

Geschlechtsdiskriminierung und Körperhöhenbestimmung anhand intrakranieller Parameter am menschlichen Schädel – Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Digitale Forensische Osteologie“

Inauguraldissertation
zur Erlangung eines Doktors der Zahnmedizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Lars Schroeder
aus Aachen

Gießen 2010

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
des Universitätsklinikums Gießen und Marburg GmbH

Standort Gießen

Leiter: Prof. Dr. Dr. R. Dettmeyer

Gutachter: Prof. Dr. Verhoff

Gutachter: Prof. Dr. Dr. Howaldt

Tag der Disputation: 08.06.2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	4
1.1	Methoden zur Geschlechtsdiskriminierung	5
1.2	Methoden zur Körperhöhenbestimmung	7
1.3	Das Virtopsy®-Projekt	10
1.4	Das Projekt „Digitale Forensische Osteologie“	13
1.5	Zielsetzung der Arbeit	15
2	Material und Methoden	16
2.1	CT-Technik	16
2.2	Das Virtopsy®-System	18
2.3	Untersuchungsmaterial	27
2.4	Statistische Methoden	34
3	Ergebnisse	35
3.1	Ergebnisse zur Geschlechtsbestimmung	36
3.2	Ergebnisse zur Körperhöhenschätzung	41
4	Diskussion	44
5	Zusammenfassung	49
6	Abstract	50
7	Literatur	51
8	Anhänge	57
8.1	Statistische Tabellen	57
8.2	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	74
8.2.1	Tabellen	74
8.2.2	Abbildungen	76
8.3	Ehrenwörtliche Erklärung	78
8.4	Lebenslauf	79
8.5	Danksagung	80

1 Einleitung und Problemstellung

Definition: Identifikation, Identifizierung [lat.],

1. allg.: Gleichsetzung, die Feststellung, dass etwas identisch ist.
2. Gerichtswesen: der Nachweis der Identität einer Person oder Sache.

Die Identifizierung eines unbekanntes Toten ist ein wichtiger Aufgabenbereich der Rechtsmedizin und der forensischen Anthropologie.

Die Identität eines unbekanntes Leichnams kann im Idealfall mit Hilfe von Ausweispapieren, Fotos, persönlichen Gegenständen, Fingerabdrücken, individuellen Körpermerkmalen oder anhand des Zahnstatus festgestellt werden. Als sichere Identifikationsmerkmale gelten dabei: Fingerabdruck, Vergleich der DNA mit derjenigen von Blutsverwandten und Übereinstimmung des Zahnstatus (<http://www.irm.unibe.ch/lenya/irm/live/Lexikon.html>).

Als besonders schwierige, aber auch wichtige Aufgabe erweist sich die Identifikation nach Massenkatastrophen oder wenn Körper durch chemische, thermische oder mechanische Noxen oder durch Verwesung unkenntlich geworden sind. Dann stehen nach *Verhoff et al. (2006)* insbesondere DNA-Analyse (*Wiegand et al. 2003*), forensische Odontostomatologie (*Lessig et al. 2003*) oder Röntgenvergleich (*Rothschild et al. 2001*) als mögliche Methoden für die Identifizierung zur Verfügung. Voraussetzung für eine erfolgreiche Identifizierung ist das Vorhandensein von Vergleichsmaterial, das bei der betreffenden Person zu Lebzeiten gewonnen wurde. Daraus wird ersichtlich, dass zunächst konkrete (vermisste) Personen ermittelt werden müssen, deren Daten mit dem unbekanntes Toten bzw. den menschlichen Überresten verglichen werden können. Daher ist der erste Schritt die Untersuchung von Identitätsmerkmalen, die auf eine (oder mehrere) vermisste Person(en) hinweisen können.

Wichtige Hinweise auf die Identität sind die Ermittlung von Geschlecht, Lebensalter und Körpergröße mittels osteologischer Untersuchungen (*Verhoff et al. 2006*).

1.1 Methoden zur Geschlechtsdiskriminierung

Bislang gibt es eine Vielzahl an morphologischen Methoden für die Geschlechtsbestimmung am menschlichen Skelett. Dabei sind insbesondere das Becken und der Schädel Träger der Sexualdimorphismen (*France 1998*).

Nach *Giles (1964)* ist neben dem Becken der Schädel der Skeletteil, der am besten für die Geschlechtsbestimmung herangezogen werden kann. Hierbei gibt es verschiedene Merkmale die sich in Form oder Größe unterscheiden (Tab. 1).

Merkmal	Männliche Eigenschaften	Weibliche Eigenschaften
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, stärker hervortretend, gerundet	Klein bis mittel, weniger hervortretend, scharf
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, geringere Ausmaße
Hinterhauptscondylen	Größer	Kleiner

Tab. 1: Zusammenstellung geschlechtsspezifischer morphognostischer Merkmale am Erwachsenenschädel (Verhoff MA, Kreutz K, 2005)

Auch ein Unterschied im Gewicht des menschlichen Schädels bei Männern und Frauen wurde festgestellt. *Leopold (1998)* fand für die Schädel von Männern Werte zwischen 560-990g, für Frauenschädel 440-720g. Anhand kranio-metrischer Untersuchungen zeigte er, dass der horizontale Umfang des Schädels beim Mann mit einem Mittelwert von 53cm größer war als bei Frauen mit 51cm. Auch Orbitahöhe und -breite waren beim Mann im Mittel größer.

Die Schädelbasis wurde ebenfalls auf Parameter für die Geschlechtsdifferenzierung untersucht. Bei Recherchen von *Leopold (1998)* hatte das Foramen magnum des

männlichen Schädels einen durchschnittlichen Flächeninhalt von über 964 mm². Die weiblichen Schädel wiesen einen Wert von unter 806 mm² auf.

Außerdem untersuchten *Catalina-Herrera (1987)*, *Gunay et al. (2000)* und *Murshed et al. (2003)* das Foramen magnum in Bezug auf die Geschlechtsdifferenzierung und gaben an, dass bei Frauen der Mittelwert für die Fläche des Foramen magnum geringer war als bei Männern.

Die Analysen von *Teixeira (1982)*, *Uysal et al. (2005)* und *Gapert et al. (2008)* ergaben ebenfalls, dass das Foramen magnum für Untersuchungen zur Geschlechtsunterscheidung herangezogen werden kann.

Graw (2001) stellte fest, dass auch der Verlauf des Meatus acusticus internus in der Pars petrosa des Schädels als Merkmal für die Geschlechtsdiskriminierung genutzt werden kann, da er bei Frauen von der Facies posterior her steiler absteigt. Auch bei Kindern ist diese Unterscheidung möglich, *Graw (2001)* gibt jedoch zu bedenken dass dieses Verfahren sehr aufwendig sei.

Des Weiteren ermittelte er, dass die aufgelisteten Messstrecken beim männlichen Schädel signifikant größere Maße aufweisen:

- ▲ Glabella-Porion
- ▲ Glabella-dorsaler Kantenpunkt am Porus acusticus internus
- ▲ hintere Schädellänge
- ▲ größte Schädellänge
- ▲ Biauricularbreite
- ▲ Abstand zwischen den beiden dorsalen Kantenpunkten am Porus acusticus internus

1.2 Methoden zur Körperhöhenbestimmung

Leopold (1998) definiert die Körperhöhe als die Distanz zwischen dem am weitesten distal gelegenen Punkt der Fußsohle am rechtwinklig zum Unterschenkel gehaltenen Fuß (Plantare) und dem höchsten Punkt des Scheitels in der Medianebene (Vertex) wenn eine Messung im Stehen erfolgt.

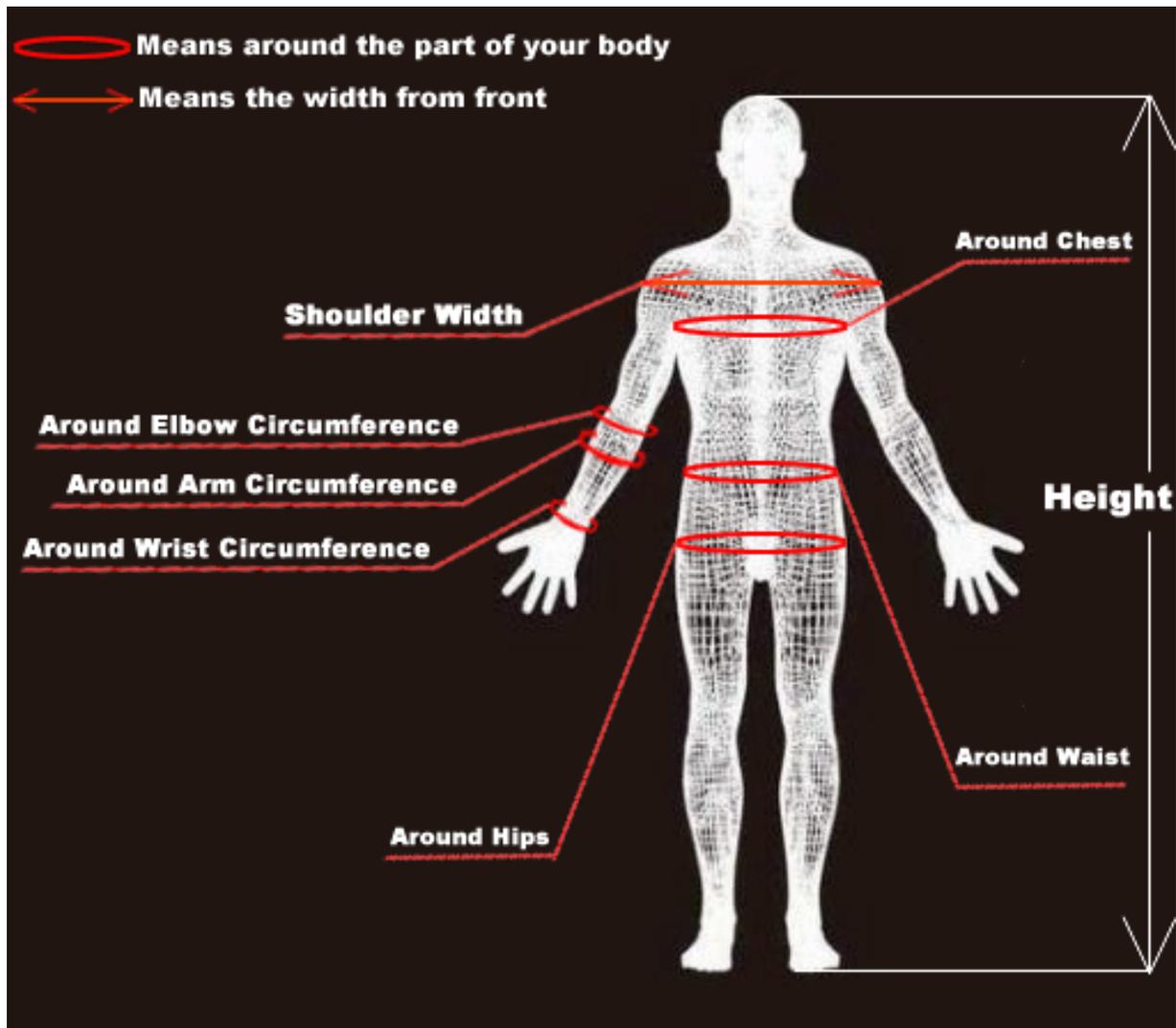


Abb. 1: Messung der Körperhöhe

(<http://costumefamily.com/store/images/cosplay/new/chart2.gif>)

Wird das Maß im Liegen bestimmt so lautet die Bezeichnung Körperlänge. Der Begriff Körpergröße lässt im Prinzip keine genaue Beurteilung über das Messverfahren zu, wird jedoch häufig synonym zu Körperhöhe verwendet.

Die Körperhöhe zählt zu den biometrischen Merkmalen und wird in Deutschland und vielen anderen Staaten in entsprechenden Identifikationspapieren vermerkt (http://bundesrecht.juris.de/persauswg/___1.html).

Durch lineare Regressionsanalysen konnte ein Zusammenhang zwischen den Längen großer Röhrenknochen und der Körperhöhe eines Menschen dargestellt werden (*Leopold 1978*). Diese Beziehungen befinden sich in einem dynamischen Zustand. Zudem besteht eine Abhängigkeit zu Alter, Geschlecht und Körpergröße.

Penning et al. (2003) führten an, dass erste nachvollziehbare Ansätze zur Körpergrößenschätzung aus der Römerzeit stammen. Nach Vitruvius beträgt die Körpergröße das 8-fache der Kopfhöhe und das 6-fache der Fußlänge (*Menschik 1987*).

In der Neuzeit wurden lineare Umrechnungsfaktoren von der Knochenlänge auf die Körpergröße verwendet, z.B. nach *Langer (1872)*:

Körpergröße = Femurlänge x 3,84 = Tibiallänge x 4,65 = Humeruslänge x 5,0 etc.

Der Mathematiker und Anthropologe *Pearson (1899)* etablierte 1899 die Anwendung linearer Regressionsformeln.

Nach *Rösing (1988)* kann heute insgesamt von einem Konsens zur Anwendung linearer Regressionsformeln der Art „Körpergröße = a * Knochenlänge + b“ mit Angaben eines linearen Schätzfehlers ausgegangen werden.

Ryan et al. (2007) führten an, dass die langen Röhrenknochen nicht immer für forensische Untersuchungen zur Verfügung stehen, so dass es von Nöten sei, andere Knochen wie den Schädel in Bezug auf eine mögliche Körperhöhenschätzung zu untersuchen. Hierfür wurden sechs Messstrecken an den Schädeln von 99 einheimischen Südafrikanischen Leichen der Universität Witwatersrand erhoben:

- ▲ Geringste frontale Breite
- ▲ Maximale Schädellänge
- ▲ Maximale Distanz zwischen linkem und rechtem Jochbein
- ▲ Distanz Basion-Nasion
- ▲ Obere Gesichtshöhe (Distanz Nasion-Prosthion)
- ▲ Distanz Basion-Bregma

Dabei kamen *Ryan et al. (2007)* zu dem Ergebnis, dass die Abweichung des Standardmessfehlers bei dieser Studie hoch war im Vergleich zu anderen Studien, die auf Messungen der langen Röhrenknochen basieren. Aus diesem Grund müssten die Gleichungen aus dieser Untersuchung bei forensischen Fällen, in denen nur der Schädel für die Identifizierung zur Verfügung steht, mit Vorsicht angewandt werden.

Kalia et al. (2008) recherchierten in einer Studie an 100 Patienten den Zusammenhang zwischen Körperhöhe und Durchmesser sowie Umfang des Schädels, ebenso wie der mesiodistalen Breite der Frontzähne des Oberkiefers. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Messung der Zahnbreite alleine nicht für eine Körperhöhenbestimmung nützlich sei. In Kombination mit der Erhebung der Schädelmaße erhöhe sie jedoch die Zuverlässigkeit der Untersuchung.

1.3 Das Virtopsy®-Projekt

Das Virtopsy®-Projekt wurde im Jahr 2000 am Rechtsmedizinischen Institut der Universität Bern in der Schweiz gestartet. Es handelt sich hierbei um ein System das aus mehreren technischen Einheiten zusammengesetzt ist: CT, MRT und 3D-Oberflächenscanner (Abb. 2 und Abb. 3).

Mit diesem System ist die Rekonstruktion eines hoch auflösenden 3D-Farbbildes der Körperoberfläche sowie eine 3D-Dokumentation des Körperinneren möglich (*Dirnhofer et al. 2006*).



Abb. 2: MSCT Emotion 6 (Siemens, Germany) & ATOS III (GOM, Germany). Simulation of 3D surface scanning with a puppet (<http://www.virtopsy.com>)



Abb. 3: MRI 1.5 Tesla (General Electrics, USA) at the Insel Hospital, Bern (<http://www.virtopsy.com/>)

Das Wort Virtopsy setzt sich zusammen aus virtual und autopsy. Wie der Name besagt ist es also möglich eine „virtuelle Autopsie“ durchzuführen. Die Autopsie im traditionellen Sinn kann nach *Dirnhofer et al. (2006)* durch die neuen bildgebenden Verfahren unterstützt beziehungsweise teilweise sogar ersetzt werden.

Das Ziel des Virtopsy®-Projektes ist nach *Thali et al. (2007)*, dass Dokumentations- und Autopsieverfahren in einer Welt der High-tech Medizin vorangetrieben werden, um so die Qualität und den wissenschaftlichen Wert des Fachgebietes der Rechtsmedizin zu steigern.

Nach *Dirnhofer et al. (2006)* zeichnet sich das Virtopsy®-Projekt dadurch aus, dass es unabhängig vom Untersucher, objektiv und nicht-invasiv ist. Das neue Verfahren wird ihrer Ansicht nach zur Qualitätsverbesserung in der forensischen Arbeitswelt

führen; weiterhin könnte die konventionelle Autopsie ersetzt werden, welche oftmals von Familienmitgliedern oder aus kulturellen oder religiösen Gründen abgelehnt wird. Ebenfalls sind Rekonstruktionen von Verkehrsunfällen - besonders anschaulich für Laien- möglich.

Buck et al. (2007) sind der Ansicht, dass dreidimensionale bildgebende Verfahren neben der konventionellen Autopsie an Bedeutung in der Rechtsmedizin gewinnen werden. *Bolliger et al. (2008)* führten an, dass Daten über längere Zeit gespeichert und somit wieder aufgerufen werden können nachdem eine Leiche bereits beerdigt worden ist. Somit können eventuell notwendige neue Untersuchungen lange Zeit später vorgenommen werden. *Thali et al. (2007)* sehen einen weiteren Vorteil von Virtopsy® in der Möglichkeit der minimal-invasiven Entnahme von Gewebeproben für zytologische, histologische, chemische oder biochemische Analysen. Zudem gestaltet sich die Untersuchung von Leichen, welche z.B. durch toxische oder infektiöse Substanzen kontaminiert sind, als wesentlich einfacher. *Jackowski et al. (2005)* berichten über einen Fall, bei dem die Autopsieergebnisse eines dreijährigen Mädchens mit einer Streptokokkeninfektion ausschließlich durch postmortale Bildgebung und minimal-invasive Untersuchungsverfahren erlangt werden konnten.

1.4 Das Projekt „Digitale Forensische Osteologie“

Nach *Penning et al. (2003)* ist die forensische Osteologie- also die Identifikation von oder anhand von Knochen bzw. Skelettfunden- ein spezialisierter Bereich der in der Rechtsmedizin anwendbaren Identifikationsmethoden. Dabei ergibt sich folgende Fragestellung:

- ⤴ Handelt es sich um menschliche Knochen?
- ⤴ Geschlechtsbestimmung
- ⤴ Eingrenzung des Lebensalters
- ⤴ Gegebenenfalls Eingrenzung der ethnischen Herkunft
- ⤴ Eingrenzung der Liegezeit
- ⤴ Schätzung der Körpergröße
- ⤴ Feststellung individueller indentifizierender Merkmale

Im Rahmen des Projekts der digitalen forensischen Osteologie stellten sich *Verhoff et al. (2007)* der Aufgabe zu überprüfen, ob klassische osteometrische Parameter an postmortalen CT-Scans, die anlässlich des Virtopsy®-Projektes (<http://www.virtopsy.com>) am Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern (Schweiz) entstanden sind (*Jackowski et al. 2006, Thali et al. 2002, 2003, 2005*), erhoben werden können.

2001 wurde gezeigt, dass die digitale Auswertung von Digitalfotografien bei der Geschlechtsdifferenzierung an der Mandibula hilfreich sein kann (*Schmittbuhl et al. 2001*). Eine hoch auflösende Computertomographie (CT) war die Basis für die digitale Rekonstruktion des Schädels des Sahelanthropus tchadensis (*Zollikofer et al. 2005*).

Vor diesem Hintergrund entstand die Idee für die forensisch-osteologische Datenerhebung auf rezente „digitale Knochen“ zurückzugreifen, die bei einer CT-Untersuchung gespeichert wurden. Wünschenswert wären nach *Verhoff et al. (2007)* Ganzkörper-CT-Scans mit hoher Auflösung, zu denen persönlichkeitsrelevante Merkmale (Geschlecht, Alter, Körpergröße) bekannt seien. Zudem müssten pathologische Prozesse dokumentiert sein, die einen Einfluss auf die Skelettmorphologie haben und die Verwendung der erhobenen Parameter einschränken könnten.

An vier isolierten, mazerierten und anonymisierten Schädeln vom anatomischen Institut der Universität Bern wurden von drei erfahrenen und drei unerfahrenen (jedoch intensiv in die Methoden der forensischen Osteologie eingeführten) Untersuchern 33 lineare Messstrecken nach Martin und Saller (*Martin et al. 1957*) erhoben und konventionell vermessen (*Verhoff et al. 2008*). Nach den Voruntersuchungen zur Definition des Standards wurden die 3D-Rekonstruktionen der vier isolierten Schädel von allen sechs Untersuchern vermessen.

Verhoff et al. (2007) kamen hierbei zu dem Ergebnis, dass an digitalen 3D-Rekonstruktionen von Knochen nach Spiral-CT-Scans von Leichen im Rahmen des Virtopsy®-Projektes gleichwertige osteometrische Werte erhoben werden können wie bei der klassischen manuellen („analogen“) Untersuchung realer Knochen. Die systembedingten und untersucherabhängigen Messfehler sind demnach für beide Methoden vergleichbar. Größere Abweichungen zwischen beiden Methoden gibt es nach *Verhoff et al. (2008)* nur bei Werten, die bereits bei der klassischen Untersuchung eine hohe untersuchungsabhängige Streuung zeigen.

Verhoff et al. (2007) betonten, dass die Datensätze von Verstorbenen, die im Rahmen des Virtopsy®-Projektes gespeichert wurden, gegenüber diagnostisch-radiologischen Daten den Vorteil bieten, dass sie nicht nur einen kleinen Ausschnitt, sondern meist den gesamten Körper abbilden. Zudem wurde angemerkt, dass persönlichkeitsrelevante Daten wie Alter, Geschlecht und Statur zuverlässig bekannt sind. Schließlich stellt sich die Frage, ob somit neue osteologische Parameter mit Korrelation zu diesen Daten definiert werden könnten.

1.5 Zielsetzung der Arbeit

Während die Geschlechtsbestimmung von Überresten eines menschlichen Schädels mittels morphologischer Untersuchungen zu den konventionellen Methoden zählt, ist die Anwendung neuer bildgebender Verfahren wie sie im Rahmen des Virtopsy®-Projektes zur Verfügung stehen noch ungebräuchlich.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu untersuchen, ob eine Geschlechtsdifferenzierung und eine Körperhöhenschätzung anhand intrakraniell zu messender Parameter der menschlichen Schädelbasis mit Hilfe des Virtopsy®-Systems möglich ist.

Folgende Parameter sollten dabei überprüft werden:

1. Intrakraniell gemessene Distanzen der Foramina untereinander und jeweils zwischen der rechten und linken Seite:
 - ▲ Foramen rotundum
 - ▲ Foramen ovale
 - ▲ Foramen spinosum
 - ▲ Foramen lacerum
 - ▲ Foramen jugulare
2. Länge und Breite des Foramen magnum

Neben den reinen Messwerten sollten insbesondere im Bezug auf die Geschlechtsdiskriminierung verschiedene Indices gebildet und überprüft werden.

2 Material und Methoden

2.1 CT-Technik

Die theoretischen Grundlagen zur Computertomographie wurden bereits 1961 von Oldendorf vorgestellt (*Grumme et al. 1998*). Nachdem Cormack 1963 weitere mathematische Vorarbeiten vorlegte, gelang Godfrey Hounsfield 1968 erstmals die praktische Umsetzung (Abb. 4).

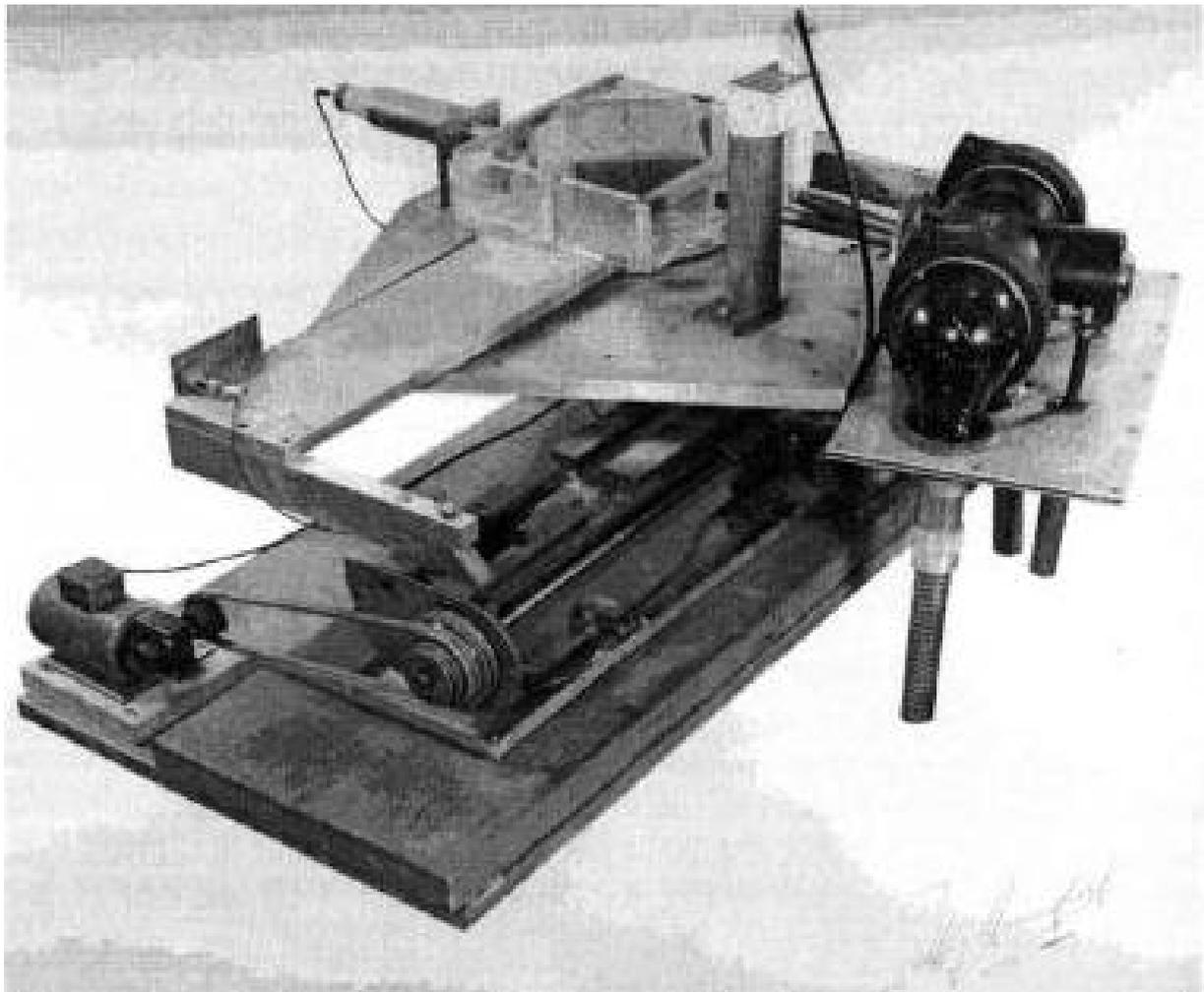


Abb. 4: Hounsfield, 1968, erster Experimental-Scanner (<http://www.meb.uni-bonn.de/epileptologie/cms/upload/homepage/lehnertz/CT1.pdf>)

Cormack und Hounsfield erhielten für ihre Arbeit 1979 den Nobelpreis für Medizin.

Nach *Buzug (2005)* ist die Computertomographie heutzutage nicht mehr aus der klinischen Routine wegzudenken und war ein enormer technischer Fortschritt in den siebziger Jahren innerhalb der medizinischen Diagnostik.

Sie ist ein röntgenologisches Verfahren, das überlagerungsfreie Transversalschichtbilder liefert, indem sich ein Röntgenröhren-Detektor-System kreisförmig um ein Objekt dreht. Die Detektoren messen dabei die Strahlungsintensität nach Durchstrahlung des Objektes. Anhand dieser registrierten Strahlungsintensität wird durch einen Computer ein Bild der durchstrahlten Körperschicht berechnet (*Krestin 1996*).

Die als Messelement wirkenden Detektoren wandeln dabei die Strahlung in elektrische Signale um. Neuere CT-Generationen verwenden hierfür anstelle des früher gebräuchlichen Xenon-Gasdetektors nun so genannte Festkörperdetektoren mit Szintillationskristallen (*Blobel 2002*).

Bei Computertomographen der ersten Generation handelte es sich um Rotations-Translationsscanner mit Einzeldetektoren. Diese wurden durch Geräte der zweiten bis vierten Generation mit rotierenden Detektorenfeldern mit Fächerstrahl ersetzt. Heute findet sich üblicherweise ein feststehender Detektorenkranz mit rotierender Röntgenröhre. Einerseits ergeben sich hierdurch schnellere Untersuchungszeiten, andererseits aber auch eine verbesserte räumliche Auflösung bei gleichfalls höherer Kontrastauflösung.

Moderne Geräte arbeiten im Spiralverfahren, das so genannte Spiral- oder Helix-CT. Dabei rotiert die Strahlungsquelle konstant, während der Patient auf seiner Liege über eine definierte Distanz bewegt wird. Hierbei können je nach Gerät mehrere Axialebenen erfasst werden, woraus sich die Bezeichnung Multislice-Verfahren ableitet. Die elektronische Umsetzung der gesammelten Daten in anderen Ebenen oder als dreidimensionale Abbildung ist ebenfalls möglich (*Grumme et al. 1998*).

Ein errechnetes CT-Bild setzt sich aus einer Matrix von Volumenelementen = Voxeln zusammen. Die Schwächung der Röntgenstrahlen in einem Volumenelement wird als Dichtewert in Hounsfield-Einheiten (HE) angegeben. Wasser wird als Nullpunkt dieser Dichteskala festgelegt; als Grenzwerte der Skala hat Luft eine Dichte von -1000 HE und Knochen von +1000 HE (*Bahner et al. 2001*).

2.2 Das Virtopsy®-System

Das Virtopsy®-System des Rechtsmedizinischen Instituts der Universität Bern setzt sich aus diverser technischem Equipment zusammen. Es umfasst

- ♣ ein 6 Detektorreihen Multislice-CT der Firma Siemens (Somatom Emotion Duo/Emotion 6)
- ♣ ein Magnet-Resonanz-Tomographie-System (1.5 T MRI system (Signa EchoSpeed Horizon, 5.8 unit, GE, USA))
- ♣ einen 3D-Oberflächenscanner (GOM TRITOP/ATOS III System (GOM, Braunschweig, Germany))

(Dirrhofer et al. 2006).

Die bei dieser Studie untersuchten Datensätze wurden mit dem Spiral-CT mit einer Schichtdicke von 1,25mm oder 0,63mm gescannt.

Mit Hilfe der Leonardo Workstation (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) konnten die zur Verfügung stehenden und für die Studie geeigneten Datensätze eingelesen werden (Abb. 5). Anhand der digitalen 3D-Rekonstruktion der Schädel wurden anschließend die erwünschten Messstrecken erhoben.

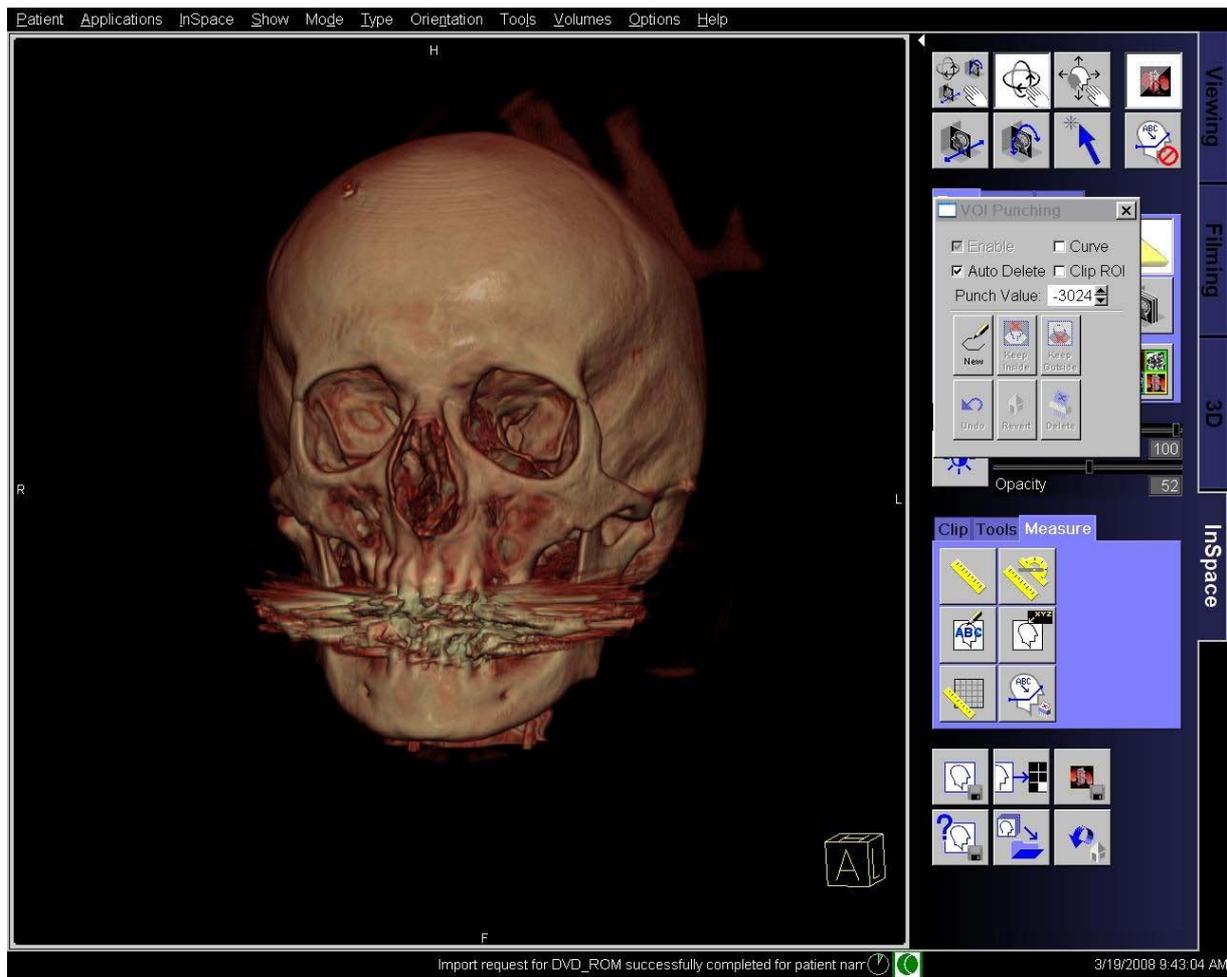


Abb. 5: Arbeitsoberfläche der Leonardo Workstation

Hierfür mussten zunächst nach dem Hochladen eines Datensatzes störende und nicht zu gebrauchende Bildanteile herausgeschnitten werden. Durch gezieltes „Fenster“, also Festlegen der oberen und unteren Grenzen der dargestellten Hounsfield-Units an der Workstation konnten die nicht benötigten Weichteilstrukturen in der Darstellung entfernt werden (Abb. 6 und Abb. 7).



Abb. 6: Digitale 3D-Rekonstruktion eines Schädels nach dem Hochladen



Abb. 7: Darstellung des Schädels nach "Fenstern"

Anschließend wurde der Schädel mit Hilfe des Gitterrasters in der Frankfurter Ebene ausgerichtet (*Martin 1914, Martin et al. 1957*) und das Schädeldach virtuell entfernt (*Abb. 8 und Abb. 9*).

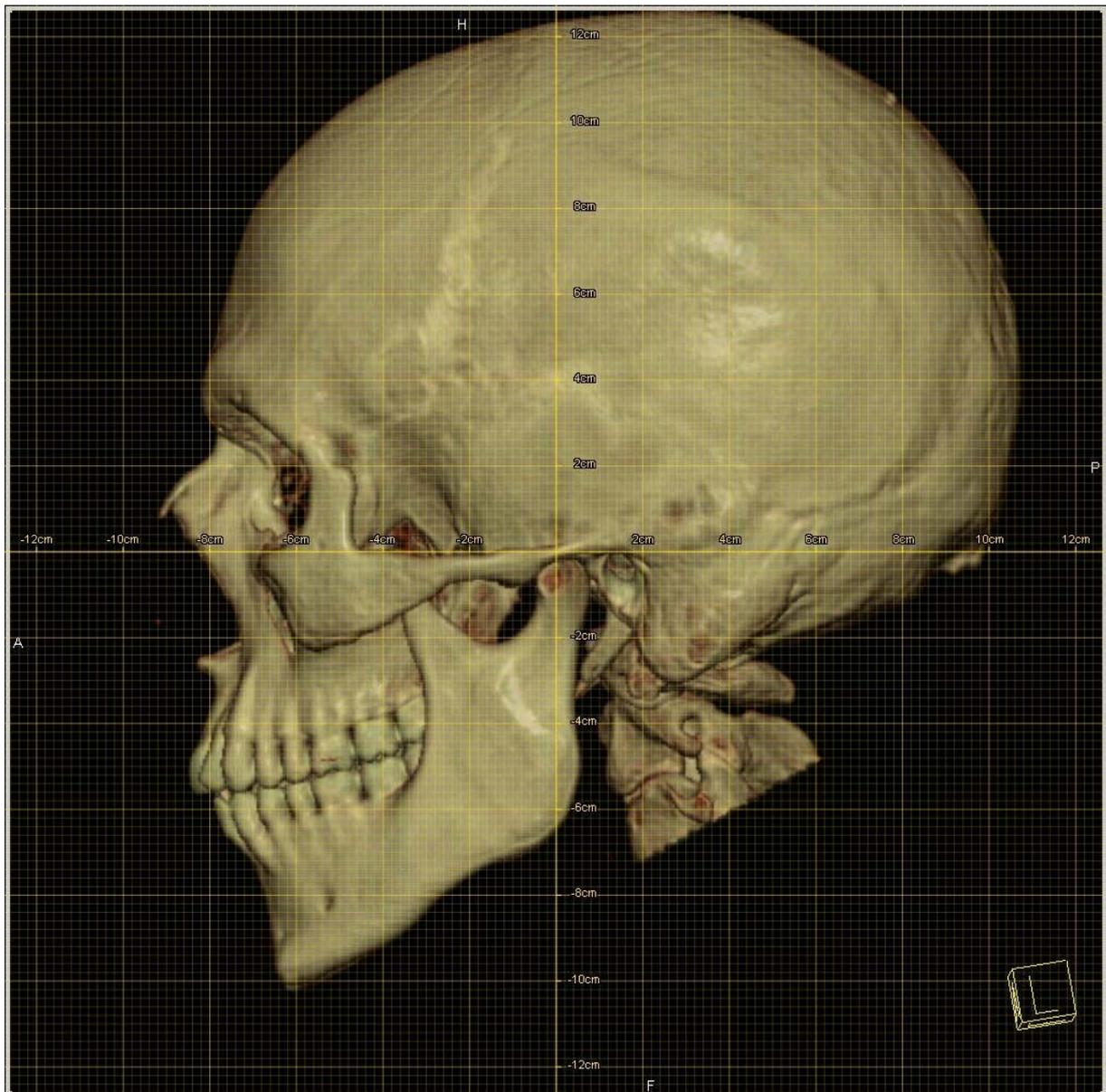


Abb. 8: Schädel nach der Frankfurter Ebene ausgerichtet

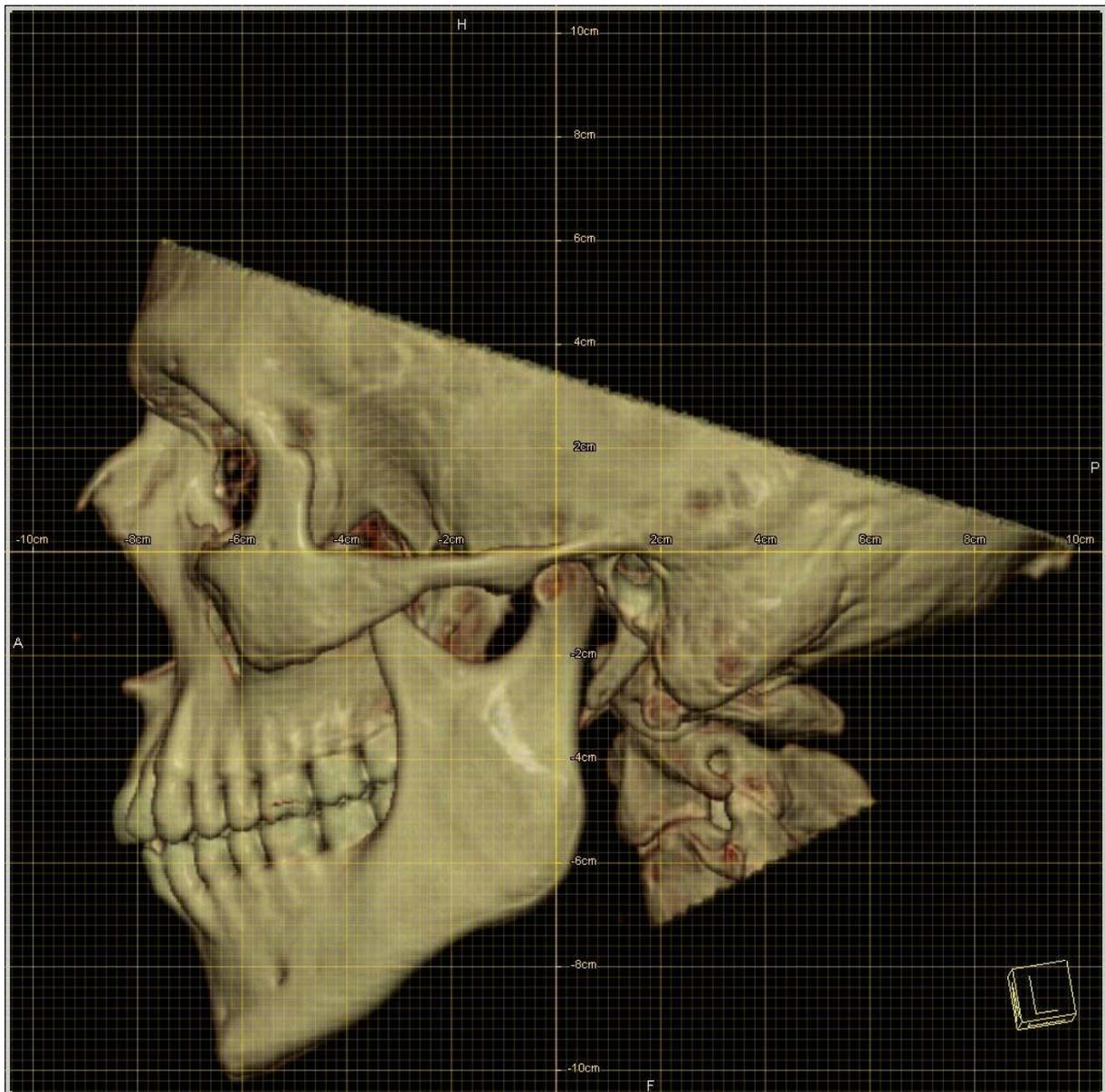


Abb. 9: Schädeldach „entfernt“

Daraufhin wurde die 3D-Rekonstruktion entlang des Gitterrasters um exakt 90 Grad nach vorne gedreht, so dass die Schädelbasis einzusehen war (Abb. 10).

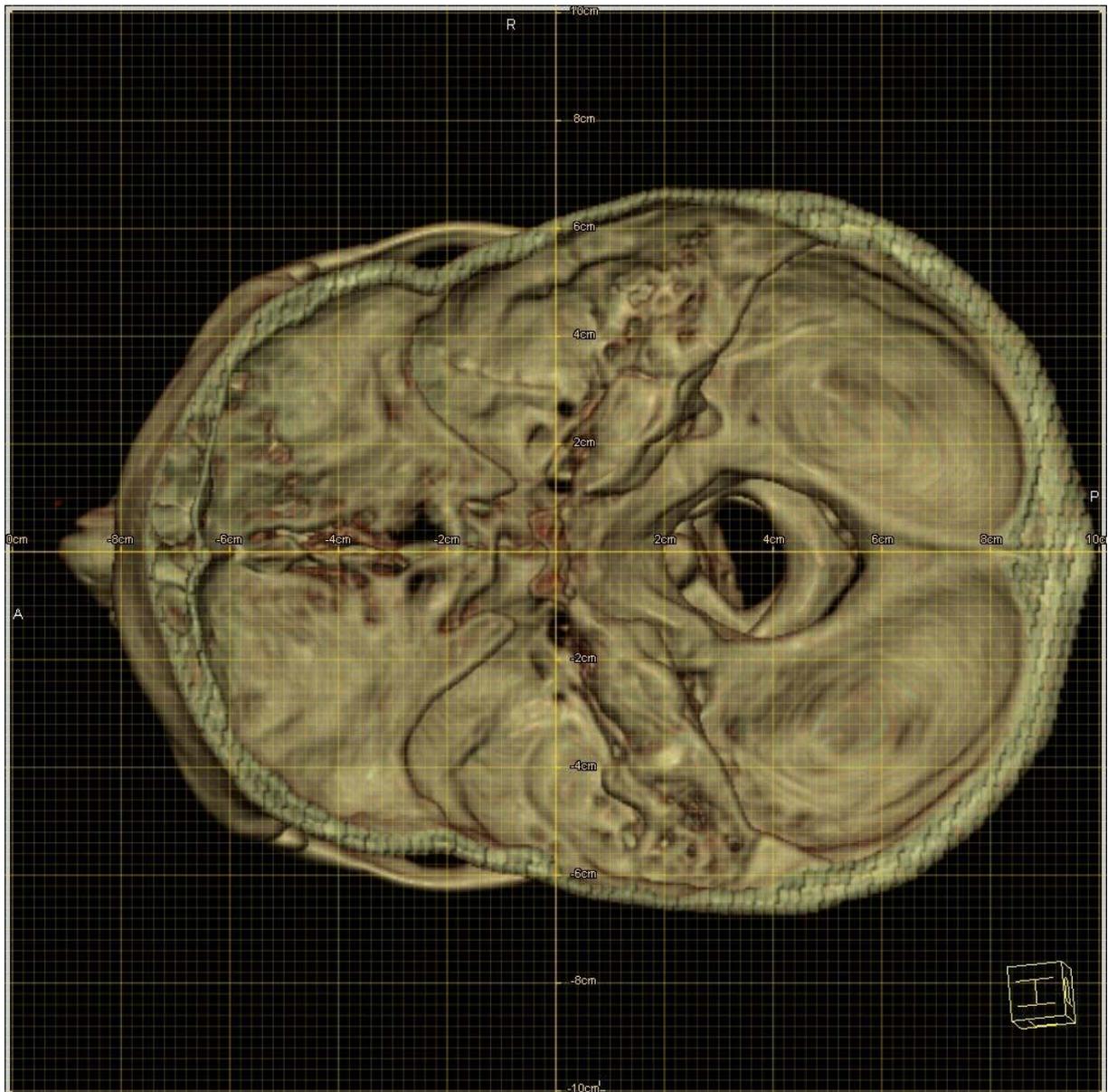


Abb. 10: Darstellung der Schädelbasis

So wurden die gewünschten Parameter in der noch immer in der Frankfurter Ebene ausgerichteten Schädelbasis vermessen (Abb. 11).

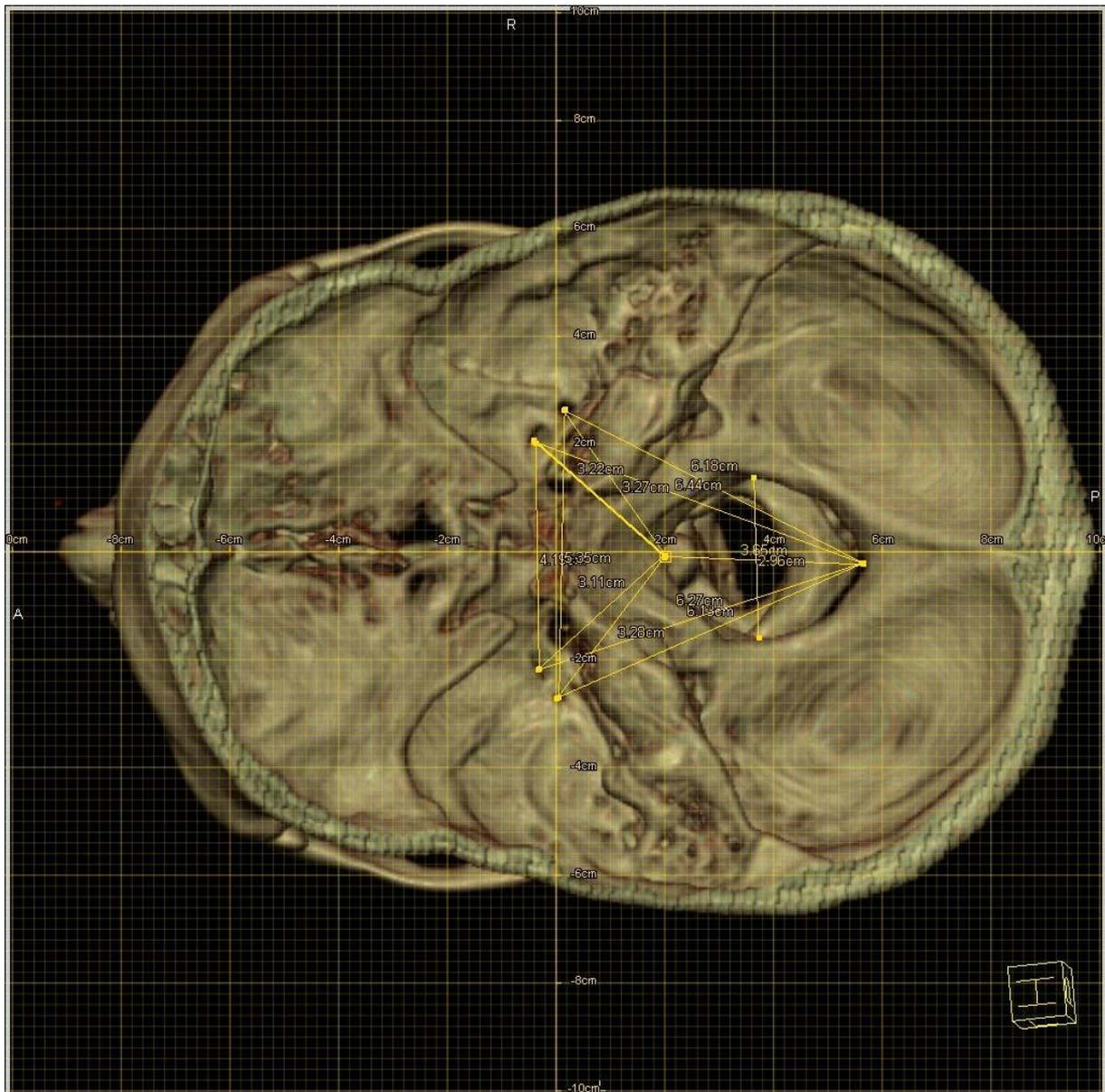


Abb. 11: Schädel mit Messstrecken

Um das Foramen rotundum und Foramen jugulare einsehen und vermessen zu können, mussten die Schädel zumeist entlang des Gitterrasters um einige Grad nach links, also aus Sicht des Schädels nach vorne gekippt werden (Abb. 12). Die seitliche Neigung wurde dabei nicht verändert und folglich in der neutralen Position belassen.

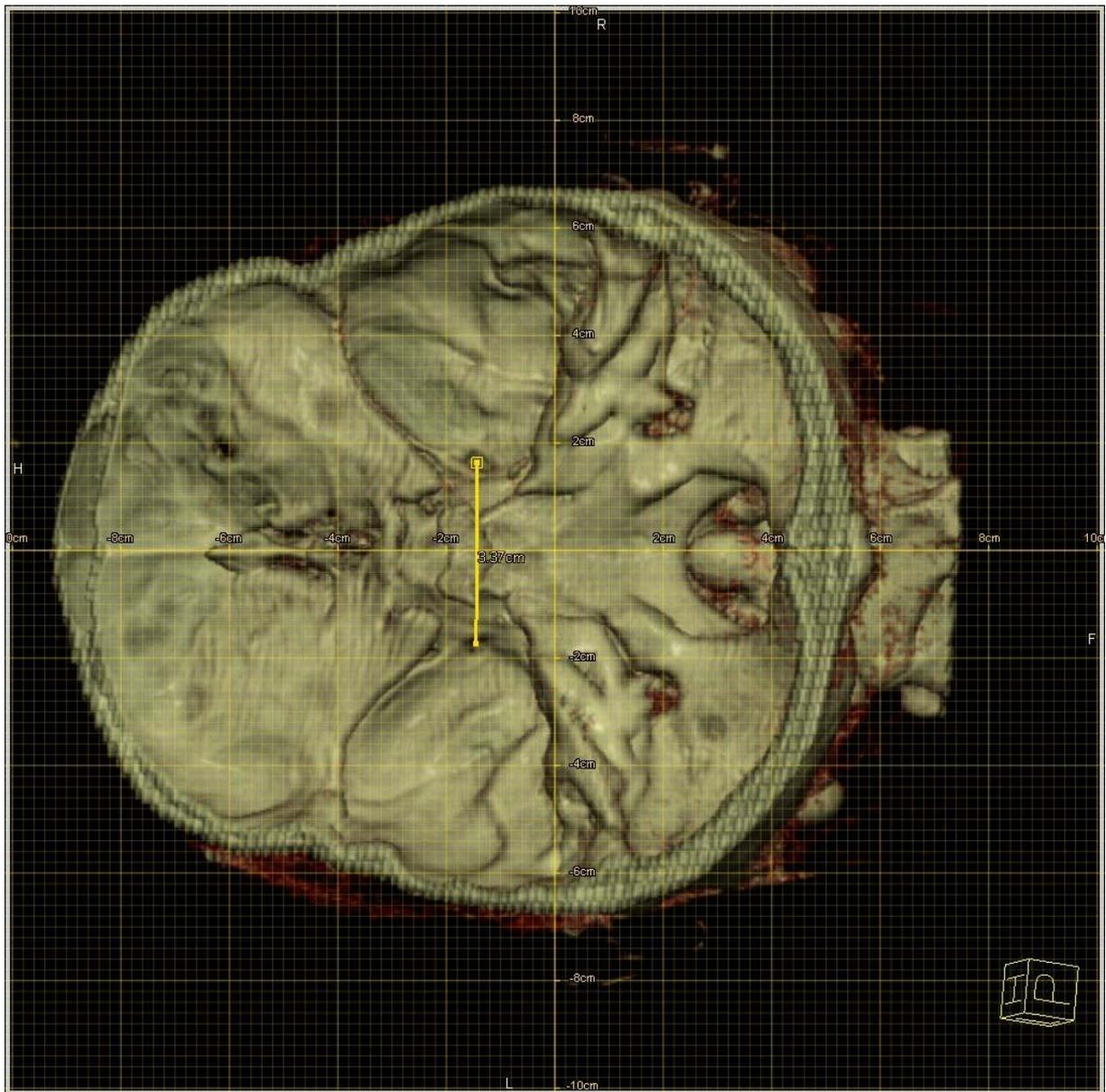


Abb. 12: Schädel nach links geneigt zur Messung des Foramen rotundum/jugulare

2.3 Untersuchungsmaterial

Bei dieser Studie wurden insgesamt 225 menschliche virtuelle Schädel aus den Datensätzen des Virtopsy®-Projektes des Rechtsmedizinischen Institutes der Universität Bern untersucht. Die Auswahl erfolgte zufällig aus der Datenbank. Schädel, welche zum Beispiel auf Grund starker Zerstörungen nicht für die Studie geeignet waren, wurden aussortiert. Schädel von unter 18-jährigen Personen wurden ausgeschlossen.

Alter, Geschlecht, Körpergröße sowie Gewicht der Personen wurden- soweit bekannt- auf einem Formblatt nach der Erhebung der Messwerte vermerkt (Abb. 13).

Seriennummer	_____		
Alter	_____		
Geschlecht	_____		
Ethn. Herkunft	_____		
Körpergröße	_____		
Gewicht	_____		
Foramen magnum:			
Breite	_____		
Länge	_____		
Abstand der Foramina:			
rotundum	_____		
ovale	_____		
spinosum	_____		
lacerum	_____		
jugulare	_____		
Abstand	<u>Basion</u>	<u>Opistion</u>	
F. ovale re			
F. ovale li			
F. spin. re			
F. spin. li			

Abb. 13: Formblatt zum Vermerk der Messwerte sowie der Stammdaten

Unter den 225 untersuchten Schädeln waren 128 von männlichen (57%) und 97 von weiblichen (43%) Personen (Abb. 14).

Geschlechtsverteilung der 225 Schädel

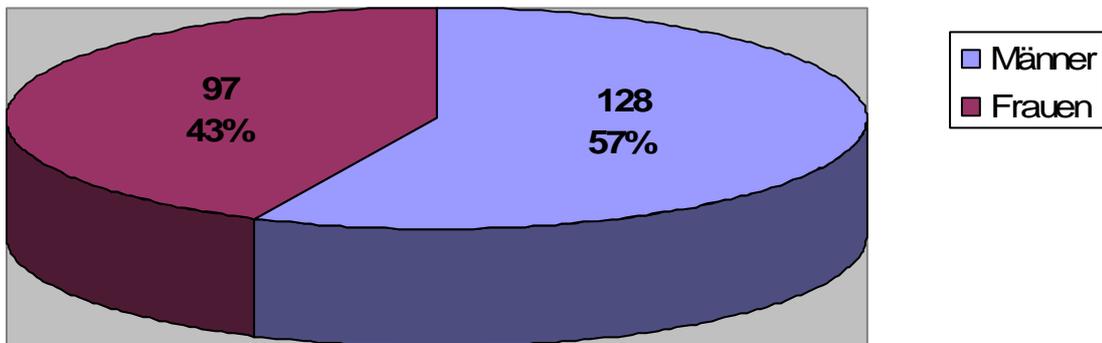


Abb. 14: Geschlechtsverteilung der 225 Schädel

Die Altersverteilung der Personen lag zwischen 18 und 98 Jahren, die Körpergröße zwischen 143 und 199 cm. Beim Körpergewicht lagen die Grenzwerte bei 31 bis 147 kg (Tab. 2).

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	224	18	98	51,58	20,739
Groesse	207	143	199	171,12	9,516
Gewicht	208	31	147	71,46	16,643

Tab. 2: Deskriptive Statistik: Alter, Größe und Gewicht für beide Geschlechter zusammen

Bei der Untersuchung waren Alter, Geschlecht und Körpergröße dem Untersucher nicht bekannt.

Folgende 15 Parameter und Indices wurden anhand der Datensätze von menschlichen Schädeln an der Arbeitsstation erhoben:

- ▲ Breite und Länge des Foramen magnum
- ▲ Abstände der paarigen Foramina beider Seiten zueinander: Foramen rotundum, ovale, spinosum, lacerum, jugulare
- ▲ Abstand Foramen ovale rechts und links zu Basion und Opisthion des Foramen magnum
- ▲ Abstand Foramen spinosum rechts und links zu Basion und Opisthion des Foramen magnum

Diese Parameter und Indices wurden in cm mit 2 Nachkommastellen, also 100µm gemessen.

Die Abbildungen 15-17 zeigen einen Screenshot der Leonardo Workstation von der Schädelbasis mit eingezeichneten Messpunkten sowie eine schematische Darstellung und einen Screenshot mit den erhobenen Messstrecken.

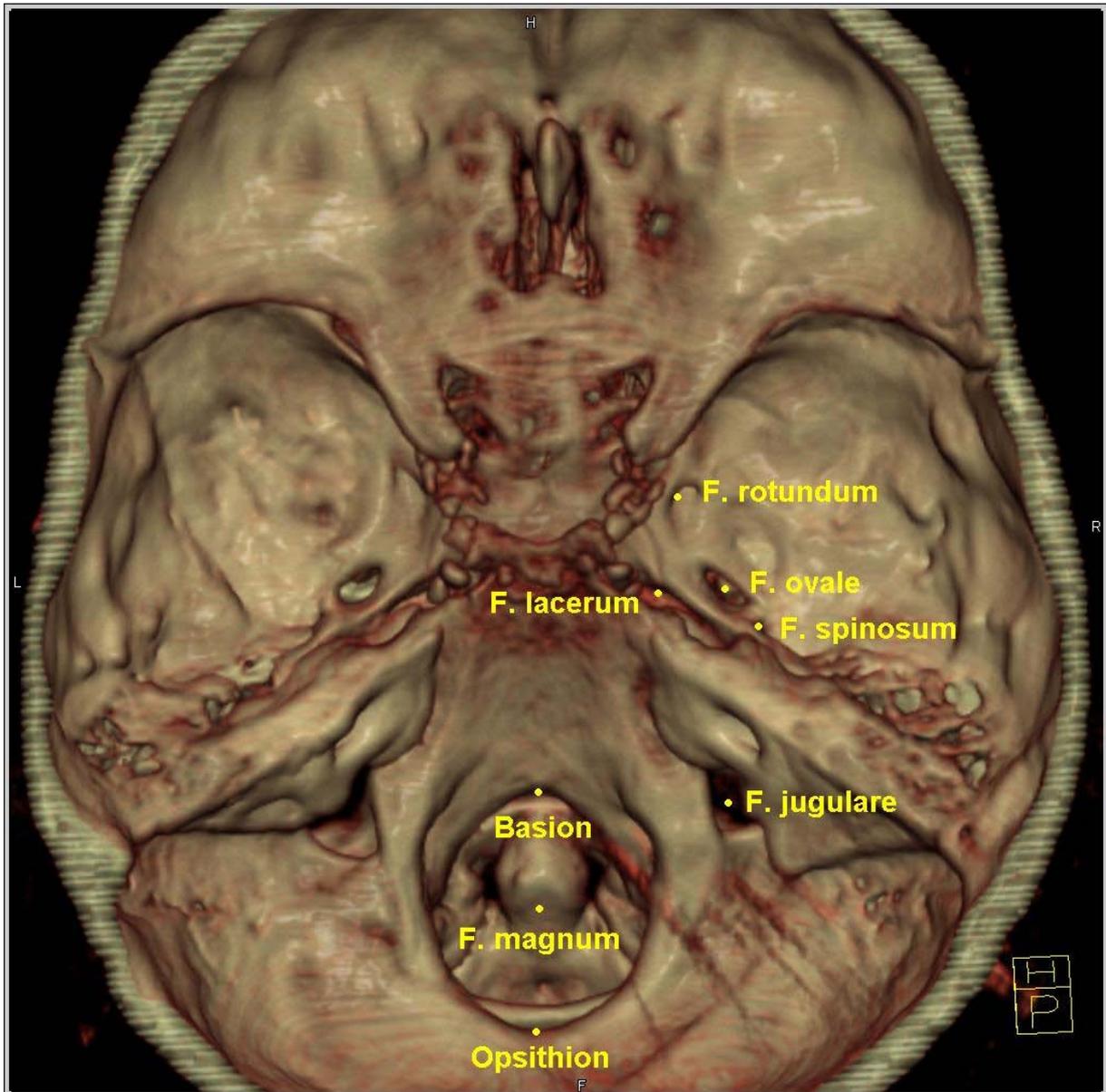


Abb. 15: Schädelbasis, Messpunkte beschriftet

Messstrecken zwischen den Foramina

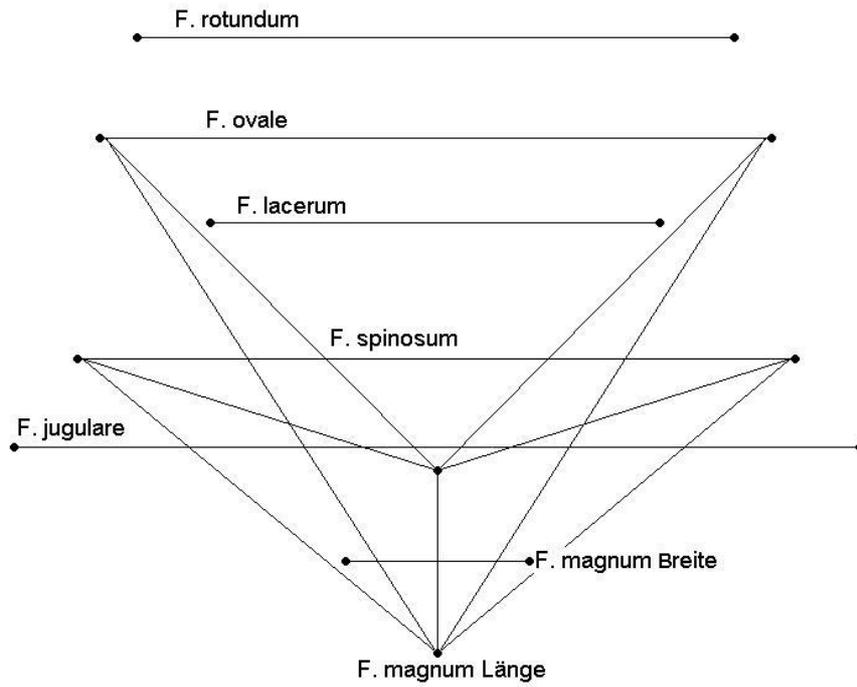


Abb. 16: Schematische Darstellung der Messstrecken

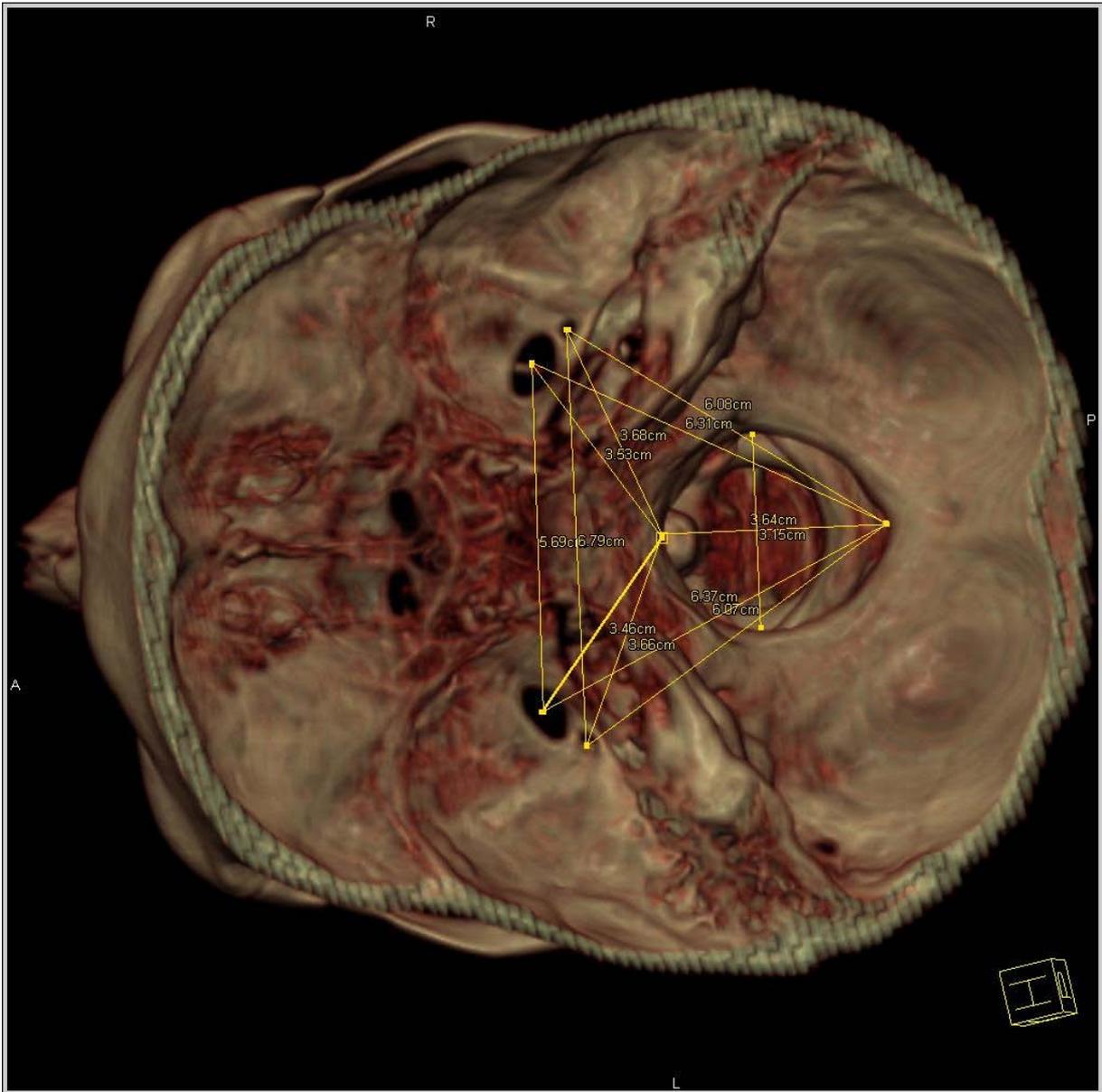


Abb. 17: Schädel mit Messstrecken

2.4 Statistische Methoden

Die Ergebnisse wurden mit Microsoft Excel aufgenommen und am Institut für Medizinische Informatik, Arbeitsgruppe Statistik, mit SPSS erfasst und statistisch ausgewertet.

Die Deskriptive Statistik umfasst

- Mittelwert, Median, Minimum und Maximum sowie Standardabweichung (jeweils insgesamt als auch getrennt für männliche und weibliche Schädel).

Weitere Testverfahren

- Logistische Regression

In dieser Studie wurden die Unterschiede zwischen Männern und Frauen bezüglich der diversen Knochenmaße mit Hilfe des t-Tests beurteilt (Tab. 11, Anhang).

Mit Hilfe der Linearen Regression wurden die Zusammenhänge zwischen den gemessenen Parametern und der Körperhöhe beschrieben und getestet (Tab. 12 und Tab. 13, Anhang). Die Regressionsgleichung beschreibt dabei die Art des Zusammenhangs, der Korrelationskoeffizient die Stärke. Die grafische Darstellung erfolgte als Punktwolke (Abb. 19 und Abb. 20).

Anhand der Logistischen Regression wurde eine Schätzung des Geschlechts aus allen untersuchten Parametern sowie isoliert aus der Foramen-magnum-Breite überprüft.

3 Ergebnisse

Bei den zur Verfügung stehenden Untersuchungsobjekten war das Geschlecht bei allen Personen bekannt, die Altersangabe fehlte bei einer der untersuchten Personen; die Körpergröße konnte bei 207 und das Körpergewicht bei 208 von insgesamt 225 Fällen protokolliert werden.

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	224	18	98	51,58	20,739
Groesse	207	143	199	171,12	9,516
Gewicht	208	31	147	71,46	16,643
Foramen_br	225	24,7	38,8	30,748	2,5426
Foramen_l	225	28,8	42,7	35,737	2,5375
Abstand_rot	225	29,0	50,0	38,607	3,7604
Abstand_ov	225	41,9	60,9	51,434	3,4373
Abstand_spin	225	52,4	79,7	61,896	4,0717
Abstand_lac	225	18,3	35,2	27,516	2,6038
Abstand_jug	225	43,1	93,4	55,714	4,6257
Abstand_ov_re_ba	225	27,3	40,8	33,325	2,3127
Abstand_ov_li_Ba	225	28,1	39,6	33,850	2,3102
Abstand_spin_re_Ba	225	29,0	41,9	35,202	2,4598
Abstand_spin_li_Ba	225	29,5	41,2	35,084	2,3398
Abstand_ov_re_Op	225	50,8	72,6	62,460	3,9455
Abstand_ov_li_Op	225	52,3	74,3	63,137	3,8321
Abstand_spin_re_Op	225	50,7	71,6	60,545	3,9125
Abstand_spin_li_Op	225	52,4	73,1	61,036	3,6649
for_mag_lae_br	225	,8	1,4	1,166	,0799
Abst_spin_op	225	,82	1,34	1,0250	,07562
abst_ov_op	225	,65	1,02	,8258	,06416
Gültige Werte (Listenweise)	206				

Tab. 3: Deskriptive Statistik für alle Parameter

Das Alter der Personen lag zwischen 18 und 98 Jahren, die Körpergröße zwischen 143 und 199 cm. Beim Körpergewicht lagen die Werte zwischen 31 und 147 kg.

Der Mittelwert des Alters für Männer lag bei 49 Jahren (18-98 Jahre) und für Frauen bei 55 Jahren (19-96 Jahre).

Die mittlere männliche Körpergröße lag bei 177cm (163cm-199cm), die mittlere weibliche Körpergröße bei 164cm (143-182cm).

Beim Körpergewicht ergab sich für Männer ein Mittelwert von 77kg (41kg-127kg) und für Frauen ein Wert von 64kg (31kg-147kg).

Die Werte im Einzelnen hierzu für Frauen und Männer sind der Tabelle 3 und Tabelle 4 zu entnehmen.

3.1 Ergebnisse zur Geschlechtsbestimmung

Sowohl die Messwerte des Foramen magnum als auch die Abstandswerte der übrigen Foramina waren bei den männlichen Schädeln größer als bei den weiblichen, was statistisch jeweils mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,0001$ belegt werden konnte. Ebenso wiesen die konstruierten Indices hohe statistische Zusammenhänge mit dem Geschlecht auf. Die höchste Korrelation mit dem Geschlecht zeigte jedoch die Breite des Foramen magnum (Tab. 11, Anhang).

Der Mittelwert der Foramen-magnum-Breite lag für männliche Schädel bei 32mm (27mm-39mm), für weibliche Schädel bei 29mm (25mm-34mm), woraus sich ein Trennwert von 30,15mm ergab (Tab. 4). Die Standardabweichung betrug hierbei jeweils 2mm.

		Mittelwert	Median	Minimum	Maximum	Standardabweichung
Alter	Geschlecht M	49	47	18	98	21
	Geschlecht W	55	52	19	96	20
Groesse	Geschlecht M	177	177	163	199	7
	Geschlecht W	164	165	143	182	8
Gewicht	Geschlecht M	77	76	41	127	15
	Geschlecht W	64	62	31	147	16
Foramen_br	Geschlecht M	32	32	27	39	2
	Geschlecht W	29	29	25	34	2
Foramen_l	Geschlecht M	36,8	36,6	29,7	42,7	2,2
	Geschlecht W	34,3	34,4	28,8	39,2	2,3
Abstand_rot	Geschlecht M	39,5	39,3	29,0	50,0	3,8
	Geschlecht W	37,5	37,4	31,0	44,2	3,5
Abstand_ov	Geschlecht M	52,2	51,9	41,9	60,9	3,6
	Geschlecht W	50,4	50,7	43,1	58,6	2,9
Abstand_spin	Geschlecht M	63,1	63,3	53,5	79,7	4,2
	Geschlecht W	60,4	60,5	52,4	69,8	3,4
Abstand_lac	Geschlecht M	28,2	28,2	20,6	35,2	2,4
	Geschlecht W	26,5	26,6	18,3	34,3	2,5
Abstand_jug	Geschlecht M	57,1	56,9	47,7	67,5	3,4
	Geschlecht W	53,9	54,0	43,1	93,4	5,4
Abst_ov_re_ba	Geschlecht M	33,9	34,0	28,8	40,8	2,3
	Geschlecht W	32,5	32,5	27,3	37,0	2,1
Abst_ov_li_Ba	Geschlecht M	34,5	34,7	28,6	39,6	2,2
	Geschlecht W	32,9	33,0	28,1	37,8	2,2
Abst_spin_re_Ba	Geschlecht M	35,8	35,7	29,8	41,9	2,3
	Geschlecht W	34,4	34,4	29,0	39,6	2,4
Abst_spin_li_Ba	Geschlecht M	35,8	35,7	30,3	41,2	2,2
	Geschlecht W	34,1	34,0	29,5	40,0	2,2
Abst_ov_re_Op	Geschlecht M	64,1	64,4	54,5	72,6	3,4
	Geschlecht W	60,3	60,0	50,8	68,0	3,6
Abst_ov_li_Op	Geschlecht M	64,8	65,0	56,3	74,3	3,2
	Geschlecht W	61,0	61,3	52,3	68,0	3,5
Abst_spin_re_Op	Geschlecht M	62,0	61,8	54,1	71,6	3,5
	Geschlecht W	58,7	58,3	50,7	66,7	3,7
Abst_spin_li_Op	Geschlecht M	62,5	62,7	53,8	73,1	3,2
	Geschlecht W	59,1	59,2	52,4	67,0	3,3

Tab. 4: Deskriptive Statistik unter Berücksichtigung des Geschlechts (N=225, 128 männliche und 97 weibliche Schädel)

Der Prozentsatz der richtigen Vorhersagen für das Geschlecht unter Verwendung des Parameters Foramen-magnum-Breite und einem Trennwert von 30,15mm lag bei 78,2 Prozent (Männer 83,6 Prozent, Frauen 71,1 Prozent) (Tab. 5).

Klassifizierungstabelle					
		Vorhergesagt			
		Geschlecht		Prozentsatz der Richtigen	
Beobachtet		m	w		
Schritt 1	Geschlecht	m	107	21	83,6
		w	28	69	71,1
	Gesamtprozentsatz				
Variablen in der Gleichung					
		Regressions- koeffizient B	Standardfehler	Wald	df
Schritt 1	Foramen_br	-,648	,093	48,221	1
	Konstante	19,511	2,843	47,084	1

Tab. 5: Prozentsatz der richtigen Vorhersagen des Geschlechts unter Einbezug des Parameters Foramen-magnum-Breite

Abbildung 18 zeigt das Ergebnis der logistischen Regression: Alle Werte der Breite des Foramen magnum im Vergleich zwischen Männern und Frauen.

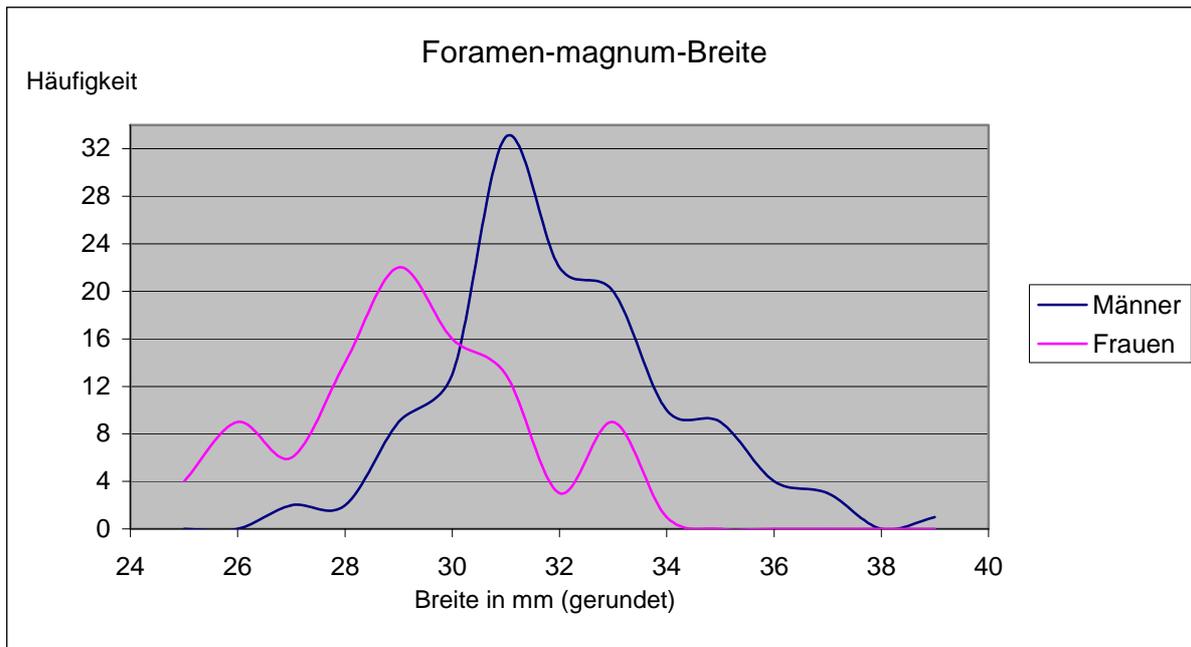


Abb. 18: Foramen-magnum-Breite, getrennt nach Geschlecht

Wurden alle 15 erhobenen Parameter einbezogen, so ergab sich ein Wert von 81,3 Prozent für eine richtige Vorhersage des Geschlechts (Männer 86,7 Prozent, Frauen 74,2 Prozent) (Tab. 6).

Klassifizierungstabelle^a

Beobachtet			Vorhergesagt		
			Geschlecht		Prozentsatz der Richtigen
			m	w	
Schritt 1	Geschlecht	m	111	17	86,7
		w	25	72	74,2
Gesamtprozentsatz					81,3

a. Der Trennwert lautet ,500

Tab. 6: Prozentsatz der richtigen Vorhersagen des Geschlechts unter Einbezug aller 15 Parameter

Ebenfalls wurde untersucht, inwieweit der Index aus Foramen-magnum-Breite zu Foramen-magnum-Länge für die Geschlechtsdiagnostik verwendet werden kann. Als

Ergebnis stellte sich heraus, dass der Prozentsatz unter Einbeziehung dieses Index bei einem Wert von 60,0 Prozent lag (Tab. 7).

Klassifizierungstabelle^a

Beobachtet			Vorhergesagt		
			Geschlecht		Prozentsatz der Richtigen
			m	w	
Schritt 1	Geschlecht	m	112	16	87,5
		w	74	23	23,7
	Gesamtprozentsatz				60,0

a. Der Trennwert lautet ,500

Variablen in der Gleichung

		Regressions koeffizientB	Standardf ehler	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Schritt 1 ^a	for_mag_lae_br	4,077	1,779	5,254	1	,022	58,976
	Konstante	-5,039	2,085	5,840	1	,016	,006

a. In Schritt 1 eingegebene Variablen: for_mag_lae_br.

Tab. 7: Prozentsatz der richtigen Vorhersagen des Geschlechts unter Einbezug des Index Foramen-magnum-Breite zu Foramen-magnum-Länge

3.2 Ergebnisse zur Körperhöhenschätzung

In Bezug auf die Körperhöhe erwiesen sich alle untersuchten Parameter als statistisch signifikant. Die höchste Korrelation mit der Körperhöhe zeigte die Foramenmagnum-Länge (Tab. 12, Anhang).

Für Männer betrug der Mittelwert der Länge des Foramen magnum 36,8mm (29,7mm-42,7mm) und für Frauen 34,3mm (28,8mm-39,2mm). Die Standardabweichung lag für die männlichen Werte bei 2,2mm und für die Werte der weiblichen Schädel bei 2,3mm.

Als weiteres Ergebnis der Studie konnte die folgende Regressionsformel für die Errechnung der Körperhöhe aus dem Längenmaß des Foramen magnum erstellt werden (Tab. 13 und Tab. 14, Anhang):

Körperhöhe für Frauen: $KH_{\text{weiblich}} = 107,8 \text{ cm} + (1,65 * L_{\text{Foramen}} [\text{mm}]) \text{ cm}$

(s = 11,53 cm für den Regressionskoeffizienten)

Körperhöhe für Männer: $KH_{\text{männlich}} = 149,0 \text{ cm} + (0,75 * L_{\text{Foramen}} [\text{mm}]) \text{ cm}$

(s = 9,7 cm für den Regressionskoeffizienten)

Anhand des Diagramms in Abbildung 19 und Abbildung 20 ist der Zusammenhang zwischen Körpergröße und Länge des Foramen magnum im geschlechtsspezifischen Vergleich ersichtlich.

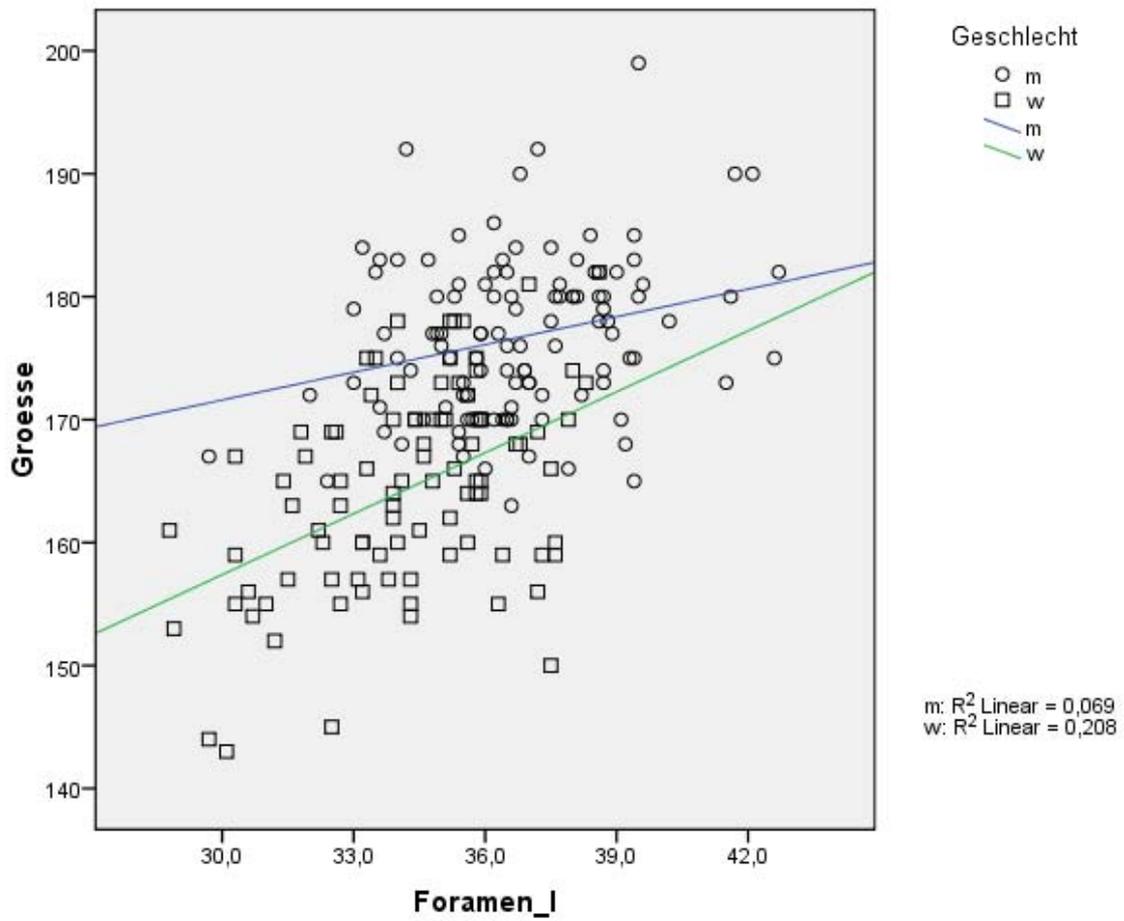


Abb. 19: Lineare Regression Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, getrennt nach Geschlecht

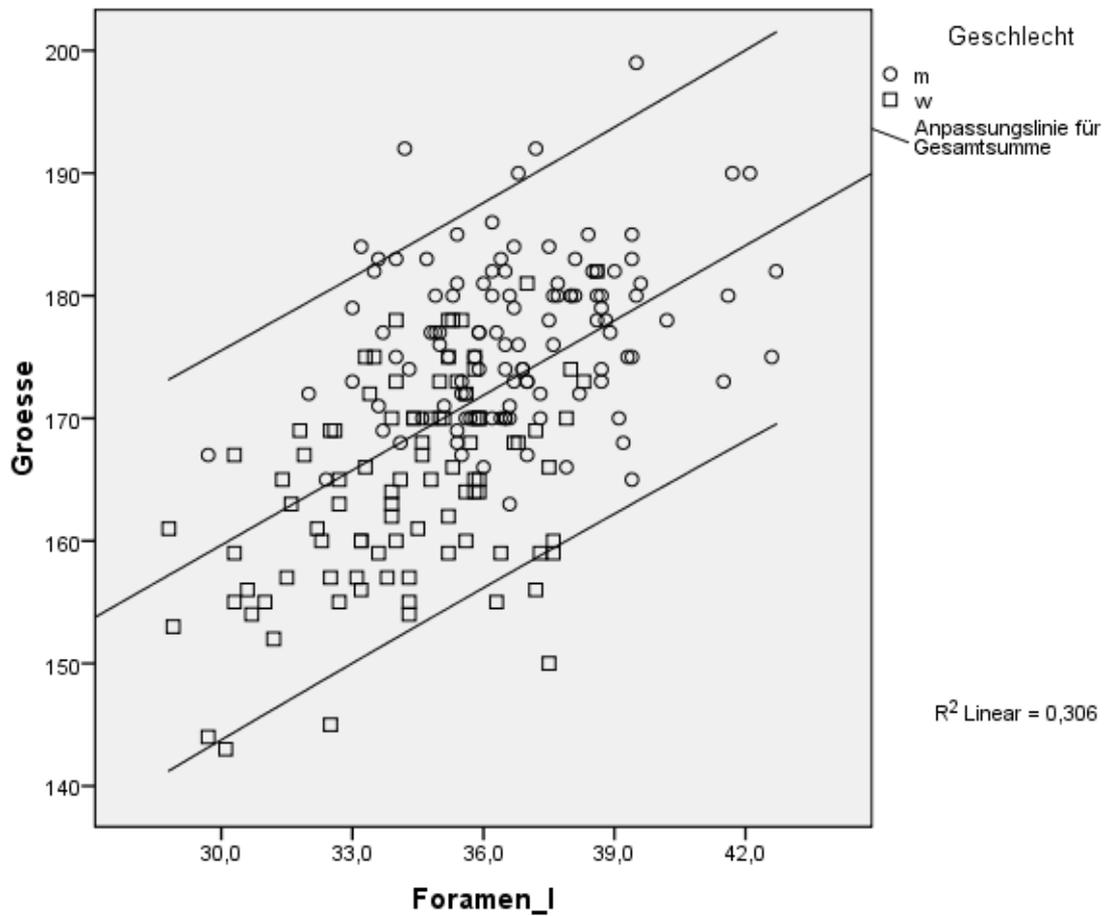


Abb. 20: Lineare Regression Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, mit Vorhersagebereich

4 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden die Zusammenhänge von verschiedenen an Schädellöchern zu erhebenden osteometrischen Parametern und Indices mit dem Geschlecht und der Körpergröße überprüft. Die Besonderheit der Studie war, dass ausschließlich virtuelle, aus CT-Datensätzen dreidimensional rekonstruierte Schädel untersucht wurden. Dadurch war es möglich, alle Maße von intrakraniell, ohne invasiven Eingriff wie Entfernen der Kalotte durch Sägeschnitt zu erheben.

Die Datenanalyse hatte explorativen Charakter- das heißt die errechnete Irrtumswahrscheinlichkeit „p“ liefert im Rahmen von multiplen Testen Hinweise auf Zusammenhänge, wobei in der vorliegenden Analyse weniger die Frage relevant ist, ob ein Zusammenhang besteht, sondern wie stark und somit praktisch relevant dieser zu bewerten ist.

Das einzige Schädelloch, das in seiner Länge und Breite vermessen wurde, war das Foramen magnum. Die übrigen Parameter stellten Messstrecken der bilateralen Löcher zueinander oder der Löcher zu Basion oder Opisthion dar. Gemessen wurde immer vom Mittelpunkt des jeweiligen Loches aus. Durch die Wahl des dargestellten Bereiches der Hounsfield-Units („Fenster“) war es möglich, die Größe der jeweiligen Löcher in der Darstellung nach „Volume Rendering“ erheblich zu beeinflussen, so dass eine Vermessung der kleinen Schädellöcher in Länge und Breite nicht sinnvoll war. Bei dem Foramen magnum sind die dadurch zu erwartenden Messfehler relativ geringer und befinden sich im Rahmen der Messfehler, die beim manuellen osteometrischen Vermessen realer Schädel nicht zu vermeiden sind (*Verhoff et al. 2008*).

Bei den in der vorliegenden Studie untersuchten Parametern erwiesen sich die Breite und Länge des Foramen magnum als aussagekräftigste Parameter für die Geschlechtsbestimmung beziehungsweise Körperhöschätzung. Dabei handelt es sich um klassische, bereits etablierte Parameter (*Martin und Saller 1957*), welche in einer Studie bereits an CT-Datensätzen evaluiert wurden (*Uysal 2005*). Die übrigen, in der vorliegenden Studie überwiegend erstmals untersuchten Parameter waren bezüglich Geschlechtsbestimmung und Körperhöschätzung deutlich weniger aussagekräftig und somit ohne erkennbaren Nutzen für die forensisch-osteologische Praxis.

Die Breite des Foramen magnum ergab in dieser Studie für die Geschlechtsbestimmung einen richtigen Vorhersagewert von 78,2 Prozent. Auch *Uysal et al. (2005)* un-

tersuchten das Foramen magnum mittels 3D-CT in Bezug auf eine Geschlechtsunterscheidung und erhielten damit in 81 Prozent eine richtige Vorhersage für das Geschlecht.

Murshed et al. (2003) werteten anhand von CT-Bildern die Maße des Foramen magnum in Bezug auf das Geschlecht aus und legten dabei besonderes Augenmerk auf die Umrissform des großen Hinterhauptloches. Dabei ergab sich für die Breite des Foramen bei 57 vermessenen Männerschädeln ein Mittelwert von 31,6mm (27mm-40mm, Standardabweichung 2,99mm) und bei 53 Frauenschädeln ein Ergebnis von 29,3mm (24mm-33mm, Standardabweichung 2,19mm). Für das Längenmaß fand sich bei Männern ein Mittelwert von 37,2mm (31mm-45mm, Standardabweichung 3,43mm) und bei Frauen 34,6mm (28mm-42mm, Standardabweichung 3,16mm) (Tab. 8).

Table 1: Maximum, minimum, means, standard deviations, t and P values for foramen magnum parameters-gender comparative results.

Parameters	Males (n = 57) Values			Females (n = 53) Values			t	P
	Max. (mm)	Min. (mm)	Mean ± SD (mm)	Max. (mm)	Min. (mm)	Mean ± SD (mm)		
SD	45	31	37.2 ± 3.43	42	28	34.6 ± 3.16	4.13	0.000
TD	40	27	31.6 ± 2.99	33	24	29.3 ± 2.19	4.49	0.000
AREA	1266 (mm ²)	710 (mm ²)	931.7 ± 144.29 (mm ²)	1006 (mm ²)	677 (mm ²)	795.0 ± 99.32 (mm ²)	5.51	0.000

P < 0.001

Tab. 8: Maximum, minimum, means, standard deviations, t and P values for foramen magnum parameters-gender comparative results (Murshed et al. 2003)

In einer Untersuchung von *Gapert et al. (2008)* wurde das Foramen magnum bei 82 Männerschädeln und 76 Frauenschädeln manuell vermessen. Hierbei kamen folgende Ergebnisse heraus: die Länge des Foramen magnum ergab bei Männern im Mittel 35,91mm (30,82mm-42,68mm, Standardabweichung 2,41mm) und bei Frauen 34,71mm (29,83mm-39,94mm, Standardabweichung 1,91mm); für die Breite des Foramen magnum erhielten sie im Mittel für Männer 30,51mm (24,85mm-35,04mm, Standardabweichung 1,77mm) und für Frauen 29,36mm (25,27mm-36,25mm, Standardabweichung 1,96mm) (Tab. 9).

Table 2 Descriptive statistics for the St. Bride's crania

Variable	n	Mean (\pm SD)	SE	Range	Minimum	Maximum	Median	Variance	95% CI	t	Sig. (2-tailed)
LFM ♂ ^a	82	35.91 \pm 2.41	0.27	11.87	30.81	42.68	35.62	5.79	35.38–36.44	3.459	0.001
LFM ♀ ^a	76	34.71 \pm 1.91	0.22	10.11	29.83	39.94	34.53	3.64	34.28–35.15		
WFM ♂ ^a	82	30.51 \pm 1.77	0.20	10.19	24.85	35.04	30.32	3.13	30.12–30.90	3.890	0.0005
WFM ♀ ^a	76	29.36 \pm 1.96	0.22	10.98	25.27	36.25	28.88	3.85	28.91–29.80		
FMC ♂ ^a	82	99.07 \pm 5.97	0.66	34.47	81.89	116.36	98.47	35.61	97.76–100.38	3.779	0.0005
FMC ♀ ^a	76	95.65 \pm 5.36	0.62	27.02	84.93	111.95	94.55	28.76	94.42–96.87		
Routal ♂ ^b	82	862.41 \pm 94.79	10.47	473.75	605.62	1,079.37	847.71	8,986.13	841.58–883.24	4.212	0.0005
Routal ♀ ^b	76	801.78 \pm 85.43	9.80	443.57	646.86	1,090.43	787.36	7,297.73	782.26–821.30		
Teixeira ♂ ^b	82	868.95 \pm 96.36	10.64	487.81	613.12	1,100.93	855.43	9,284.56	847.78–890.12	4.186	0.0005
Teixeira ♀ ^b	76	808.14 \pm 85.40	9.80	443.42	647.83	1,091.25	793.48	7,293.32	788.62–827.65		
AreaCirc. ♂ ^b	82	783.82 \pm 94.47	10.43	543.81	533.64	1,077.45	771.53	8,924.02	763.06–804.58	3.780	0.0005
AreaCirc. ♀ ^b	76	730.28 \pm 82.59	9.47	423.33	574	997.33	711.33	6,820.50	711.41–749.15		

Descriptive statistics for 158 crania of the St. Bride's documented skeletal collection.

SE standard error, CI confidence interval

^a Measurements in millimetre

^b Areas in squared millimetre

Tab. 9: Descriptive statistics for 158 crania of the St. Bride's documented skeletal collection (Gapert et al. 2008)

Auch in anderen Untersuchungen von z.B. *Routal et al. (1984)* und *Catalina-Herrera (1987)* wurden ähnliche Ergebnisse ermittelt. Eine vergleichende Übersicht über die Ergebnisse liefert Tabelle 10.

Parameter	Eigene Untersuchungen	Gapert et. al (2008)	Murshed et. al (2003)
LFM Männer Mittelwert+SA (mm)	36,8 \pm 2,2	35,91 \pm 2,41	37,2 \pm 3,43
LFM Männer Minimum (mm)	29,7	30,81	31
LFM Männer Maximum (mm)	42,7	42,68	45
BFM Männer Mittelwert+SA (mm)	32 \pm 2	30,51 \pm 1,77	31,6 \pm 2,99
BFM Männer Minimum (mm)	27	24,85	27
BFM Männer Maximum (mm)	39	35,04	40
LFM Frauen Mittelwert+SA (mm)	34,3 \pm 2,3	34,71 \pm 1,91	34,6 \pm 3,16
LFM Frauen Minimum (mm)	28,8	29,83	28
LFM Frauen Maximum (mm)	39,2	39,94	42
BFM Frauen Mittelwert+SA (mm)	29 \pm 2	29,36 \pm 1,96	29,3 \pm 2,19
BFM Frauen Minimum (mm)	25	25,27	24
BFM Frauen Maximum (mm)	34	36,25	33

LFM = Länge Foramen magnum BFM = Breite Foramen magnum M = Männer F = Frauen SA = Standardabweichung

Tab. 10: Ergebnisübersicht zu Messungen verschiedener Untersuchungen des Foramen magnum

Zusammenfassend ist zu sagen, dass unsere Untersuchungen in Übereinstimmung mit sowohl an „echten“ als auch an virtuellen Schädeln erhobenen Literaturdaten den hohen Stellenwert des Foramen magnum bei der Geschlechtsdiskriminierung belegen. Mit einer Genauigkeit von 78,2 Prozent einer richtigen Vorhersage kann unseres Erachtens nach die Breite des Foramen magnum in der praktischen Anwendung durchaus als wichtiger Wert für eine Geschlechtsdiskriminierung verwendet werden; insbesondere ist dies in Fällen von starker Zerstörung eines Leichnams oder bei sehr alten Funden– wenn z.B. nur noch Fragmente eines Schädels vorhanden sind– als alternative Möglichkeit für eine Geschlechtsbestimmung zu sehen.

Die Geschlechtsdifferenzierung am isolierten Schädel durch die kombinatorische Auswertung der bekannten morphologischen oder morphometrischen Parameter wird einer Diskriminierung anhand der Breite des Foramen magnum überlegen sein. Ein Einsatz wäre jedoch in Zweifelsfällen indiziert oder wenn nur noch Reste des Schädels vorhanden sind. Bei isolierten Hinterhauptsbeinen und nicht mehr vollständigem Foramen magnum ist es dennoch oftmals möglich, dessen Breite zu messen.

Studien, die einen Zusammenhang zwischen den Foramina der menschlichen Schädelbasis und der Körperhöhe einer Person untersucht haben, waren in der uns zugänglichen Literatur nicht zu recherchieren.

Ryan et al. (2007) und *Kalia et al. (2008)* untersuchten zwar verschiedene Parameter am menschlichen Schädel in Bezug auf eine mögliche Körperhöhenbestimmung (s. Kapitel 1.2), jedoch wurden dabei keine intrakraniellen Werte oder Messstrecken verwendet.

Für die Körperhöhenbestimmung in dieser Studie waren wiederum die Maße des Foramen magnum am relevantesten, dabei die Länge desselben etwas besser geeignet als die Breite. Getrennt für Männer und Frauen konnten Regressionsformeln berechnet werden, die einen Anhaltspunkt auf die Größe eines Menschen geben können. Es handelt sich damit um den ersten anwendbaren Parameter zur Körperhöhen-schätzung am isolierten und möglicherweise sogar fragmentierten menschlichen Schädel.

Darüber hinaus belegen die Ergebnisse der vorliegenden Studie im Vergleich mit der Literatur, dass mit Hilfe des Virtopsy®-Systems im Vergleich zu manuellen Vermessungen übereinstimmende Werte erhoben werden konnten. Hiermit werden die Ergebnisse von *Verhoff et al. (2007)* gestützt, bei denen ermittelt wurde, dass mit Hilfe des Virtopsy®-Systems gleichwertige osteometrische Werte erhoben wurden wie bei der klassischen manuellen Untersuchung realer Knochen.

5 Zusammenfassung

Bei dieser Studie wurde anhand von Datensätzen aus dem Virtopsy®-System des Rechtsmedizinischen Institutes der Universität Bern untersucht, ob eine Geschlechtsdiskriminierung und Körperhöhenbestimmung anhand intrakranieller Parameter am menschlichen Schädel möglich ist.

Hierfür wurde an insgesamt 225 virtuellen Schädeln (128 männliche und 97 weibliche) nach 3D-Rekonstruktion das Schädeldach „entfernt“, so dass insgesamt 15 auf den intrakraniellen Schädellöchern basierende Messstrecken erhoben werden konnten. Dabei stellte sich heraus, dass die Breite des Foramen magnum ein signifikanter Parameter für die Geschlechtsdiskriminierung ist. Bei den weiblichen Individuen lag der Mittelwert bei 29 mm (s = 2 mm, Min = 25 mm, Max = 34 mm), bei den männlichen betrug der Mittelwert 32 mm (s = 2 mm, Min = 27 mm, Max = 39 mm); daraus ergab sich ein Trennwert von 30,15 mm und eine mit 78,2 Prozent richtige Vorhersagewahrscheinlichkeit (Männer 83,6 Prozent, Frauen 71,1 Prozent).

In Korrelation zur Körperhöhe zeigte das Längenmaß des Foramen magnum den besten Zusammenhang. Für die Bestimmung der Körpergröße bei weiblichen Individuen ergab sich die Regressionsformel

$$KH_{\text{weiblich}} = 107,8 \text{ cm} + (1,65 * L_{\text{Foramen}} [\text{mm}]) \text{ cm},$$

bei männlichen Individuen

$$KH_{\text{männlich}} = 149,0 \text{ cm} + (0,75 * L_{\text{Foramen}} [\text{mm}]) \text{ cm}.$$

Der Standardmessfehler für den Regressionskoeffizienten ist jedoch relativ hoch (Männer 9,7cm und Frauen 11,53cm), so dass dieser Parameter lediglich genutzt werden sollte bzw. kann, falls nur noch der Schädel einer Leiche gefunden wird, um eine ungefähre Einschätzung der Körperhöhe zu erhalten.

Außerdem zeigte sich mit Hilfe dieser Studie, dass die erhobenen Messwerte im Vergleich zu anderen Untersuchungen sehr ähnlich sind. Es ist also möglich, nicht nur klassische osteometrische, sondern auch neu erhobene Parameter mit Hilfe von virtuellen 3D-Rekonstruktionen wie bei Virtopsy® zu erheben.

6 Abstract

This study, which was based on records from the Virtopsy-System® from the legal-medical institute at the University of Bern, examined the possibility of determining gender and body height by using intracranial parameters from the human skull.

For this purpose, the cranial roof of 225 virtual skulls (128 male and 97 female) that had been reconstructed in 3-D were “removed,” so that a total of 15 distances between intracranial skull openings could be measured. It emerged that the width of the Foramen magnum is a significant parameter for gender discrimination. The mean value lay at 29 mm (s = 2 mm, Min = 25 mm, Max = 34mm) for the female individuals and at 32 mm (s = 2 mm, Min = 27 mm, Max = 39 mm) for the males; this yielded a dividing value of 30.15 mm and a correct determination in 78.2 percent (male 83.6 percent, female 71.1 percent).

In correlation to the body height, the length of the Foramen magnum proved the best relation.

The following regression formulas resulted for the body height determination for females:

$$BH_{\text{females}} = 107,8 \text{ cm} + (1,65 * L_{\text{Foramen}} [\text{mm}]) \text{ cm}$$

and for males:

$$BH_{\text{males}} = 149,0 \text{ cm} + (0,75 * L_{\text{Foramen}} [\text{mm}]) \text{ cm.}$$

The standard error of measurement for the regression coefficient is, nevertheless, relatively high (men 9.7 cm and women 11.53 cm), so that this parameter should be used only to obtain a rough estimate of body height in cases where just the skull of a corpse is found.

This study also showed that the values obtained are very similar to those from other investigations.

It is thus not only possible to obtain classical osteometric parameters with the help of virtual 3D-reconstructions like Virtopsy®, but also entirely new parameters.

7 Literatur

Bahner M, Dux M, Forsting M, Hähnel S, Mädler U, Nöldge G, Richter GM, Roeren T, Sahl H, Rau WS, Sartor K (2001) Computertomographie. In: Kauffmann GW, Rau WS, Roeren T, Sartor K (Hrsg) Röntgenfibel. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3. Auflage, S 455-542

Blobel J (2002) Computertomographie. In: Medizintechnik: Verfahren, Systeme, Informationsverarbeitung. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2. Auflage, S 234-254

Bolliger SA, Thali MJ, Ross S, Buck U, Naether S, Vock P (2008) Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. *Eur.Radiol.* 18.2: 273-282

Buck U, Naether S, Braun M, Bolliger S, Friederich H, Jackowski C, Aghayev E, Christe A, Vock P, Dirnhofer R, Thali MJ (2007) Application of 3D documentation and geometric reconstruction methods in traffic accident analysis: With high resolution surface scanning, radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation. *Forensic Science International* 170: 20-28

Buzug TM (2005) Einführung in die Computertomographie: Mathematisch-physikalische Grundlagen der Bildrekonstruktion. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2.Auflage, S 1

Catalina-Herrera CJ (1987) Study of the anatomic metric values of the foramen magnum and its relation to sex. *Acta Anat.(Basel)* 130.4: 344-347

Dirnhofer R, Jackowski C, Vock P, Potter K, Thali MJ (2006) VIRTOPSY: minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *Radiographics* 26.5: 1305-1333

France DL (1998) Observational and metric analysis of sex in skeleton. In: Reichs, KJ (ed) *Forensic osteology- Advances in the identification of human remains*. Thoma, Springfield, Illinois, pp 163-186

Gapert R, Black S, Last J (2008) Sex determination from the foramen magnum: discriminant function analysis in an eighteenth and nineteenth century British sample. *Int.J.Legal Med.*

Giles E (1964) Sex determination by discriminant function analysis of the mandible. *Am. J. Phys. Anthropol.* 22:129-135

Graw M (2001) Morphometrische und morphognostische Geschlechtsdiagnostik an der menschlichen Schädelbasis. In: Oehmichen M, Geserick G (2001) *Osteologische Identifikation und Altersschätzung*. Verlag Schmidt-Römhild, Lübeck, S 103-121

Grumme T, Kluge W, Kretzschmar K, Roesler A (1998) *Zerebrale und spinale Computertomographie*. Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin Wien, 3.Auflage, S 3-9

Gunay Y, Altinkok M (2000) The value of the size of foramen magnum in sex determination. *J.Clin.Forensic Med.* 7.3: 147-149

http://bundesrecht.juris.de/persauswg/___1.html

<http://costumefamily.com/store/images/cosplay/new/chart2.gif>

<http://www.irm.unibe.ch/lenya/irm/live/Lexikon.html>

<http://www.meb.uni-bonn.de/epileptologie/cms/upload/homepage/lehnertz/CT1.pdf>

<http://www.virtopsy.com/>

Jackowski C, Dirnhofer S, Thali M, Aghayev E, Dirnhofer R, Sonnenschein M (2005) Postmortem diagnostics using MSCT and MRI of a lethal streptococcus group A infection at infancy: a case report. *Forensic Science International* 151.2-3: 157-163

Jackowski C, Aghayev E, Sonnenschein M et al. (2006) Maximum intensity projection of cranial computed tomography data for dental identification. *Int J Legal Med* 120: 165-167

Kalia S, Shetty SK, Patil K, Mahima VG (2008) Stature estimation using odontometry and skull anthropometry. *Indian J.Dent.Res.* 19.2: 150-154

Krestin GP (1996) Computertomographie. In: Fuchs WA (Hrsg) *Radiologie: Diagnostik durch bildgebende Verfahren*. Verlag Hans Huber, Bern Göttingen Toronto Seattle, 1. Auflage, S 45-48

Leopold D, Hunger H (1978) *Identifikation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, S 199

Leopold D (1998) *Identifikation unbekannter Toter*. Verlag Schmidt-Römhild Lübeck, S 70, 202-204

Lessig R, Benthaus S (2003) *Forensische Odontostomatologie*. *Rechtsmedizin* 13: 161-169

Madea B, Brinkmann B (2003) *Handbuch gerichtliche Medizin: Band 2*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1. Auflage, S 1121-1123

Martin R (1914) *Lehrbuch der Anthropologie*. Fischer-Verlag, Jena

Martin R, Saller K (1957) *Kraniometrische Technik*. In: Martin R, Saller K (Hrsg) *Lehrbuch der Anthropologie, Band 1*. Fischer-Verlag, Stuttgart, S 429-500

Menschik A (1987) *Biometrie*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo

Murshed KA, Cicekcibasi AE, TUNCER I (2003) Morphometric Evaluation of the Foramen Magnum and Variations in its Shape: A Study on Computerized Tomographic Images of Normal Adults. *Turk J Med Sci* 3.3:301-306

Oehmichen M, Geserick G (2001) Osteologische Identifikation und Altersschätzung. Verlag Schmidt-Römhild, Lübeck, S 103-121

Pearson K (1899) Mathematical contributions to the theory of evolution / On the reconstruction of the stature of prehistoric races. *Philos Trans Roy Soc, Series A*, 192: 169-244

Penning R, Riepert T unter Mitarbeit von Buhmann D, Ritz-Timme S (2003) Identifikation und forensische Osteologie. In: Madea B, Brinkmann B (2003) *Handbuch gerichtliche Medizin: Band 2*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1. Auflage, S 1121-1123

Rösing FW (1988) Körperhöhenrekonstruktion aus Skelettmaßen. In: Knußmann R (Hrsg) *Anthropologie*, 4. Aufl des Lehrbuches der Anthropologie begründet von R Martin. Band I, Fischer-Verlag, Stuttgart New York

Rothschild MA, Krug B, Riepert T (2001) Postmortale Röntgendiagnostik in der Rechtsmedizin. *Rechtsmedizin* 11: 230-243

Routal RR, Pal GP, Bhagwat SS, Tamankar BP (1984) Metrical studies with sexual dimorphism in foramen magnum of human crania. *J Anat Soc India* 2.33: 85–89

Ryan I, Bidmos MA (2007) Skeletal height reconstruction from measurements of the skull in indigenous South Africans. *Forensic Sci. Int.* 167.1: 16-21

Schmittbuhl M, Le Minor JM, Taroni F, Mangin P (2001) Sexual dimorphism of the human mandible: demonstration by elliptical Fourier analysis. *Int J Legal Med.* 115.2: 100-101

Teixeira WR (1982) Sex identification utilizing the size of the foramen magnum. Am J Forensic Med Pathol. 3: 203-206

Thali MJ, Yen K, Plattner T, Schweitzer W, Vock P, Ozdoba C, Dirnhofer R. (2002) Charred body: virtual autopsy with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging. J Forensic Sci. 47.6:1326-1331

Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Boesch C, Ozdoba C, Schroth G, Ith M, Sonnenschein M, Doernhoefer T, Scheurer E, Plattner T, Dirnhofer R (2003) Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)--a feasibility study. J. Forensic Sci. 48.2: 386-403

Thali MJ, Braun M, Buck U, Aghayev E, Jackowski C, Vock P, Sonnenschein M, Dirnhofer R (2005) VIRTOPSY--scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. J. Forensic Sci. 50.2: 428-442

Thali MJ, Jackowski C, Oesterhelweg L, Ross SG, Dirnhofer R (2007) VIRTOPSY - The Swiss virtual autopsy approach. Leg. Med. (Tokyo) 9.2: 100-104

Uysal S, Gokharman D, Kacar M, Tuncbilek I, Kosa U (2005) Estimation of sex by 3D CT measurements of the foramen magnum. J Forensic Sci. 50.6: 1310-1314

Verhoff MA, Wiesbrock UO, Kreutz K, (2004) Makroskopische Befunde zum Abschluss einer forensisch relevanten Liegezeit bei Knochenfunden- eine Literaturliteraturauswertung. Arch Kriminol 213: 1-14

Verhoff MA, Kreutz K (2005) Forensische Osteologie. Giessener Universitätsblätter – Aufsätze 38: 43-53

Verhoff MA, Ramsthaler F, Kraehahn J, Gille RJ, Kage P, Kage S, Durschnabel M, Strunk J, Deml U, Grabherr S, Jackowski C, Ross S, Oesterhelweg L, Thali M, Kreutz K (2007) Digitale forensische Osteologie. Rechtsmedizin 17: 29-34

Verhoff MA, Ramsthaler F, Krähahn J, Deml U, Gille R, Grabherr S, Thali M, Kreutz K (2008) Digital Forensic Osteology – Possibilities in cooperation with the Virtopsy® Project. Forensic Sci Int 174: 152-156

Wiegand P, Rolf B (2003) Analyse biologischer Spuren, Teil II: DNA-Typisierung. Rechtsmedizin 13: 375-383

Zollikofer CP, Ponce de León MS, Lieberman DE, Guy F, Pilbeam D, Likius A, Mackaye HT, Vignaud P, Brunet M (2005) Virtual cranial reconstruction of *Sahelanthropus tchadensis*. Nature 434: 755-759

8 Anhänge

8.1 Statistische Tabellen

Tab. 11: ANOVA – Einfache Varianzanalyse (t-Test) – Vergleich zwischen den Gruppen Männer und Frauen

Anova			Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Foramen_br * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	435,129	1	435,129	95,791	,000
	Innerhalb der Gruppen		1012,973	223	4,542		
	Insgesamt		1448,102	224			
Foramen_l * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	344,218	1	344,218	69,903	,000
	Innerhalb der Gruppen		1098,108	223	4,924		
	Insgesamt		1442,326	224			
Abstand_rot * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	211,947	1	211,947	15,991	,000
	Innerhalb der Gruppen		2955,613	223	13,254		
	Insgesamt		3167,560	224			
Abstand_ov * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	173,756	1	173,756	15,669	,000
	Innerhalb der Gruppen		2472,811	223	11,089		
	Insgesamt		2646,566	224			
Abstand_spin * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	406,176	1	406,176	27,385	,000
	Innerhalb der Gruppen		3307,491	223	14,832		
	Insgesamt		3713,666	224			
Abstand_lac * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	159,134	1	159,134	26,101	,000
	Innerhalb der Gruppen		1359,582	223	6,097		
	Insgesamt		1518,716	224			
Abstand_jug * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	546,636	1	546,636	28,707	,000
	Innerhalb der Gruppen		4246,279	223	19,042		
	Insgesamt		4792,914	224			
Abstand_ov_re_ba * Geschlecht	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	112,281	1	112,281	23,060	,000
	Innerhalb der Gruppen		1085,799	223	4,869		
	Insgesamt		1198,081	224			

Anova Fortsetzung			Quadrat- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Abstand_ov_li_Ba *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	140,563	1	140,563	29,714	,000
	Innerhalb der Gruppen		1054,919	223	4,731		
	Insgesamt		1195,482	224			
Abstand_spin_re_Ba *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	111,593	1	111,593	20,009	,000
	Innerhalb der Gruppen		1243,707	223	5,577		
	Insgesamt		1355,299	224			
Abstand_spin_li_Ba *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	156,078	1	156,078	32,520	,000
	Innerhalb der Gruppen		1070,291	223	4,800		
	Insgesamt		1226,369	224			
Abstand_ov_re_Op *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	783,846	1	783,846	64,666	,000
	Innerhalb der Gruppen		2703,076	223	12,121		
	Insgesamt		3486,922	224			
Abstand_ov_li_Op *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	790,982	1	790,982	70,598	,000
	Innerhalb der Gruppen		2498,485	223	11,204		
	Insgesamt		3289,466	224			
Abstand_spin_re_Op *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	601,284	1	601,284	47,419	,000
	Innerhalb der Gruppen		2827,713	223	12,680		
	Insgesamt		3428,997	224			
Abstand_spin_li_Op *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	667,986	1	667,986	63,642	,000
	Innerhalb der Gruppen		2340,613	223	10,496		
	Insgesamt		3008,598	224			
for_mag_lae_br *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	,034	1	,034	5,490	,020
	Innerhalb der Gruppen		1,396	223	,006		
	Insgesamt		1,431	224			
Abst_spin_op *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	,007	1	,007	1,230	,269
	Innerhalb der Gruppen		1,274	223	,006		
	Insgesamt		1,281	224			
Abst_ov_op *	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	,026	1	,026	6,572	,011
	Innerhalb der Gruppen		,896	223	,004		
	Insgesamt		,922	224			

Tab. 12: Korrelationen I

Korrelationen I		Groesse	Fora- men_br	Fora- men_l	Ab- stand_rot	Ab- stand_ov	Ab- stand_spin
Groesse	Korrelation nach Pearson	1	,485**	,553**	,260**	,215**	,327**
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,002	,000
	N	207	207	207	207	207	207
Foramen_br	Korrelation nach Pearson	,485**	1	,595**	,327**	,362**	,408**
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Foramen_l	Korrelation nach Pearson	,553**	,595**	1	,302**	,297**	,338**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000		,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Abstand_rot	Korrelation nach Pearson	,260**	,327**	,302**	1	,578**	,496**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000		,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Abstand_ov	Korrelation nach Pearson	,215**	,362**	,297**	,578**	1	,812**
	Signifikanz (2-seitig)	,002	,000	,000	,000		,000
	N	207	225	225	225	225	225
Abstand_spin	Korrelation nach Pearson	,327**	,408**	,338**	,496**	,812**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	207	225	225	225	225	225
Abstand_lac	Korrelation nach Pearson	,304**	,389**	,396**	,413**	,541**	,581**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Abstand_jug	Korrelation nach Pearson	,370**	,345**	,294**	,332**	,434**	,422**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225

Korrelationen I Fortsetzung		Groesse	Fora- men_br	Fora- men_l	Ab- stand_rot	Ab- stand_ov	Ab- stand_spin
Ab- stand_ov_re_ba	Korrelation nach Pearson	,336**	,194**	,321**	,253**	,456**	,403**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,003	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Ba	Korrelation nach Pearson	,270**	,316**	,257**	,327**	,505**	,440**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Ba	Korrelation nach Pearson	,357**	,235**	,316**	,313**	,530**	,667**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_li_Ba	Korrelation nach Pearson	,291**	,356**	,283**	,363**	,557**	,703**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Ab- stand_ov_re_Op	Korrelation nach Pearson	,509**	,446**	,736**	,236**	,283**	,295**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Op	Korrelation nach Pearson	,504**	,492**	,731**	,278**	,292**	,320**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Op	Korrelation nach Pearson	,481**	,417**	,692**	,257**	,300**	,357**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_li_Op	Korrelation nach Pearson	,492**	,491**	,701**	,291**	,308**	,410**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225

Korrelationen I Fortsetzung		Groesse	Fora- men_br	Fora- men_l	Ab- stand_rot	Ab- stand_ov	Ab- stand_spin
for_mag_lae_br	Korrelation nach Pearson	,004	-,578**	,307**	-,082	-,130	-,142*
	Signifikanz (2-seitig)	,959	,000	,000	,221	,051	,034
	N	207	225	225	225	225	225
abst_spin_op	Korrelation nach Pearson	-,137*	-,003	-,308**	,217**	,452**	,574**
	Signifikanz (2-seitig)	,049	,959	,000	,001	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225
abst_ov_op	Korrelation nach Pearson	-,245**	-,054	-,350**	,299**	,622**	,449**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,417	,000	,000	,000	,000
	N	207	225	225	225	225	225

Tab. 12: Korrelationen II

Korrelationen II		Abstand_lac	Abstand_jug	Ab- stand_ov_re- ba	Ab- stand_ov_li- Ba	Ab- stand_spin_r e_Ba
Groesse	Korrelation nach Pearson	,304**	,370**	,336**	,270**	,357**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	207	207	207	207
Foramen_br	Korrelation nach Pearson	,389**	,345**	,194**	,316**	,235**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,003	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Foramen_l	Korrelation nach Pearson	,396**	,294**	,321**	,257**	,316**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225

Korrelationen II Fortsetzung		Abstand_lac	Abstand_jug	Ab- stand_ov_re_ ba	Ab- stand_ov_li_ Ba	Ab- stand_spin_r e_Ba
Abstand_rot	Korrelation nach Pearson	,413**	,332**	,253**	,327**	,313**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov	Korrelation nach Pearson	,541**	,434**	,456**	,505**	,530**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_spin	Korrelation nach Pearson	,581**	,422**	,403**	,440**	,667**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_lac	Korrelation nach Pearson	1	,369**	,319**	,312**	,429**
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_jug	Korrelation nach Pearson	,369**	1	,264**	,302**	,307**
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_re_ba	Korrelation nach Pearson	,319**	,264**	1	,643**	,825**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000		,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Ba	Korrelation nach Pearson	,312**	,302**	,643**	1	,547**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000		,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Ba	Korrelation nach Pearson	,429**	,307**	,825**	,547**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	
	N	225	225	225	225	225

Korrelationen II Fortsetzung		Abstand_lac	Abstand_jug	Ab- stand_ov_re_ ba	Ab- stand_ov_li_ Ba	Ab- stand_spin_r e_Ba
Ab- stand_spin_li_Ba	Korrelation nach Pear- son	,399**	,352**	,548**	,833**	,620**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_re_Op	Korrelation nach Pear- son	,337**	,271**	,808**	,614**	,645**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Op	Korrelation nach Pear- son	,329**	,297**	,663**	,760**	,546**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Op	Korrelation nach Pear- son	,346**	,274**	,781**	,602**	,767**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_li_Op	Korrelation nach Pear- son	,329**	,322**	,659**	,729**	,611**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
for_mag_lae_br	Korrelation nach Pear- son	-,065	-,100	,097	-,118	,047
	Signifikanz (2-seitig)	,334	,136	,145	,078	,483
	N	225	225	225	225	225
abst_spin_op	Korrelation nach Pear- son	,212**	,134*	-,322**	-,133*	-,075
	Signifikanz (2-seitig)	,001	,044	,000	,046	,260
	N	225	225	225	225	225
abst_ov_op	Korrelation nach Pear- son	,188**	,149*	-,267**	-,065	-,071
	Signifikanz (2-seitig)	,005	,025	,000	,331	,287
	N	225	225	225	225	225

Tab. 12: Korrelationen III

Korrelationen III		Ab- stand_spin_li _Ba	Ab- stand_ov_re _Op	Ab- stand_ov_li_ Op	Ab- stand_spin_r e_Op	Ab- stand_spin_li _Op
Groesse	Korrelation nach Pear- son	,291**	,509**	,504**	,481**	,492**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	207	207	207	207
Foramen_br	Korrelation nach Pear- son	,356**	,446**	,492**	,417**	,491**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Foramen_l	Korrelation nach Pear- son	,283**	,736**	,731**	,692**	,701**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_rot	Korrelation nach Pear- son	,363**	,236**	,278**	,257**	,291**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov	Korrelation nach Pear- son	,557**	,283**	,292**	,300**	,308**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_spin	Korrelation nach Pear- son	,703**	,295**	,320**	,357**	,410**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_lac	Korrelation nach Pear- son	,399**	,337**	,329**	,346**	,329**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_jug	Korrelation nach Pear- son	,352**	,271**	,297**	,274**	,322**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225

Korrelationen III Fortsetzung		Ab- stand_spin_li _Ba	Ab- stand_ov_re _Op	Ab- stand_ov_li_ Op	Ab- stand_spin_r e_Op	Ab- stand_spin_li _Op
Abstand_ov_re_ba	Korrelation nach Pearson	,548**	,808**	,663**	,781**	,659**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Ba	Korrelation nach Pearson	,833**	,614**	,760**	,602**	,729**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Ba	Korrelation nach Pearson	,620**	,645**	,546**	,767**	,611**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_li_Ba	Korrelation nach Pearson	1	,516**	,633**	,568**	,742**
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_ov_re_Op	Korrelation nach Pearson	,516**	1	,910**	,941**	,878**
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Op	Korrelation nach Pearson	,633**	,910**	1	,861**	,946**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000		,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Op	Korrelation nach Pearson	,568**	,941**	,861**	1	,876**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000		,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_li_Op	Korrelation nach Pearson	,742**	,878**	,946**	,876**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	
	N	225	225	225	225	225

Korrelationen III Fortsetzung		Ab- stand_spin_li _Ba	Ab- stand_ov_re _Op	Ab- stand_ov_li _Op	Ab- stand_spin_r e_Op	Ab- stand_spin_li _Op
for_mag_lae_br	Korrelation nach Pearson	-,140*	,221**	,159*	,213**	,131*
	Signifikanz (2-seitig)	,036	,001	,017	,001	,050
	N	225	225	225	225	225
abst_spin_op	Korrelation nach Pearson	,130	-,560**	-,468**	-,558**	-,402**
	Signifikanz (2-seitig)	,051	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
abst_ov_op	Korrelation nach Pearson	,057	-,573**	-,493**	-,508**	-,454**
	Signifikanz (2-seitig)	,399	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225

Tab. 12: Korrelationen IV

Korrelationen IV		Ab- stand_spin_li _Ba	Ab- stand_ov_re _Op	Ab- stand_ov_li _Op	Ab- stand_spin_r e_Op	Ab- stand_spin_li _Op
Groesse	Korrelation nach Pearson	,291**	,509**	,504**	,481**	,492**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	207	207	207	207	207
Foramen_br	Korrelation nach Pearson	,356**	,446**	,492**	,417**	,491**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Foramen_l	Korrelation nach Pearson	,283**	,736**	,731**	,692**	,701**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225

Korrelationen IV Fortsetzung		Ab- stand_spin_li _Ba	Ab- stand_ov_re _Op	Ab- stand_ov_li _Op	Ab- stand_spin_r e_Op	Ab- stand_spin_li _Op
Abstand_rot	Korrelation nach Pearson	,363**	,236**	,278**	,257**	,291**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov	Korrelation nach Pearson	,557**	,283**	,292**	,300**	,308**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_spin	Korrelation nach Pearson	,703**	,295**	,320**	,357**	,410**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_lac	Korrelation nach Pearson	,399**	,337**	,329**	,346**	,329**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_jug	Korrelation nach Pearson	,352**	,271**	,297**	,274**	,322**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_re_ba	Korrelation nach Pearson	,548**	,808**	,663**	,781**	,659**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Ba	Korrelation nach Pearson	,833**	,614**	,760**	,602**	,729**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Ba	Korrelation nach Pearson	,620**	,645**	,546**	,767**	,611**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225

Korrelationen IV Fortsetzung		Ab- stand_spin_li _Ba	Ab- stand_ov_re _Op	Ab- stand_ov_li_ Op	Ab- stand_spin_r e_Op	Ab- stand_spin_li _Op
Ab- stand_spin_li_Ba	Korrelation nach Pear- son	1	,516**	,633**	,568**	,742**
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_ov_re_Op	Korrelation nach Pear- son	,516**	1	,910**	,941**	,878**
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Abstand_ov_li_Op	Korrelation nach Pear- son	,633**	,910**	1	,861**	,946**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000		,000	,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_re_Op	Korrelation nach Pear- son	,568**	,941**	,861**	1	,876**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000		,000
	N	225	225	225	225	225
Ab- stand_spin_li_Op	Korrelation nach Pear- son	,742**	,878**	,946**	,876**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	
	N	225	225	225	225	225
for_mag_lae_br	Korrelation nach Pear- son	-,140*	,221**	,159*	,213**	,131*
	Signifikanz (2-seitig)	,036	,001	,017	,001	,050
	N	225	225	225	225	225
abst_spin_op	Korrelation nach Pear- son	,130	-,560**	-,468**	-,558**	-,402**
	Signifikanz (2-seitig)	,051	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225
abst_ov_op	Korrelation nach Pear- son	,057	-,573**	-,493**	-,508**	-,454**
	Signifikanz (2-seitig)	,399	,000	,000	,000	,000
	N	225	225	225	225	225

Tab. 12: Korrelationen V

Korrelationen V		for_mag_lae_br	abst_spin_op	abst_ov_op
Groesse	Korrelation nach Pearson	,004	-,137*	-,245**
	Signifikanz (2-seitig)	,959	,049	,000
	N	207	207	207
Foramen_br	Korrelation nach Pearson	-,578**	-,003	-,054
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,959	,417
	N	225	225	225
Foramen_l	Korrelation nach Pearson	,307**	-,308**	-,350**
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000
	N	225	225	225
Abstand_rot	Korrelation nach Pearson	-,082	,217**	,299**
	Signifikanz (2-seitig)	,221	,001	,000
	N	225	225	225
Abstand_ov	Korrelation nach Pearson	-,130	,452**	,622**
	Signifikanz (2-seitig)	,051	,000	,000
	N	225	225	225
Abstand_spin	Korrelation nach Pearson	-,142*	,574**	,449**
	Signifikanz (2-seitig)	,034	,000	,000
	N	225	225	225
Abstand_lac	Korrelation nach Pearson	-,065	,212**	,188**
	Signifikanz (2-seitig)	,334	,001	,005
	N	225	225	225
Abstand_jug	Korrelation nach Pearson	-,100	,134*	,149*
	Signifikanz (2-seitig)	,136	,044	,025
	N	225	225	225
Abstand_ov_re_ba	Korrelation nach Pearson	,097	-,322**	-,267**
	Signifikanz (2-seitig)	,145	,000	,000
	N	225	225	225

Korrelationen V Fortsetzung		for_mag_lae_br	abst_spin_op	abst_ov_op
Abstand_ov_li_Ba	Korrelation nach Pearson	-,118	-,133 ⁺	-,065
	Signifikanz (2-seitig)	,078	,046	,331
	N	225	225	225
Abstand_spin_re_Ba	Korrelation nach Pearson	,047	-,075	-,071
	Signifikanz (2-seitig)	,483	,260	,287
	N	225	225	225
Abstand_spin_li_Ba	Korrelation nach Pearson	-,140 ⁺	,130	,057
	Signifikanz (2-seitig)	,036	,051	,399
	N	225	225	225
Abstand_ov_re_Op	Korrelation nach Pearson	,221 ^{**}	-,560 ^{**}	-,573 ^{**}
	Signifikanz (2-seitig)	,001	,000	,000
	N	225	225	225
Abstand_ov_li_Op	Korrelation nach Pearson	,159 ⁺	-,468 ^{**}	-,493 ^{**}
	Signifikanz (2-seitig)	,017	,000	,000
	N	225	225	225
Abstand_spin_re_Op	Korrelation nach Pearson	,213 ^{**}	-,558 ^{**}	-,508 ^{**}
	Signifikanz (2-seitig)	,001	,000	,000
	N	225	225	225
Abstand_spin_li_Op	Korrelation nach Pearson	,131 ⁺	-,402 ^{**}	-,454 ^{**}
	Signifikanz (2-seitig)	,050	,000	,000
	N	225	225	225
for_mag_lae_br	Korrelation nach Pearson	1	-,315 ^{**}	-,297 ^{**}
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000
	N	225	225	225
abst_spin_op	Korrelation nach Pearson	-,315 ^{**}	1	,841 ^{**}
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000
	N	225	225	225

Korrelationen V Fortsetzung		for_mag_lae_br	abst_spin_op	abst_ov_op
abst_ov_op	Korrelation nach Pearson	-,297**	,841**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	
	N	225	225	225

Tab. 13: Lineare Regressionsanalyse- Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, getrennt nach Geschlecht (Männer)

Geschlecht = m

Aufgenommene/Entfernte Variablen ^{b,c}			
Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Foramen_I ^a	.	Einschluß

Modellzusammenfassung ^b				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,262 ^a	,069	,060	6,348

ANOVA ^{b,c}				
Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate
1	Regression	328,930	1	328,930
	Nicht standardisierte Residuen	4472,840	111	40,296
	Gesamt	4801,770	112	

Koeffizienten ^{a,b}						
Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	149,032	9,702		15,361	,000
	Foramen_I	,752	,263	,262	2,857	,005

Tab. 14: Lineare Regressionsanalyse- Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, getrennt nach Geschlecht (Frauen)

Geschlecht = w

Aufgenommene/Entfernte Variablen ^{b,c}			
Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Foramen_I ^a	.	Einschluß

Modellzusammenfassung ^b				
Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,456 ^a	,208	,200	7,252

ANOVA ^{b,c}				
Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate
	Regression	1272,740	1	1272,740
	Nicht standardisierte Residuen	4838,079	92	52,588
	Gesamt	6110,819	93	

Koeffizienten ^{a,b}						
Modell		Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
1	(Konstante)	107,804	11,532		9,349	,000
	Foramen_I	1,653	,336	,456	4,920	,000

8.2 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

8.2.1 Tabellen

Tab. 1: Zusammenstellung geschlechtsspezifischer morphognostischer Merkmale am Erwachsenenschädel (Verhoff MA, Kreutz K, 2005)

Tab. 2: Deskriptive Statistik: Alter, Größe und Gewicht für beide Geschlechter zusammen

Tab. 3: Deskriptive Statistik für alle Parameter

Tab. 4: Deskriptive Statistik unter Berücksichtigung des Geschlechts (N=225, 128 männliche und 97 weibliche Schädel)

Tab. 5: Prozentsatz der richtigen Vorhersagen des Geschlechts unter Einbezug des Parameters Foramen-magnum-Breite

Tab. 6: Prozentsatz der richtigen Vorhersagen des Geschlechts unter Einbezug aller 15 Parameter

Tab. 7: Prozentsatz der richtigen Vorhersagen des Geschlechts unter Einbezug des Index Foramen-magnum-Breite zu Foramen-magnum-Länge

Tab. 8: Maximum, minimum, means, standard deviations, t and P values for foramen magnum parameters-gender comparative results (Murshed et al. 2003)

Tab. 9: Descriptive statistics for 158 crania of the St. Bride's documented skeletal collection (Gapert et al. 2008)

Tab. 10: Ergebnisübersicht zu Messungen verschiedener Untersuchungen des F. magnum

Tab. 11: ANOVA – Einfache Varianzanalyse (t-Test)

Tab. 12: Korrelationen

Tab. 13: Lineare Regressionsanalyse- Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, getrennt nach Geschlecht (Männer)

Tab. 14: Lineare Regressionsanalyse- Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, getrennt nach Geschlecht (Frauen)

8.2.2 Abbildungen

Abb. 1: Messung der Körperhöhe

(<http://costumefamily.com/store/images/cosplay/new/chart2.gif>)

Abb. 2: MSCT Emotion 6 (Siemens, Germany) & ATOS III (GOM, Germany). Simulation of 3D surface scanning with a puppet (<http://www.virtopsy.com>)

Abb. 3: MRI 1.5 Tesla (General Electrics, USA) at the Insel Hospital, Bern (<http://www.virtopsy.com/>)

Abb. 4: Hounsfield, 1968, erster Experimental-Scanner (<http://www.meb.uni-bonn.de/epileptologie/cms/upload/homepage/lehnertz/CT1.pdf>)

Abb. 5: Arbeitsoberfläche der Leonardo Workstation

Abb. 6: Digitale 3D-Rekonstruktion eines Schädels nach dem Hochladen

Abb. 7: Darstellung des Schädels nach "Fenstern"

Abb. 8: Schädel nach der Frankfurter Ebene ausgerichtet

Abb. 9: Schädeldach „entfernt“

Abb. 10: Darstellung der Schädelbasis

Abb. 11: Schädel mit Messstrecken

Abb. 12: Schädel nach links geneigt zur Messung des F. rotundum/jugulare

Abb. 13: Formblatt zum Vermerk der Messwerte sowie der Stammdaten

Abb. 14: Geschlechtsverteilung der 225 Schädel

Abb. 15: Schädelbasis, Messpunkte beschriftet

Abb. 16: Schematische Darstellung der Messstrecken

Abb. 17: Schädel mit Messstrecken

Abb. 18: Foramen-magnum-Breite, getrennt nach Geschlecht

Abb. 19: Lineare Regression Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, getrennt nach Geschlecht

Abb. 20: Lineare Regression Foramen-magnum-Länge gegen Körpergröße, mit Vorhersagebereich

8.3 Ehrenwörtliche Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der "Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" niedergelegt sind, eingehalten.“

Gießen, den 04.01.2010

**Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen
Version der Arbeit entfernt.**

**The curriculum vitae was removed from the
electronic version of the paper.**

8.5 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Professor Dr. med. Verhoff für die Überlassung dieses Themas und für sein großes Engagement bei der Betreuung meiner Dissertation.

Weiterhin danke ich dem Team des Virtopsy®-Projektes unter Prof. Dr. med. Thali des Rechtsmedizinischen Institutes der Universität Bern für die Unterstützung bei meiner Arbeit und die großzügige Bereitstellung des Arbeitsplatzes an einer Virtopsy®-Workstation.

Außerdem danke ich ebenfalls Jonathan Krähahn für seine Hilfe vor Ort und Herrn Pabst vom Institut der Medizinischen Informatik der Universität Gießen.

Ein herzliches Dankeschön auch an meine Freundin, Familie und Freunde, die mir bei der Ersterung dieser Arbeit geholfen haben.