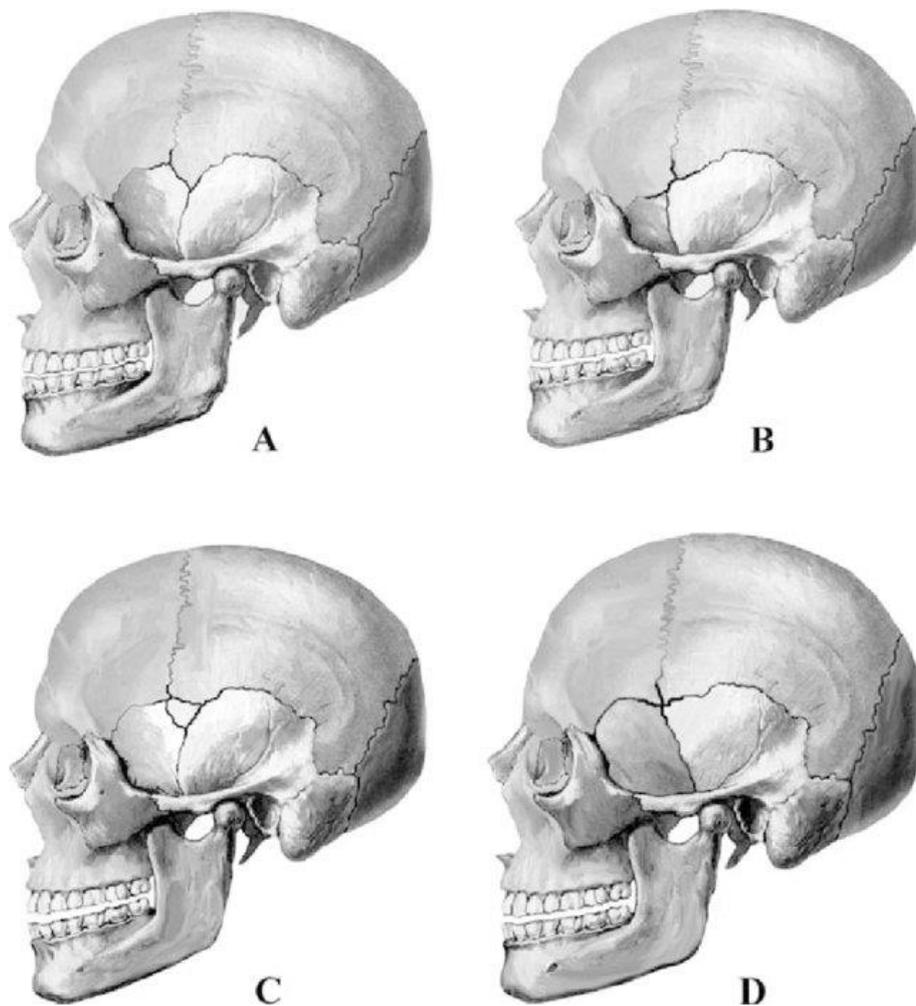


Abbildung 3 aus [109] – Morphologische Pterion Varianten

A – Sphenoparietal B – Frontotemporal C - Epipteric D – Stellate

In der Literatur wurden die Variationen der *Pterion* Region in der Häufigkeit unterschiedlicher Ethnien beschrieben [110]. Semma und Mahajan geben die vielen Ergebnisse der Untersuchungen wie folgt wieder [111]:

Tabelle 2 – Vergleich der Häufigkeit von Pterion-Variationen bei verschiedenen Populationen

| Autor | Population | Anzahl | Spheno- parietal % | Fronto- temporal % | Epip- teric % | Stellate % |
|----------------------------------|----------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------------|
| Murphy (1956) [108] | Ureinwohner Australiens | 388 | 73 | 7.5 | 18.5 | - |
| Agarwal et al. (1980) [112] | Nordindien | 900 | 93.48 | 2.84 | 18.5 | 1.9 |
| Matsumura et al. (1991) [113] | Japan | 614 | 79.1 | 2.6 | 17.1 | 0.6 |
| Ersoy et al. (2003) [114] | Türkei | 300 | 87.35 | 3.47 | 8.98 | 0.2 |
| Saxena et al. (2003) | Indien | 203 | 84.72 | 10.01 | - | 5.17 |
| Oguz et al. (2004) [109] | Türkei | 26 | 88 | 10 | 2 | - |
| Mwachaka et al. (2009) [115] | Kenia | 79 | 66 | 15 | 12 | 7 |
| Natekar et al. (2010) [116] | Indien | 150 | 85.33 | 8 | 51.4 | 10.6 |
| Zalawadia et al. (2010) [117] | Gujarat | 42 | 91.7 | 2.4 | 4.8 | 1.2 |
| Anumpa et al. (2014) [111] | Nordindien | 50 | 89 | 7 | 19 | 4 |

Wie man der Tabelle entnehmen kann, ist die häufigste Variante die Sphenoparietale Variante; die Sutura coronalis trifft direkt auf die Sutura sphenoparietalis/sphenofrontalis. Die seltenste Variante ist die Stellate Variante.

1.7 Methodik und Zielsetzung

In dieser Doktorarbeit wurden rezente deutsche Schädel an anatomisch definierten Punkten am Schädel digital ausgemessen und mit Schädeln aus drei verschiedenen Populationen verglichen, mit dem Ziel, statistisch signifikante Unterschiede in den abgemessenen Schäfeldistanzen in Bezug auf Geschlecht und Abstammung zu analysieren.

Die Schädel wurden digital mit Hilfe eines Digitizers und der Computersoftware 3Skull erfasst. 3Skull ist ein Computerprogramm, das vom amerikanischen Professor für Anthropologie Stephan Ousley programmiert und erstellt wurde. Durch den Digitizer werden die Werte der 3 räumlichen Achsen gemessen, immer relativ zur Nullstellung. 3Skull erfasst diese Koordinaten und kann somit die Distanzen zwischen zwei Messpunkten berechnen, um Fehlerquellen, die bei einer rein manuellen Messung und Datenerfassung entstehen können, zu minimieren. Howells beschrieb diese Fehlerquellen 1973 [118]. Dazu zählen u. a. Fehler bei unterschiedlichen Beobachtern, Fehler bei demselben Beobachter, Instrumentenfehler und das fehlerhafte Übertragen oder Ablesen von Daten.

Mittels Excel und dem Satz des Pythagoras wurden durch die X-, Y- und Z-Koordinaten, die durch den Digitizer erfasst wurden, die Distanzen zwischen den Landmarken Krotaphion und Sphenion berechnet. Danach wurde der komplette Datensatz mittels SSPS Version 25 einer ausführlichen Auswertung unterzogen, um statistisch signifikante Unterschiede bei der Krotaphion-Sphenion Distanz zwischen den Geschlechtern und den einzelnen ethnischen Gruppen darzustellen.

Bezogen auf die erhobenen Daten und die Zielsetzung dieser Doktorarbeit werden die folgenden Hypothesen aufgestellt:

Hypothese 1:

Nullhypothese: Die Distanz zwischen den Landmarken Sphenion und Krotaphion eignet sich nicht für eine geschlechtliche Differenzierung von Schädeln moderner, deutscher Individuen.

Alternativ-Hypothese: Die Distanz der Landmarken Sphenion und Krotaphion eignet sich für eine geschlechtliche Differenzierung von Schädeln moderner, deutscher Individuen.

Hypothese 2:

Nullhypothese: Die Distanz zwischen den Landmarken Sphenion und Krotaphion eignet sich nicht für eine ethnische Differenzierung von Schädeln deutscher, amerikanischer und afrikanischer Individuen.

Alternativ-Hypothese: Die Distanz der Landmarken Sphenion und Krotaphion eignet sich für eine ethnische Differenzierung von Schädeln deutscher, amerikanischer und afrikanischer Individuen.

Ein weiteres Ziel dieser Doktorarbeit ist es, einen Datensatz für rezente deutsche Schädel zu erstellen, der in das Fordisc Programm eingespeist werden kann. Somit wäre Fordisc noch besser in Lage, europäische Schädel zu identifizieren und die Ermittlungsbehörden ausreichend zu unterstützen.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchte Schädel Sammlungen

Die Schädel Sammlungen der untersuchten Schädel stammen aus drei verschiedenen Quellen:

1) Würzburg: Fünf Schädel stammten aus dem rechtsmedizinischen Institut der Universität Würzburg. Die Schädel wurden bei Grabaufösungen auf Friedhöfen in der Region Würzburg asserviert.

2) München: 101 Schädel stammten aus einer Schädel Sammlung aus dem Institut für Rechtsmedizin in München. Dies waren primär rechtsmedizinische Fälle aus der Umgebung Münchens, die angesammelt wurden und sich im Besitz der Rechtsmedizin befanden. Anhand der vorhandenen Daten (Name, Geburtsort etc.) kann man von Schädeln deutscher Herkunft ausgehen. Die Daten wurden in Leichenbüchern erfasst.

3) Tübingen: 43 Schädel stammten aus einer anatomischen Schädel Sammlung aus dem archäologischen Institut in Tübingen. Diese Sammlung wurde aus der Anatomie übernommen und ist nun im Besitz des Institutes für naturwissenschaftliche Archäologie der Universität Tübingen. Anhand der Daten (Namen, Geburtsort etc.) kann man von Schädeln deutscher Herkunft ausgehen. Viele der Schädel waren forensische Fälle oder Hinrichtungen.

Insgesamt wurden 149 Teil – oder Gesamtschädel abgemessen. Aus nur 89 Schädeln konnten entweder eine oder beide der Krotaphion-Sphenion-Distanz berechnet werden.

4) Amerikanische Schädel

Die Krotaphion-Sphenion-Distanzen wurden uns von Prof. Jantz zur Verfügung gestellt. Die amerikanischen Schädel wurden in zwei Gruppen aufgeteilt:

- 1) Afroamerikaner – 124 Schädel
- 2) Euroamerikaner – 664 Schädel

5) Ruandische Schädel

Die Krotaphion-Sphenion Distanzen wurden uns von Prof. Jantz zur Verfügung gestellt. Die Schädel stammen aus Ruanda aus dem späten 19. Jahrhundert und wurden im Rahmen der Zentralafrika-Expedition 1907-1908, beauftragt von dem Anthropologen Felix von Luschan, nach Deutschland gebracht worden. Begleitet wurde die Expedition von dem Forscher Jan Czekanowski [119]. Heute sind die Schädel Teil der Rudolf Virchow Sammlung der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte. Da keine Daten für diese Sammlung vorliegen, wurden Alter und Geschlecht der Schädel durch erfahrene Anthropologen mittels Morphologie und Morphometrie geschätzt.

Ruandische Schädel insgesamt: 98

Da nicht bei allen Schädeln die Landmarken für die Berechnung der Krotaphion-Sphenion-Distanz möglich war oder die Errechnung einen nicht möglichen Wert ergab, wurden diese Schädel nicht in die Analyse mit einbezogen.

Die Ethnien-Verteilung der Schädel ergab sich wie folgt:

Tabelle 3 – Ethnien-Verteilung der untersuchten Schädel

| | Häufigkeit | Prozent | Kumulierte Prozente |
|-----------------------|------------|---------|------------------------|
| Gültig Afroamerikaner | 124 | 12.7 | 12.7 |
| Euroamerikaner | 664 | 68.1 | 80.8 |
| Deutsche | 89 | 9.1 | 89.9 |
| Ruander | 98 | 10.1 | 100.0 |
| Gesamt | 975 | 100.0 | |

Die Geschlechtsverteilung ergibt sich wie folgt:

Von 975 Schädeln insgesamt waren 634 männlich (65%) und 341 weiblich (34,9 %).

Tabelle 4 – Geschlechtsverteilung der untersuchten Schädel

| | Häufigkeit | Prozent | Kumulierte Prozente |
|-----------------|------------|---------|------------------------|
| Gültig Männlich | 634 | 65.0 | 65.0 |
| Weiblich | 341 | 35.0 | 100.0 |
| Gesamt | 975 | 100.0 | |

2.2 Einschlusskriterien

Schädel wurden nur dann in den Datensatz einbezogen, wenn

1. das Geschlecht des Schädels bekannt war
2. das Geburtsland des Schädels bekannt war bzw. die Herkunft des Schädels bekannt war
3. Alter bzw. Geburts- und Todesjahr bekannt waren
4. die Distanz zwischen Sphenion und Krotaphion berechenbar war

2.3 Ausschlusskriterien

Schädel wurden nicht in den Datensatz einbezogen, wenn

- 1 ein Defekt zu einer Distorsion des Gesamtschädels geführt hat
- 2 die Landmarken Krotaphion und Sphenion nicht identifizierbar waren
- 3 eine Sondervariante der Krotaphion Sphenion Morphologie vorlag (frontotemporal, stellate, epipteric)
- 4 Geschlecht, Herkunft und Alter nicht bekannt waren

2.4 Erläuterung des Messvorgangs

Der erste Schritt des Messvorgangs war die Inspektion der Schädel. Es wurde nach Defekten am Schädel gesucht, vor allem solche, die zu Distorsionen oder Verschiebungen der Landmarken führten. Aufgefunden Defekte wurden dokumentiert. Die Daten der Schädel (Geschlecht, Alter, Herkunft und Todesjahr) wurden durch Leichenbüchern und Inventarlisten recherchiert und eingetragen.

2.5 Untersuchte Landmarken am Schädel

Die folgenden Messpunkte werden mit Hilfe von *Microscribe* und *3Skull* abgemessen:

Messpunkte Hirnschädel:

Tabelle 5 – Messpunkte Hirnschädel

| | |
|----------------------|---|
| Glabella (g) | Der am meisten nach vorn vorspringende und zwischen den Augenbrauen und über der Nasenwurzel gelegene Punkt. |
| Supraglabellare (sg) | Tiefste Stelle der Fossa supraglabellaris in der Mediansagittalebene. |
| Bregma (b) | Derjenige Punkt, an welchem die Sutura sagittalis auf die Sutura coronalis trifft. |
| Lambda | Derjenige Punkt, an dem die beiden Schenkel der Sutura lambdoidea mit der Sutura sagittalis zusammentreffen. |
| Opisthion (o) | Derjenige Punkt, an dem der hintere Rand des Foramen magnum von der Mediansagittalebene geschnitten wird. Er liegt auf der Umschlagkante des hinteren Randes. |
| Basion (ba) | Derjenige Punkt, an dem der vordere Rand des Foramen magnum von der Mediansagittalebene geschnitten wird. Er liegt auf der Umschlagkante des vorderen Randes. |

| | |
|-----------------|--|
| | |
| Stephanion (st) | Der Punkt, an dem die Sutura coronalis von der Linea temporalis geschnitten wird. |
| Sphenion (sphn) | Der vordere Endpunkt der Sutura sphenoparietalis. |
| Krotaphion (k) | Der hintere Endpunkt der Sutura sphenoparietalis. |
| Asterion (ast) | Der Punkt, an dem die Suturæ lambdoidea, die S. occipitomastoidea und die S. parietomastoidea zusammentreffen. |

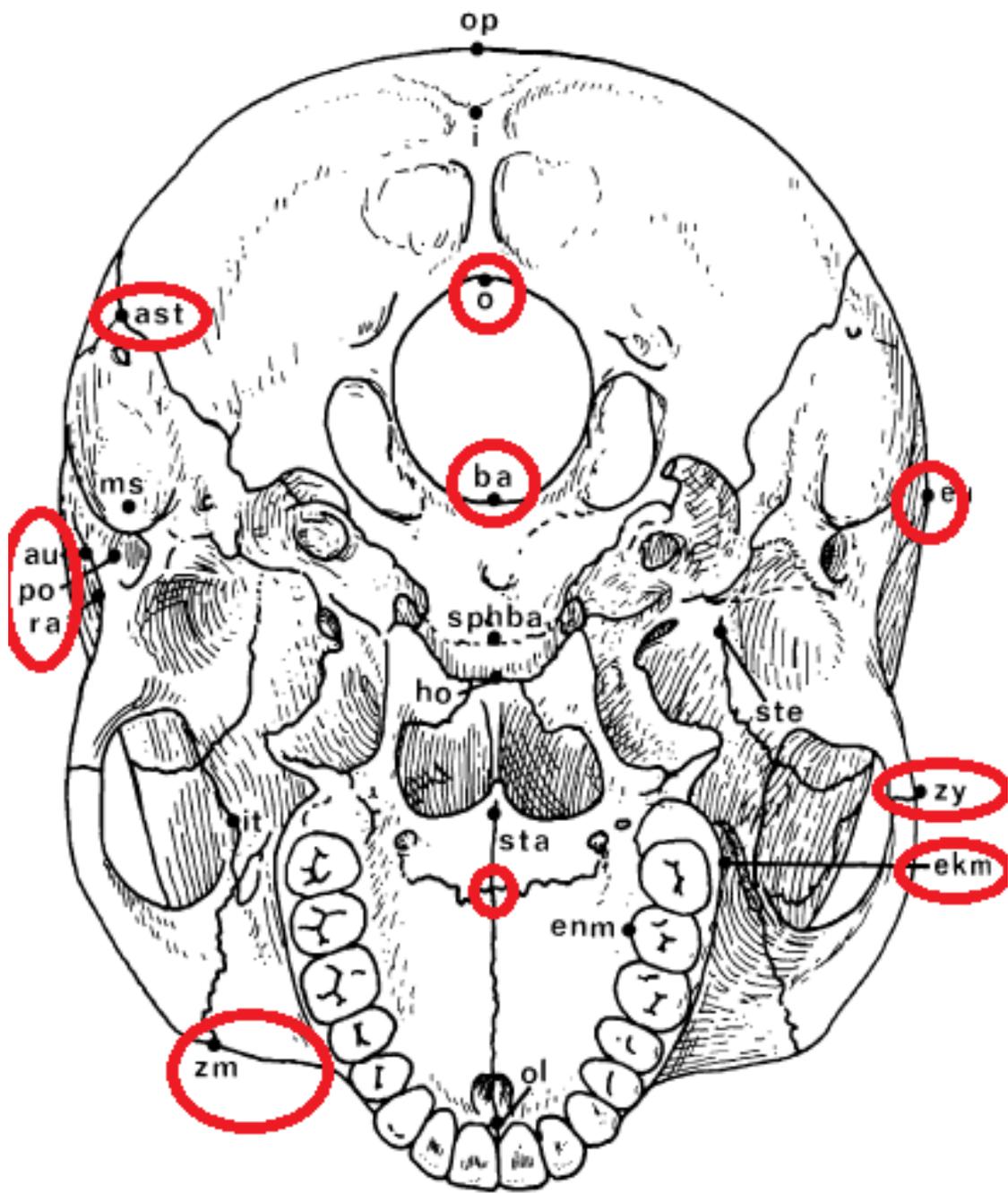


Abbildung 4 - Messpunkte des Schädels nach Martin [106]

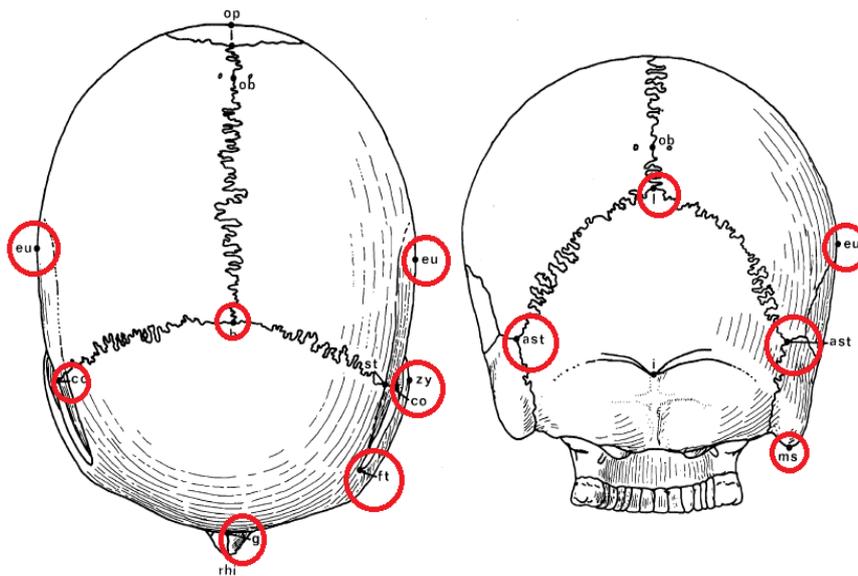


Abbildung 5 - Messpunkte des Schädels nach Martin [106]

Messpunkte am Gesichtsschädel:

Tabelle 6 – Messpunkte am Schädel

| | |
|---------------|--|
| Nasion (n) | Kreuzungspunkt der Sutura nasofrontalis mit der Mediansagittalebene. Das Nasion entspricht der Nasenwurzel. |
| Prosthion (p) | Derjenige Punkt am Alveolarrand des Oberkiefers, der in der Mediansagittalebene zwischen den mittleren Schneidezähnen am meisten nach vorn vorragt (bei Ausrichtung des Schädels in Ohr-Augen-Ebene). |
| Dakryon (d) | Der Punkt am Innenrand der Orbita, an dem sich das Stirnbein mit dem Stirnfortsatz des Oberkiefers und mit dem Tränenbein verbindet. Das Dakryon liegt also genau an der Stelle, an der die aufsteigende Sutura lacrimomaxillaris mit der annähernd horizontal verlaufenden Sutura frontomaxillaris und der Sutura frontolacimalis zusammentrifft. |

| | |
|---|---|
| Ectoconchion (ek) | Derjenige Punkt an der Umschlagkante des lateralen Orbitarandes, an welchem eine zum oberen Rand der Augenhöhle parallel verlaufende Gerade auf jenen Rand – etwa in dessen Mitte – trifft. |
| Subspinale (ss) | Derjenige Punkt in der Mediansagittalebene, an dem die untere vordere Kante der Spina nasalis anterior in die Vorderwand des Processus alveolaris des Oberkiefers übergeht. |
| Alare (al) | Am meisten lateral gelegene Punkte des seitlichen Randes der knöchernen Nasenhöhlenöffnung |
| Most inferior nasal border | Am meisten kaudal gelegene Punkte des unteren Randes der knöchernen Nasenhöhlenöffnung |
| Zygoorbitale (zo) | Schnittpunkt des unteren Orbitarandes mit der Sutura zygomaticomaxillaris. |
| Nasale inferius | Tiefster Punkt der Sutura nasomaxillaris |
| Nasale superius | Schnittstelle der Sutura nasomaxillaris und des Os Frontale |
| Lower orbital border und upper orbital border | Geradlinige Entfernung des oberen vom unteren Augenhöhlenrand. Das Maß ist senkrecht auf die Orbitalbreite zu nehmen |
| Cheek height superior and inferior point | Kleinste Höhe zwischen dem unteren Rand der Orbita und dem der Maxilla gemessen, medial vom Ansatz des Musculus masseter. |
| Nasomaxillary suture pinch | Punkte auf der Sutura nasomaxillaris bds., in der es zur kleinsten geradlinigen Entfernung zwischen den Suturen kommt. |

| | |
|--|---|
| Zygion (zy) | Derjenige Punkt des Jochbogens, der am meisten lateralwärts vorragt. |
| Zygotemporale inferior und Z. superior | Schnittpunkte zwischen dem unteren und oberen Rand des Jochbogens und der Sutura temporozygomatica |
| Zygomaxilare (zm) | Der am tiefsten gelegene Punkt der Sutura zygomaticomaxillaris. |
| Jugale (ju) | Scheitelpunkt des Winkels, der vom hinteren vertikalen Rand des Os zygomaticum und dem oberen horizontalen Rand des Jochbogens gebildet wird. |
| Marginal process lateral | Der am meisten lateralwärts gelegene Punkt am Processus frontalis des Jochbeins. |
| Frontomalare temporale (fmt) | Der am meisten lateral gelegene Punkt der Sutura frontozygomatica. Der Punkt liegt dort, wo die Seitenfläche des Processus zygomaticus des Stirnbeins in die Hinterfläche übergeht. |
| Frontomalare anterior (fma) – | Der vorderste Punkt auf der Sutura Frontozygomatica. |
| M1 Anterior Point | Vorderster Punkt am Rand des Alveolar-Fortsatzes am ersten Molaren |
| Ektomolare (ekm) | Am weitesten lateral gelegener Punkt an der Außenfläche des Alveolar-Fortsatzes. |

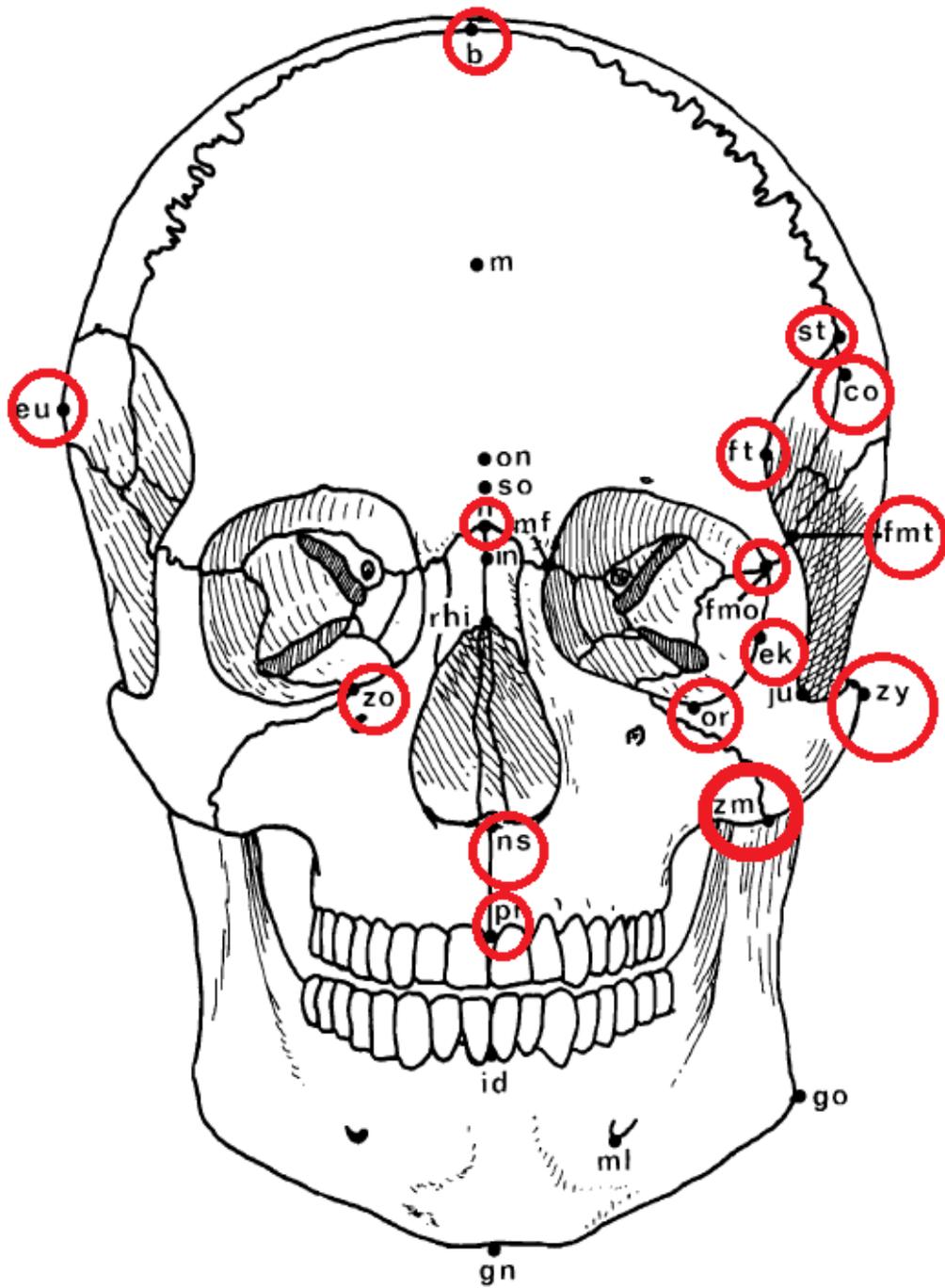


Abbildung 6 – Messpunkte des Gesichtsschädels [106]

Folgende Landmarken wurden lokalisiert und mit einem Bleistift eingezeichnet, um die spätere digitale Erfassung zu erleichtern. Hierzu wurden Schiebemesser und Tasterzirkel verwendet.

Auf den Schädeln eingezeichnet wurden die folgenden Landmarken:

FRONTAL

subspinale, alare (bds.), most inferior nasal border (bds.), nasomaxillary suture pinch (bds.), glabella, supraglabellare, zygoorbitale (bds.), frontotemporale – hier mithilfe des Schiebemessers, ectoconchion, orbital height, cheek height

KAUDAL

basion, opisthion, staurion, radikulare (bds.), zygion (bds.), ectomollare (bds.)

KRANIAL

bregma, lambda

LATERAL

sphenion, crotaphion, stephanion, esterion

Folgende Landmarks wurden mit manuellen Methoden (Schiebemesser und Zirkelmesser) lokalisiert/vermessen und markiert, um später digital erfasst zu werden: Eurion, Maximum Frontal Point, Nasal Suture Pinch, Cheek height.

2.6 Fixierung des Schädels für den Messvorgang

Nach dem Einzeichnen der Landmarken wurde der Schädel säulenartig auf drei Knetmassen fixiert. Der Untergrund wurde auf Festigkeit geprüft, um eine spätere Verfälschung der Messungen zu verhindern. Durch Drücken von oben wurde der Schädel in die Knetmasse gedrückt. Der Digitizer wurde neben dem Schädel platziert und fixiert. Bei den schwer erreichbaren Landmarken wurde der Versuch unternommen, ob sie mit dem Stift des Digitizers erreicht werden konnten, da später keine Positionsveränderung mehr möglich war. Während der Abmessung dürfen weder der Schädel noch der Digitizer bewegt werden.

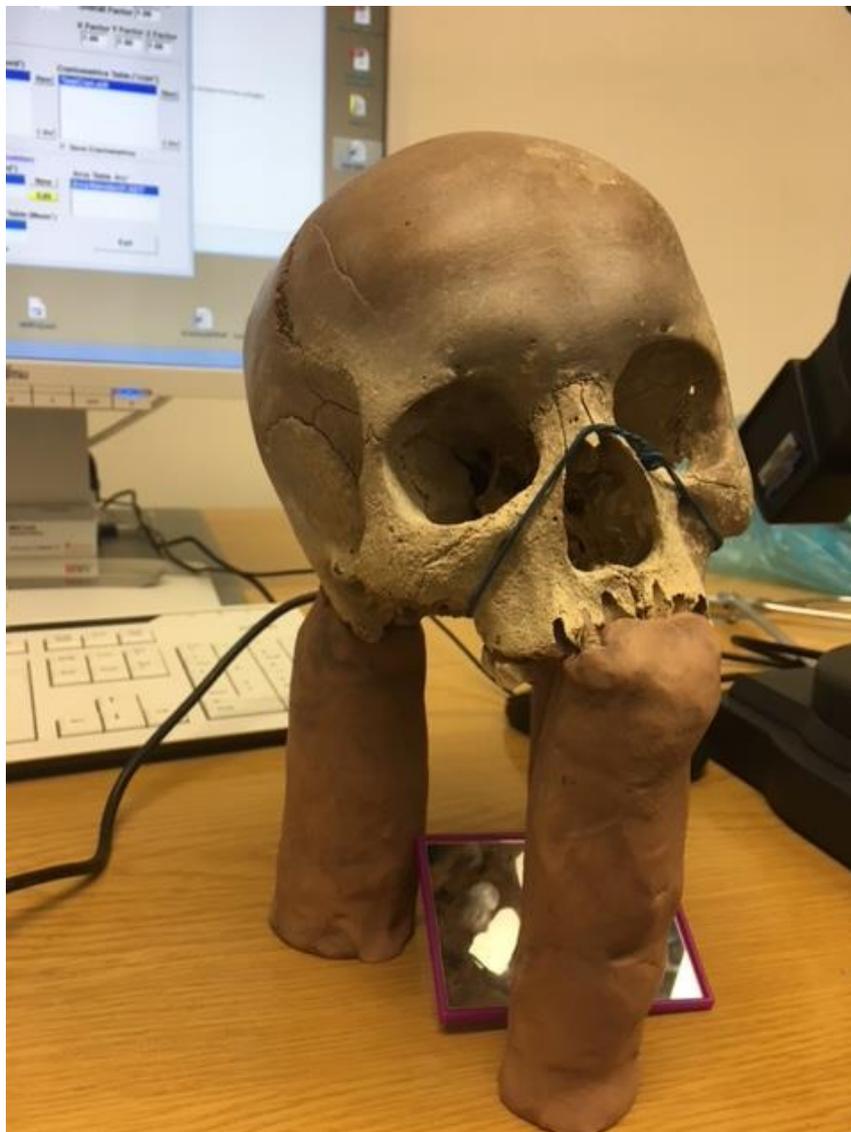


Abbildung 7 – Schädel fixiert auf Knetmasse

2.7 Digitale Datenerfassung der Schädeldaten

Die digitale Erfassung erfolgte mit einem Microscribe. Dieser besteht aus einem mehrgelenkigen Arm, mit dem eine 3D Erfassung der Landmarken möglich ist. Der Microscribe erfasst die Punkte in den drei räumlichen Achsen, immer relativ zur Nullposition des Armes. Nach der Erfassung dieser Werte ist eine 3D Rekonstruktion sowie eine Ausmessung der Abstände zwischen einzelnen Landmarken möglich.

Für diese Arbeit wurde der Digitizer der Firma Microscribe verwendet:

Modell: Microscribe G2

Messgenauigkeit: < 0,2286 mm

Fabrikationsnummer: 33472

2.8 Software zur Erfassung der Schädeldaten: 3Skull

Die digitale Datenerfassung wurde mit Hilfe des Programms 3Skull durchgeführt. Eingegeben wurden die Fallnummer und der Speicherort. Man kann hier auch Referenztabelle angeben, um einzustellen, welche Landmarken und welche Distanzen gemessen werden sollen. Die 3Skull Version, die für diese Doktorarbeit benutzt wurde: 2.0.176

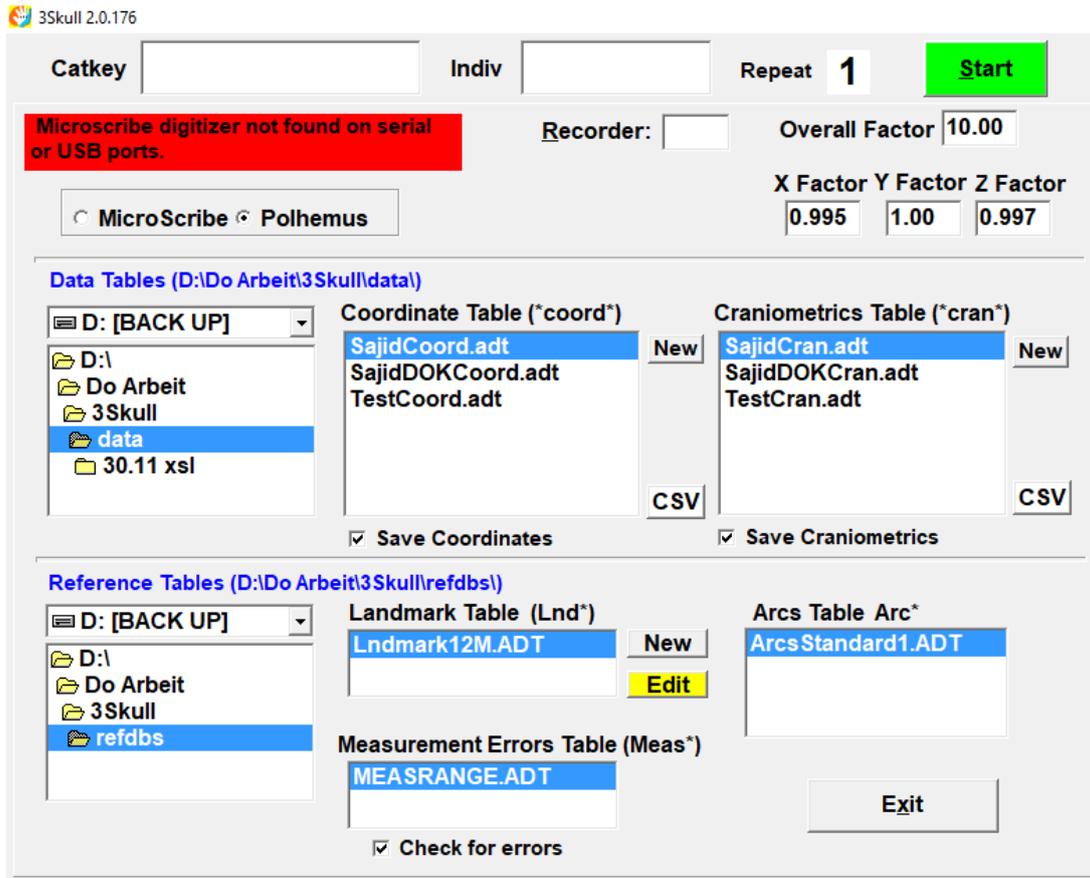


Abbildung 8 - Startseite 3Skull

Catkey (individuelle Nummer), Recorder (Initialen des Aufzeichners), Data Tables (Speicherort für X,Y und Y Koordinaten der aufgezeichneten Punkte (Coordinate Table) sowie die errechneten Distanzen (Craniometrics Table)), Reference Tables (Anpassung welche Landmarks aufgezeichnet werden sollen)

Nach Eingabe der Daten misst man alle Landmarken mit dem Digitizer, in dem man mit der Spitze des Stiftes des Digitizers die Landmarke aufsucht. In 3Skull werden dann die X-,Y- und Z-Koordinaten immer relativ zum Nullpunkt des Digitizers gespeichert.

Catkey Indiv Repeat Test

Cranial reshaping **prosthion-Howells**

| Arcs | | | BPL, NPH | | |
|------|-------|---|----------|---|---|
| | | | X | Y | Z |
| P-A | 1 FRA | 0 | | | |
| P-A | 2 PAA | 0 | | | |
| A-P | 3 OCA | 0 | | | |
| M-L | 4 MAA | 0 | | | |
| S-I | 5 NAA | 0 | | | |

Skip Measurement Checks

Use Increment mm

Comments

Abbildung 9 – Beispielhafte Erfassung der Koordinaten mit dem Microscribe und 3Skull
(hier für den Landmark Prosthion-Howells)

Nach der Messung errechnet 3Skull anhand der gemessenen Koordinaten die Distanz zwischen verschiedenen Landmarken.

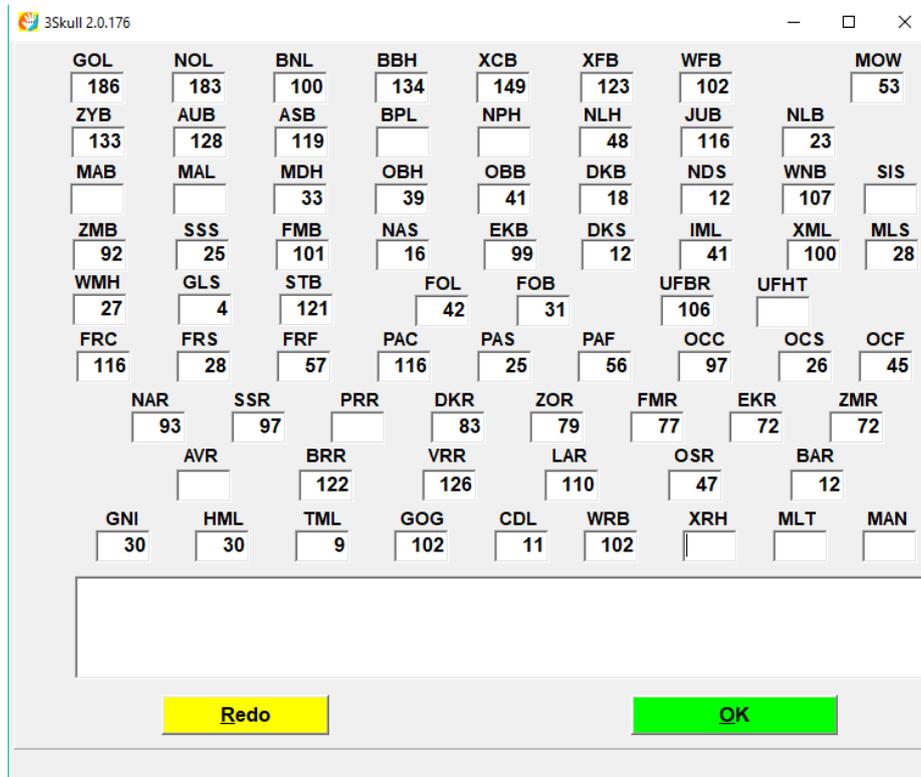


Abbildung 10 - Errechnung der Distanzen zwischen den Landmarken durch 3Skull (durch relative X, Y und Z Koordinaten (Beispielhaft GOL: Glabellarlänge, Distanz vom Landmark Glabella (g) bis Opisthion (o))

Der Unterkiefer wird manuell mit einem Schiebemesser ausgemessen.

Ausgemessen wurden die folgenden Distanzen, wie auf Abbildung 11 zu sehen:

- 1) Kinnhöhe (25)
- 2) Höhe des Unterkiefers auf der Höhe des Foramen mentale (26)
- 3) Dicke des Unterkiefers auf der Höhe des Foramen mentale
- 4) Bigonale Breite – Distanz zwischen den Kieferwinkeln (28)
- 5) Bicondyläre Breite – Distanz zwischen den beiden Köpfen des Kiefergelenks (29)
- 6) Schmalste Breite am Unterkieferast (30)

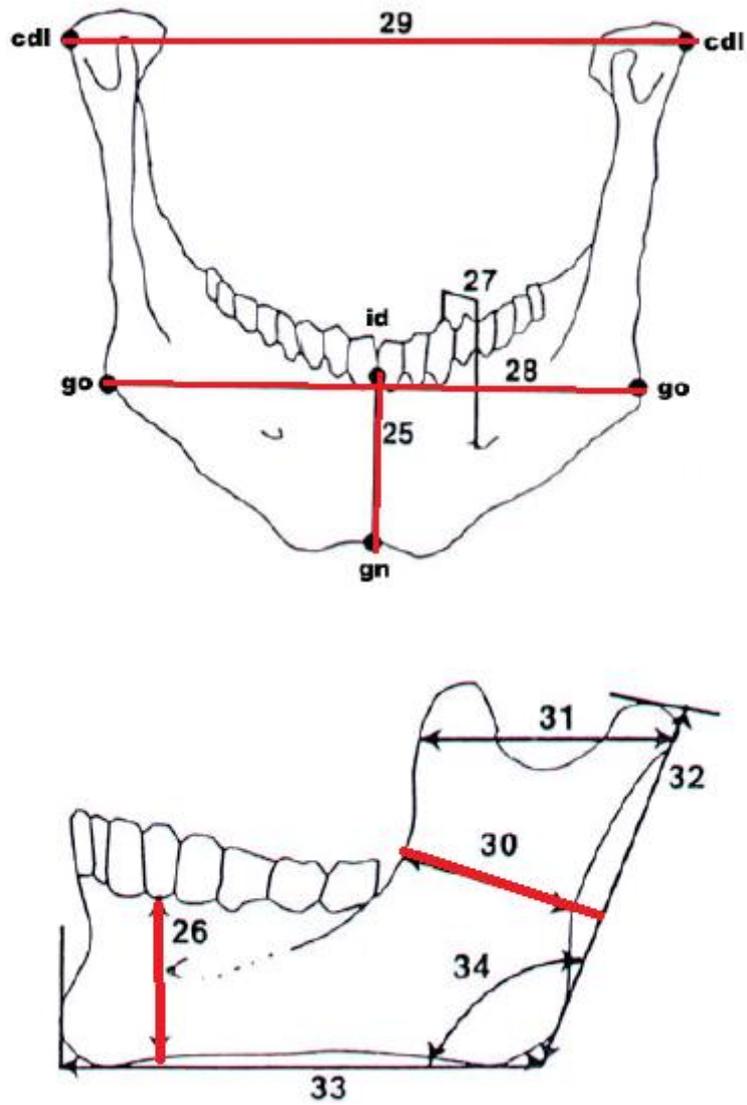


Abbildung 11 – Ausmessung des Unterkiefers

Die Daten der Unterkieferausmessung werden dem Fordisc Programm zugespielt, eine Analyse der Daten wird in dieser Dissertation nicht durchgeführt.

2.9 Statistische Methoden zur Bestimmung der Krotaphion-Sphenion-Distanz

Da es für jeden Messpunkt, der durch den *Microscribe* und *3Skull* erfasst wurde, genaue X-, Y- und Z-Koordinaten gibt, wurde die Distanz zwischen den Landmarken Krotaphion und Sphenion durch die Berechnung des euklidischen Abstandes der beiden Punkte vorgenommen. Die Formel für die Berechnung des euklidischen Abstandes zwischen zwei Punkten (P_1, P_2) lautet wie folgt:

$$d_{P_1, P_2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Beispielrechnung (Fallnummer Schädel): Tue-790

Die Koordinaten für Krotaphion R sind:

X = -155,712, Y = 269,774, Z = 165,2982

Die Koordinaten für Sphenion R sind:

X = -104,148, Y = 303,589, Z = 135,2208

$$d_{(KR, SR)} = \sqrt{\left((-155,712 - (-104,148))^2 + (269,774 - 303,589)^2 + (165,2982 - 135,2208)^2\right)}$$

Dadurch ergibt sich die folgende Distanz zwischen den Landmarken Krotaphion – Sphenion: 18,59 mm.

Die Daten dieser Doktorarbeit wurden zusätzlich mit Microsoft Excel 2010 aufgenommen und mit SPSS Version 25 erfasst und ausgewertet.

Die deskriptive Statistik umfasst folgende Werte:

- Mittelwert, Minimum und Maximum sowie Standardabweichung (jeweils auch für die einzelnen ethnischen Gruppen)

Folgende weiteren Analysen wurden durchgeführt:

- Darstellung und Prüfung der Normalverteilung der Werte durch ein Histogramm und den Shapiro-Wilk Test
- Levens Test und T-Test für eine Beurteilung der Unterschiede der Krotaphion-Sphenion-Distanz zwischen den Geschlechtern (jeweils für die linke und die rechte Seite)
- Um die statistisch signifikanten Unterschiede der Krotaphion-Sphenion-Distanz zwischen den ethnischen Populationen zu erkennen, wurden die folgenden statistischen Methoden angewandt: ANOVA, Welch Test, Brown-Foresynthe Test, Tukey HSD Test, Games Howells Test

Für diese Doktorarbeit wurde ein Ethikvotum eingeholt und genehmigt.

Im nächsten Abschnitt werden die Ergebnisse der Analyse dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

1) Für die Gruppe Afroamerikaner (Gesamtanzahl: 124, männlich: 73, weiblich: 51) stammen die Schädel aus dem Zeitraum von 1866 bis 1972. Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz auf der linken Seite des Schädels betrug 11,03 mm (95 %-CI [10,15, 11,90]) mit einem Minimum von 0,02 mm und einem Maximum von 24,24 mm.

Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz auf der rechten Seite betrug 11,19 mm (95 %-CI [10,27, 12,10]), mit einem Minimum von 0,33 mm und einem Maximum von 28,77mm.

Das Alter der Individuen reichte von 19 Jahren bis 72 Jahren, mit einem Mittelwert von 43,4 Jahren.

2) Für die Gruppe Euroamerikaner (Gesamtanzahl: 664, männlich: 439, weiblich: 225) stammen die Schädel aus dem Zeitraum von 1925 bis 1974. Die mittlere Krotaphion-Sphenion-Distanz auf der linken Seite betrug 14,9 mm (95 %-CI [14,53, 15,28]) mit einem Minimum von 0,56 mm und einem Maximum von 32,77 mm.

Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz auf der rechten Seite betrug 14,04 mm (95 %-CI [13,61, 14,40]) mit einem Minimum von 0,07 mm und einem Maximum von 33,77 mm.

Das Alter der Individuen reichte von 18 Jahren bis 85 Jahren, mit einem Mittelwert von 43,4 Jahren.

3) Für die Gruppe Deutsche (Gesamtzahl: 89, männlich: 61, weiblich: 28) stammen die Schädel aus dem Zeitraum von 1801 bis 2000. Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz auf der linken Seite betrug 15,64 mm (95 %-CI [14,61, 16,67]) mit einem Minimum von 5,61 mm und einem Maximum von 27,27 mm.

Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz auf der rechten Seite betrug 14,46 mm (95 %-CI [13,40, 15,53]) mit einem Minimum von 4,38 mm und einem Maximum von 31,44 mm.

Das Alter der Individuen reichte von 6 Jahren bis 92 Jahren, mit einem Mittelwert von 48,79 Jahren.

4) Für die Gruppe Ruander (Gesamtzahl: 98, männlich: 61, weiblich: 37) stammen die Schädel aus dem Zeitraum von 1846 bis 1891. Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz auf der linken Seite betrug 8,74 mm (95 %-CI [8,02, 9,46]) mit einem Minimum von 1,22 mm und einem Maximum von 18,60 mm.

Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz auf der rechten Seite betrug 8,70 mm (95 %-CI [13,61, 16,82]) mit einem Minimum von 1,62 mm und einem Maximum von 24,85 mm.

Das Alter der Individuen reichte von 15 Jahren bis 60 Jahren, mit einem Mittelwert von 40,15 Jahren.

Tabelle 7 – Deskriptive statistische Auswertung nach Ethnie

Ethnie = Afroamerikaner

Deskriptive Statistik^a

| | N | Minimum | Maximum | Mittelwert | Std.- Abweichung |
|----------------|-----|---------|---------|------------|---------------------|
| Geburtsjahr | 124 | 1866 | 1972 | - | - |
| krol_sphl (mm) | 124 | .02 | 24.24 | 11.03 | 4.950 |
| kror_sphr (mm) | 124 | .33 | 28.77 | 11.19 | 5.151 |
| Sterbealter | 124 | 19 | 72 | 43.40 | 14.069 |

Ethnie = Euroamerikaner

Deskriptive Statistik^a

| | N | Minimum | Maximum | Mittelwert | Std.- Abweichung |
|----------------|-----|---------|---------|------------|---------------------|
| Geburtsjahr | 664 | 1925 | 1974 | - | - |
| krol_sphl (mm) | 664 | .56 | 32.77 | 14.90 | 4.909 |
| kror_sphr (mm) | 664 | .07 | 33.77 | 14.04 | 4.770 |
| Sterbealter | 664 | 18 | 85 | 58.52 | 12.022 |

Ethnie = Deutsche

Deskriptive Statistik^a

| | N | Minimum | Maximum | Mittelwert | Std.- Abweichung |
|----------------|----|---------|---------|------------|---------------------|
| Geburtsjahr | 89 | 1801 | 2000 | - | - |
| krol_sphl (mm) | 89 | 5.61 | 27.27 | 15.64 | 4.879 |
| kror_sphr (mm) | 89 | 4.38 | 31.44 | 14.46 | 5.061 |
| Sterbealter | 89 | 6 | 92 | 48.79 | 18.541 |

Ethnie = Ruander

Deskriptive Statistik^a

| | N | Minimum | Maximum | Mittelwert | Std.- Abweichung |
|----------------|----|---------|---------|------------|---------------------|
| Geburtsjahr | 98 | 1846 | 1891 | - | - |
| krol_sphl (mm) | 98 | 1.22 | 18.60 | 8.74 | 3.576 |
| kror_sphr (mm) | 98 | 1.62 | 24.85 | 8.70 | 4.091 |
| Sterbealter | 98 | 15 | 60 | 40.15 | 11.765 |

Ein Vergleich der Mittelwerte zeigt, dass es bei allen Gruppen eine gewisse Symmetrie gibt, da die Mittelwerte der beiden Seiten nahe beieinander liegen.

Tabelle 8 – Vergleich der Mittelwerte in mm

| | Mittelwert krol_sphl (mm) | Mittelwert kror_sphr (mm) |
|----------------|---------------------------|---------------------------|
| Afroamerikaner | 11.03 | 11.19 |
| Ruander | 8.74 | 8.70 |
| Euroamerikaner | 14.90 | 14.04 |
| Deutsche | 15.64 | 14.46 |

Der kleinste Mittelwert ergibt sich in der ruandischen Population (rechts 8.74, links 8.70). Den höchsten Mittelwert für die Krotaphion–Sphenion-Distanz ergibt sich bei den deutschen Schädeln auf der linken Seite mit (15.64).

3.2 Datenverteilung

Um die Verteilung der Daten zu überprüfen, wurden Histogramme für den Gesamtdatensatz sowie auch für die einzelnen ethnischen Gruppen erstellt.

Für den gesamten Datensatz ergibt sich für die linke sowie auch die rechte Seite eine Normalverteilung.

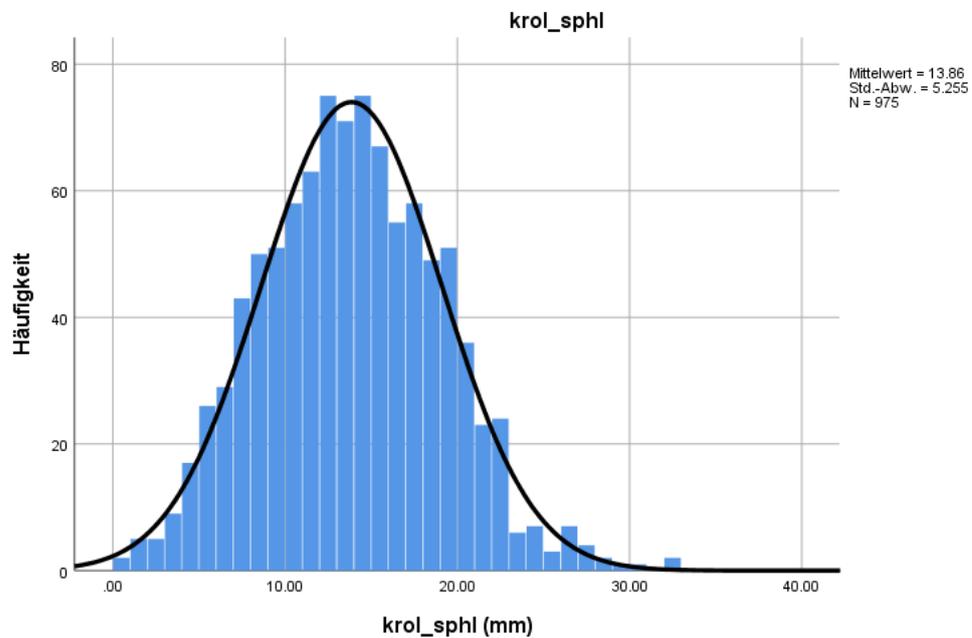


Abbildung 12 – Histogramm gesamter Datensatz linke Schädelseite

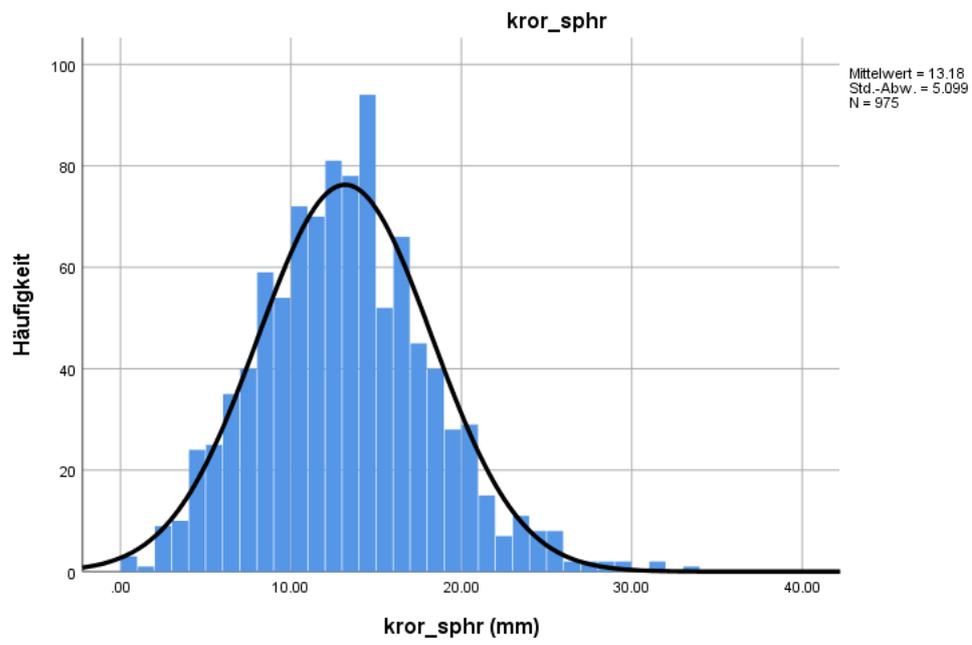


Abbildung 13 – Histogramm gesamter Datensatz rechte Schädelseite

Um die Verteilung in den einzelnen ethnischen Gruppen darzustellen, wurden jeweils auch hier Histogramme erstellt.

1) Deutsche

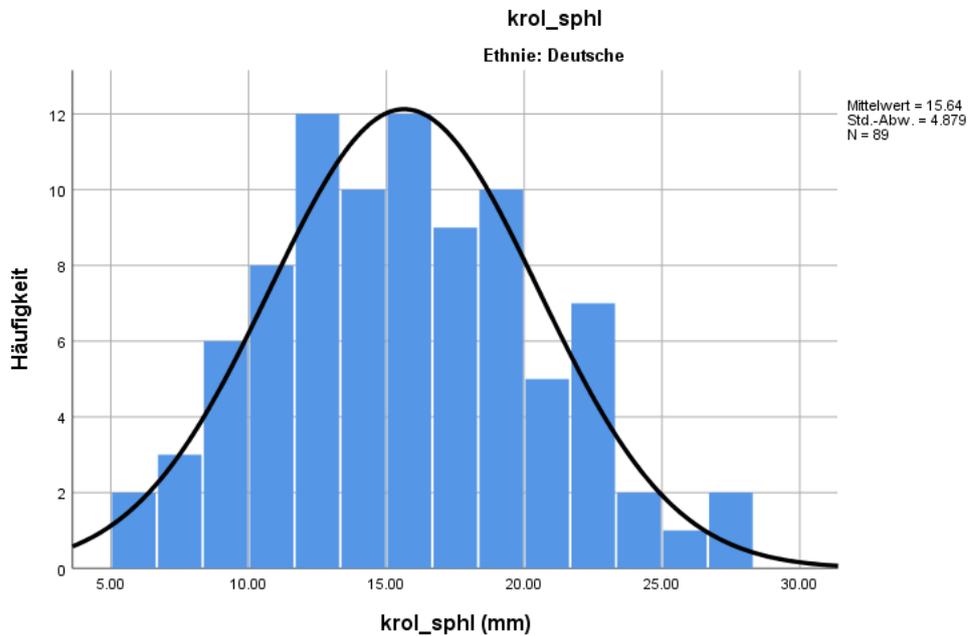


Abbildung 14 - Histogramm für die linke Seite – Deutsche

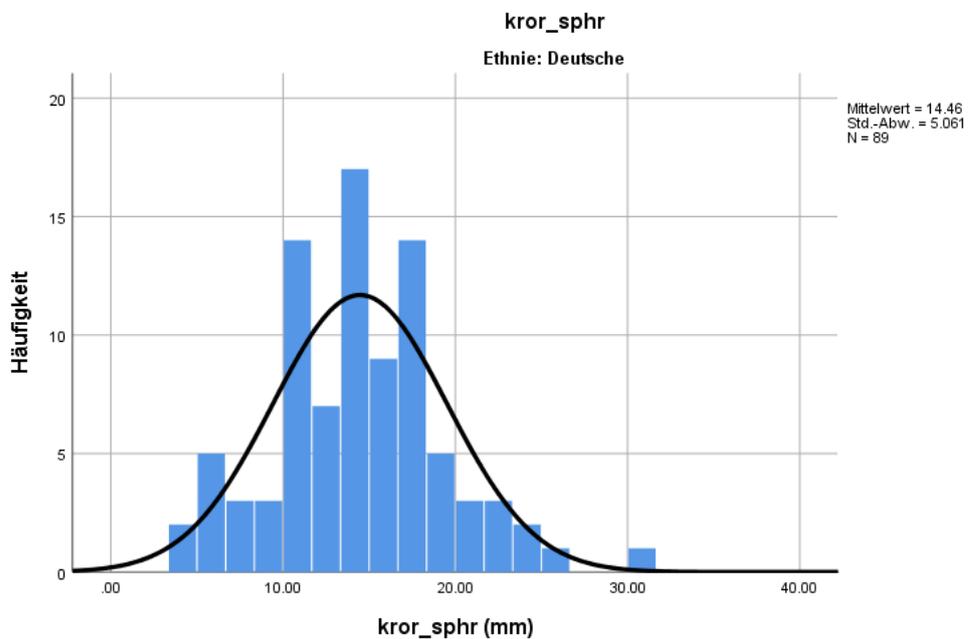


Abbildung 15 - Histogramm rechte Seite – Deutsche

2) Afroamerikaner

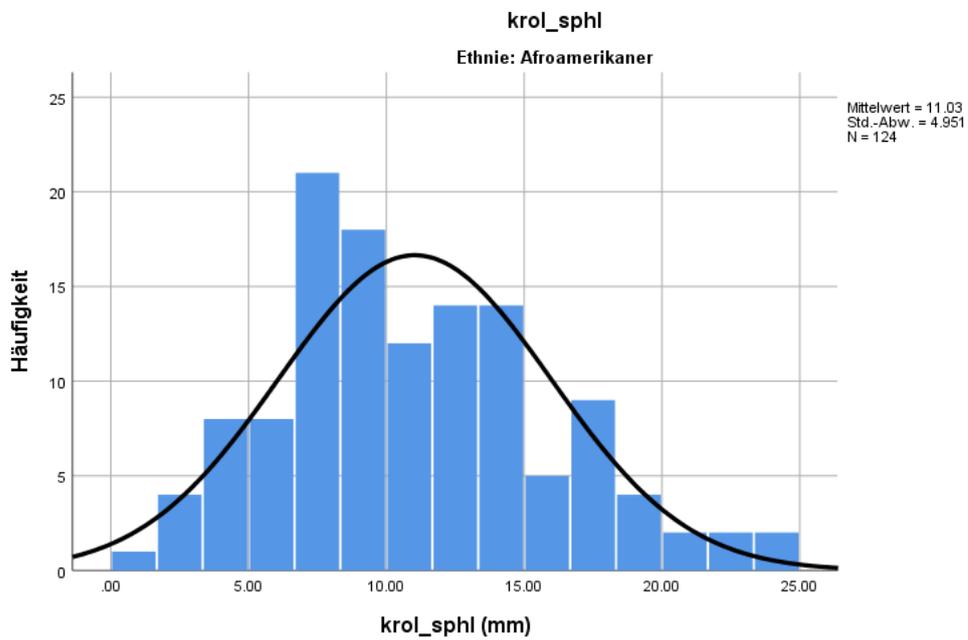


Abbildung 16 – Histogramm für die linke Seite – Afroamerikaner

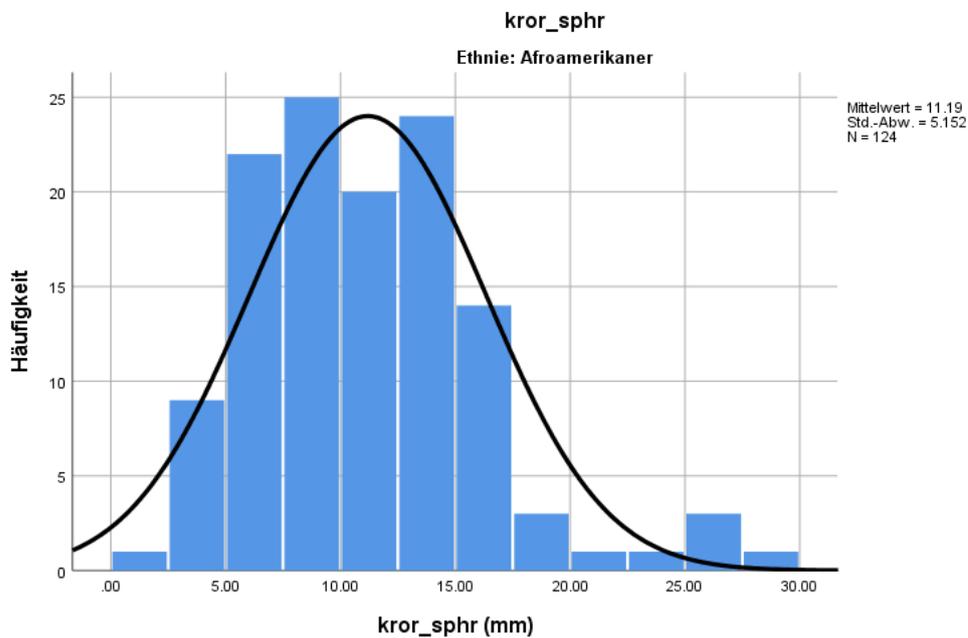


Abbildung 17 - Histogramm für die rechte Seite – Afroamerikaner

3) Euroamerikaner

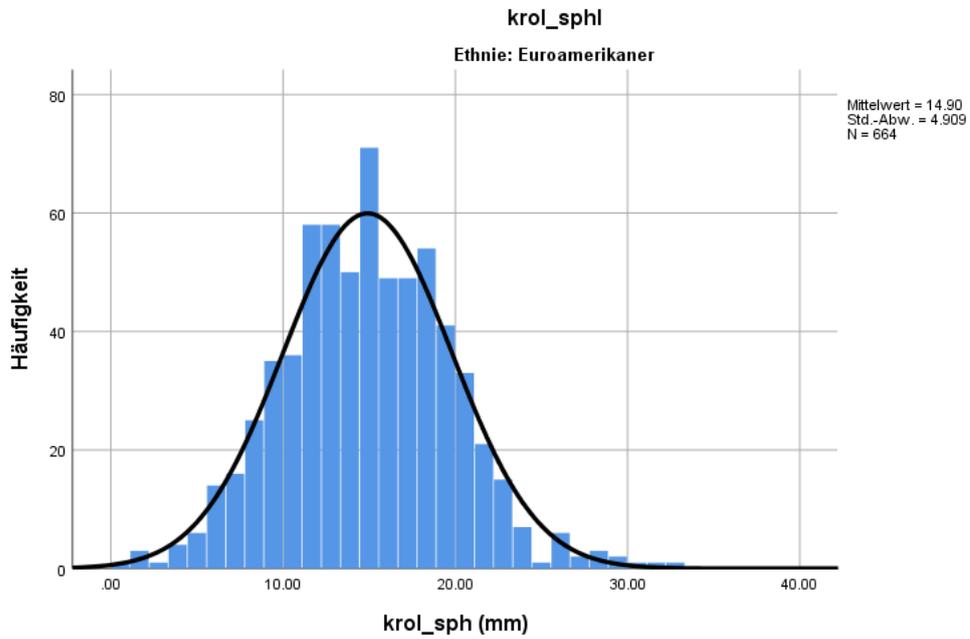


Abbildung 18 – Histogramm für die linke Seite – Euroamerikaner

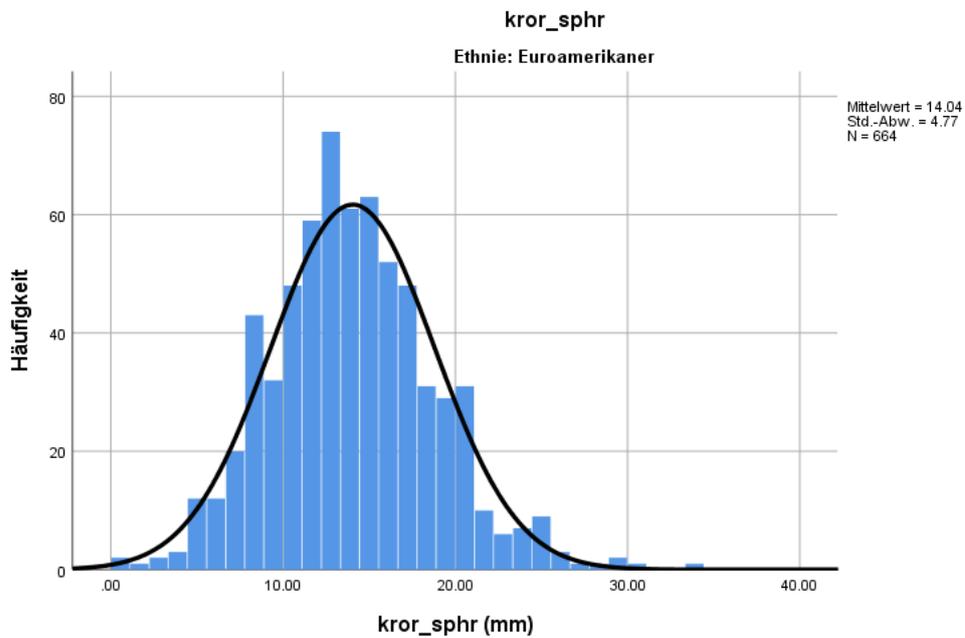


Abbildung 19 – Histogramm für die rechte Seite – Euroamerikaner

4) Ruander

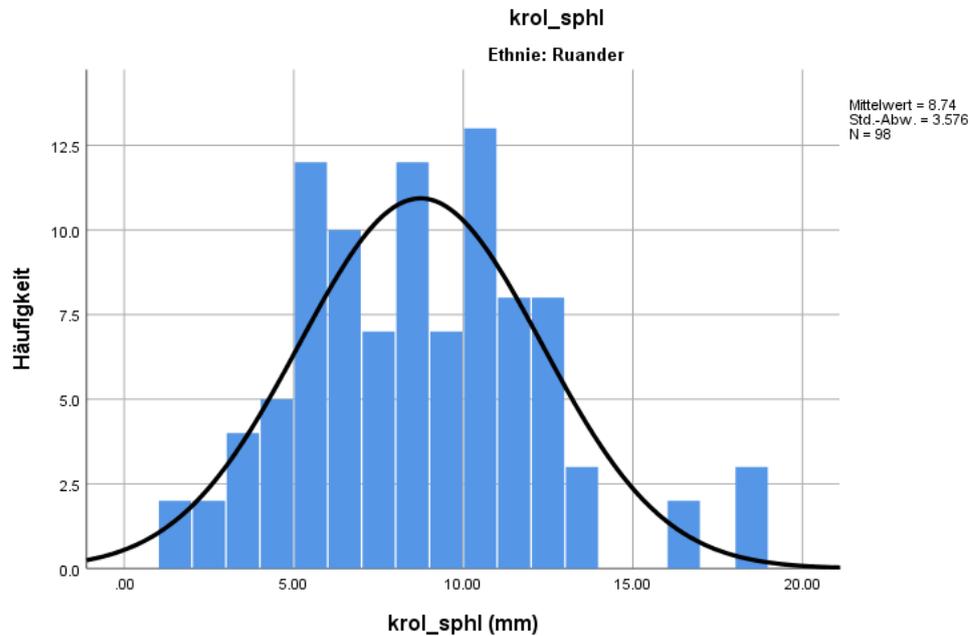


Abbildung 20 – Histogramm für die linke Seite – Ruander

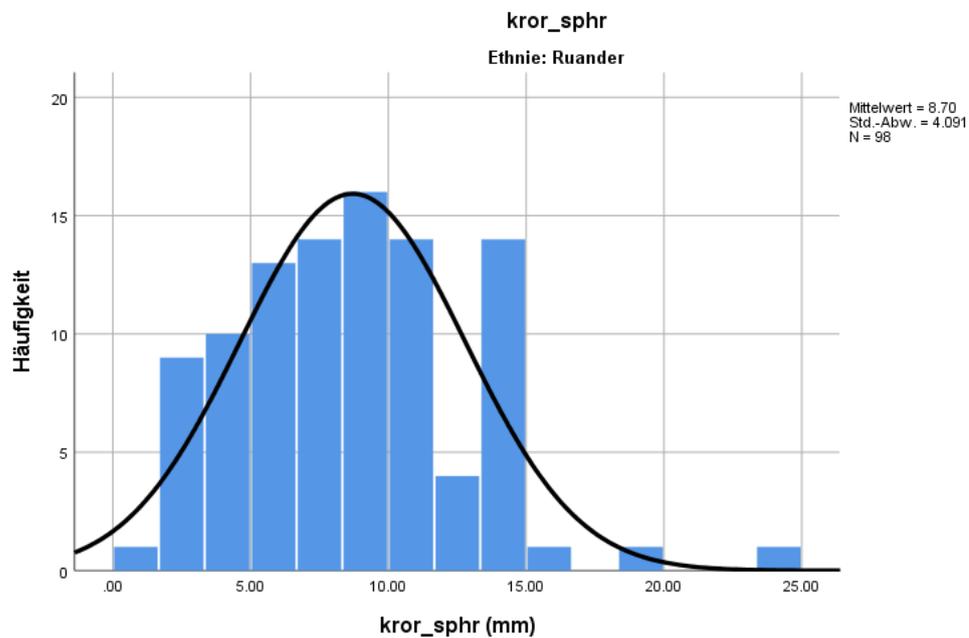


Abbildung 21 – Histogramm für die rechte Seite – Ruander

Die Daten der ethnischen Gruppen zeigen in der Histogramm-Darstellung eine Normalverteilung. Ausreißer sind auf der rechten und der linken Seite bei den ruandischen Schädeln zu beobachten.

In der genaueren Analyse mit dem Shapiro-Wilk-Test zeigt sich die folgende Verteilung:

Linke K-S Distanz:

Normalverteilung:

- euroamerikanische Schädel ($p = 0,067$, $p > 0,05$, Nullhypothese bestätigt)
- ruandische Schädel ($p = 0,072$, $p > 0,05$, Nullhypothese bestätigt)
- deutsche Schädel ($p = 0,701$, $p > 0,05$, Nullhypothese bestätigt)

Keine Normalverteilung:

- afroamerikanische Schädel ($p = 0,035$, $p < 0,05$, Nullhypothese nicht bestätigt)

Rechte K-S Distanz:

Im Shapiro Wilk Test der rechten K-S Distanz zeigt sich nur die deutsche Population als normalverteilt mit einem p-Wert von 0,18 (Nullhypothese bestätigt). Der p-Wert bei den restlichen drei Populationen ist auf der rechten Seite $< 0,05$, somit wird die Nullhypothese nicht bestätigt, die Verteilung dieser drei Populationen unterscheidet sich signifikant von einer Normalverteilung.

Tabelle 9 – Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests für Normalverteilung

| Ethnie | | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|----------------|-----------|---------------------------------|-----|-------------|--------------|-----|-------------|
| | | Statistik | df | Signifikanz | Statistik | df | Signifikanz |
| Afroamerikaner | krol_sphl | .093 | 124 | .010 | .977 | 124 | .035 |
| | kror_sphr | .074 | 124 | .088 | .947 | 124 | .000 |
| Euroamerikaner | krol_sphl | .025 | 664 | .200* | .996 | 664 | .067 |
| | kror_sphr | .038 | 664 | .023 | .992 | 664 | .001 |
| Deutsche | krol_sphl | .047 | 89 | .200* | .989 | 89 | .701 |
| | kror_sphr | .067 | 89 | .200* | .980 | 89 | .180 |
| Ruander | krol_sphl | .050 | 98 | .200* | .976 | 98 | .072 |
| | kror_sphr | .074 | 98 | .200* | .963 | 98 | .007 |

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

3.3 Ergebnisse des Geschlechtsvergleichs

Independent Samples T Test:

Der Independent T Test vergleicht die Mittelwerte zweier unabhängiger Gruppen und prüft so, ob die zwei Gruppen einen statistisch signifikanten Unterschied aufweisen [120].

Independent Samples T Test for krol_sphl:

Tabelle 10 – Deskriptive Statistik der Geschlechtsunterschiede – Linke Seite

| Gruppenstatistiken | | | | | |
|--------------------|------------|-----|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| | Geschlecht | N | Mittelwert (mm) | Std.-Abweichung | Standardfehler des Mittelwertes |
| krol_sphl | Männlich | 634 | 14.17 | 5.234 | .20787 |
| | Weiblich | 341 | 13.27 | 5.252 | .28440 |

Die Tabelle zeigt, dass der Datensatz insgesamt 634 männliche und 341 weibliche Schädel enthält. Die mittlere Krotaphion–Sphenion-Distanz der linken Seite ist bei den männlichen Schädeln größer (14,17 mm) als bei den weiblichen Schädeln (13,27 mm).

Tabelle 11 – Levene-Test und T-Test – Geschlechtsunterschied linke Seite

| Test bei unabhängigen Stichproben | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------|---------|-----------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------|
| | Levene-Test der Varianz gleichheit | T-Test für die Mittelwertgleichheit | | | | | | | | |
| | | F | Signifi-kanz | T | df | Sig. (2-seitig) | Mittlere Differenz | Standard-fehler der Differenz | 95% Konfidenzintervall der Differenz | |
| | | | | | | | | | Untere | Obere |
| krol_sphl | Varianzen sind gleich | .051 | .822 | 2.548 | 973 | .011 | .89657 | .35191 | .20598 | 1.58717 |
| | Varianzen sind nicht gleich | | | 2.545 | 693.950 | .011 | .89657 | .35227 | .20493 | 1.58822 |

Um den Geschlechtsunterschied in Bezug auf Sphenion in dieser Studie zu untersuchen, wurden der Levene-Test und der T-Test angewandt. Der Levene-Test geht davon aus, dass die Varianzen homogen sind und dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Varianzen der Gruppen gibt. Der F-Wert des Tests für die linke Schädel-Seite ergibt 0,51, der Signifikanzwert liegt bei 0,822, was höher ist als der P-Wert von 0,05. Damit wird die Nullhypothese, also die Annahme gleicher Varianzen, akzeptiert.

Der T-Wert liegt bei 2,548 mit einem P-Wert von 0,011, was kleiner ist als die Irrtums-Wahrscheinlichkeit von 0,05. Somit muss die Nullhypothese, also die Annahme, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Geschlechtsgruppen gibt, abgelehnt werden. Auf der linken Schädelseite besteht zwischen den beiden geschlechtlichen Gruppen ein statistisch signifikanter Unterschied bei der Krotaphion–Sphenion-Distanz.

Der Levene-Test und der T-Test wurden auch für die rechte Seite durchgeführt:

Tabelle 12 – Deskriptive Statistik der Geschlechtsunterschiede der rechten Seite

| Gruppenstatistiken | | | | | |
|--------------------|------------|-----|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| | Geschlecht | N | Mittelwert (mm) | Std.-Abweichung | Standardfehler des Mittelwertes |
| kror_sphr | Männlich | 634 | 13.53 | 5.22 | .20740 |
| | Weiblich | 341 | 12.53 | 4.80 | .26009 |

Der untersuchte Datensatz enthält 634 männliche und 341 weibliche Schädel. Die mittlere Krotaphion-Sphenion-Distanz auf der rechten Seite der männlichen Schädel ist, wie auch auf der linken Seite, größer (13,53 mm) als bei den weiblichen Schädeln (12,53 mm).

Tabelle 13 – Levene-Test und T Test – Geschlechtsunterschied der rechten Seite

| Test bei unabhängigen Stichproben | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------------------|---------|-----------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------|
| | | Levene-Test der Varianzgleichheit | | T-Test für die Mittelwertgleichheit | | | | | | |
| | | F | Signifikanz | T | df | Sig. (2-seitig) | Mittlere Differenz | Standardfehler der Differenz | 95% Konfidenzintervall der Differenz | |
| | | | | | | | | | Untere | Obere |
| kror_sphr | Varianzen sind gleich | 2.038 | .154 | 2.917 | 973 | .004 | .99508 | .34112 | .32566 | 1.66450 |
| | Varianzen sind nicht gleich | | | 2.991 | 747.541 | .003 | .99508 | .33266 | .34203 | 1.64813 |

Die Tabelle zeigt, dass der F-Wert des Levene-Tests groß ist (2,038) mit einem Signifikanzwert von 0,154. Damit wird die Nullhypothese, also die Annahme gleicher Varianzen, akzeptiert.

Beim T-Test ergibt sich ein T-Wert von 2,917 mit einem P-Wert von 0,004, was kleiner als das Signifikanzniveau von 0,05 ist. Somit muss die Nullhypothese abgelehnt werden. Auf der rechten Schädelseite besteht zwischen den beiden geschlechtlichen Gruppen ein statistisch signifikanter Unterschied bei der Krotaphion–Sphenion-Distanz.

3.4 Ethnische Unterschiede der linken Krotaphion–Sphenion-Distanz

„ANOVA“, im Deutschen auch Varianzanalyse genannt, testet die Hypothese, dass der Mittelwert zweier oder mehrerer Datensätze gleich ist. Die Nullhypothese besagt, dass alle Mittelwerte der Grundgesamtheiten gleich sind, während die Alternativhypothese besagt, dass sich mindestens ein Mittelwert von den anderen unterscheidet. In der einfachsten Form ist die Varianzanalyse ein T-Test, der aber die Mittelwerte von mehr als zwei Gruppen miteinander vergleicht.

Tabelle 14 – Levene-Test für die Homogenität der Varianzen – linke Seite

| Test der Homogenität der Varianzen | | | | | |
|---|--|----------------------|-----|---------|------------------|
| | | Levene- Statistik | df1 | df2 | Signifi- kanz |
| krol_sphl | Basiert auf dem Mittelwert | 4.057 | 3 | 971 | .007 |
| | Basiert auf dem Median | 3.967 | 3 | 971 | .008 |
| | Basierend auf dem Median und mit angepaßten df | 3.967 | 3 | 948.405 | .008 |
| | Basiert auf dem getrimmten Mittel | 4.025 | 3 | 971 | .007 |

Tabelle 15 – ANOVA für die linke Seite

| Einfaktorielle ANOVA | | | | | |
|-----------------------------|-------------------|-----|------------------------|--------|------------------|
| krol_sphl | | | | | |
| | Quadrat- summe | df | Mittel der Quadrate | F | Signi- fikanz |
| Zwischen den Gruppen | 4568.948 | 3 | 1522.983 | 66.230 | .000 |
| Innerhalb der Gruppen | 22328.582 | 971 | 22.995 | | |
| Gesamt | 26897.530 | 974 | | | |

Tabelle 16 – Welch- und Brown-Forsythe-Test für die linke Seite

Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

krol_sphl

| | Statistik ^a | df1 | df2 | Sig. |
|----------------|------------------------|-----|---------|------|
| Welch-Test | 91.396 | 3 | 216.207 | .000 |
| Brown-Forsythe | 73.438 | 3 | 368.919 | .000 |

a. Asymptotisch F-verteilt

Tabelle 17 – Deskriptive Statistik der einzelnen Gruppen – linke Seite

ONEWAY deskriptive Statistiken

krol_sphl

| | N | Mittelwert (mm) | Std.- Abweichung | Std.- Fehler | 95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert | | Mini- mum | Maxi- mum |
|----------------|-----|--------------------|---------------------|-----------------|--|------------|--------------|--------------|
| | | | | | Untergrenze | Obergrenze | | |
| | | | | | Afroamerikaner | 124 | | |
| Euroamerikaner | 664 | 14.9017 | 4.90922 | .19051 | 14.5276 | 15.2758 | .56 | 32.77 |
| Deutsche | 89 | 15.6432 | 4.87924 | .51720 | 14.6154 | 16.6711 | 5.61 | 27.27 |
| Ruander | 98 | 8.7387 | 3.57565 | .36120 | 8.0218 | 9.4555 | 1.22 | 18.60 |
| Gesamt | 975 | 13.8572 | 5.25505 | .16830 | 13.5269 | 14.1874 | .02 | 32.77 |

Die Varianzanalyse geht von der Annahme aus, dass eine Homogenität zwischen den Varianzen der einzelnen Gruppen besteht. Der Levene-Test zeigt, dass der P-Wert unter 0,05 liegt und somit die Nullhypothese – es besteht Homogenität zwischen den Varianzen – abgelehnt werden muss. Es herrscht demnach eine Ungleichheit zwischen den Varianzen der einzelnen Gruppen. Diesen Unterschied in den Varianzen kann man auch in der deskriptiven Statistik sehen, da die Standardabweichungen für alle vier ethnischen Gruppen unterschiedlich sind. Tabelle 15 zeigt uns die Resultate der Varianzanalyse. Die Analyse gibt einen F-Wert von 66,23 an mit einem P-Wert unterhalb der 0,05 Grenze. Auch hier wird die Nullhypothese – es besteht kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der einzelnen Gruppen – abgelehnt. Es besteht vielmehr ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen

den ethnischen Gruppen. Jedoch wird die Annahme der Homogenität bei der ANOVA-Analyse, wie es durch den Levene-Test geprüft wurde, nicht erfüllt. Die ANOVA-Ergebnisse sind daher statistisch gesehen nicht robust genug. Das Problem der Ungleichheit zwischen den Varianzen zweier oder mehrerer Gruppen wird auch das Behrens-Fisher-Problem genannt [121]. Daher wurden weitere statistische Tests angewandt, um dies zu umgehen. Zwei Tests, die keine Annahme bezüglich der Varianzen machen oder eine Heterogenität der Varianzen der einzelnen Gruppen erlauben, sind der Welch- und der Brown-Foresythe-Test. Wie Tabelle 16 zeigt, kann die Nullhypothese bei beiden Tests, wie auch schon bei ANOVA, abgelehnt werden. Auch diese Tests zeigen einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den ethnischen Gruppen.

Alle drei Testverfahren zeigen, dass es einen Unterschied zwischen den Gruppen gibt, jedoch nicht, wo genau dieser Unterschied liegt bzw. welche Gruppe sich wie genau von der anderen unterscheidet. Um diese Unterschiede zu prüfen, wurden zwei Post-Hoc-Tests durchgeführt:

1) Tukey HSD – Der Tukey HSD Test nimmt eine Homogenität der Varianzen an.

Tabelle 18 – Tukey HSD Comparison Test – linke Seite

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: krol_sphl

Tukey-HSD

| (I) Ethnie | (J) Ethnie | Mittlere Differenz (I-J) | Std.-Fehler | Signifikanz | 95%-Konfidenzintervall | |
|----------------|----------------|--------------------------|-------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Afroamerikaner | Euroamerikaner | -3.87451* | .46913 | .000 | -5.0818 | -2.6672 |
| | Deutsche | -4.61606* | .66620 | .000 | -6.3305 | -2.9016 |
| | Ruander | 2.28850* | .64815 | .002 | .6205 | 3.9565 |
| Euroamerikaner | Afroamerikaner | 3.87451* | .46913 | .000 | 2.6672 | 5.0818 |
| | Deutsche | -.74155 | .54130 | .519 | -2.1346 | .6515 |
| | Ruander | 6.16301* | .51892 | .000 | 4.8276 | 7.4984 |
| Deutsche | Afroamerikaner | 4.61606* | .66620 | .000 | 2.9016 | 6.3305 |
| | Euroamerikaner | .74155 | .54130 | .519 | -.6515 | 2.1346 |
| | Ruander | 6.90456* | .70216 | .000 | 5.0976 | 8.7116 |
| Ruander | Afroamerikaner | -2.28850* | .64815 | .002 | -3.9565 | -.6205 |
| | Euroamerikaner | -6.16301* | .51892 | .000 | -7.4984 | -4.8276 |
| | Deutsche | -6.90456* | .70216 | .000 | -8.7116 | -5.0976 |

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

Die Tabelle gibt die folgenden statistisch signifikanten Unterschiede (P-Wert < 0,05) bei den Mittelwerten der einzelnen ethnischen Gruppen an:

- Die Afroamerikaner unterscheiden sich von allen anderen drei Gruppen
- Die Euroamerikaner unterscheiden sich von den Ruandern und den Afroamerikanern, jedoch nicht von den Deutschen
- Die Deutschen unterscheiden sich von den Ruandern und den Afroamerikanern, jedoch nicht von den Euroamerikanern
- Die Ruander unterscheiden sich von allen anderen drei Gruppen

Tabelle 19 – Games- Howells Comparison Test – linke Seite

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: krol_sphl

Games-Howell

| (I) Ethnie | (J) Ethnie | Mittlere Differenz (I-J) | Std.-Fehler | Signifikanz | 95%-Konfidenzintervall | |
|----------------|----------------|--------------------------|-------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Afroamerikaner | Euroamerikaner | -3.87451* | .48370 | .000 | -5.1294 | -2.6196 |
| | Deutsche | -4.61606* | .68203 | .000 | -6.3837 | -2.8484 |
| | Ruander | 2.28850* | .57283 | .001 | .8055 | 3.7715 |
| Euroamerikaner | Afroamerikaner | 3.87451* | .48370 | .000 | 2.6196 | 5.1294 |
| | Deutsche | -.74155 | .55117 | .536 | -2.1788 | .6957 |
| | Ruander | 6.16301* | .40836 | .000 | 5.1026 | 7.2234 |
| Deutsche | Afroamerikaner | 4.61606* | .68203 | .000 | 2.8484 | 6.3837 |
| | Euroamerikaner | .74155 | .55117 | .536 | -.6957 | 2.1788 |
| | Ruander | 6.90456* | .63084 | .000 | 5.2668 | 8.5423 |
| Ruander | Afroamerikaner | -2.28850* | .57283 | .001 | -3.7715 | -.8055 |
| | Euroamerikaner | -6.16301* | .40836 | .000 | -7.2234 | -5.1026 |
| | Deutsche | -6.90456* | .63084 | .000 | -8.5423 | -5.2668 |

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

Die Tabelle gibt die folgenden statistisch signifikanten Unterschiede (P-Wert < 0,05) bei den Mittelwerten der einzelnen ethnischen Gruppen an:

- Die Afroamerikaner unterscheiden sich von allen anderen drei Gruppen.
- Die Euroamerikaner unterscheiden sich von den Afroamerikanern und den Ruandern, jedoch nicht von den Deutschen.
- Die Deutschen unterscheiden sich von den Afroamerikanern und den Ruandern, jedoch nicht von den Euroamerikanern.
- Die Ruander unterscheiden sich von allen anderen drei Gruppen.

3.5 Ethnische Unterschiede der rechten Krotaphion–Sphenion-Distanz

Tabelle 20 – Levene-Test für Homogenität der Varianzen – rechte Seite

| | | Test der Homogenität der Varianzen | | | |
|-----------|--|------------------------------------|-----|---------|-------------|
| | | Levene-Statistik | df1 | df2 | Signifikanz |
| kror_sphr | Basiert auf dem Mittelwert | 1.242 | 3 | 971 | .293 |
| | Basiert auf dem Median | 1.148 | 3 | 971 | .329 |
| | Basierend auf dem Median und mit angepaßten df | 1.148 | 3 | 951.349 | .329 |
| | Basiert auf dem getrimmten Mittel | 1.195 | 3 | 971 | .310 |

Tabelle 21 – ANOVA für die rechte Schädelseite

Einfaktorielle ANOVA

kror_sphr

| | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F | Signifikanz |
|-----------------------|--------------|-----|---------------------|--------|-------------|
| Zwischen den Gruppen | 3097.888 | 3 | 1032.629 | 45.110 | .000 |
| Innerhalb der Gruppen | 22227.574 | 971 | 22.891 | | |
| Gesamt | 25325.462 | 974 | | | |

Tabelle 22 – Welch- und Brown-Forsythe-Test für rechte Schädelseite

Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

kror_sphr

| | Statistik ^a | df1 | df2 | Sig. |
|----------------|------------------------|-----|---------|------|
| Welch-Test | 53.847 | 3 | 208.885 | .000 |
| Brown-Forsythe | 45.057 | 3 | 365.433 | .000 |

a. Asymptotisch F-verteilt

Tabelle 23 – Deskriptive Statistik der einzelnen Gruppen – rechte Schädelseite

ONEWAY deskriptive Statistiken

kror_sphr

| | N | Mittelwert (mm) | Std.- Abweichung | Std.- Fehler | 95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert | | Mini- mum | Maxi- mum |
|----------------|-----|--------------------|---------------------|-----------------|--|-----------------|--------------|--------------|
| | | | | | Unter- grenze | Ober- grenze | | |
| | | | | | Afroamerikaner | 124 | | |
| Euroamerikaner | 664 | 14.0406 | 4.77004 | .18511 | 13.6772 | 14.4041 | .07 | 33.77 |
| Deutsche | 89 | 14.4647 | 5.06127 | .53649 | 13.3985 | 15.5308 | 4.38 | 31.44 |
| Ruander | 98 | 8.7004 | 4.09135 | .41329 | 7.8801 | 9.5207 | 1.62 | 24.85 |
| Gesamt | 975 | 13.1796 | 5.09917 | .16330 | 12.8592 | 13.5001 | .07 | 33.77 |

Die Varianzanalyse geht von der Annahme aus, dass eine Homogenität zwischen den Varianzen der einzelnen Gruppen besteht. Der Levene-Test zeigt, dass der P-Wert über 0,05 liegt und dass somit die Nullhypothese – es besteht Homogenität zwischen den Varianzen – angenommen werden muss. Es herrscht demnach keine Ungleichheit zwischen den Varianzen der einzelnen Gruppen. Tabelle 21 zeigt die Resultate der Varianzanalyse. Die Analyse gibt einen F-Wert von 45,11 an mit einem P-Wert unterhalb der 0,05 Signifikanz-Grenze. Somit wird die Nullhypothese – es besteht kein statisch signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der einzelnen Gruppen – abgelehnt. Daher besteht ein statisch signifikanter Unterschied zwischen den ethnischen Gruppen. Die Annahme der Homogenität für die ANOVA Analyse, wie es durch den Levene-Test geprüft wurde, wird erfüllt. Die ANOVA-Ergebnisse sind statistisch gesehen robust genug.

Zwei Tests, die keine Annahme bezüglich der Varianzen machen oder eine Heterogenität der Varianzen der einzelnen Gruppen erlauben, sind der Welch- und der Brown-Foresythe-Test. Auch diese Tests zeigen mit einem P-Wert, der kleiner als 0,05 ist, einen statisch signifikanten Unterschied zwischen den ethnischen Gruppen (Tabelle 22).

Alle drei Testverfahren zeigen, dass es einen Unterschied zwischen den Gruppen gibt, jedoch nicht, worin genau dieser Unterschied besteht bzw. welche Gruppe sich wie genau von der anderen unterscheidet. Um diese Unterschiede zu prüfen, wurden für die rechte Schädelseite zwei Post-Hoc-Tests durchgeführt:

1) Tukey HSD für die rechte Seite des Schädels – Der Tukey HSD Test nimmt eine Homogenität der Varianzen an.

Tabelle 24 – Tukey HSD Comparison Test – rechte Seite

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: *kror_sphr*

Tukey-HSD

| (I) Ethnie | (J) Ethnie | Mittlere Differenz (I-J) | Std.-Fehler | Signifikanz | 95%-Konfidenzintervall | |
|----------------|----------------|--------------------------|-------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Afroamerikaner | Euroamerikaner | -2.85386* | .46806 | .000 | -4.0584 | -1.6493 |
| | Deutsche | -3.27790* | .66469 | .000 | -4.9885 | -1.5673 |
| | Ruander | 2.48637* | .64668 | .001 | .8221 | 4.1506 |
| Euroamerikaner | Afroamerikaner | 2.85386* | .46806 | .000 | 1.6493 | 4.0584 |
| | Deutsche | -.42404 | .54008 | .861 | -1.8139 | .9658 |
| | Ruander | 5.34022* | .51775 | .000 | 4.0078 | 6.6726 |
| Deutsche | Afroamerikaner | 3.27790* | .66469 | .000 | 1.5673 | 4.9885 |
| | Euroamerikaner | .42404 | .54008 | .861 | -.9658 | 1.8139 |
| | Ruander | 5.76427* | .70057 | .000 | 3.9614 | 7.5672 |
| Ruander | Afroamerikaner | -2.48637* | .64668 | .001 | -4.1506 | -.8221 |
| | Euroamerikaner | -5.34022* | .51775 | .000 | -6.6726 | -4.0078 |
| | Deutsche | -5.76427* | .70057 | .000 | -7.5672 | -3.9614 |

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

Die Tabelle gibt die folgenden statistisch signifikanten Unterschiede (P-Wert < 0,05) bei den Mittelwerten der einzelnen ethnischen Gruppen wieder:

- Die Afroamerikaner unterscheiden sich signifikant von allen anderen drei Gruppen.
- Die Euroamerikaner unterscheiden sich signifikant von den Afroamerikanern und den Ruandern, jedoch nicht von den Deutschen.
- Die Deutschen unterscheiden sich signifikant von den Afroamerikanern und den Ruandern, jedoch nicht von den Euroamerikanern.
- Die Ruander unterscheiden sich signifikant von allen anderen drei Gruppen.

2) Games Howells Test für die rechte Seite des Schädels – Der Games Howells Test erlaubt eine Heterogenität der Varianzen

Tabelle 25 - Games- Howells Comparison Test – rechte Seite

Mehrfachvergleiche

Abhängige Variable: kor_sphr

Games-Howell

| (I) Ethnie | (J) Ethnie | Mittlere Differenz (I-J) | Std.-Fehler | Signifikanz | 95%-Konfidenzintervall | |
|----------------|----------------|--------------------------|-------------|-------------|------------------------|------------|
| | | | | | Untergrenze | Obergrenze |
| Afroamerikaner | Euroamerikaner | -2.85386* | .49828 | .000 | -4.1471 | -1.5606 |
| | Deutsche | -3.27790* | .70841 | .000 | -5.1139 | -1.4419 |
| | Ruander | 2.48637* | .62034 | .000 | .8804 | 4.0923 |
| Euroamerikaner | Afroamerikaner | 2.85386* | .49828 | .000 | 1.5606 | 4.1471 |
| | Deutsche | -.42404 | .56753 | .878 | -1.9046 | 1.0565 |
| | Ruander | 5.34022* | .45285 | .000 | 4.1626 | 6.5178 |
| Deutsche | Afroamerikaner | 3.27790* | .70841 | .000 | 1.4419 | 5.1139 |
| | Euroamerikaner | .42404 | .56753 | .878 | -1.0565 | 1.9046 |
| | Ruander | 5.76427* | .67722 | .000 | 4.0071 | 7.5215 |
| Ruander | Afroamerikaner | -2.48637* | .62034 | .000 | -4.0923 | -.8804 |
| | Euroamerikaner | -5.34022* | .45285 | .000 | -6.5178 | -4.1626 |
| | Deutsche | -5.76427* | .67722 | .000 | -7.5215 | -4.0071 |

*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

Die Tabelle gibt die folgenden statistisch signifikanten Unterschiede (P-Wert < 0,05) bei den Mittelwerten der einzelnen ethnischen Gruppen an:

- Die Afroamerikaner unterscheiden sich signifikant von allen anderen drei Gruppen.
- Die Euroamerikaner unterscheiden sich signifikant von den Afroamerikanern und den Ruandern, jedoch nicht von den Deutschen.
- Die Deutschen unterscheiden sich signifikant von den Afroamerikanern und den Ruandern, jedoch nicht von den Euroamerikanern.
- Die Ruander unterscheiden sich signifikant von allen anderen drei Gruppen.

4 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde ein osteometrischer Parameter, die Krotaphion–Sphenion-Distanz im Pterion von vier unterschiedlichen Populationen untersucht, um statistisch signifikante Unterschiede nachzuweisen und dadurch die Verwendbarkeit dieses Parameters für die Erstellung eines biologischen Profils zu testen. Das Pterion ist ein gut studierter Abschnitt des menschlichen Schädels und die morphologische Variabilität bei verschiedenen ethnischen Populationen und zwischen den Geschlechtern ist bekannt. Jedoch wurde in den meisten Studien keine quantitative Analyse der morphologischen Merkmale durchgeführt und somit ist die Morphometrie am Pterion bisher als Differenzierungsmerkmal für Geschlecht und Ethnie kein verbreitetes Verfahren.

Insgesamt wurden in dieser Studie vier unterschiedliche Populationen miteinander verglichen: 1) Deutsche 2) Euroamerikaner 3) Afroamerikaner 4) Ruander. Die Analyse der Daten sollte darstellen, ob es geschlechtsspezifische und/oder ethnien-spezifische Unterschiede bei den erhobenen Krotaphion-Sphenion-Distanzen innerhalb der vier untersuchten Populationen gibt. Weitere Landmarken und osteologischen Parameter, die erfasst wurden, werden für das Fordisc Programm bereitgestellt, um somit das Einsatzspektrum für die Identifikation von europäischen Schädeln zu verbessern. Eine Besonderheit der Studie bestand darin, dass ausschließlich digital erfasste Distanzen und keine morphologischen Parameter am Pterion untersucht worden sind. Somit wurde ein neuer Ansatz für die Geschlechts- und Ethnien-Differenzierung geschaffen, der eine höhere Objektivität als die morphologische Analyse aufweist. Des Weiteren wurden die Messfehler, die durch eine manuelle Erfassung entstehen, eliminiert, um eine bessere Reproduzierbarkeit der Daten zu erreichen. Um Fehlmessungen zu vermeiden, wurden Landmarken dann nicht vermessen, wenn der Schädel beschädigt war und dies zu einer Distorsion der Landmarken führte, wenn extrasaturale Knochen vorhanden waren oder wenn die Schädelnähte am Pterion eine Sonderkonfiguration aufwiesen (z. B.: frontotemporal, epipteric oder stellate Variante).

Da diese Studie ausschließlich morphometrische und nicht morphologische Ausprägungen analysierte, wurde die weitere Konfiguration der Schädelnähte am Pterion nicht berücksichtigt. Die Herkunft der vermessenen deutschen Schädel wurde am Namen des Verstorbenen und am Geburtsort, die in den Leichenbüchern erfasst wurden, festgemacht. Anhand dieser beiden Merkmale ist jedoch keine verbindliche Aussage über die Abstammung des Verstorbenen möglich. Falls eine anatomische Sondervariante am Pterion vorlag, so wurde diese Messung am Schädel ignoriert, sodass die Analyse nur auf der Normvariante (dem klassischen H) der sphenoparietalen Sutur beruht. Die Interpretation der Resultate ist insofern eingeschränkt, weil sie nicht auf die Sondervarianten am Pterion übertragbar sind.

Die morphometrischen Daten für die euroamerikanischen, die afroamerikanischen und die ruandischen Schädel wurden von Prof. Jantz von der University of Tennessee zur Verfügung gestellt.

4.1 Geschlechtsvergleich

Der Schädel, der in der Anthropologie einer der meist untersuchten Körperregionen des menschlichen Körpers ist [11], ist auch nach dem Beckenknochen am besten verwendbar für die Geschlechtsbestimmung. Entscheidend dafür ist, dass am Schädel der geschlechtsspezifische Dimorphismus sehr stark ausgeprägt ist. Die morphologischen und morphometrischen Analysen beruhen auf der Tatsache, dass der männliche Schädel im Vergleich zum weiblichen Schädel größer und robuster gebaut ist. Somit ergeben sich z. B. stärker ausgebildete Muskelansätze, größere Warzenfortsätze und eine größere Gesamtfläche des Foramen magnum.

In dieser Studie wurden die K-S-Distanzen geschlechtsspezifisch untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Krotaphion-Sphenion-Distanz bei männlichen Schädeln größer war als bei weiblichen Schädeln. Dieser Trend war auf beiden Seiten des Schädels zu beobachten, auf der linken Seite zeigte sich eine mittlere Distanz bei männlichen Schädeln von 14,2 mm, bei weiblichen Schädeln von nur 13,3 mm. Somit war die linke Schädelseite beim männlichen Schädel durchschnittlich um 0,9 mm länger. Die Krotaphion Sphenion Distanz (K-S Distanz) auf der rechten Seite war insgesamt kleiner, sodass ein reiner Vergleich der Mittelwerte für eine Asymmetrie spricht. Im T-Test zeigte sich mit einem p-Wert von 0.023 ein statistisch signifikanter Unterschied auf der linken Seite. Die rechte K-S-Distanz ist wie die linke K-S-Distanz beim Mann um 1 mm länger als die bei den weiblichen Schädeln. (Männlich 13,5 mm, Weiblich 12,5 mm). Im T-Test zeigte sich auf der rechten Seite mit einem p-Wert von 0,002 ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern. Nimmt man an, dass die K-S-Distanz als Maß für Schädelgröße herangezogen werden kann, so würden die Daten mit der allgemeinen Annahme übereinstimmen, dass der männliche Schädel größer und robuster gebaut ist als der weibliche Schädel. Die Robustheit des Schädels ist auch ein morphologisches Differenzierungsmerkmal bei der Geschlechtsbestimmung [4, 14].

Murphy führte 1956 eine quantitative Analyse der K-S-Distanz, von ihm als 'Pterion Sutura' bezeichnet, an 368 Schädeln australischer Ureinwohner durch.

Morphologisch zeigten sich der sphenoparietale Typ als häufigster, gefolgt von dem epipterischen, dem fronto-temporalen und den stellaten. Für die quantitative Analyse wurden im Unterschied zu dieser Studie alle Varianten des Pterion mit Ausnahme der epipterischen Variante einbezogen. Murphy vermaß dafür die Länge der Sutura, also die K-S-Distanz und setzte den Wert für die stellate Variante auf 0. Die sphenoparietale Variante wurde gemessen und als positiver Wert angenommen, die frontotemporale Variante wurde als negativer Wert angenommen. Die Resultate spiegelten die Häufigkeit der sphenoparietalen Variante wider, die Murphy auch schon in der morphologischen Analyse gefunden hatte. Interessant war die Verteilung der Ergebnisse, die zwei Höhepunkte zeigte: Der erste Gipfel in der Verteilungskurve zeigte sich zwischen +4 und +9 mm. Der zweite Gipfel zeigte sich zwischen -11 und -6 mm bei der frontotemporalen Variante. Durchschnittlich war die K-S-Distanz bei der frontotemporalen Variante 11,2 mm lang mit einer SD von 4,2 mm. Murphy erklärte die Verteilung mit zwei Maxima entweder mit einem inhomogenen Datensatz oder mit einem noch unbekanntem Faktor, der zu einem Übergewicht der frontotemporalen Variante mit einer K-S-Distanz von 8 - 11 mm führe [108]. Murphy setzte seine Studie fort, um die Pterion-Typen und die Korrelation mit den kranialen Indizes gründlich zu analysieren, ohne jedoch nach einem geschlechtsspezifischen oder ethnien-spezifischen Unterschied zu suchen.

Auch scheint es in der Pterion-Region einen geschlechtsspezifischen Unterschied bei der Häufigkeit der verschiedenen Konfigurationen zu geben. Mwachaka et al. untersuchten 90 Schädel aus dem National Museum of Kenia auf geschlechtsspezifische Unterscheide beim Pterion. Die sphenoparietale Variante war auch wie in Studien zuvor am häufigsten vertreten (69,4 % männlich, 60,5 % weiblich) und obwohl der Geschlechtsunterschied statistisch insignifikant war ($p = 0,062$), wurde bei den weiblichen Schädeln ein höheres Auftreten der epipterischen Variante entdeckt [115].

Tabelle 26 – Häufigkeit der Pterion-Varianten bei männlichen und weiblichen Schädeln [115]

Frequency of pterion types observed in males and females. SP - sphenoparietal; FT - frontotemporal; St - stellate; and Ep - epipteric.

| | Type of pterion (%) | | | |
|-----------------------|---------------------|------|------|------|
| | SP | FT | St | Ep |
| Male (n = 94 sides) | 69.4 | 14.5 | 11.3 | 4.8 |
| Female (n = 64 sides) | 60.5 | 15.8 | 13.2 | 10.5 |
| Total (n = 158 sides) | 66.0 | 15.0 | 12.0 | 7.0 |

Apinhasmit et al. untersuchten die morphologischen Varianten und die Lage des Pterion bezogen auf verschiedene anatomische Landmarken an 268 Schädeln aus Thailand. Die Ergebnisse zeigten die beiden häufigsten Pterion-Varianten als sphenoparietal (81,2 %) und epipteric (17,4 %). Die morphologische Variante und die genaue Lage des Pterion wurden durch das Geschlecht, die Schädelseite und das Schädelalter beeinflusst [122].

In dieser Studie wurde gezeigt, dass der untersuchte morphometrische Parameter am Pterion, die K-S-Distanz, einen statistisch signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschied zeigt. Somit wird die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen.

4.2 Ethnienunterschiede

Bezüglich der Ethnienunterschiede zeigten die Schädel der deutschen Population die größte Asymmetrie, der Mittelwert für die K-S-Distanz lag rechts bei 14,4 mm und links bei 15,6 mm. Somit ergibt sich eine Differenz von 1,2 mm. Die ruandische Population wies die kleinste mittlere K-S-Distanz bei einem Mittelwert für rechts und links jeweils von 8,7 mm auf und zeigten somit die stärkste Symmetrie in Bezug auf K-S-Länge. Dies stimmt insofern mit der Literatur überein, als dort das Auftreten der frontotemporalen Variante des Pterion bei den afrikanischen Populationen am höchsten eingeschätzt wird [123]. Bei der frontotemporalen Variante treffen K und S auf einen Punkt, weshalb sich laut Definition eine K-S-Distanz von 0 mm ergibt. Asala et al. postulierten, dass man die Häufigkeit der frontotemporalen Artikulation in einer Kombination mit anderen nicht-metrischen Parametern als Erkennungsmerkmal für die afrikanische Abstammung heranziehen könne [124].

Nach der ruandischen Population folgte aufsteigend die afroamerikanische Population mit einer K-S-Distanz von 11 mm links und 11,2 mm rechts. Darauf folgte die euroamerikanische Population mit 14,9 mm und 14,0 mm für jeweils links und rechts. Die größte K-S-Distanz hatten die deutschen Schädel mit rechts bei 15,2 mm und links bei 19,8 mm. Ob die Asymmetrien einen signifikanten Unterschied aufweisen, wurde in dieser Studie nicht analysiert. Es ist jedoch interessant, dass der einfache Vergleich der Mittelwerte der K-S-Distanz zeigt, dass die ruandischen Schädel näher an den afroamerikanischen Schädeln liegen und die euroamerikanischen Schädel näher an den deutschen Schädeln.

Die morphometrische Analyse am Pterion wurde in der Literatur bis jetzt nur selten beschrieben, sodass keine geeigneten Vergleichsdaten für diese Studie vorhanden sind. Vivaan et al. jedoch untersuchten 78 Schädel einer indischen Population aus dem Institut der Anatomie in Begaluru (Indien) und erfassten durch digitale Messungen die K-S-Distanz. Hier wurde eine mittlere Distanz von 14,06 mm und 14,58 mm für jeweils die rechte und linke Seite ermittelt. Weitere

Analysen zu den statistischen Unterschieden zwischen dem Geschlecht oder anderen Populationen wurden nicht durchgeführt.

Die ANOVA Analyse, die in dieser Studie durchgeführt wurde, ergibt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Populationen, sowohl auf der linken als auch der rechten Seite des Schädels. Überprüft man in weiteren Analysen (Turkey HSD und Games-Howell-Test), wie die Gruppen in einem Vergleich untereinander abschneiden, so zeigt sich, dass die afroamerikanische und die ruandische Population sich entweder von allen Gruppen oder nur von den Euroamerikanern und den Deutschen unterscheiden. Genauso unterscheiden sich die deutsche und euroamerikanische Population entweder von allen Gruppen oder nur von der ruandischen oder afroamerikanischen Population. Diesen Trend kann man auf der rechten und linken Seite beobachten und wird weiter von der Erkenntnis gestützt, dass obwohl die afroamerikanische Population in der heutigen Zeit eine sehr heterogene ist, die Abstammung der Afroamerikaner primär auf den afrikanischen Kontinent zurückgeführt werden kann [125]. Somit ist es verständlich, dass die Analyse darauf hinweist, dass sich ein geringerer Unterschied zwischen der afroamerikanischen und der ruandischen Population zeigt, genauso wie sich ein geringerer Unterschied zwischen der deutschen und der euroamerikanischen Population zeigt.

Die Studie zeigte, dass es einen statistisch signifikanten Unterschied in der Krotaphion-Sphenion Distanz zwischen den hier untersuchten Populationen gibt. Somit wird die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen.

Die genauen Kontrollmechanismen für die Formation der verschiedenen Varianten der Ausprägung der Schädelnähte am Pterion, für die Asymmetrien und die geschlechts- und ethnien-spezifischen Unterschiede bei der K-S-Distanz sind in der Literatur nicht bekannt. Es liegt jedoch eine genetische Komponente nahe [126], da morphologische Schädelmerkmale vererbt werden und somit sich ethnien-spezifische Unterschiede darstellen. Abbie [108, 127] zeigte, dass der menschliche Schädel ein „physisches Mosaik“ von unabhängigen vererbten Merkmalen ist. Das Mosaik für jede ethnische Gruppe ist bestimmt durch seinen eigenen genetischen Pool.

Liu et al. entdeckten das MSX2 Gen, das einen Transkriptionsfaktor kodiert und in der kraniofazialen Morphogenese, vor allem an den Schädelnähten aktiv ist. Eine Überexpression dieses Genes führte zu einem frühzeitigen Verschluss der Schädelnähte und somit zu einer Deformierung des Schädels [128].

Des Weiteren korreliert die Entwicklung des Neurocraniums stark mit dem Wachstum des Gehirns und ist abhängig von Interaktionen zwischen verschiedenen Arten von Gewebe, die an den Suturen beteiligt sind [129].

Sowohl die Genetik als auch die Umgebung haben beide einen Einfluss auf die Schädelmorphologie. Es ist daher verständlich, dass es bei einer Bevölkerung, die sich auf ein bestimmtes geografisches Gebiet beschränkt, unterschiedliche Faktoren gibt, die das Wachstum und die Entwicklung des Schädels bei dieser Bevölkerung beeinflussen.

Zusammenfassend wurde im Rahmen dieser Arbeit gezeigt, dass es bei den hier untersuchten Schädeln, die primär aus dem 19. Jahrhundert einer afroamerikanischen Population, einer euroamerikanischen Population, einer ruandischen Population und einer deutschen Population stammen, statistisch signifikante Unterschiede bei der Krotaphion-Sphenion-Distanz am Pterion gibt. Durch die Analyse zeigte sich auch, dass die afroamerikanische und die ruandische Population sich ähnlicher sind und somit sich deutlicher von der deutschen und euroamerikanischen Population unterscheiden. Ein statistisch signifikanter Unterschied zeigt sich auch bei den beiden analysierten Geschlechtern.

Eine Geschlechtsdifferenzierung und Herkunftsdifferenzierung am isolierten Schädel durch die kombinierte Auswertung der bekannten morphologischen oder morphometrischen Parameter wird einer Diskriminierung anhand der Länge der K-S-Distanz überlegen sein. Ein Einsatz wäre jedoch in Zweifelsfällen indiziert, vor allem dann, wenn nur noch Reste des Schädels vorhanden sind. Auch wäre ein Einsatz möglich, wenn nur die Schläfe eines Schädels und damit das Pterion als Ganzes vorhanden wären.

Die durch diese Studie analysierten Unterschiede bei der K-S-Distanz bezüglich des Geschlechts und der Herkunft könnten hilfreich sein, um in der weiteren Forschung die Aussagekraft und Praktikabilität der Geschlechts- und Herkunftsdifferenzierung in Bezug auf das Pterion zu verbessern.

Alle Menschen sind Mitglieder einer einzigen Spezies. Die genetische Vielfalt ist sehr groß innerhalb der menschlichen Bevölkerungsgruppen und die genetische Variation des Menschen sollte als Kontinuum und nicht als einzelne Kategorie wahrgenommen werden. Im Bereich der forensischen Osteologie jedoch ist die Bestimmung der Herkunft und des Geschlechts hilfreich bei der Identifizierung von menschlichen Überresten.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit der Landmarke Pterion am menschlichen Schädel, morphometrisch untersucht wurden populationsspezifische und geschlechtsspezifische Unterschiede von vier verschiedenen Populationen.

Hierfür wurden digital vermessene Krotaphion-Sphenion-Distanzen (K-S-Distanz) für beide Seiten des Schädels von 124 afroamerikanischen Schädeln (männlich: 73, weiblich: 51), 664 euroamerikanischen Schädeln (männlich: 439, weiblich: 225), 89 deutschen Schädeln (männlich: 61, weiblich: 28) und 98 ruandischen Schädeln (männlich: 61, weiblich: 37) miteinander verglichen, um zu untersuchen, ob es einen statistisch signifikanten Unterschied bei der K-S-Distanz gibt. Dabei stellte sich heraus, dass es zwischen den Geschlechtern und den verschiedenen untersuchten Ethnien einen statistisch signifikanten Unterschied bei der K-S-Distanz gibt. Bei den weiblichen Schädeln zeigte die linke Seite mit einem Mittelwert von 13,28 mm (SD 5,25) und die rechte Seite mit einem Mittelwert von 12,5 mm (SD 4.80) eine kürzere Distanz als bei den männlichen Schädeln (links: 14,17 mm, SD 5,23, rechts: 13,53 mm, SD 5,22 mm). Im Independent T-Test zeigte sich auf beiden Seiten mit einem p-Wert < 0,05 ein statistisch signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied.

Bei dem Vergleich zwischen den Ethnien zeigten die Schädel der deutschen Population die größte Asymmetrie, der Mittelwert für die K-S Distanz lag rechts bei 14,5 mm und links bei 15,6 mm. Somit ergibt sich eine Differenz von 1,1 mm. Die ruandische Population wies die kleinste mittlere K-S-Distanz bei einem Mittelwert für rechts und links von jeweils 8,7 mm auf und zeigten somit die stärkste Symmetrie in Bezug auf die K-S-Länge. Die ANOVA Analyse, die in dieser Studie durchgeführt wurde, ergab einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Populationen, sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite des Schädels. Überprüfte man in weiteren Analysen (Turkey HSD und Games-Howell-Test), wie die Gruppen abschneiden, wenn sie untereinander verglichen, so sah man, dass die afroamerikanische und die ruandische Population sich entweder von allen Gruppen oder nur von der

euroamerikanischen und der deutschen Population unterscheiden. Genauso unterscheiden sich die euroamerikanische und deutsche Population entweder von allen Gruppen oder nur von der afroamerikanischen und ruandischen Population. Dieser Trend zeigt sich sowohl auf der rechten als auch auf der linken Seite.

Die durch diese Studie analysierten Unterschiede bei der K-S-Distanz bezüglich des Geschlechts und der Herkunft könnten in der weiteren Forschung hilfreich sein, um die Aussagekraft und Praktikabilität der Geschlechts- und Herkunftsdifferenzierung am Pterion zu verbessern. Gestützt von weiterer Forschung wäre ein Einsatz der K-S-Distanz für die Geschlechts- und Herkunftsdifferenzierung in Zweifelsfällen indiziert oder dann, wenn nur noch Reste des Schädels vorhanden sind. Auch wäre ein Einsatz möglich, wenn nur die Schläfe eines Schädels und damit das Pterion als Ganzes vorhanden wären.

Literaturverzeichnis

1. Verhoff MA, Kreutz K, Ramsthaler F et al. (2006) Forensische Anthropologie und Osteologie – Übersicht und Definitionen. Deutsches Ärzteblatt International 103:782
2. İsan MY (1981) Concepts of teaching forensic anthropology. Medical Anthropology Newsletter 13:10-12
3. Verhoff MA, Kreutz K (2004) Forensische Osteologie. Rechtsmedizin 14:417-430
4. Verhoff MA, Kreutz K (2005) Forensische Osteologie. Gießener Universitätsblätter 38:43-53
5. Christensen AM, Passalacqua NV, Bartelink EJ (2014) Skeletal versus non-skeletal material. In: Forensic Anthropology: Current Methods and Practice. Academic Press, p 92-96
6. Lundy JK (1998) Forensic Anthropology: What Bones Can Tell Us. Laboratory Medicine 29:423-427
7. France DL (1998) Observational and metric analysis of sex in skeleton. In: Reichs K (ed) Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains. C.C. Thomas, Springfield, Illinois, p 163 - 186
8. Phenice TW (1969) A newly developed visual method of sexing the os pubis. American Journal of Physical Anthropology 30:297-301
9. Grant JCB, Basmajian JV (1980) Grant's Method of anatomy: by regions, descriptive and deductive. Williams & Wilkins
10. Beck LA (1995) Standards for data collection from human skeletal remains. Edited by Jane E. Buikstra and Douglas H. Ubelaker. 272 pp. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey Research Series No. 44, 1994. \$25.00 (paper). American Journal of Human Biology 7:672-672
11. Krogman WM, İscan MY (1986) The human skeleton in forensic medicine. C.C. Thomas, Springfield, Illinois
12. Giles E (1964) Sex determination by discriminant function analysis of the mandible. American Journal of Physical Anthropology 22:129-135
13. Ramsthaler F, Kettner M, Gehl A et al. (2010) Digital forensic osteology: Morphological sexing of skeletal remains using volume-rendered cranial CT scans. Forensic science international 195:148-152
14. Leopold D (1998) Identifikation unbekannter Toter: interdisziplinäre Methodik, forensische Osteologie. Schmidt Römhild
15. Duric M, Rakocevic Z, Donic D (2005) The reliability of sex determination of skeletons from forensic context in the Balkans. Forensic science international 147:159-164
16. Howells WW (1973) Cranial Variation in Man: A Study by Multivariate Analysis of Patterns of Difference Among Recent Human Populations. Harvard University Press
17. Grupe G, Christiansen K, Schröder I et al. (2006) Anthropologie: Ein einführendes Lehrbuch. Springer Verlag
18. Thieme FP, Schull WJ (1957) Sex determination from the skeleton. Human biology 29:242-273
19. Giles E, Elliot O (1963) Sex determination by discriminant function analysis of crania. American Journal of Physical Anthropology 21:53-68

20. Ferembach D, Schwindezky I, Stoukal M (1980) Recommendation for Age and Sex Diagnoses of Skeletons. *Journal of Human Evolution* 9:517 - 549
21. Spradley MK, Jantz RL (2011) Sex Estimation in Forensic Anthropology: Skull Versus Postcranial Elements. *Journal of Forensic Sciences* 56:289-296
22. Lengyel I (1969) Bestimmung der Geschlechtszugehörigkeit im Laboratorium. *Wiss Z. Humboldt-Univ Berlin Math.-Nat . R . XVIII*
23. Stone AC, Milner GR, Pääbo S et al. (1996) Sex determination of ancient human skeletons using DNA. *American Journal of Physical Anthropology* 99:231-238
24. Rösing FW, Graw M, Marré B et al. (2005) Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin. *Rechtsmedizin* 15:32-38
25. Liversidge HM, Dean MC, Molleson TI (1993) Increasing human tooth length between birth and 5.4 years. *American Journal of Physical Anthropology* 90:307-313
26. Schour I, Massler M (1940) Studies In Tooth Development: The Growth Pattern Of Human Teeth Part II. *The Journal of the American Dental Association* 27:1918-1931
27. Kahl B, Schwarze CW (1988) Aktualisierung der Dentitionstabelle von I. Schour und M. Massler von 1941. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 49:432-443
28. Stott GG, Sis RF, Levy BM (1982) Cemental annulation as an age criterion in forensic dentistry. *Journal of dental research* 61:814-817
29. Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW (2004) Tooth cementum annulation for age estimation: results from a large known-age validation study. *American Journal of Physical Anthropology* 123:119-129
30. Stloukal M, Hanakova H (1978) Die Länge der Längsknochen altslawischer Bevölkerungen - Unter besonderer Berücksichtigung von Wachstumsfragen / The length of long bones in ancient Slavonic populations - With particular consideration to the questions of growth. *HOMO: Journal of Comparative Human Biology* 29:53-69
31. Sundick R (1978) Human skeletal growth and age determination. *HOMO: Journal of Comparative Human Biology* 29:228
32. Hoffman JM (1979) Age estimations from diaphyseal lengths: two months to twelve years. *Journal of Forensic Sciences* 24:461-469
33. Buikstra JE, Ubelaker DH (1994) Documentation of age changes. In: *Standards for data collection from human skeletal remains. Arkansas Archeological Survey, Fayetteville, Arkansas*, p 21-39
34. Kreitner KF, Schweden FJ, Riepert T et al. (1998) Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *European radiology* 8:1116-1122
35. Schmelting A, Schulz R, Reisinger W et al. (2004) Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *International journal of legal medicine* 118:5-8
36. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V et al. (2010) Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular

- epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *International journal of legal medicine* 124:149-154
37. Todd TW (1920) Age changes in the pubic bone. I. The male white pubis. *American Journal of Physical Anthropology* 3:285-334
 38. Mckern TW, Stewart TD, Research USaQ et al. (1957) Skeletal Age Changes in Young American Males: Analysed from the Standpoint of Age Identification. *Quartermaster Research & Development Center*
 39. Gilbert BM, Mckern TW (1973) A method for aging the female Os pubis. *American Journal of Physical Anthropology* 38:31-38
 40. Garvin HM, Passalacqua NV (2012) Current practices by forensic anthropologists in adult skeletal age estimation. *Journal of Forensic Sciences* 57:427-433
 41. Brooks S, Suchey JM (1990) Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Human Evolution* 5:227-238
 42. Perizonius WRK (1984) Closing and non-closing sutures in 256 crania of known age and sex from Amsterdam (a.d. 1883–1909). *Journal of Human Evolution* 13:201-216
 43. Acsádi G, Nemeskéri J (1970) *History of Human Life Span and Mortality*. Akadémiai Kiadó, Budapest
 44. Meindl RS, Lovejoy CO (1985) Ectocranial suture closure: a revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology* 68:57-66
 45. Galera V, Ubelaker DH, Hayek LA (1998) Comparison of macroscopic cranial methods of age estimation applied to skeletons from the Terry Collection. *Journal of Forensic Sciences* 43:933-939
 46. Dorandeu A, Coulibaly B, Piercecchi-Marti MD et al. (2008) Age-at-death estimation based on the study of frontosphenoidal sutures. *Forensic science international* 177:47-51
 47. Dorandeu A, Lorin De La Grandmaison G, Coulibaly B et al. (2009) Value of histological study in the fronto-sphenoidal suture for the age estimation at the time of death. *Forensic science international* 191:64-69
 48. Alesbury HS, Ubelaker DH, Bernstein R (2013) Utility of the frontonasal suture for estimating age at death in human skeletal remains. *Journal of Forensic Sciences* 58:104-108
 49. Wehrbein H, Yildizhan F (2001) The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *European journal of orthodontics* 23:105-114
 50. Sejrsen B, Kjaer I, Jakobsen J (1993) The human incisal suture and premaxillary area studied on archaeological material. *Acta odontologica Scandinavica* 51:143-151
 51. Iscan MY, Loth SR, Wright RK (1984) Metamorphosis at the sternal rib end: a new method to estimate age at death in white males. *American Journal of Physical Anthropology* 65:147-156
 52. Herrmann B, Saternus KS (2007) *Biologische Spurenkunde: Band 1: Kriminalbiologie*. Springer Verlag
 53. Rötzscher K (2003) *Forensische Zahnmedizin*. Springer

54. Ritz-Timme S (2001) Altern auf molekularer Ebene am Beispiel der Proteine. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 34:452-456
55. Helfman PM, Bada JL (1975) Aspartic acid racemization in tooth enamel from living humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 72:2891-2894
56. Ohtani S, Yamamoto T (2010) Age Estimation by Amino Acid Racemization in Human Teeth. *Journal of Forensic Sciences* 55:1630-1633
57. Baccino E, Ubelaker DH, Hayek LA et al. (1999) Evaluation of seven methods of estimating age at death from mature human skeletal remains. *Journal of Forensic Sciences* 44:931-936
58. Armelagos GJ, Goodman, A.H (1998) Race, racism, and anthropology. In: Moran EF (ed) *Building a New Biocultural Synthesis: Political-economic Perspectives on Human Biology* University of Michigan Press
59. Spradley MK, Weisensee, K. (2012) Why do forensic anthropologists estimate ancestry, and why is it so controversial? . In: Tersigni-Tarrant MA, Shirley NR (eds) *Forensic anthropology : An Introduction*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, p 231 - 243
60. Steadman DW (2012) The Places we will go: Paths Forward in Forensic Anthropology. In: *Forensic Science: Current Issues, Future Directions*. John Wiley & Sons, Ltd, p 131-159
61. Armelagos GJ, Gerven DPV (2003) A Century of Skeletal Biology and Paleopathology: Contrasts, Contradictions, and Conflicts. *American Anthropologist* 105:53-64
62. Eveleth PB, Tanner JM (1976) *Worldwide Variation in Human Growth*. Cambridge University Press
63. Grupe G, Harbeck M, Mcglynn GC (2015) *Prähistorische Anthropologie*. Springer Berlin Heidelberg
64. Beals KL (1972) Head form and climatic stress. *American Journal of Physical Anthropology* 37:85-92
65. Boas F (1912) Changes in the Bodily Form of Descendants of Immigrants. *American Anthropologist* 14:530-562
66. Kobylansky E (1983) Changes in cephalic morphology of israelis due to migration. *Journal of Human Evolution* 12:779-786
67. Little BB, Buschang PH, Reyes MEP et al. (2006) Craniofacial dimensions in children in rural Oaxaca, Southern Mexico: Secular change, 1968–2000. *American Journal of Physical Anthropology* 131:127-136
68. Jantz RL, Meadows Jantz L (2000) Secular change in craniofacial morphology. *American Journal of Human Biology* 12:327-338
69. Tanner JM (1987) Growth as a Mirror of the Condition of Society: Secular Trends and Class Distinctions. *Pediatrics International* 29:96-103
70. Gohlke B, Wölfle J (2009) Größenentwicklung und Pubertät bei deutschen Kindern. *Deutsches Ärzteblatt International* 106:377-382
71. Hauspie RC, Vercauteren M, Susanne C (1997) Secular changes in growth and maturation: an update. *Acta paediatrica* (Oslo, Norway : 1992). Supplement 423:20-27

72. Weisensee KE, Jantz RL (2011) Secular changes in craniofacial morphology of the portuguese using geometric morphometrics. *American Journal of Physical Anthropology* 145:548-559
73. Vögele J (1998) *Urban Mortality Change in England and Germany, 1870-1913*. Liverpool University Press
74. Wilmoth JR (2000) Demography of longevity: past, present, and future trends. *Experimental gerontology* 35:1111-1129
75. Riley JC (2005) The Timing and Pace of Health Transitions around the World. *Population and Development Review* 31:741-764
76. Sparks CS, Jantz RL (2002) A reassessment of human cranial plasticity: Boas revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:14636-14639
77. United Nations DOEaSA, Population Division (2017) (2017) *International Migration Report 2017: Highlights(ST/ESA/SER.A/404)*.
78. Gill GW, Rhine S, University of New M et al. (1990) *Skeletal attribution of race : [methods for forensic anthropology]*. Maxwell Museum of Anthropology, The University of New Mexico, Albuquerque
79. Gill GW (1998) Craniofacial criteria in the skeletal attribution of race. In: Reichs KJ (ed) *Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains*. Charles C. Thomas, p 293 - 318
80. Birkby WH, Fenton TW, Anderson BE (2008) Identifying Southwest Hispanics using nonmetric traits and the cultural profile. *Journal of Forensic Sciences* 53:29-33
81. Edgar HJH (2013) Estimation of Ancestry Using Dental Morphological Characteristics. *Journal of forensic sciences* 58:S3-S8
82. Scott GR, Turner CG (1997) *The Anthropology of Modern Human Teeth: Dental Morphology and its Variation in Recent Human Populations*. Cambridge University Press, Cambridge
83. Ubelaker DH (1978) *Human skeletal remains : excavation, analysis, interpretation / Douglas H. Ubelaker*. Aldine Pub. Co, Chicago
84. Corruccini RS (1974) An examination of the meaning of cranial discrete traits for human skeletal biological studies. *American Journal of Physical Anthropology* 40:425-445
85. G V, Gowri S R M, J A (2013) Sex determination of human mandible using metrical parameters. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR* 7:2671-2673
86. Giles E, Elliot O (1962) Race identification from cranial measurement. *Journal of Forensic Sciences* 7:147 - 151
87. Gill GW (2001) Racial variation in the proximal and distal femur: heritability and forensic utility. *Journal of Forensic Sciences* 46:791-799
88. Özer BK, Özer, İ., Sağır, M., & Güleç, E. (2003) Sex determination using the tibia in ancient Anatolian population. *Mediterranean archaeology & archaeometry : international journal* 14:329 - 336
89. Bidmos MA, Dayal MR (2003) Sex determination from the talus of South african whites by discriminant function analysis. *The American journal of forensic medicine and pathology* 24:322-328

90. Jantz RLaSDO (2012) Introduction to Fordisc 3. In: Tersigni-Tarrant MTA, Shirley NR (eds) *Forensic Anthropology: An Introduction*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL, p 253 - 270
91. Fisher RA (1936) The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics* 7:179-188
92. Ousley SD, Jantz RL (2012) Fordisc 3 and Statistical Methods for Estimating Sex and Ancestry. In: *A Companion to Forensic Anthropology*. John Wiley & Sons, Ltd, p 311-329
93. Thieme FP (1957) Sex in Negro skeletons. *Journal of Forensic Medicine* 4:72 - 81
94. White TD, Folkens PA (2005) *The Human Bone Manual*. In: Elsevier Science, p 52
95. Howells WW (1996) Howells' craniometric data on the internet. *American Journal of Physical Anthropology* 101:441-442
96. Jantz RL, Moore-Jansen PH (1988) A data base for forensic anthropology. In: Report of Investigations No. 47. Department of Anthropology, University of Tennessee, Knoxville, TN
97. Shirley NR, Wilson RJ, Jantz LM (2011) Cadaver use at the University of Tennessee's Anthropological Research Facility. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 24:372-380
98. Ramsthaler F, Kreutz K, Verhoff MA (2007) Accuracy of metric sex analysis of skeletal remains using Fordisc based on a recent skull collection. *International journal of legal medicine* 121:477-482
99. Gray H, Williams PL, Bannister LH (1995) *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Medicine and Surgery*. Churchill Livingstone
100. Lama M, Mottolese C (2000) Middle meningeal artery aneurysm associated with meningioma. *Journal of neurosurgical sciences* 44:39-41
101. Liu Y, Ma J-R, Xu X-L (2012) Transcranial surgery through pterional approach for removal of cranio-orbital tumors by an interdisciplinary team of neurosurgeons and ophthalmologists. *International Journal of Ophthalmology* 5:212-216
102. Alkhalili KA, Hannallah JR, Alshyal GH et al. (2017) The minipterional approach for ruptured and unruptured anterior circulation aneurysms: Our initial experience. *Asian journal of neurosurgery* 12:466-474
103. Gray H, Standring S, Ellis H et al. (2005) *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Elsevier Churchill Livingstone
104. Eboh DEO, Obaroefe, M. (2014) Morphometric study of pterion in dry human skull bones of Nigerians. *International Journal of Morphology* 32:208 - 213
105. Lovejoy CO, Meindl RS, Mensforth RP et al. (1985) Multifactorial determination of skeletal age at death: a method and blind tests of its accuracy. *American Journal of Physical Anthropology* 68:1-14
106. Knussmann R (1988) Osteometrie. In: *Anthropologie: Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*. Fischer, p 161-191
107. Broca P (1875) Sutures de la voûte du crâne. In: *Instructions craniologiques et craniométriques de la Société d'anthropologie de Paris*. G. Masson, Paris, p 25-27

108. Murphy T (1956) The pterion in the Australian aborigine. *American Journal of Physical Anthropology* 14:225-244
109. Oguz O, Sanli SG, Bozkir MG et al. (2004) The pterion in Turkish male skulls. *Surgical and radiologic anatomy : SRA* 26:220-224
110. Morales ARE, O. R. E. & Guzman, L. S. (2011) Estudio morfológico del pterion y asterion en cráneos adultos mexicanos. *Rev. Arg. Anat. Clinc.* 3:77 - 83
111. Anumpa S, Anumpa M (2014) Pterion Formation in North Indian Population: An Anatomico-Clinical Study. *International Journal of Morphology* 32:1444 - 1448
112. Agarwal AK, Singh PJ, Gupta SC et al. (1980) Pterion formation and its variations in the skulls of Northern India. *Anthropologischer Anzeiger* 38:265-269
113. Matsumura G, Kida K, Ichikawa R et al. (1991) [Pterion and epipteric bones in Japanese adults and fetuses, with special reference to their formation and variations]. *Kaibogaku zasshi. Journal of anatomy* 66:462-471
114. Ersoy M, Evliyaoglu C, Bozkurt MC et al. (2003) Epipteric bones in the pterion may be a surgical pitfall. *Minimally invasive neurosurgery : MIN* 46:363-365
115. Mwachaka P, Hassanali J, Odula P (2009) Sutural morphology of the pterion and asterion among adult kenyans. *Brazilian journal of morphological sciences* 26:4-7
116. Natekar P, Desouza F, Natekar S (2011) Pterion: An anatomical variation and surgical landmark. *Indian Journal of Otology* 17:83-85
117. Zalawadia A, Vadgama J, Ruparelia S et al. (2010) Morphometric Study Of Pterion In Dry Skull Of Gujarat Region. *Natl J Integr Res Med.* 1:25-29
118. Ortner DJ (2003) *Human remains: conservation, retrieval and analysis.* Emily Williams (ed.). Oxford: Archaeopress (BAR Series 934), 2001. ISBN 1 84171 2280. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:173-174
119. Stelzig C, Adler K (2000) On the preconditions, circumstances and consequences of collecting: Jan Czekanowski and the Duke of Mecklenburg's expedition to Central Africa, 1907–8. *Journal of the History of Collections* 12:161-176
120. Weaver KF, Morales, V. , Dunn, S. L., Godde, K. And Weaver, P. F. (2017) t-Test. In: *An Introduction to Statistical Analysis in Research: With Applications in the Biological and Life Sciences.* John Wiley & Son, p 616
121. Scheffé H (1970) Practical Solutions of the Behrens-Fisher Problem. *Journal of the American Statistical Association* 65:1501-1508
122. Apinhasmit W, Chompoonong S, Chaisuksunt V et al. (2011) Anatomical consideration of pterion and its related references in Thai dry skulls for pterional surgical approach. *Journal of the Medical Association of Thailand* 94:205-214
123. Saxena SK, Jain SP, Chowdhary DS (1988) A comparative study of pterion formation and its variations in the skulls of Nigerians and Indians. *Anthropologischer Anzeiger* 46:75-82

124. Asala SA, Mbajjorgu FE (1996) Epigenetic variation in the Nigerian skull: sutural pattern at the pterion. *East African medical journal* 73:484-486
125. Gomez MA (1998) *Exchanging Our Country Marks: The Transformation of African Identities in the Colonial and Antebellum South*. University of North Carolina Press
126. Wang Q, Opperman LA, Havill LM et al. (2006) Inheritance of sutural pattern at the pterion in rhesus monkey skulls. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology* 288A:1042-1049
127. Abbie AA (1950) Closure of cranial articulations in the skull of the Australian aborigine. *Journal of anatomy* 84:1-12
128. Liu YH, Tang Z, Kundu RK et al. (1999) Msx2 gene dosage influences the number of proliferative osteogenic cells in growth centers of the developing murine skull: a possible mechanism for MSX2-mediated craniosynostosis in humans. *Developmental biology* 205:260-274
129. Kim HJ, Rice DP, Kettunen PJ et al. (1998) FGF-, BMP- and Shh-mediated signalling pathways in the regulation of cranial suture morphogenesis and calvarial bone development. *Development (Cambridge, England)* 125:1241-1251

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1 - Geschlechtsspezifische Merkmale am Schädel (aus [4], 2005). | 6 |
| Tabelle 2 – Vergleich der Häufigkeit von Pterion-Variationen bei verschiedenen Populationen | 27 |
| Tabelle 3 – Ethnien-Verteilung der untersuchten Schädel | 32 |
| Tabelle 4 – Geschlechtsverteilung der untersuchten Schädel..... | 33 |
| Tabelle 5 – Messpunkte Hirnschädel | 34 |
| Tabelle 6 – Messpunkte am Schädel | 37 |
| Tabelle 7 – Deskriptive statistische Auswertung nach Ethnie | 52 |
| Tabelle 8 – Vergleich der Mittelwerte in mm..... | 53 |
| Tabelle 9 – Ergebnisse des Shapiro-Wilk-Tests für Normalverteilung..... | 60 |
| Tabelle 10 – Deskriptive Statistik der Geschlechtsunterschiede – Linke Seite | 61 |
| Tabelle 11 – Levene-Test und T-Test – Geschlechtsunterschied linke Seite ... | 61 |
| Tabelle 12 – Deskriptive Statistik der Geschlechtsunterschiede der rechten Seite | 62 |
| Tabelle 13 – Levene-Test und T Test – Geschlechtsunterschied der rechten Seite | 63 |
| Tabelle 14 – Levene-Test für die Homogenität der Varianzen – linke Seite..... | 64 |
| Tabelle 15 – ANOVA für die linke Seite..... | 64 |
| Tabelle 16 – Welch- und Brown-Forsythe-Test für die linke Seite..... | 65 |
| Tabelle 17 – Deskriptive Statistik der einzelnen Gruppen – linke Seite..... | 65 |
| Tabelle 18 – Tukey HSD Comparison Test – linke Seite..... | 67 |
| Tabelle 19 – Games- Howells Comparison Test – linke Seite..... | 68 |
| Tabelle 20 – Levene-Test für Homogenität der Varianzen – rechte Seite | 69 |
| Tabelle 21 – ANOVA für die rechte Schädelseite..... | 69 |
| Tabelle 22 – Welch- und Brown-Forsythe-Test für rechte Schädelseite..... | 69 |
| Tabelle 23 – Deskriptive Statistik der einzelnen Gruppen – rechte Schädelseite | 70 |
| Tabelle 24 – Tukey HSD Comparison Test – rechte Seite | 71 |
| Tabelle 25 - Games- Howells Comparison Test – rechte Seite | 72 |
| Tabelle 26 – Häufigkeit der Pterion-Varianten bei männlichen und weiblichen Schädeln [115] | 79 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1 - Geschlechtsdimorphismus am Beckenknochen aus [10] | 5 |
| Abbildung 2– Pterion in der seitlichen Ansicht des menschlichen Schädels | 25 |
| Abbildung 3 aus [109] – Morphologische Pterion Varianten | 26 |
| Abbildung 4 - Messpunkte des Schädels nach Martin [106]..... | 36 |
| Abbildung 5 - Messpunkte des Schädels nach Martin [106]..... | 37 |
| Abbildung 6 – Messpunkte des Gesichtsschädels [106] | 40 |
| Abbildung 7 – Schädel fixiert auf Knetmasse | 42 |
| Abbildung 8 - Startseite 3Skull | 44 |
| Abbildung 9 – Beispielhafte Erfassung der Koordinaten mit dem Microscribe und 3Skull..... | 45 |
| Abbildung 10 - Errechnung der Distanzen zwischen den Landmarken durch 3Skull | 46 |
| Abbildung 11 – Ausmessung des Unterkiefers..... | 47 |
| Abbildung 12 – Histogramm gesamter Datensatz linke Schädelseite | 54 |
| Abbildung 13 – Histogramm gesamter Datensatz rechte Schädelseite | 55 |
| Abbildung 14 - Histogramm für die linke Seite – Deutsche | 56 |
| Abbildung 15 - Histogramm rechte Seite – Deutsche..... | 56 |
| Abbildung 16 – Histogramm für die linke Seite – Afroamerikaner | 57 |
| Abbildung 17 - Histogramm für die rechte Seite – Afroamerikaner..... | 57 |
| Abbildung 18 – Histogramm für die linke Seite – Euroamerikaner | 58 |
| Abbildung 19 – Histogramm für die rechte Seite – Euroamerikaner..... | 58 |
| Abbildung 20 – Histogramm für die linke Seite – Ruander | 59 |
| Abbildung 21 – Histogramm für die rechte Seite – Ruander | 59 |

Urheberrecht:

Verwendung von Abbildung 1 mit Genehmigung des Arkansas Archeological Survey.

Für Abbildung 2 wurden im Rahmen der Creative Commons Lizenz alle Urheberrechte aufgegeben.

Verwendung von Abbildung 3 mit Genehmigung von Springer Nature, aus Surgical and Radiologic Anatomy, The pterion in Turkish male skulls, Ö. Oguz et al, 2003, Erlaubnis übermittelt durch Copyright Clearance Center, Inc.

Verwendung von Abbildung 4, 5 und 6 mit Genehmigung von Elsevier Health Science Books aus Anthropologie: Handbuch der Vergleichenden Biologie des Menschen; Erlaubnis übermittelt durch Copyright Clearance Center, Inc.

Danksagung

Meiner Betreuerin Frau. Dr. med. Katharina Jellinghaus und meinem Doktorvater Herr Prof. Dr. med. Bohnert danke ich von Herzen für die Überlassung des Themas, die wundervolle Betreuung und die unermüdliche Unterstützung.

Mein besonderer Dank gilt Herr Prof. Richard Jantz von der Universität Tennessee für die Überlassung der Daten und die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Frau Petra Urban aus der Biologischen Anthropologie der Medizinischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg danke ich für die mehrfache Durchsicht meiner Arbeit und dem konstruktiven Feedback. Herr Michael Francken vom Institut für Naturwissenschaftliche Archäologie in Tübingen und Frau Dr. S. Holley vom Institut für Rechtsmedizin in München danke ich für die angenehme Zusammenarbeit bei der Datenerfassung.

Weiterer Dank gilt den Doktoranden und den Mitarbeitern des Instituts für Rechtsmedizin in Würzburg für die Unterstützung bei der Erstellung dieser Doktorarbeit.

Tief verbunden und dankbar bin ich meiner Verlobten, meinen Geschwistern und Freunden, für die moralische Unterstützung und ihr ständiges Verständnis bei der Anfertigung dieser Doktorarbeit.

Der größte Dank gilt jedoch meinen Eltern, die dies alles und noch vieles mehr für mich überhaupt ermöglichten.

Lebenslauf

Sajid Matin

Name Sajid Matin
geb. 15. März 1993

Akademische Laufbahn

April 2013 – Mai 2019 Universität Würzburg
Humanmedizin
Sept 2003 – Juli 2012 A - Levels (Victoria Englisch School, VAE)
Leibnizgymnasium Stuttgart - Feuerbach
Sept 1999 – Juli 2003 Grundschule Stuttgart - Feuerbach

Praktische Erfahrung

Juni 2019 – heute Assistenzarzt Innere Medizin – Katharinenhospital,
Stuttgart
Mai 2018 - April 2019 Praktisches Jahr - Universitätsklinikum Würzburg
Schwerpunkt: Innere / Chirurgie
Wahltertial: Allgemeinarztpraxis Dr. Heckel
März 2016 - April 2016 Katharinenhospital - Klinik für Viszeral und
Allgemeinchirurgie - Famulatur
Sept 2015 - Okt 2015 Praxis Dr. Matin - Famulatur

Kenntnisse & Fähigkeiten

Sprachen Englisch: fließend
Deutsch: fließend
Arabisch: ausbaufähig
Paschtu: Muttersprache
Urdu: Grundkenntnisse