

Untersuchung zur Anatomie des
Felsenbeins im Computertomogramm am Landschwein und
Göttinger Minipig

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Mende, Frederik Maximilian
2015

Dekan: Professor Dr. I.B. Autenrieth
1. Berichterstatter: Professor Dr. M. Morgalla
2. Berichterstatter: Professor Dr. T. Nägele

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	V
1. Einleitung.....	1
1.1 Craniale Computertomographie-Aufnahmen zur Darstellung des Felsenbeins für die präoperative Planung und Orientierung.....	1
1.2 Anatomische Untersuchungen am Felsenbein von Tieren	3
1.3 Computertomographische Untersuchungen des Felsenbeins bei Tieren	3
1.4 Anatomische Untersuchungen des Felsenbeins	4
1.5 Darstellungen des Felsenbeins am Hausschwein	5
2. Material und Methoden.....	6
2.1 Grundlagen der Computertomographie.....	6
2.2 Anatomie des knöchernen Schweineschädels	7
2.3 Tiere, Material und Methoden.....	9
2.3.1 Tiere	9
2.3.2 Allgemeines Vorgehen.....	10
2.3.3 Asservierung und Präparation der Schweineschädel	10
2.3.4 Apparatur.....	11
2.3.5 Messprotokoll	11
2.3.6 CT-gestützte Morphometrie	12
2.3.7 Statistik.....	21
3. Ergebnisse	23
3.1 Beschreibung der Verteilung	23
3.1.1 Körpergewichtsverteilung	23
3.1.2 Statistische Verteilung der am Landschwein bestimmten Messwerte	24
3.1.2 Statistische Verteilung der am Göttinger Minipig bestimmten Messwerte	34
3.2 Auswertung	43
3.2.1 Landschwein.....	44
3.2.1.1 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Messgröße ...	44
3.2.1.2 Zusammenhang zwischen Schädelbasislänge und Messgröße	57
3.2.2 Göttinger Minipig	70
3.2.2.1 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Messgröße ...	70

3.2.2.2 Zusammenhang zwischen Schädelbasislänge und Messgröße	84
3.3 Vergleich Göttinger Minipig und Landschwein.....	97
4. Diskussion.....	121
4.1 Material und Methode.....	121
4.1.1 Tiermodell.....	121
4.1.2 Computertomographie.....	121
4.2 Ergebnisse.....	122
4.2.1 Körpergewichtsverteilung.....	122
4.2.2 Statistische Verteilung der vermessenen Merkmale.....	122
4.2.3 Zusammenhänge zwischen Körpergewicht und Messparameter	124
4.2.4 Zusammenhänge zwischen Schädelbasislänge und Messparameter.....	125
4.2.5 Vergleich zwischen Göttinger Minipig und Landschwein.....	127
5. Zusammenfassung.....	128
6. Anhang.....	130
6.1 Tabellenverzeichnis.....	130
6.2 Abbildungsverzeichnis.....	133
7. Literaturverzeichnis.....	140
8. Danksagung.....	142

Abkürzungsverzeichnis

CT	Computertomographie
CCT	Craniale Computertomographie
HE	Houndsfieldeinheiten
LS	Landschwein
MAE	Meatus acusticus externus
MAEa	Meatus acusticus externus, am distalen Ende
MAEi	Meatus acusticus externus, am proximalen Ende
MAI	Meatus acusticus internus
MP	Göttinger Minipig
MPR	Multiplanare Reformation
MW	Mittelwert
Std.Abw.	Standardabweichung

1. Einleitung

Schweine stellen mit 15.633 durchgeführten Tierversuchen im Jahr 2010 das am meisten verwendete Großtiermodell dar (Tierversuchszahlen 2011, www.bmelv.de 2013). Insbesondere werden Schweine hierbei am häufigsten für biologische Grundlagenforschung, aber auch für die Entwicklung und Erforschung von Produkten für die Human-, Zahn- und Veterinärmedizin verwendet

Studien über die Verwendung von Schweinen als Modellorganismus für die Entwicklung und Verbesserung von operativen Verfahren in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde sind dürftig. Genaue Kenntnisse über die anatomischen Verhältnisse sind für die Entwicklung solcher Modelle jedoch notwendig. Eine Möglichkeit, diese zu gewinnen, stellen hochauflösende craniale computertomographische Aufnahmen dar.

1.1 Craniale Computertomographie-Aufnahmen zur Darstellung des Felsenbeins für die präoperative Planung und Orientierung

Insbesondere in der Forschung mit Cochlearimplantaten werden craniale Computertomographie-Aufnahmen dringend benötigt. Hierbei können prä- und postoperative CT-Aufnahmen bei Cochlearimplantation eine exaktere Platzierung des Implantats garantieren, als diese intraoperativ möglich ist [1]. Durch die Entwicklung von Methoden zur Bildqualitätssteigerung und Auflösungsvergrößerung von prä- und postoperativen CT-Aufnahmen bei Cochlearimplantationspatienten kann die Lage der implantierten Elektrode im Innenohr weiter präzisiert werden [2]. Ketten et al. kommen in ihrer Studie mit 20 cochlearimplantierten Patienten zu dem Schluss, dass CT-Aufnahmen und 3-dimensionale Rekonstruktionen unverzichtbar sind, um die Länge der Cochlea und die Eindringtiefe der intracochlearen Elektrode zu detektieren. Die Resultate ergeben, dass anatomische Varianten, die zur fehlerhaften Positionierung der Implantate führen, wiederum zu Leistungseinbußen der Hörfähigkeit der Patienten führen. Diese lassen sich mittels hochauflösender CT-Aufnahmen und derer 3-dimensionalen Rekonstruktionen zuverlässig detektieren [1]. Dieses Ergebnis wird in der Studie von Skinner et al. bestätigt. Mittels CT-Aufnahmen des In-

nenohrs konnte festgestellt werden, dass die Eindringtiefe des Implantats in die Cochlea direkt mit der Hörfähigkeit des Patienten korreliert [3].

Die angeführten Studien belegen die Wichtigkeit von exakten anatomischen Kenntnissen des Innenohrs für die Kontrolle und Planung von Cochlearimplantationen.

Durch die 3-dimensionale Darstellung von CT-Aufnahmen lassen sich anatomische Strukturen im und um das Mittelohr sowie Beziehungen zwischen den Strukturen erkennen, was der chirurgischen Orientierung zugutekommt [4]. Für die Kenntnis der Anatomie und Pathologie des Innenohrs sind 3D-Rekonstruktionen von CT-Aufnahmen ebenfalls von Nutzen. So befassen sich Reisser et al. mit den 3D-Rekonstruktionen des Felsenbeins von 41 Patienten mit verschiedenen otologischen Erkrankungen. Anhand dieser Rekonstruktionen konnten zahlreiche anatomische Details des Innenohrs, wie: Cochlea, Vestibulum, Meatus acusticus internus und die Bogengänge umfassend dargestellt werden. Ausnahmen bei der Darstellung sind der Aquaeductus vestibuli und cochleae sowie Modiolus cochleae. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass mit der Computertomographie eine exzellente Darstellung der Felsenbein-anatomie möglich ist [5].

Die Chirurgie im Bereich des Felsenbeins ist sehr vielseitig und anspruchsvoll, was unter anderem durch die Studien über die Schwierigkeit der exakten Positionierung von Cochlearimplantaten untermauert wird [1-3]. Für die Mittelohrchirurgie ist die präoperative Kenntnis der anatomischen Verhältnisse außerordentlich wichtig. So ist die detaillierte Beurteilung und Identifikation der Gehörknöchelchen durch 3D-Rekonstruktionen von CT-Aufnahmen eine gute Methode zur Diagnosestellung bei Cholesteatom [6]. Da knöcherne Strukturen einen hohen Röntgenkontrast besitzen, ist die Computertomographie zur Darstellung das Mittel der Wahl [7]. Besonders wertvoll ist für die OP-Planung, dass über 3D-Rekonstruktionen von CT-Aufnahmen die topographischen sowie anatomischen Beziehungen der Strukturen des Felsenbeins darstellbar sind [8]. Die Vorstellung der dreidimensionalen Anatomie anhand von CT-Aufnahmen bereitet häufig Schwierigkeiten. Noble et al. entwickelten einen Algorithmus, mit dessen Hilfe sich kleinste anatomische Strukturen am Ohr, wie N. facialis und Chorda tympani, automatisiert lokalisieren lassen. Im Vergleich zu der visuellen (nicht-automatisierten) Identifikation des behandelten Arztes auf dem CT-Bild

weist diese Methode nur eine sehr geringe Fehlerrate auf. Noble et al. folgern daraus, dass der Algorithmus zur präoperativen Planung für die zuverlässige und präzise Vorgehensweise bei neurootologischen Operationen genutzt werden kann. So wird die präoperative Erkennung von Normvarianten verbessert und Fehler vermieden [9].

Auch in Bezug auf die Spezifität und Sensitivität der Computertomographie bei der präoperativen Erkennung der Durchlässigkeit der Scala tympani evaluieren Langman et al. in einer prospektiven Studie neue Erkenntnisse. Eine offene Scala tympani bei Gehörlosigkeit bietet die beste Möglichkeit die Elektrode bei Cochlearimplantation in die Cochlea einzuführen. Die Sensitivität der CT in dieser Studie betrug 100%, die Spezifität 86% [10].

1.2 Anatomische Untersuchungen am Felsenbein von Tieren

Bei vielen experimentellen Studien werden Tiermodelle verwendet. Arbeiten über Untersuchungen zur Beschreibung der exakten Anatomie des Felsenbeins am Tiermodell sind daher unerlässlich.

Bis 1992 gab es über die detaillierte mikroskopische Anatomie des Felsenbeins am Meerschweinchen nur wenige Informationen. Die mikroskopische Anatomie des Felsenbeins, der Tuba auditiva und des Innenohrs beim Meerschweinchen im Vergleich zum Menschen wird erstmals beschrieben und diskutiert von Goksu et al. Eine weitere Untersuchung zu diesem Thema ist die Arbeit von Wysocki et al. Beide Autoren finden bei den seziierten, unter dem Mikroskop betrachteten Meerschweinchen vier pneumatisierte Räume im Bereich des Felsenbeins. Neben der bereits aus der Literatur bekannten Paukenhöhle und Bulla dorsalis werden luftgefüllte Zellen im Processus mastoideus und in der Region des N. facialis beschrieben. Wysocki et al. schlagen diese als alternativen Zugangsweg vor, um zum Beispiel an den oberen und seitlichen Bogengang oder die Gehörknöchelchen zu gelangen [11].

1.3 Computertomographische Untersuchungen des Felsenbeins bei Tieren

Eine der ersten CT-Untersuchungen zur Beschreibung der detaillierten Anatomie des Felsenbeins wurde von Probst et al. durchgeführt. CT-Aufnahmen des Felsenbeins von fünf Hunden wurden hierfür erstellt und analysiert. Probst et al. vergleichen diese Aufnahmen mit anatomischen Präparaten von Hunden und

folgert, dass knöchernen Strukturen mittels des CT gut dargestellt werden können [12].

Für Lehrzwecke ist die 3D-Darstellung des Mittel- und Innenohrs von besonderer Bedeutung. Die jeweiligen Strukturen erscheinen durch diese Darstellung als ein exaktes Abbild der Anatomie. Ein Beispiel hierfür ist die Arbeit von Eom et al. Aufgrund derer von 3-dimensional rekonstruierten CT-Aufnahmen des Mittelohrs eine virtuelle Otoskopie möglich ist. Die Daten der CT-Aufnahmen stammen aus einem Datensatz, der an n=5 Hunden gewonnen wurde. Eom et al. zeigen, dass alle Strukturen des Mittelohrs, wie die Paukenhöhle, Tuba auditiva, Gehörknöchelchenkette und Gehörkanal zu erkennen sind. Ausnahmen sind kleine Strukturen wie Amboss und Steigbügel. Die Ergebnisse der Studie beinhalten nicht nur diagnostische Informationen, sondern auch Vorschläge zur Verbesserung der studentischen Ausbildung. Ziel ist ein verbessertes anatomisches Verständnis am Mittelohr [13].

Um möglichst exakte 3D-Modelle zu erstellen, werden in einigen Studien häufig zusätzliche Daten aus histologischen Schnitten und aus der Literatur herangezogen. Die Daten werden miteinander verglichen und Übereinstimmungen gesucht. Dadurch wird die Fehlersumme reduziert und die geometrischen Modell möglichst exakt. Dies ist besonders bei den feinen Strukturen des Felsenbeins, wie der Cochlea, von Bedeutung [14]. Auf Basis der bereits beschriebenen Studie von Lee et al.[14] werden Methoden zur Kontrastverstärkung verwendet, um die flüssigkeitsgefüllten Kammern des Innenohrs darzustellen. Die daraus entstehenden CT-Aufnahmen sind die Grundlage für die Erstellung weiterer 3D-Modelle [15].

1.4 Anatomische Untersuchungen des Felsenbeins

Bereits vor der Einführung der CT wurde das Felsenbein in eingehenden anatomischen Studien charakterisiert, ein Beispiel hierfür ist die Arbeit von Anson et al., in deren Studie die Distanzen des Mittel- und Innenohrs vermessen werden [16]. Mit Hilfe von Erkenntnissen, die mittels der Anatomie gewonnen wurden, können keramische Modelle des Felsenbeins angefertigt werden. Da Leichenpräparate nicht immer in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen, können solche Keramikmodelle zu Übungszwecken verwendet werden. Die keramischen Modelle sind insbesondere für die Mittelohrchirurgie interessant, da sie

ein exaktes Abbild des Felsenbeins darstellen [17]. Eine Zusammenfassung der Ausbildung und Lehre des Felsenbeins sowie einen Ausblick für zukünftige Forschungsansätze und Möglichkeiten gibt die Arbeit von George et al.[18].

1.5 Darstellungen des Felsenbeins am Hausschwein

Eine Alternative zu dem keramischen Modell von Schwager et al.[17] ist das Hausschwein als Tiermodell für die Ohrchirurgie. In ihrer Studie analysieren und vermessen Gurr et al. die Felsenbeine von n=10 Hausschweinen [19]. Bei der Präparation der Felsenbeine wurde nach strikter HNO-chirurgischer Reihenfolge vorgegangen. Zur Vermessung wurde ein Standardmikroskop für Chirurgie mit Kamera benutzt. Hierbei wurde der externe Gehörkanal eröffnet und vermessen, das Trommelfell vermessen und entfernt, die Positionen von Gehörknöchelchen, rundem Fenster, N. facialis und Chorda tympani dokumentiert und eine Mastoidektomie durchgeführt. Anschließend wurden die Gehörknöchelchen entfernt und die Paukenhöhle vermessen. Die daraus gewonnenen Daten wurden mit den Literaturdaten des Felsenbeins vom Menschen verglichen. Ziel der Untersuchung war es, ein probates Trainingsobjekt für die HNO-Chirurgie zu erstellen. Gurr et al. fanden folgende Unterschiede: Der äußere Gehörkanal ist viel länger und anders positioniert als beim Menschen, das Mastoid ist schwer zu identifizieren und nicht pneumatisiert, pneumatisierte Räume befinden sich anterior und caudal der Eustachischen Röhre. Das Mittelohr des Schweins ähnelt dem menschlichen in seinen Dimensionen und den Positionen der Strukturen zueinander. Gurr et al. folgern, dass das Felsenbein des Hausschweins, unter Berücksichtigung einiger Aspekte, eine Alternative für chirurgisches Training in der HNO-Lehre sein kann [19, 20].

2. Material und Methoden

2.1 Grundlagen der Computertomographie

1967 entwickelte Godfrey Hounsfield die Computertomographie. In den frühen 70er Jahren wurde die CT in die Praxis umgesetzt und 1979 mit einem Nobelpreis für Medizin/Physiologie ausgezeichnet.

Beim CT handelt es sich um ein Schnittbildverfahren, bei dem der menschliche Körper in Querschnittsbildern dargestellt wird. Bei diesem Röntgenschnittverfahren wird ein Computer zum Bildaufbau benötigt. Das zugrundeliegende Prinzip ist, dass die von einer Röntgenröhre ausgehende Strahlung sich im Kreis um den menschlichen Körper bewegt und von den Organen unterschiedlich abgeschwächt wird. Auf der gegenüberliegenden Seite der Strahlungsquelle befindet sich ein Kranz aus Strahlendetektoren, der die Intensitätsminderung hinter dem Patienten misst. Durch quantitative Messungen verschiedener Absorptionen in bestimmten Volumenelementen errechnet und fügt ein Computer ein Schnittbild zusammen. Die bildliche Darstellung auf einem Monitor entspricht somit den errechneten Werten der Strahlenabsorption innerhalb eines Messobjekts.

Durch die sogenannte Inkrementaltechnik wird die Liege des Patienten nach jedem Schnittbild um eine gewisse Distanz in Längsrichtung verschoben. Dadurch entstehen von einer bestimmten Region des Patienten eine Reihe von Querschnittsaufnahmen in einer bestimmten Dicke (z.B. 1mm). Hierdurch sind im Gegensatz zur konventionellen Röntgentechnik (Luft/Fett, Wasser, Knochen) über 2000 verschiedene Dichtewerte unterscheidbar. Ähnlich der Inkrementaltechnik verhält es sich bei der Spiral-CT. Hier wird der Tisch kontinuierlich in Längsrichtung verschoben und die Röhre rotiert ebenfalls kontinuierlich.

Der Schwächung der Strahlungsintensität wurden allgemein gültige Werte zugeordnet, deren Einheit - nach dem Erfinder der Computertomographie - Hounsfield-Einheit (HE) benannt wird. Gemäß der Hounsfield-Skalierung wurde dem Dichtewert von Wasser der Wert 0 HE zugeordnet, welcher als erster Fixpunkt der Skala dient. Der zweite, willkürlich festgelegte Wert, -1000 HE wurde Luft zugeordnet.

Hounsfield Units	Gewebe
200-1500	Knochen
50-90	Blut
20-45	Gehirn
7	Liquor
0	Wasser
-65±5	Fett
-1000	Luft

Tabelle 1: Dichteskala in Hounsfieldeinheiten.

Die zusätzlichen Dichtewerte der Skala werden anhand einer mathematischen Formel aus den zwei genannten Fixpunkten: Wasser (0 HE) und Luft (-1000 HE) errechnet.

Es kann nun ein beliebig manipulierbarer Graukeil über diese Dichteskala gelegt werden. Dieser kann entweder über Ausschnitte der Skala oder die gesamte Skala gelegt werden. Dabei sind die jeweiligen Endpunkte des Graukeils entweder schwarz, bei geringer Strahlenabsorption (Luft), oder weiß, bei hoher Strahlenabsorption (Knochen). Dieses sogenannte Fenster gibt die Weite des Graukeils an und wird in HU angegeben.

2.2 Anatomie des knöchernen Schweineschädels

Die Unterteilung des Kopfskeletts erfolgt in Cranium (Hirnschädel) und Facies (Gesichtsschädel). Der Gesichtsschädel ist bei Tieren im Allgemeinen deutlich stärker ausgeprägt als der Hirnschädel. Durch die Crista nuchae lässt sich die Schädeldecke des Schweines in einen occipitalen und einen dorsalen Anteil unterteilen. Der dorsale Teil bildet hierbei ein gut zugängiges Knochenplateau. Es besteht aus den rostral gelegenen Ossa frontalia und den weiter occipital gelegenen Ossa parietalia. Der occipitale Anteil der Schädeldecke ist durch die Überdeckung von Nackenspeck und Muskulatur weniger gut zugänglich. Die seitlichen knöchernen Anteile des Schädels bestehen aus den Ossa temporalia, parietalia und frontalia. Die Orbita wird aus dem Os zygomaticum, dem Os lacrimale und dem Os frontale gebildet. Durch das Ligamentum orbitale wird die Lücke zwischen Os frontale und Os zygomaticum geschlossen, da beim Schwein die Augenhöhle nicht ganz geschlossen ist [21].

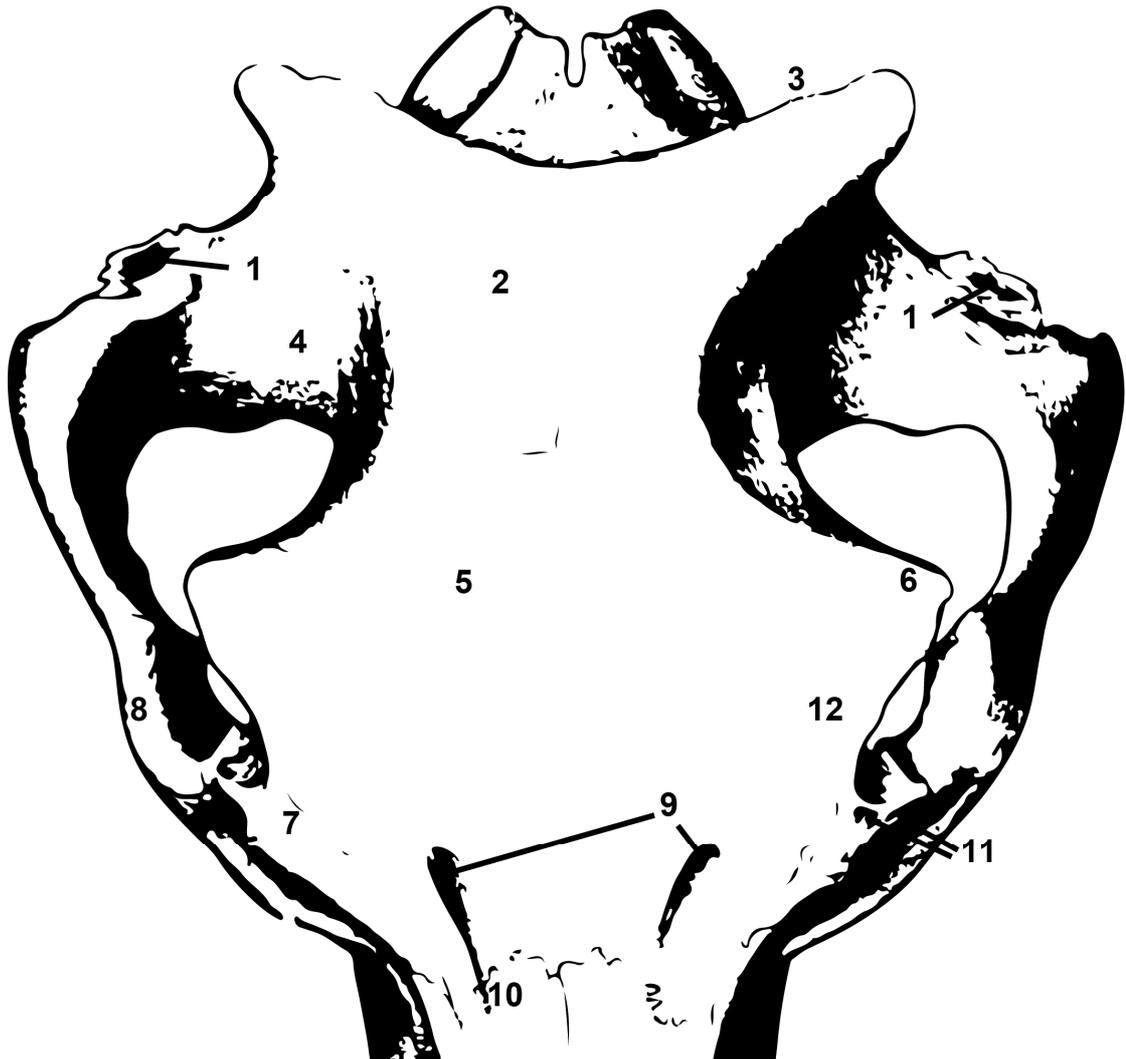


Abbildung 1: Schweineschädel (von dorsal): (1) Porus acusticus externus, (2) Os frontale, (3) Crista nuchae, (4) Os temporale, (5) Os frontale, (6) Processus zygomaticus ossis frontalis, (7) Os lacrimale, (8) Os zygomaticus, (9) Foramen supraorbitale, (10) Os nasale, (11) Foramina lacrimalia, modifiziert nach [22].

Im Gegensatz zum juvenilen Schwein ist beim adulten Schwein das komplette Schädeldach durch die Sinus frontales pneumatisiert [23]. Mit Erreichen der Pubertät im fünften bis sechsten Lebensmonat beginnt die Ausbildung der luftgefüllten Räume [24].

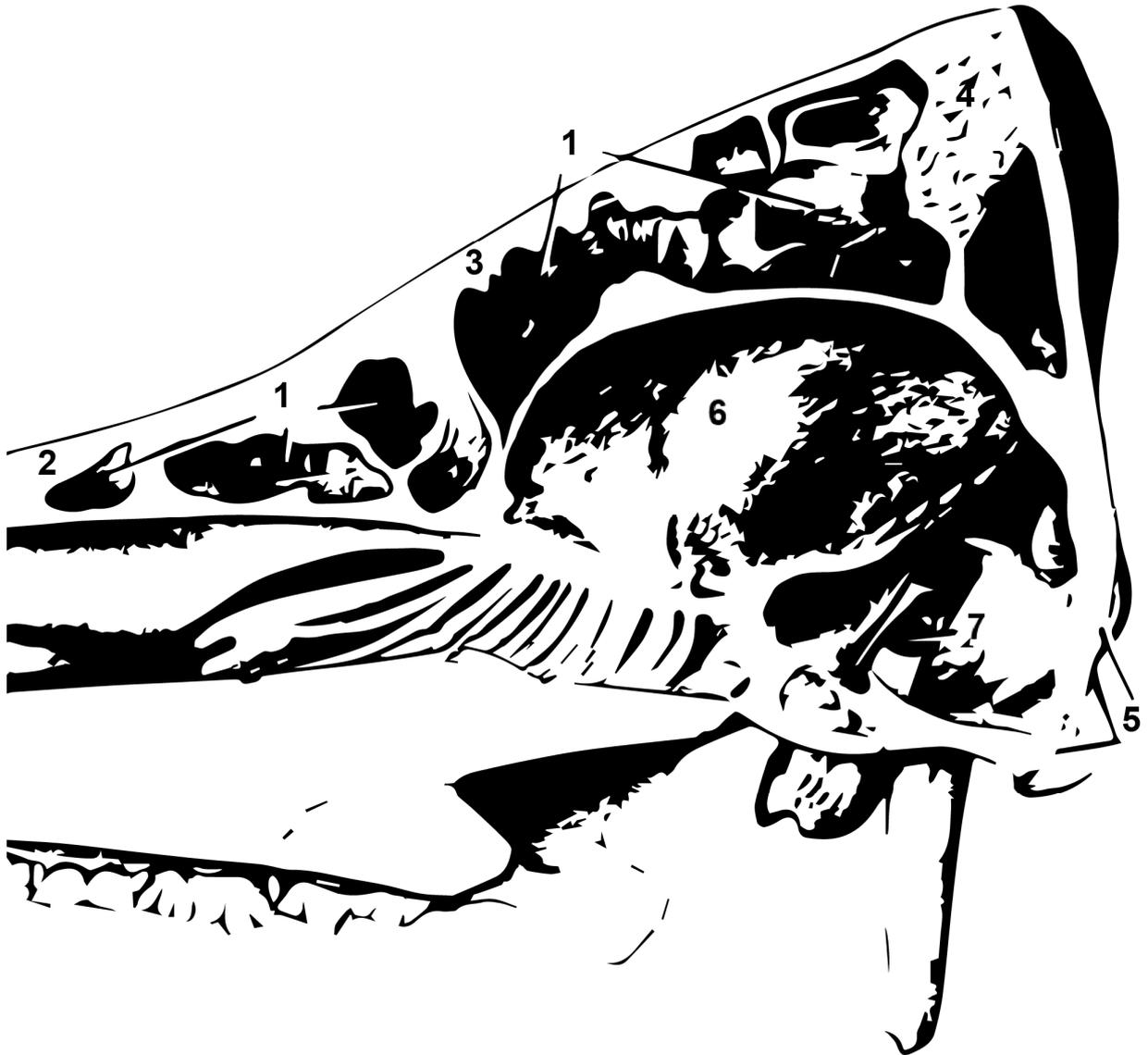


Abbildung 2: Sagittalschnitt des Schwineschädels: (1) Sinus frontalis, (2) Os nasale, (3) Os frontale, (4) Os parietale, (5) Foramen magnum, (6) Cavum cranii, (7) Porus acusticus internus, modifiziert nach [22].

2.3 Tiere, Material und Methoden

2.3.1 Tiere

Die Untersuchung erfolgte an n=30 Schweinen. Darunter waren n=20 weibliche Landschweine mit einem Gewicht zwischen 12 bis 75 kg. Bei den restlichen n=10 handelte es sich um männliche Göttinger Minipigs[®] mit einem Gewicht zwischen 18 bis 23 kg. Die Tiere wurden alle vom Experimental-OP Zentrum, Paul-Ehrlich-Straße, Tübingen, zur Verfügung gestellt. Entsprechend der Guidelines of the European Societies of Laboratory Animal Sciences wurden die Tiere in konventioneller Haltung in Buchten und Gruppen von 6 Tieren bei ei-

nem Tag-Nacht-Rhythmus von 12/12 Stunden, einer Luftfeuchtigkeit von $55\pm 10\%$ und Temperaturen zwischen $15-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ gehalten. Das Alter der zur Verfügung gestellten Tiere war nicht bekannt. Aufgrund der Größe und Rassenzugehörigkeit konnte bei zwei der zwanzig Landschweinen davon ausgegangen werden, dass sie sich in einer präadulten Phase befanden.

2.3.2 Allgemeines Vorgehen

Die 30 Schweineschädel wurden unmittelbar post mortem präpariert. Anschließend wurden computertomographische Aufnahmen erstellt. Die Erhebung des Datensatzes fand außerhalb des klinischen Routinebetriebs statt. Zum Transport der Schweineschädelpräparate wurden diese zum Sichtschutz in eine undurchsichtige Plastikbox verpackt. Nach Abschluss der Aufnahmen wurde der Untersuchungsraum gründlich desinfiziert, wie es aus den Vorschriften des Institutes für Hygiene Tübingen zu entnehmen ist.

In der Transportbox positioniert, auf dem Untersuchungstisch des Computertomographen platziert, wurde das Präparat mittels Positionslaser endgültig ausgerichtet. Es wurden dreidimensionale Spiraldatensätze angefertigt.

Zu keinem Zeitpunkt kam es bei der Studie zu einer Strahlenexposition von lebenden Menschen oder Tieren.

2.3.3 Asservierung und Präparation der Schweineschädel

Die für die Studie verwendeten Schweineschädel wurden ausschließlich von Schweinen entnommen, die zu industriellen und experimentellen Zwecken vorschriftsgemäß getötet wurden. Die von unserer Forschungsgruppe durchgeführten Untersuchungen wurden somit an toten und bereits in anderen Studien verwendeten Schweinen durchgeführt.

Im Bereich der Halswirbelsäule wurden die Weichteile mit einem Skalpell und die Wirbelsäule selbst mit einer Rippenschere durchtrennt.

Im Anschluss wurde der Kopf ausgiebig mit Waschbenzin gereinigt, von allen Fremdkörpern befreit und rasiert.

Anschließend wurde die gereinigte Haut mit röntgendichten Klebmarkern („Feducials“) beklebt. Diese wurden anhand von transdermal palpierbaren Landmarken nach folgendem Muster positioniert:

- 1.) In der Medianlinie
 - a. Auf Höhe der Mitte der Margines supraorbitales
 - b. Auf der Höhe der Crista nuchae
 - c. Auf Höhe der Strecke zwischen 1a und 1b
- 2.) In einer um einen cm nach rechts versetzten Paramedianlinie
 - a. Auf der Höhe von 1c
 - b. Einen cm rostral von 2a
 - c. Einen cm caudal von 2a
- 3.) In einer um einen cm nach links versetzten Paramedianlinie
 - a. Auf der Höhe der Processus zygomatici ossis frontalis

Die Positionen für die „Feducials“ sind Bestandteil einer weiteren Studie zur Bestimmung einer Sondenposition. Dieser Teil ist für die Fragestellung dieser Arbeit irrelevant.

2.3.4 Apparatur

Die Datenaquisition wurde mit einem 16-Zeilen-Mehrschicht-Computertomographen der Firma Siemens (Siemens Sensation 16) durchgeführt. Sie erfolgte in einem kontinuierlichen Spiralmodus mit einer Schichtdicke von 1mm bei 120 kV, 285 mAs, FoV 220 und 20 s Scanzeit. Die weitere Verarbeitung, Analyse und Rekonstruktion des gewonnenen Bildmaterials erfolgte unter Verwendung der Software Siemens Syngo®.

2.3.5 Messprotokoll

Zum Scannen der Schweineschädel wurden Routineprotokolle genutzt, um die Vergleichbarkeit mit Aufnahmen aus der klinischen Routine zu gewähren.

Ein nativer dreidimensionaler Spiraldatensatz wurde erhoben. Hieraus wurden multiplanare Sekundärrekonstruktionen zur Darstellung der knöchernen Strukturen erstellt. Es wurde der Darstellungsmodus MPR (Multiplanare Reformation) verwendet. Für das Knochenfenster wurde eine Schichtdicke der Rekonstruktionen von 1 mm verwendet. Die Rekonstruktionen erfolgten in axialer, coronarer und sagittaler Ebene des gesamten Schädels. Zur verbesserten Darstellung der feinsten knöchernen Strukturen des Felsenbeins und des Hör- und Gleichgewichtsorgans wurden die Rekonstruktionen auf die Ausschnitte vergrößert und

ebenfalls in allen drei Ebenen in 1 mm Schichtdicke angefertigt. Die Felsenbeine sowie das Hör- und Gleichgewichtsorgan wurden bilateral rekonstruiert. Die Vermessung der jeweiligen anatomischen Merkmale des Felsenbeins erfolgte mit OsiriX 3.9.4 anhand der akquirierten Bilddaten. Hierbei handelt es sich um eine Software zur Verarbeitung und Darstellung von radiologischen Bilddaten. Die Vermessungen erfolgten immer bilateral.

2.3.6 CT-gestützte Morphometrie

Die erhobenen Distanzen der jeweiligen anatomischen Merkmale am Felsenbein der zwei Gruppen wurden an definierten Messpunkten erfasst. In der folgenden Tabelle sind die vermessenen anatomischen Strukturen mit den jeweiligen Messparametern, Landmarken sowie Schnittebenen zusammengefasst. Die Messpunkte sind im Folgenden in mehreren Abbildungen dargestellt. Die Erfassung der Merkmale des MAE, der Paukenhöhle und der Cellulae mastoideae orientierte sich am Kontrast der durch die Pneumatisierung der genannten Räume zur Umgebung entstand. Der Durchmesser der Cochlea wurde anhand der charakteristischen Schneckenform erfasst und vermessen. Zur Orientierung des MAI diente der Porus acusticus internus. Die Erfassung der Felsenbeinlänge und Kalottenbreite orientierte sich an der rein knöchernen Struktur von definierten Messpunkten. Bei der Schädellänge, Schädelbreite und Schädelbasislänge wurde jeweils die maximal gemessene Distanz verwendet.

Anatomische Struktur	Messparameter in [cm]	Landmarken/ Messpunkte	Schnittebene
Meatus acusticus externus	Höhe außen	Porus acusticus externus von cranial nach caudal	sagittal
	Breite außen	Porus acusticus externus von rostral nach caudal	sagittal
	Höhe innen, am Übergang zur Paukenhöhle	Mediale Öffnung des Gehörkanals von cranial nach caudal	sagittal
	Breite innen, am Übergang zur Paukenhöhle	Mediale Öffnung des Gehörkanals von medial nach lateral	axial
	Länge innen, am Übergang zur Paukenhöhle	Mediale Öffnung des Gehörkanals von rostral nach caudal	axial
	Länge gesamt	Distanz vom Porus acusticus externus zur medialen Öffnung des Gehörkanals	Multiplanare Reformatierung (MPR)
	Außenwinkel	Winkelgrad des lateralen Winkels des Meatus acusticus externus	coronar
	Innenwinkel	Winkelgrad des medialen Winkels des Meatus acusticus externus	coronar
Meatus acusticus internus	Höhe	Maximale Ausdehnung am Porus acusticus internus von cranial nach caudal	coronar
	Breite	Maximale Ausdehnung am Porus acusticus internus von medial nach lateral	axial
	Länge	Maximale Ausdehnung am Porus acusticus internus von rostral nach caudal	axial

Paukenhöhle	Höhe	Maximale Ausdehnung Cavum tympani von cranial nach caudal	coronar
	Breite	Maximale Ausdehnung Cavum tympani von medial nach lateral	coronar
	Länge	Maximale Ausdehnung Cavum tympani von rostral nach caudal	sagittal
Cellulae mastoideae	Höhe	Maximale Ausdehnung von cranial nach caudal	coronar
	Breite	Maximale Ausdehnung von medial nach lateral	coronar
	Länge	Maximale Ausdehnung von rostral nach caudal	sagittal
Cochlea	Durchmesser	Maximale Ausdehnung der Gehörschnecke	coronar
Felsenbein	Länge	Maximale Ausdehnung von medial nach lateral	coronar
Schädel	Kalottenbreite	Ausdehnung von medial nach lateral, 1 cm cranial der gemessenen Felsenbeinlänge	coronar
	Gesamtlänge	Protuberantia mentalis bis rostrale Begrenzung Foramen magnum	sagittal
	Schädelbasislänge	Rostrales bis caudales Ende Frontobasis	sagittal
	Schädelbreite	Maximaler Distanz der medialen Schädelbegrenzung	axial

Tabelle 2: Anatomische Strukturen, Messparameter in [cm], Landmarken, Messpunkte und Schnittebenen.

Im folgenden Abschnitt werden anhand von CT-Aufnahmen beispielhaft die unterschiedlichen Messpunkte veranschaulicht. Die Distanzen für die Höhe und Breite des MAE außen (MAEa) orientierte sich an dessen Öffnung an der äußersten knöchernen Begrenzung des Gehörkanals.



Abbildung 3: MAEa, sagittale Schnittebene, (1) Messstrecke Höhe, (2) Messstrecke Breite.

Zur Vermessung des MAE innen (MAEi) wurde sich an den Übergang des Gehörkanals zur Paukenhöhle gehalten, dabei dienten das Trommelfell und die Gehörknöchelchen zur Orientierung.

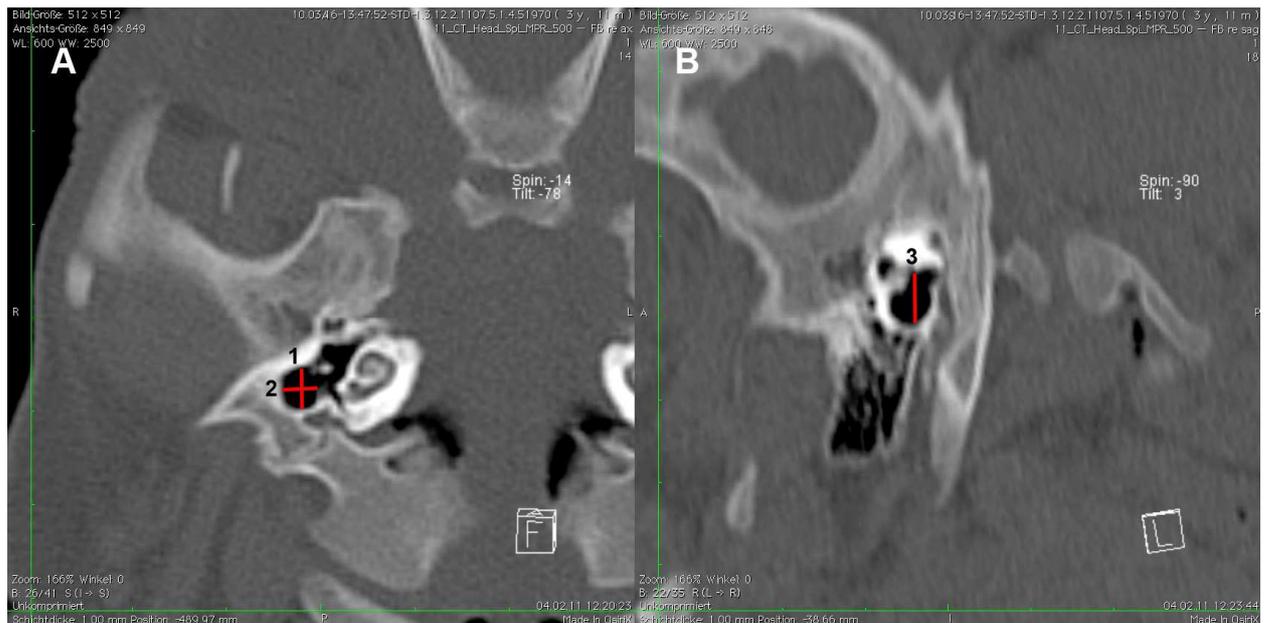


Abbildung 4: MAEi, (A) axiale Schnittebene, (1) Messstrecke Länge, (2) Messstrecke Breite, (B) sagittale Schnittebene, (3) Messstrecke Höhe.

Zur besseren anatomischen Orientierung wurde für die Vermessung der Gesamtlänge des MAE das Verfahren der MPR angewandt. Hierbei wurden aus den coronaren Rekonstruktionen kurvenförmige Schnitte errechnet, um den gesamten Verlauf des MAE darzustellen (siehe Abbildung 5).

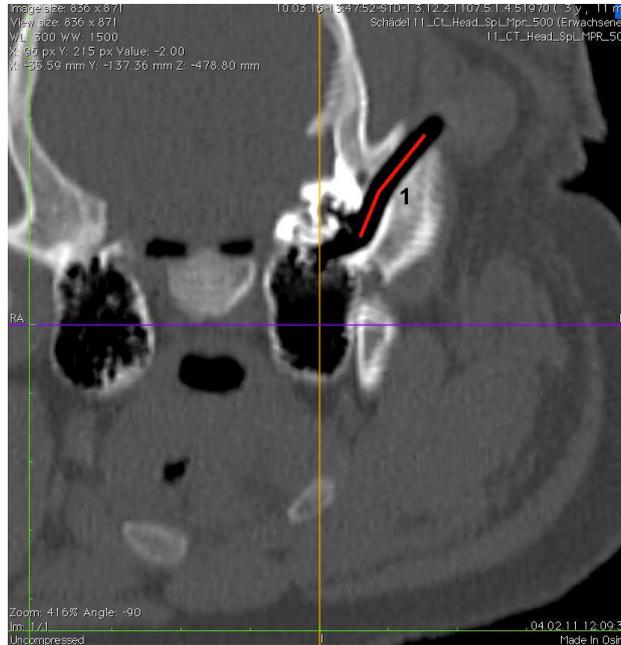


Abbildung 5: Coronare Schnitt Ebene, (1) Messstrecke Gesamtlänge MAE.

Für die Darstellung des Außen- und Innenwinkels wurden coronare Schnittbilder verwendet. Der Außenwinkel entspricht dem im Verlauf des MAE lateral liegenden Winkel, der Innenwinkel dem des medial liegenden Winkels.

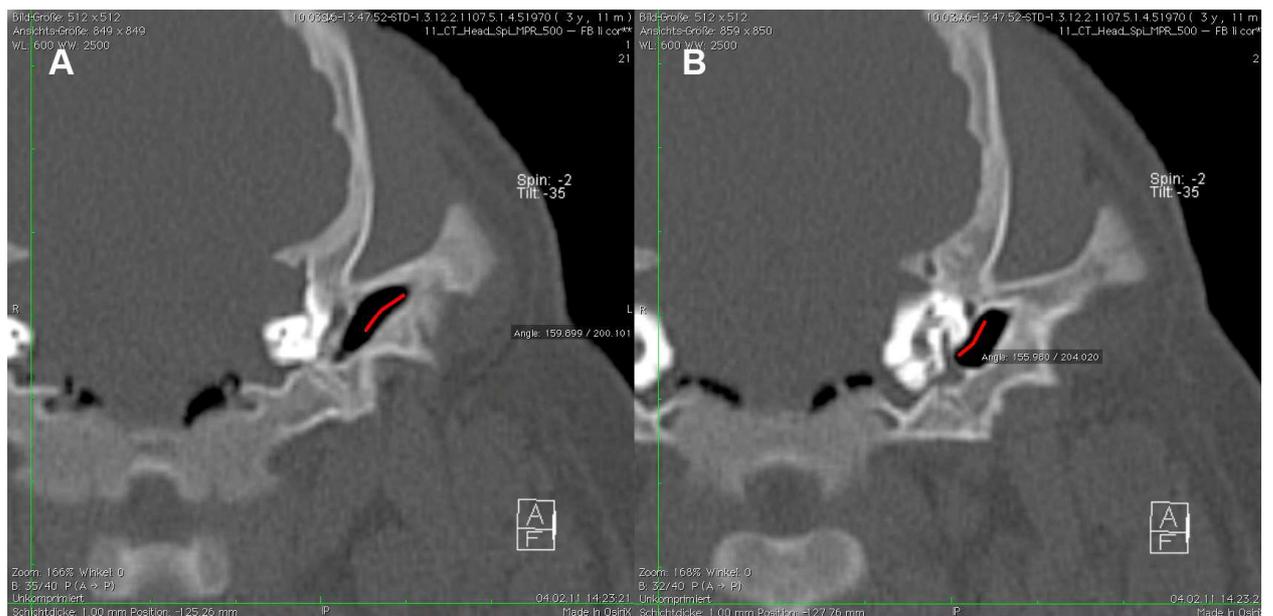


Abbildung 6: Coronare Schnitt Ebene (A) Messpunkt Außenwinkel MAE, (B) Messpunkt Innenwinkel.

Für die Länge des MAI wurde die Distanz des Porus acusticus internus von rostral nach caudal im axialen Bild gemessen. Die Breite wurde als Orthogonale

zur Länge am Porus acusticus internus von medial nach lateral gemessen. In der coronaren Schnittebene wurde die Höhe als maximale Ausdehnung des Porus acusticus internus von cranial nach caudal verwendet (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7: MAI, (A) axiale Schnittebene, (1) Messstrecke Breite, (2) Messstrecke Länge, (B) coronare Schnittebene, (3) Messstrecke Höhe.

Höhe und Breite der Paukenhöhle wurden als deren maximale Distanzen von cranial nach caudal bzw. medial nach lateral ausgemessen. Hierfür wurde eine coronare Rekonstruktion genutzt. Für die Länge der Paukenhöhle wurde ein sagittales Bild genutzt. Die Länge entspricht der maximalen Ausdehnung von rostral nach caudal.

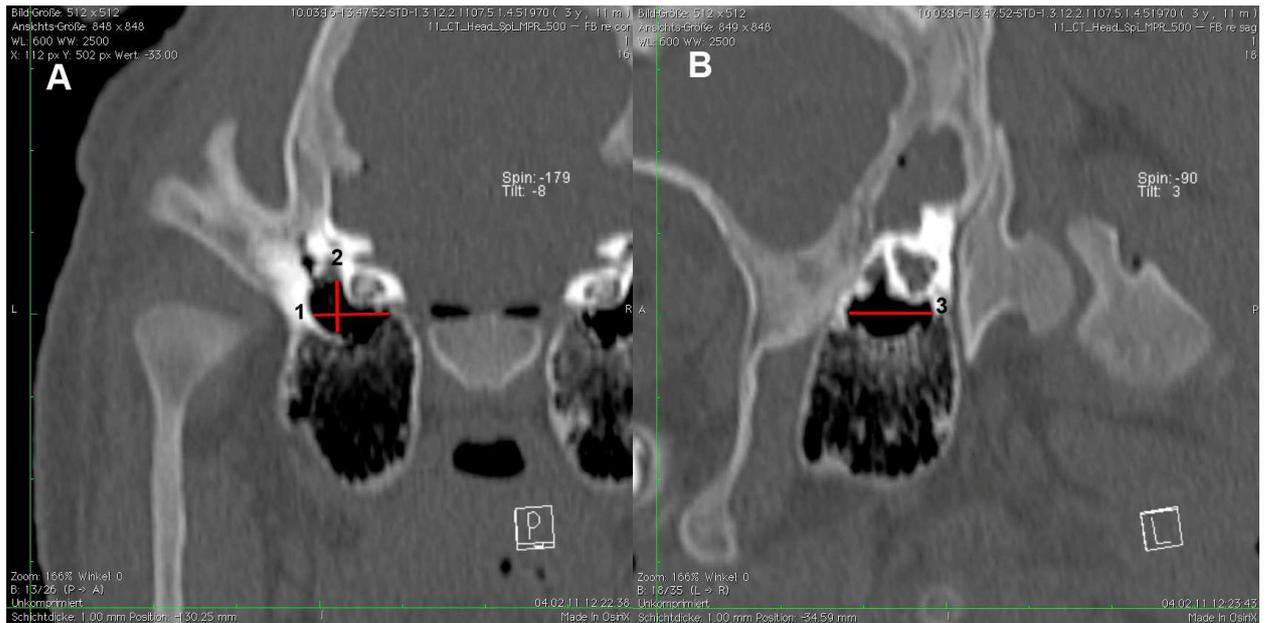


Abbildung 8: Paukenhöhle, (A) coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Breite, (2) Messstrecke Höhe, (B) sagittale Schnittebene, (3) Messstrecke Länge.

Für die Vermessung von Breite und Höhe der Cellulae mastoideae wurde eine coronare Schnittebene gewählt. Die Breite wurde als Distanz von medial nach lateral gemessen. Die Höhe entspricht der maximalen Ausdehnung von cranial nach caudal. Zur Bestimmung der Länge wurde die maximale Distanz von rostral nach caudal in der sagittalen Rekonstruktion vermessen.



Abbildung 9: Cellulae mastoideae, (A) coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Breite, (2) Messstrecke Höhe, (B) sagittale Schnittebene, (3) Messstrecke Länge.

Der Durchmesser der Cochlea wurde im coronaren Schnittbild gemessen. Die charakteristische Schneckenform diente hierbei als Orientierung.

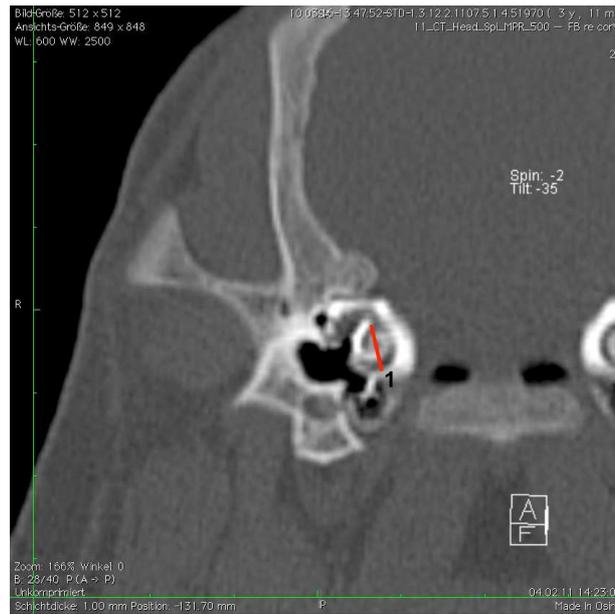


Abbildung 10: Cochlea, coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Durchmesser Cochlea.

In der folgenden Abbildung (11) sind die Messpunkte und jeweiligen Messstrecken für die Felsenbeinlänge und die Kalottenbreite im coronaren Bild dargestellt. Für die Länge des Felsenbeins wurde die maximale Ausdehnung von medial nach lateral vermessen. Bei der Kalottenbreite wurde aufgrund fehlender anatomischer Landmarken eine Distanz zur vermessenen Felsenbeinlänge von 1 cm cranial gewählt. Hierdurch wurde gewährleistet, dass die Messungen immer am entsprechenden Messpunkt gemacht wurden.

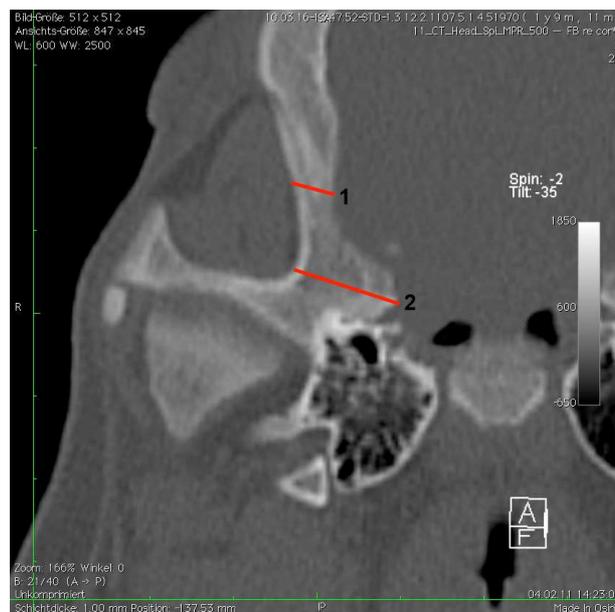


Abbildung 11: Coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Felsenbeinlänge, (2) Messstrecke Kalottenbreite.

Die folgende Abbildung (12) veranschaulicht das Vorgehen bei der Vermessung der Schädelgröße und Länge der Schädelbasis im sagittalen Schnittbild. Für die Schädelgröße wurde die Distanz von der Protuberantia mentalis bis zur rostra-

len Begrenzung des Foramen magnum gemessen. Die Länge der Schädelbasis wurde anhand der Ausmaße der Frontobasis vom rostralen zum caudalen Ende gemessen.



Abbildung 12: (A) Sagittale Schnittebene, (1) Messstrecke Schädelänge, (B) Sagittale Schnittebene, (2) Messstrecke Schädelbasislänge.

Die Vermessung der Schädelbreite erfolgte in einer coronaren Rekonstruktion. Es wurde hierfür die maximale Distanz zwischen den medialen Schädelbegrenzungen verwendet.

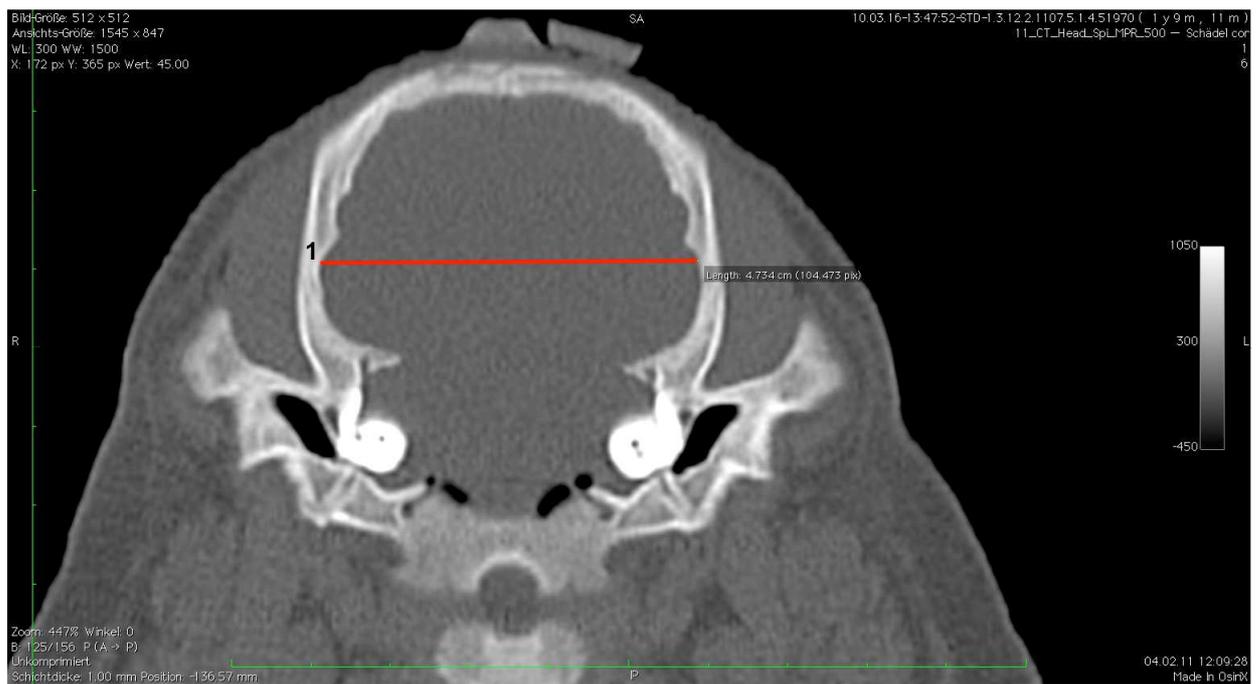


Abbildung 13: Coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Schädelbreite.

2.3.7 Statistik

Die Datenaufbereitung erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogrammen Microsoft Office Excel 2011 und JMP 10. Die statistische Verteilung der vermessenen Merkmale am Landschwein und Göttinger Minipig wurde in Form von Box-Whiskers-Plots dargestellt und mit JMP 10 umgesetzt. Zur statistischen Auswertung der Messdaten wurde ebenfalls JMP 10 verwendet. Hiermit erfolgte die Auswertungen der computertomographischen Daten als Minimum, 25%-Quartil, Median, 75%-Quartil, Maximum und die Korrelationsanalyse nach Pearson zur Bestimmung des Korrelationskoeffizienten r . Die Darstellung der statistischen Parameter als Box-Whiskers-Plot sowie als X-Y-Plot zur Darstellung der Zusammenhänge erfolgte ebenfalls mit der Software JMP 10. Für die statistische Auswertung der Zusammenhänge und die Interpretation des Korrelationskoeffizienten r galten folgende Regeln. Bei $r > 0$ wird von einem positiven linearen Zusammenhang gesprochen, bei $r < 0$ von einem negativen linearen Zusammenhang. $R=0$ beschreibt keinen linearen Zusammenhang. Die Unterteilung in schwachen, mittleren und starken linearen Zusammenhang wurde anhand folgender Tabelle getroffen.

Positiver statistischer Zusammenhang:

keiner	schwacher	mittlerer	starker	vollständiger
$r = 0$	$0 < r \leq 0,2$	$0,2 < r \leq 0,6$	$0,6 < r \leq 1$	$r = 1$

Tabelle 3: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \geq 0$.

Negativer statistischer Zusammenhang:

keiner	schwacher	mittlerer	starker	vollständiger
$r = 0$	$0 > r \geq -0,2$	$-0,2 > r \geq -0,6$	$-0,6 > r \geq -1$	$r = -1$

Tabelle 4: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \leq 0$.

In einem Box-Whiskers-Plot kennzeichnet die schwarze horizontale Linie innerhalb einer Box die Lage des Medians (50%-Quartil). Die untere Grenze der Box kennzeichnet das 25%-Quartil und die obere Grenze das 75%-Quartil. Die dünnen Querstriche des Whiskers ober- und unterhalb einer Box geben den größten bzw. kleinsten Wert an (Maximum und Minimum).

Die morphometrische Bestimmung der anatomischen Merkmale am Felsenbein erfolgte bilateral. Zunächst wurde überprüft, ob ein Unterschied zwischen den Merkmalen der beiden Felsenbeinhälften besteht. Dafür wurden die Differenzen

zwischen den Merkmalen an der rechten sowie der linken Felsenbeinhälfte berechnet. Differenzen bis zu 0,11 cm wurden dabei akzeptiert und der Mittelwert aus den gemessenen Werten gebildet. Diese berechneten Mittelwerte dienen im Folgenden als Grundlage für die weitere Auswertung.

3. Ergebnisse

Zunächst wurde überprüft, ob ein Unterschied der vermessenen Strukturen der zwischen der rechten Felsenbeinhälfte und der linken besteht. Dafür wurden die Differenzen zwischen den rechts und links am Felsenbein gemessenen Werten berechnet. Werte bis zu 0,11 cm wurden dabei festgelegt. Abweichungen, kleiner als 0,11 cm wurden als nicht signifikante Differenz betrachtet, in diesen Fällen wurde der Mittelwert gebildet. Diese Mittelwerte wurden als Grundlage für die weitere Auswertung genutzt.

3.1 Beschreibung der Verteilung

Die Darstellung der Werte erfolgt in einem Box-Whiskers-Plot. Hierbei kennzeichnet die horizontale Linie innerhalb einer Box die Lage des Medians (50%-Quartil). Die untere Grenze der Box kennzeichnet das 25%-Quartil und die obere Grenze das 75%-Quartil. Die dünneren Querstriche ober- und unterhalb einer Box geben den größten bzw. kleinsten Wert an (Maximum bzw. Minimum).

3.1.1 Körpergewichtsverteilung

Bei den Tieren aus der Gruppe der Landschweine ($n=20$) zeigte sich bei der Gewichtsverteilung ein Minimum von 12,00 kg und ein Maximum von 75,00 kg. Der Median liegt bei 51,50 kg. Das 75%-Quartil wurde mit 58,73 kg berechnet und das 25%-Quartil mit 45,23 kg (siehe Abbildung 14). Die meisten Tiere befanden sich zum Zeitpunkt der Messung am Beginn der Adultphase. Das Minimum ist damit zu erklären, dass sich zwei Tiere noch in der Wachstumsphase befanden.

Die Tiere der Göttinger Minipig-Gruppe ($n=10$) weisen ein Minimum von 18,00 kg und ein Maximum 24,00 kg auf. Der Median liegt hier bei 20,50 kg. In dieser Gruppe wurde das 75%-Quartil mit 23,00 kg und das 25%-Quartil mit 19,75 kg berechnet.

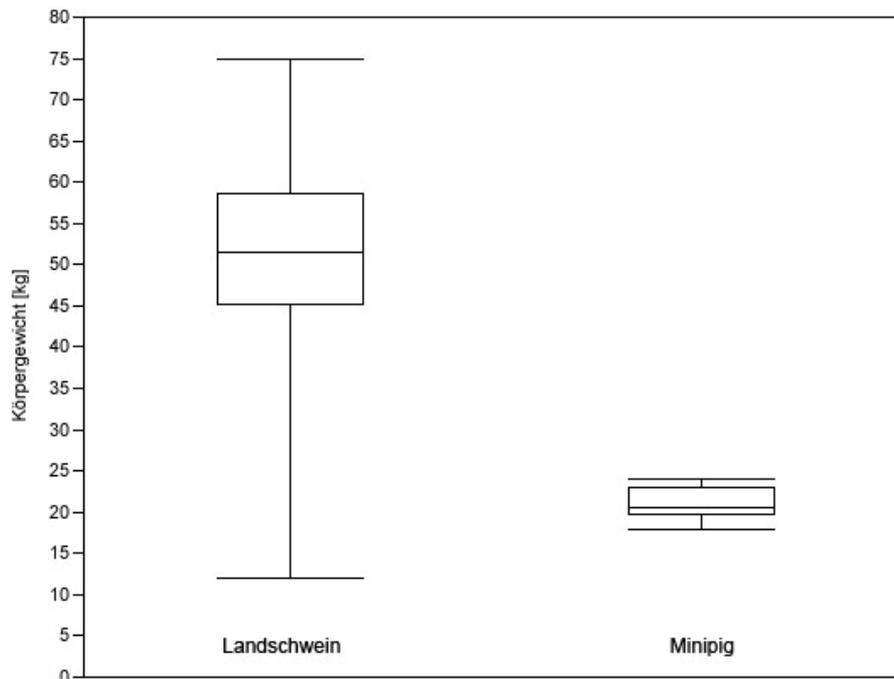


Abbildung 14: Verteilung des Körpergewichts in [kg] der untersuchten Landschweine (n=20) und Göttinger Minipigs (n=10) im Vergleich.

In Tabelle 5 sind Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum dargestellt.

	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	75,00	24,00
75%-Quartil	58,73	23,00
Median	51,50	20,50
25%-Quartil	45,23	19,75
Minimum	12,00	18,00
n	20	10

Tabelle 5: Übersicht der berechneten Werte des Körpergewichts der untersuchten Landschweine und Göttinger Minipigs in [kg].

3.1.2 Statistische Verteilung der am Landschwein bestimmten Messwerte

Die folgenden Abbildungen und die dazugehörigen Tabellen stellen die statistische Verteilung der mit dem CT erfassten und vermessenen Strukturen, wie z.B. die Höhe des MAEa am Felsenbein des Landschweins, dar.

Zu beachten ist, dass aus Gründen der Übersichtlichkeit die Skalierung an die Verteilung der jeweiligen Messwerte angepasst wurde.

Die Darstellung erfolgt in einem Box-Whiskers-Plot. Hierbei kennzeichnet die horizontale Linie innerhalb einer Box die Lage des Median (50%-Quartil). Die untere Grenze der Box kennzeichnet das 25%-Quartil und die obere Grenze das 75%-Quartil. Die dünneren Querstriche ober- und unterhalb einer Box geben den größten bzw. kleinsten Wert an (Maximum bzw. Minimum). Zur genaueren Beschreibung der Messpunkte für die jeweiligen vermessenen Strukturen verweise ich auf den Abschnitt CT-gestützte Morphometrie (2.3.6) des Material und Methoden Teils.

In der Gruppe der Landschweine beträgt das Maximum der Schädellänge 22,22 cm. Das Minimum kann mit 13,69 cm, der Median mit 20,04 cm berechnet werden. Die Hälfte der Tiere hat eine Schädellänge zwischen 21,07 cm und 19,64 cm. Das Minimum ist durch die zwei Tiere in der Wachstumsphase zu erklären.

Bei der Schädelbreite liegen das Maximum bei 5,96 cm und das Minimum bei 4,50 cm. Der Median liegt bei diesem erhobenen Parameter bei 5,51 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 5,64 cm, das 25%-Quartil bei 5,47 cm. Die niedrigen Messwerte am Minimum sind durch die Tiere in der Wachstumsphase zu erklären.

Das Maximum der Schädelbasislänge beim Landschwein beträgt 2,94 cm. Das Minimum beträgt 2,05 cm. Hier liegt der Median bei 2,50 cm. Das 75%-Quartil beträgt 2,60 cm. Das 25%-Quartil beträgt 2,32 cm.

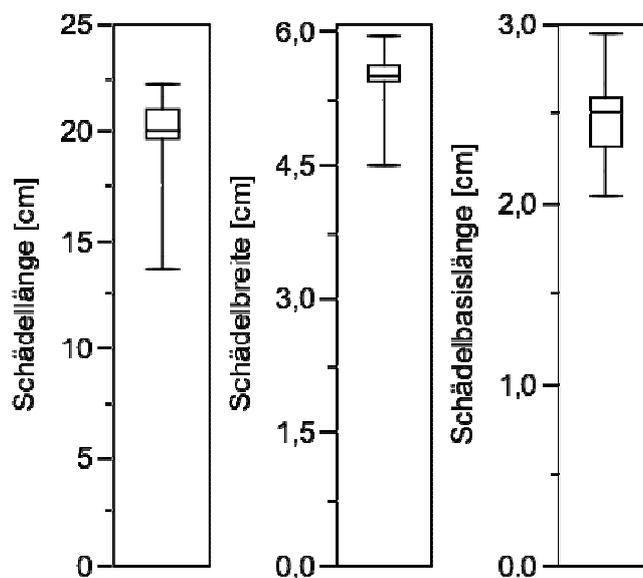


Abbildung 15: Schädellänge, Schädelbreite und Schädelbasislänge in [cm], (n=20).

	Schädellänge [cm]	Schädelbreite [cm]	Schädelbasislänge [cm]
Maximum	22,22	5,96	2,94
75%-Quartil	21,07	5,64	2,60
Median	20,04	5,51	2,50
25%-Quartil	19,64	5,47	2,32
Minimum	13,69	4,50	2,05
n	20	20	20

Tabelle 6: Übersicht der berechneten Werte der Schädellänge, Schädelbreite und Schädelbasislänge in [cm] am Schädel des Landschweins.

Abbildung 16 zeigt die Gesamtlänge des MAE, dieser weist ein Maximum von 3,53 cm und ein Minimum von 1,69 cm auf. Der Median liegt bei 3,03 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 3,27 cm berechnet, das 25%-Quartil beträgt 2,85 cm.

Das Maximum der Höhe des MAEa liegt bei 0,73 cm. Das Minimum beträgt 0,47 cm. Der Median liegt bei 0,61 cm. Die Hälfte der Tiere hat eine Höhe des MAEa zwischen 0,56 cm und 0,67 cm.

Die größte gemessene Breite des MAEa beträgt 0,55 cm, die kleinste des MAEa 0,28 cm. Der Median ergibt 0,44 cm. Bei der Breite des MAEa konnte ein 75%-Quartil von 0,55 cm und ein 25%-Quartil von 0,41 cm berechnet werden.

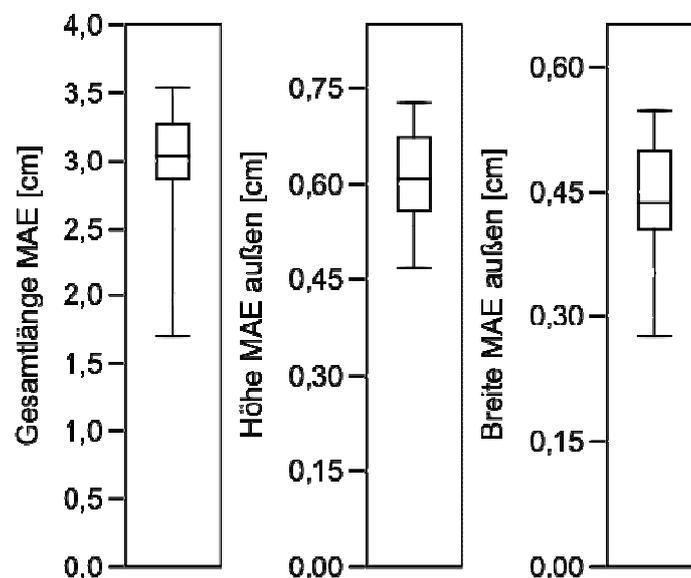


Abbildung 16: Gesamtlänge, Höhe und Breite des MAEa in [cm], (n=20).

In Abbildung 17 sind Höhe, Länge und Breite des MAEa dargestellt. Die Höhe weist ein Maximum von 1,03 cm und ein Minimum von 0,58 cm auf. Der Median liegt bei 0,83 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,88 cm, das 25%-Quartil mit 0,76 cm berechnet.

Die maximale Länge des MAEi liegt bei 0,49 cm. Das Minimum beträgt 0,29 cm. Der Median liegt bei 0,43 cm. Die Länge des MAEi liegt bei 50% der Landschweine zwischen 0,40 cm und 0,49 cm.

Die größte Breite des MAEi beträgt 0,51 cm, die kleinste Breite des MAEi 0,33 cm. Der Median ergibt 0,43 cm. Bei der Breite des MAEi kann ein 75%-Quartil von 0,46 cm und ein 25%-Quartil von 0,40 cm berechnet werden.

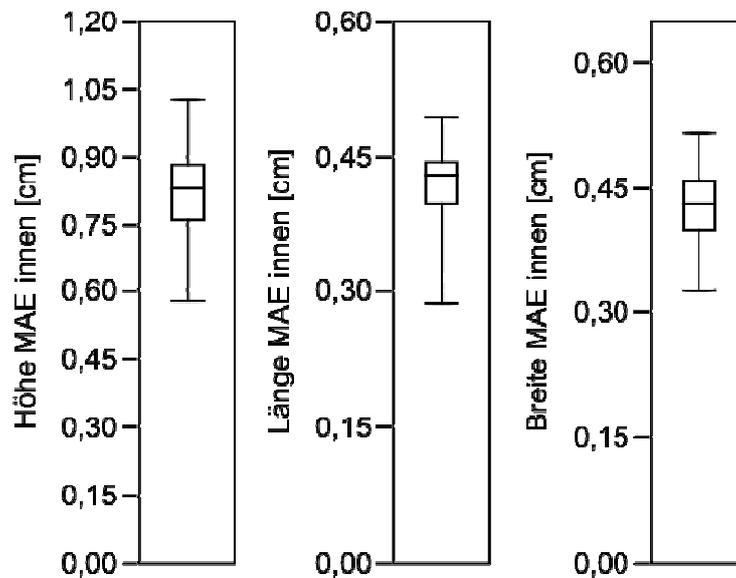


Abbildung 17: Höhe, Länge und Breite des MAEi in [cm], (n=20).

Die folgenden Tabellen 7 und 8 fassen die Ergebnisse über Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des MAE zusammen.

MAE	Gesamtlänge [cm]	Höhe außen [cm]	Breite außen [cm]
Maximum	3,53	0,73	0,55
75%-Quartil	3,27	0,67	0,5
Median	3,03	0,61	0,44
25%-Quartil	2,85	0,56	0,41
Minimum	1,69	0,47	0,28
n	20	20	20

Tabelle 7: Übersicht der berechneten Werte der Gesamtlänge, Höhe und Breite außen des MAE in [cm] am Schädel des Landschweins.

MAE	Höhe innen [cm]	Länge innen [cm]	Breite innen [cm]
-----	-----------------	------------------	-------------------

Maximum	1,03	0,49	0,51
75%-Quartil	0,88	0,44	0,46
Median	0,83	0,43	0,43
25%-Quartil	0,76	0,40	0,40
Minimum	0,58	0,29	0,33
n	20	20	20

Tabelle 8: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite des MAEi in [cm] am Schädel des Landschweins.

In der folgenden Abbildung sind der Außen- sowie der Innenwinkel des MAE in Winkelgrad an vorher definierten Punkten dargestellt (siehe Material und Methoden). Der maximale Außenwinkel beträgt $177,00^\circ$. Das Minimum beträgt $147,00^\circ$. Der Median liegt bei $166,50^\circ$. Der Außenwinkel liegt bei 50% der Landschweine zwischen $164,00^\circ$ und $168,63^\circ$.

Beim Innenwinkel beträgt das Maximum $163,50^\circ$ und das Minimum $125,50^\circ$. Hier liegt der Median bei $142,50^\circ$. Für das 75%-Quartil wurde ein Wert von $147,75^\circ$ berechnet, für das 25%-Quartil ein Wert von $134,75^\circ$.

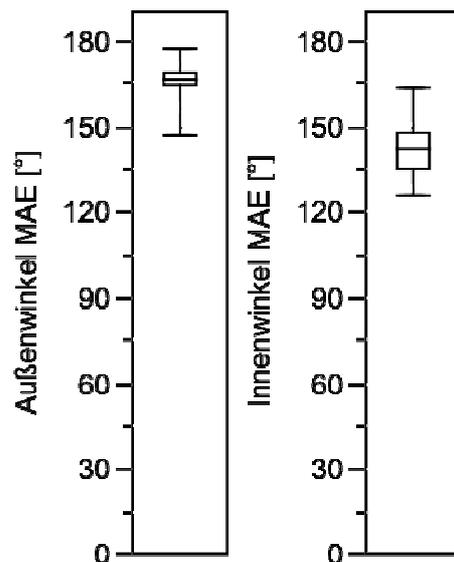


Abbildung 18: Außen- und Innenwinkel des MAE in Winkelgrad, (n=20).

Tabelle 9 zeigt Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des Außen- und Innenwinkels des MAE.

MAE	Außenwinkel [°]	Innenwinkel [°]
Maximum	177,00	163,50
75%-Quartil	168,63	147,75
Median	166,50	142,50
25%-Quartil	164,00	134,75
Minimum	147,00	125,50
n	20	20

Tabelle 9: Übersicht der berechneten Werte des Außen- und Innenwinkels des MAE in Winkelgrad am Schädel des Landschweins.

Nachfolgende Abbildung stellt Höhe, Länge und Breite des MAI am Felsenbein des Landschweins dar. Die Höhe weist ein Maximum von 0,44 cm und ein Minimum von 0,24 cm auf. Der Median liegt bei 0,34 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,36 cm, das 25%-Quartil mit 0,28 cm berechnet.

Die maximale Länge des MAI liegt bei 0,48 cm. Das Minimum beträgt 0,26 cm. Der Median liegt bei 0,39 cm. Die Länge des MAI liegt bei 50% der Landschweine zwischen 0,35 cm und 0,43 cm.

Die größte Breite des MAI beträgt 0,68 cm. Die kleinste Breite des beträgt MAI 0,31 cm. Der Median ergibt 0,55 cm. Bei der Breite des MAI kann ein 75%-Quartil von 0,62 cm und ein 25%-Quartil von 0,48 cm berechnet werden.

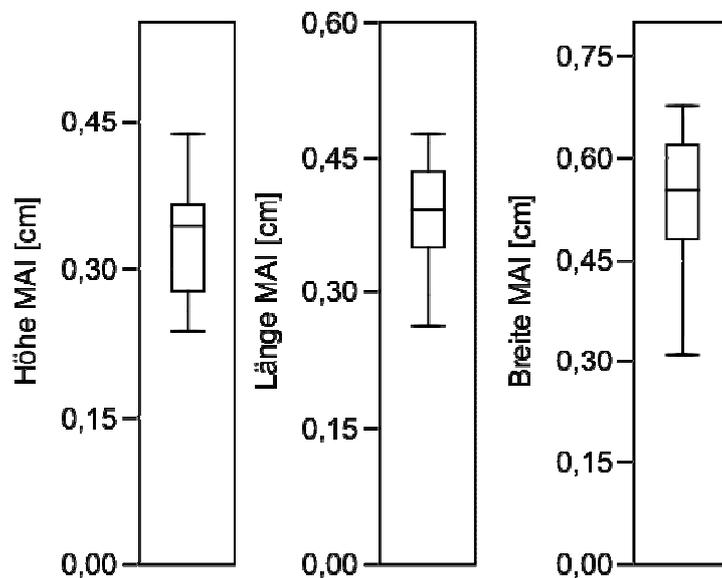


Abbildung 19: Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm], (n=20).

Die nachfolgende Tabelle stellt die Ergebnisse für Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des MAI dar.

MAI	Höhe [cm]	Länge [cm]	Breite [cm]
Maximum	0,44	0,48	0,68
75%-Quartil	0,36	0,43	0,62
Median	0,34	0,39	0,55
25%-Quartil	0,28	0,35	0,48
Minimum	0,24	0,26	0,31
n	20	20	20

Tabelle 10: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm].

In Abbildung 20 erfolgt eine Darstellung der Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm]. Die Höhe weist ein Maximum von 1,02 cm und ein Minimum von 0,72 cm auf. Der Median liegt bei 0,84 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,92 cm, das 25%-Quartil mit 0,76 cm berechnet.

Die maximale Länge der Paukenhöhle liegt bei 1,18 cm. Das Minimum beträgt 0,93 cm. Der Median liegt bei 1,07 cm. Die Länge der Paukenhöhle liegt bei 50% der Landschweine zwischen 1,00 cm und 1,12 cm.

Die größte Breite beträgt 0,94 cm. Die kleinste Breite der Paukenhöhle 0,70 cm. Der Median ergibt 0,87 cm. Bei der Breite konnte ein 75%-Quartil von 0,91 cm und ein 25%-Quartil von 0,85 cm berechnet werden.

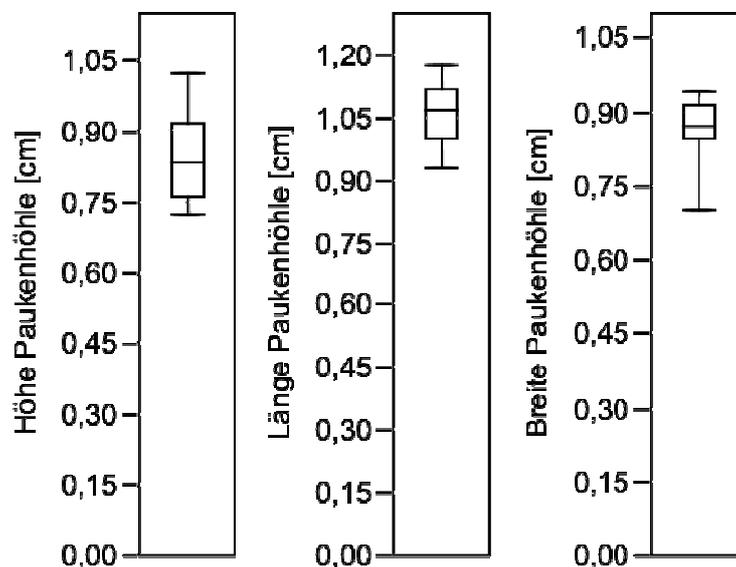


Abbildung 20: Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm], (n=20).

Tabelle 11 fasst die Ergebnisse für Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum der Paukenhöhle zusammen.

Paukenhöhle	Höhe [cm]	Länge [cm]	Breite [cm]
Maximum	1,02	1,18	0,94
75%-Quartil	0,92	1,12	0,91
Median	0,84	1,07	0,87
25%-Quartil	0,76	1,00	0,85
Minimum	0,72	0,93	0,70
n	20	20	20

Tabelle 11: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm].

Die nachfolgende Abbildung stellt die Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae des Felsenbeins am Landschwein dar. Die Höhe weist ein Maximum von 2,87 cm und ein Minimum von 1,72 cm auf. Der Median liegt bei 2,59 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 2,70 cm, das 25%-Quartil mit 2,44 cm berechnet.

Die maximale Länge der Cellulae mastoideae liegt bei 2,47 cm. Das Minimum beträgt 1,54 cm. Der Median liegt bei 1,97 cm. Die Länge der Cellulae mastoideae liegt bei 50% der Landschweine zwischen 1,93 cm und 2,47 cm.

Die größte Breite beträgt 1,61 cm. Die kleinste Breite 1,15 cm. Der Median beträgt 1,51 cm. Bei der Breite der Cellulae mastoideae kann ein 75%-Quartil von 1,56 cm und ein 25%-Quartil von 1,43 cm berechnet werden.

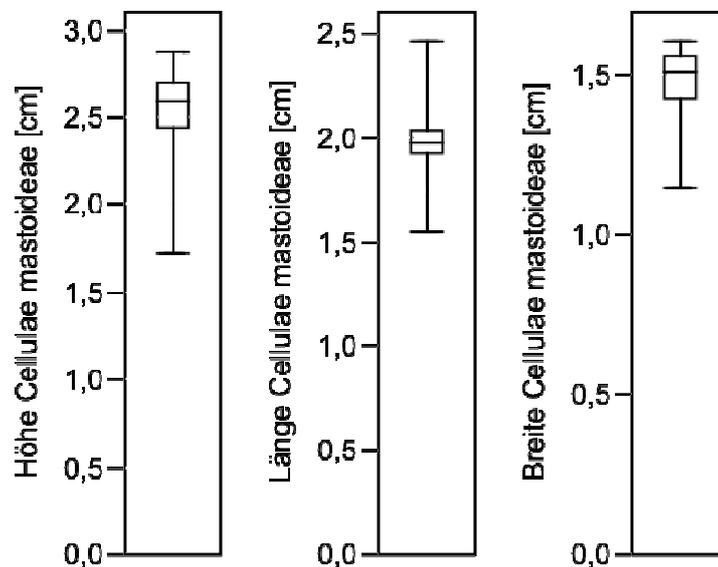


Abbildung 21: Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).

Die folgenden Tabelle stellt Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum der Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae am Felsenbein des Landschweins dar.

Cellulae mastoideae	Höhe [cm]	Länge [cm]	Breite [cm]
Maximum	2,87	2,47	1,61
75%-Quartil	2,70	2,04	1,56
Median	2,59	1,97	1,51
25%-Quartil	2,44	1,93	1,43
Minimum	1,72	1,54	1,15
n	20	20	20

Tabelle 12: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm].

In einer weiteren Messung wurde der Durchmesser der Cochlea in der Gruppe der Landschweine analysiert. Das Maximum des Durchmessers der Cochlea beträgt 0,64 cm. Das Minimum wurde mit 0,51 cm bestimmt. Der Median liegt hier bei 0,57 cm. Bei 50% der Landschweine liegt der Cochlea Durchmesser zwischen 0,54 cm und 0,60 cm.

Bei der Felsenbeinlänge liegt das Maximum bei 2,30 cm und das Minimum bei 1,19 cm. Der Median liegt bei diesem erhobenen Parameter bei 1,91 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 2,09 cm, das 25%-Quartil bei 1,77 cm.

Das Maximum der Kalottenbreite beim Landschwein beträgt 0,78 cm. Das Minimum beträgt 0,31 cm. Hier liegt der Median bei 0,51 cm. Das 75%-Quartil beträgt 0,60 cm. Das 25%-Quartil beträgt 0,44 cm.

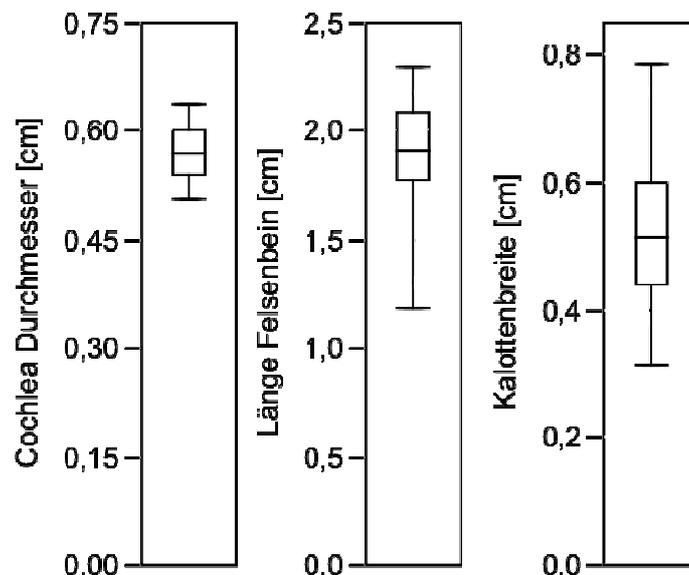


Abbildung 22: Durchmesser der Cochlea, Länge des Felsenbeins und Kalottenbreite in [cm], (n=20).

Die folgende Tabelle fasst Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des Durchmessers der Cochlea, der Kalottenbreite und der Felsenbeinlänge zusammen.

	Cochlea Durchmesser [cm]	Felsenbeinlänge [cm]	Kalottenbreite [cm]
Maximum	0,64	2,30	0,78
75%-Quartil	0,60	2,09	0,60
Median	0,57	1,91	0,51
25%-Quartil	0,54	1,77	0,44
Minimum	0,51	1,19	0,31
n	20	20	20

Tabelle 13: Übersicht der berechneten Werte des Durchmessers der Cochlea, der Länge des Felsenbeins und der Kalottenbreite in [cm].

3.1.2 Statistische Verteilung der am Göttinger Minipig bestimmten Messwerte

Die folgenden Abbildungen und die zugehörigen Tabellen stellen die statistische Verteilung der mit dem CT erfassten und vermessenen anatomischen Strukturen am Felsenbein des Göttinger Minipigs dar. Die Darstellung der Werte erfolgt in einem Box-Whiskers-Plot. Hierbei kennzeichnet die horizontale Linie innerhalb einer Box die Lage des Median (50% Quartil). Die untere Grenze der Box kennzeichnet das 25%-Quartil und die obere Grenze das 75%-Quartil. Die dünneren Querstriche ober- und unterhalb einer Box geben den größten bzw. kleinsten Wert an (Maximum bzw. Minimum). Zur genauen Beschreibung der Messpunkte für die jeweiligen vermessenen Strukturen verweise ich auf den Abschnitt CT-gestützte Morphometrie (2.3.6) des Material und Methoden Teils.

In der Gruppe der Göttinger Minipigs beträgt das Maximum der Schädellänge 18,10 cm. Das Minimum wurde mit 15,98 cm bestimmt. Der Median liegt hier bei 17,15 cm. Die Schädellänge lag bei 50% der Minipigs zwischen 16,87 cm und 17,50 cm. Bei der Schädellänge konnten aufgrund von Bewegungsartefakten im CT-Bild von zehn Minipigs nur acht zuverlässig vermessen werden. Diese Artefakte könnten aufgrund einer ungewollten Positionsänderung der Schweineköpfe aus der Haltung während des Tischvorschubs entstanden sein. Daher wurde für die Erfassung der Schädellänge nur die Messung von $n=8$ Individuen gewertet. Bei allen anderen erhobenen Parametern traten solche Artefakte nicht auf und es gingen jeweils $n=10$ Individuen in die statistische Auswertung ein.

Bei der Schädelbreite liegt das Maximum bei 5,23 cm und das Minimum bei 4,51 cm. Der Median liegt bei diesem erhobenen Parameter bei 4,99cm. Das 75%-Quartil liegt bei 5,18 cm, das 25%-Quartil bei 4,85 cm.

Das Maximum der Schädelbasislänge beim Minipig beträgt 2,18 cm. Das Minimum beträgt 1,64 cm. Hier liegt der Median bei 1,92 cm. Das 75%-Quartil beträgt 2,02 cm. Das 25%-Quartil beträgt 1,85 cm.

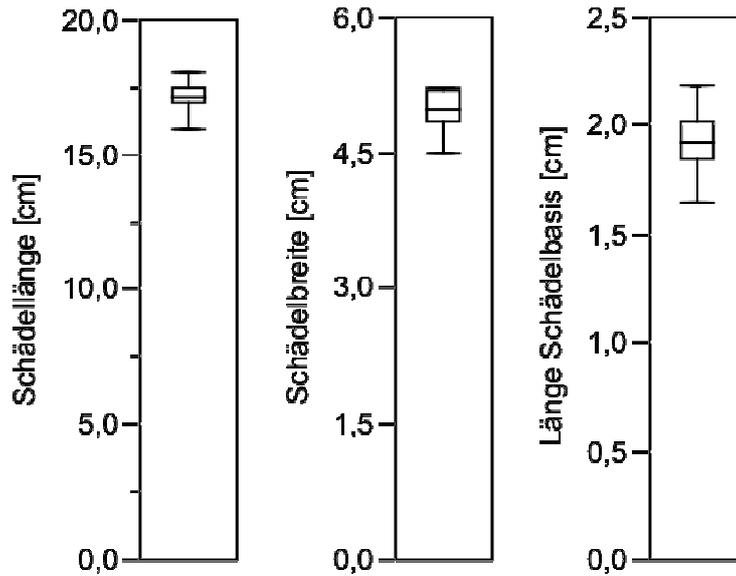


Abbildung 23: Schädel­länge (n=8), Schädel­breite und Schädel­basis­länge in [cm], (n=10).

Tabelle 14 fasst die Ergebnisse für Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum der Schädel­länge, Schädel­breite und Länge der Schädel­basis in [cm] zusammen.

	Schädel­länge [cm]	Schädel­breite [cm]	Schädel­basis­länge [cm]
Maximum	18,1	5,23	2,18
75%-Quartil	17,50	5,18	2,02
Median	17,15	4,99	1,92
25%-Quartil	16,87	4,85	1,85
Minimum	15,98	4,51	1,64
n	8	10	10

Tabelle 14: Übersicht der berechneten Werte der Schädel­länge (n=8), Schädel­breite und Schädel­basis­länge (n=10) in [cm] am Schädel des Göttinger Minipigs.

Abbildung 24 zeigt die Gesamtlänge des MAE. Dieser weist ein Maximum von 3,03 cm und ein Minimum von 2,54 cm auf. Der Median liegt bei 2,86 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 2,98 cm, das 25%-Quartil mit 2,70 cm berechnet.

Das Maximum der Höhe des MAEa liegt bei 0,67 cm. Das Minimum beträgt 0,46 cm. Der Median liegt bei 0,54 cm. Die Höhe von 50% der Minipigs liegt zwischen 0,48 cm und 0,64cm.

Die größte Breite des MAEa beträgt 0,49 cm. Die kleinste Breite des MAEa 0,35 cm. Der Median ergibt 0,40 cm. Bei der Breite des MAEa kann ein 75%-Quartil von 0,44 cm und ein 25%-Quartil von 0,37 cm berechnet werden.

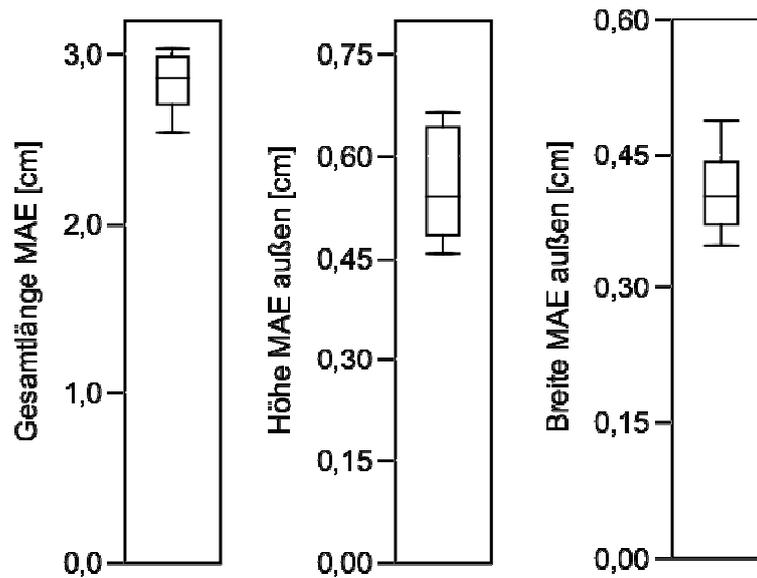


Abbildung 24: Gesamtlänge MAE, Höhe und Breite des MAEa am Schädel des Göttinger Minipigs [cm], (n=10).

Tabelle 15 gibt einen Überblick über die für die Gesamtlänge des MAE und Höhe und Breite des MAEa erhobenen statistischen Parameter.

MAE	Länge [cm]	Höhe außen [cm]	Breite außen [cm]
Maximum	3,03	0,67	0,49
75%-Quartil	2,98	0,64	0,44
Median	2,86	0,54	0,40
25%-Quartil	2,70	0,48	0,37
Minimum	2,54	0,46	0,35
n	10	10	10

Tabelle 15: Übersicht der berechneten Werte der Gesamtlänge MAE, Höhe und Breite des MAEa in [cm].

In Abbildung 25 sind die Höhe, Länge und Breite des MAEi dargestellt. Die Höhe weist ein Maximum von 0,73 cm und ein Minimum von 0,46 cm auf. Der Median liegt bei 0,61 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,67 cm, das 25%-Quartil mit 0,56 cm berechnet.

Die maximale Länge des MAEi liegt bei 0,41 cm. Das Minimum beträgt 0,28 cm. Der Median liegt bei 0,31 cm. Die Länge des MAEi liegt bei 50% der Minipigs zwischen 0,29 cm und 0,37 cm.

Die größte Breite des MAEi beträgt 0,49 cm. Die kleinste Breite des MAEi 0,35 cm. Der Median ergibt 0,40 cm. Bei der Breite des MAEi kann ein 75%-Quartil von 0,44 cm und ein 25%-Quartil von 0,37 cm berechnet werden.

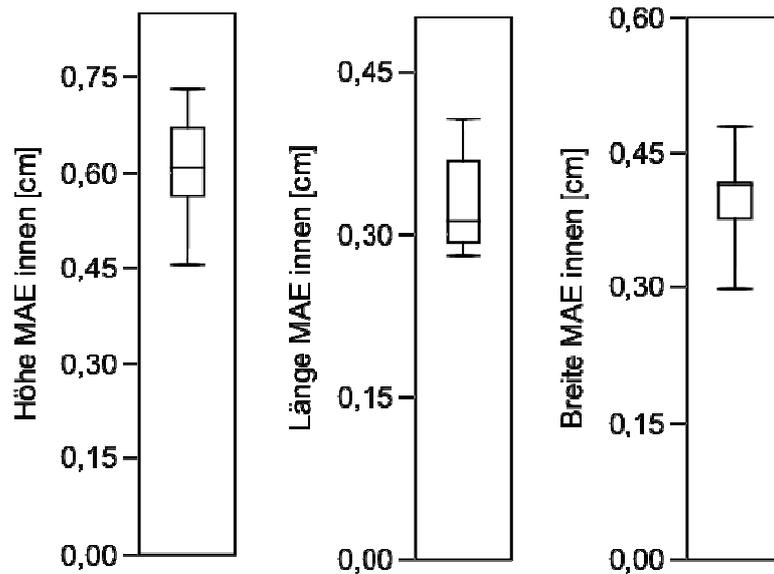


Abbildung 25: Höhe, Länge und Breite des MAEi in [cm], (n=10).

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse aller zu dieser Struktur erhobenen statistischen Parameter dargestellt.

MAEi	Höhe [cm]	Länge [cm]	Breite [cm]
Maximum	0,73	0,41	0,48
75%-Quartil	0,67	0,37	0,42
Median	0,61	0,31	0,41
25%-Quartil	0,56	0,29	0,38
Minimum	0,46	0,28	0,30
n	10	10	10

Tabelle 16: Übersicht der berechneten Werte der Gesamtlänge, Höhe und Breite des MAEi in [cm].

Die Abbildung stellt den Außen- sowie den Innenwinkel des MAE in Winkelgrad an vorher definierten Punkten dar. Der maximale Außenwinkel beträgt $171,50^\circ$. Das Minimum $160,50^\circ$. Der Median liegt bei $167,50^\circ$. Bei 50% der Minipigs liegt der Außenwinkel zwischen $164,88^\circ$ und $170,63^\circ$.

Beim Innenwinkel beträgt das Maximum $149,50^\circ$ und das Minimum $127,00^\circ$. Hier liegt der Median bei $141,00^\circ$. Für das 75%-Quartil wurde ein Wert von $145,63^\circ$ berechnet und ein 25%-Quartil von $132,38^\circ$.

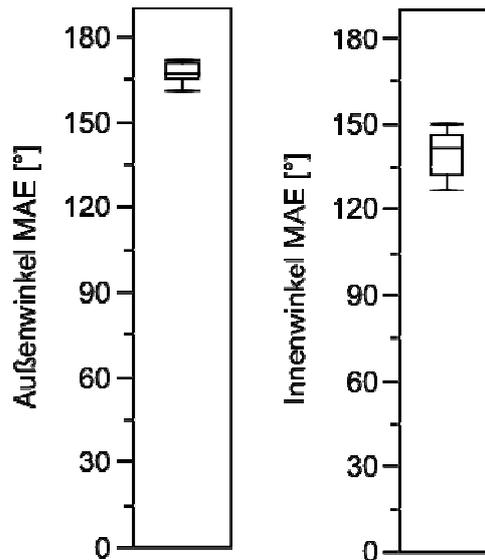


Abbildung 26: Außen- und Innenwinkel des MAE in Winkelgrad, (n=10).

Tabelle 17 gibt eine Übersicht über Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des Außen- und Innenwinkels des MAE.

	Außenwinkel [°]	Innenwinkel [°]
Maximum	171,50	149,50
75%-Quartil	170,63	145,63
Median	167,50	141,00
25%-Quartil	164,88	132,38
Minimum	160,50	127,00
n	10	10

Tabelle 17: Übersicht der berechneten Werte des Außen- und Innenwinkels des MAE in Winkelgrad.

Nachfolgende Abbildung stellt die Höhe, Länge und Breite des MAI am Felsenbein des Göttinger Minipigs dar. Die Höhe weist ein Maximum von 0,45 cm und ein Minimum von 0,20 cm auf. Der Median liegt bei 0,28 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,32 cm, das 25%-Quartil mit 0,23 cm berechnet.

Die maximale Länge des MAI liegt bei 0,42 cm. Das Minimum beträgt 0,18 cm. Der Median liegt bei 0,24 cm. Die Länge des MAI liegt bei 50% der Minipigs zwischen 0,22 cm und 0,26 cm.

Die größte Breite des MAI beträgt 0,48 cm. Die kleinste Breite des MAI 0,20 cm. Der Median ergibt 0,41 cm. Bei der Breite des MAI kann ein 75%-Quartil von 0,45 cm und ein 25%-Quartil von 0,20 cm berechnet werden.

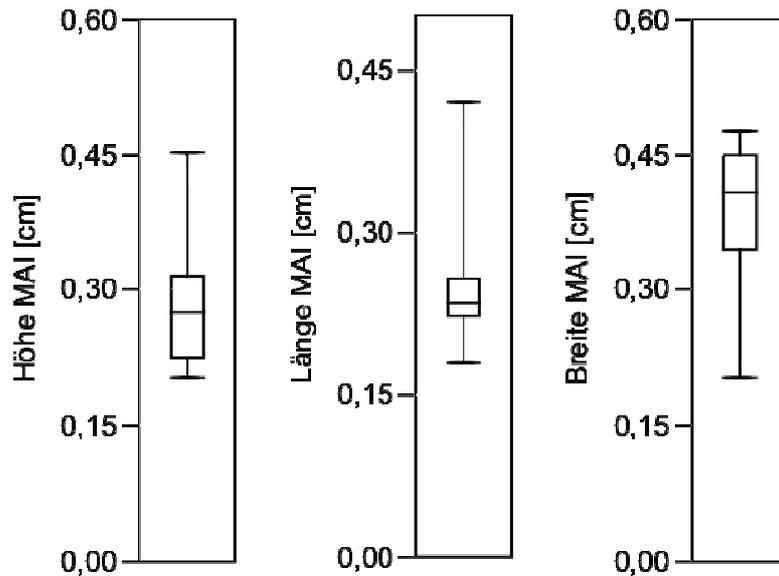


Abbildung 27: Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm], (n=10).

Die nachfolgende Tabelle 18 fasst die Ergebnisse für Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des MAI zusammen.

MAI	Höhe [cm]	Länge [cm]	Breite [cm]
Maximum	0,45	0,42	0,48
75%-Quartil	0,32	0,26	0,45
Median	0,28	0,24	0,41
25%-Quartil	0,23	0,22	0,34
Minimum	0,20	0,18	0,20
n	10	10	10

Tabelle 18: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm].

In Abbildung 28 erfolgt eine Darstellung der Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm]. Die Höhe weist ein Maximum von 0,70 cm und ein Minimum von 0,44 cm auf. Der Median liegt bei 0,53 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,6 cm, das 25%-Quartil mit 0,49 cm berechnet.

Die maximale Länge der Paukenhöhle liegt bei 0,92 cm. Das Minimum beträgt 0,78 cm. Der Median liegt bei 0,86 cm. Die Länge der Paukenhöhle liegt bei 50% der Minipigs zwischen 0,80 cm und 0,89 cm.

Die größte Breite beträgt 0,73 cm. Die kleinste Breite der Paukenhöhle 0,51 cm. Der Median ergibt 0,61 cm. Bei der Breite kann ein oberes Quartil von 0,66 cm und ein unteres Quartil von 0,61 cm berechnet werden.

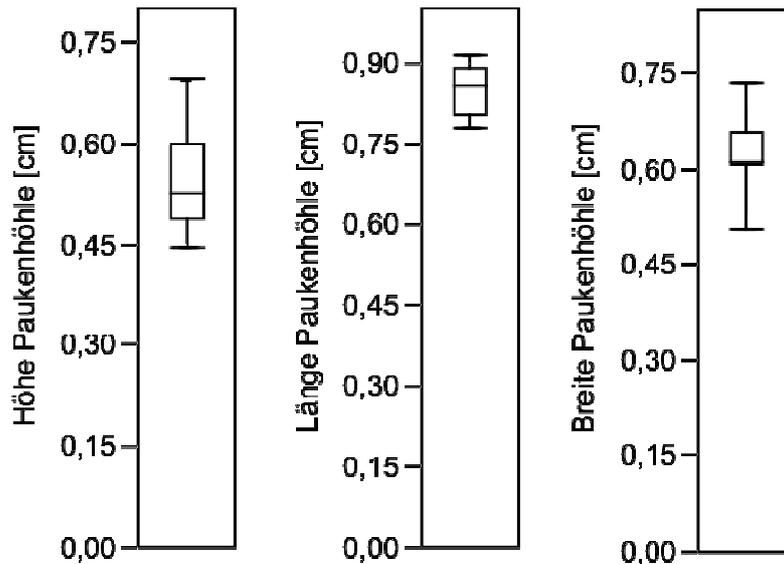


Abbildung 28: Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm], (n=10).

Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenfassung aller zu dieser Struktur erhobenen statistischen Parameter dargestellt.

Paukenhöhle	Höhe [cm]	Länge [cm]	Breite [cm]
Maximum	0,70	0,92	0,73
75%-Quartil	0,60	0,89	0,66
Median	0,53	0,86	0,61
25%-Quartil	0,49	0,80	0,61
Minimum	0,44	0,78	0,51
n	10	10	10

Tabelle 19: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm].

Nachfolgende Abbildung stellt die Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae als Teil des Felsenbeins am Göttinger Minipig dar. Die Höhe weist ein Maximum von 2,63 cm und ein Minimum von 1,77 cm auf. Der Median liegt bei 2,14 cm. Das 75%- Quartil wurde mit 2,33 cm, das 25%-Quartil mit 2,00 cm berechnet.

Die maximale Länge der Cellulae mastoideae liegt bei 1,95 cm. Das Minimum beträgt 1,29 cm. Der Median liegt bei 1,55 cm. Bei 50% der Minipigs liegt die Länge der Cellulae mastoideae zwischen 1,43 cm und 1,68 cm.

Die größte Breite beträgt 1,53 cm. Die kleinste Breite 1,11 cm. Der Median ergibt 1,25 cm. Bei der Breite der Cellulae mastoideae kann ein 75%-Quartil von 1,34 cm und ein 25%-Quartil von 1,18 cm berechnet werden.

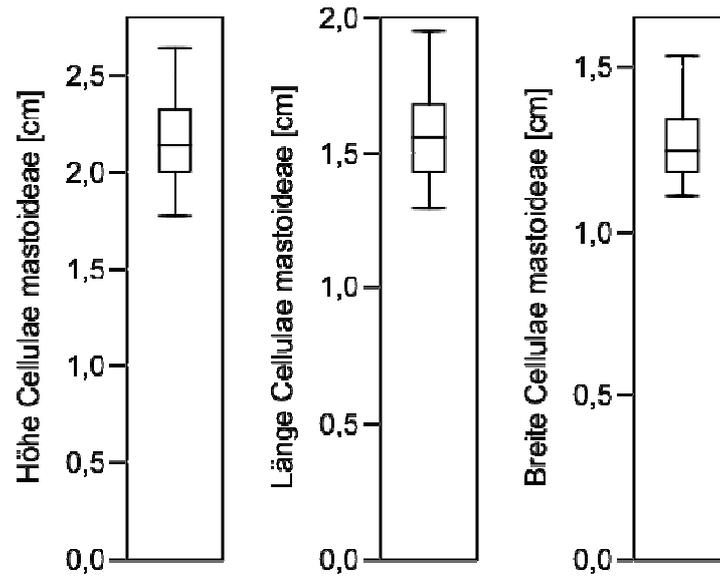


Abbildung 29: Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm], (n=10).

Tabelle 20 gibt eine Zusammenfassung des Maximums, 75%-Quartils, Medians, 25%-Quartils und Minimums der Cellulae mastoideae.

Cellulae mastoideae	Höhe [cm]	Länge [cm]	Breite [cm]
Maximum	2,63	1,95	1,53
75%-Quartil	2,33	1,68	1,34
Median	2,14	1,55	1,25
25%-Quartil	2,00	1,43	1,18
Minimum	1,77	1,29	1,11
n	10	10	10

Tabelle 20: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm].

In der untersuchten Gruppe der Göttinger Minipigs beträgt das Maximum des Cochlea Durchmessers 0,49 cm. Das Minimum wurde mit 0,36 cm bestimmt. Der Median liegt hier bei 0,44 cm. Der Cochlea Durchmesser beträgt bei 50% der Minipigs zwischen 0,36 cm und 0,48 cm.

Bei der Felsenbeinlänge liegt das Maximum bei 1,94 cm und das Minimum bei 1,47 cm. Der Median liegt bei diesem Parameter bei 1,71 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 1,84 cm, das 25%-Quartil bei 1,57 cm.

Das Maximum der Kalottenbreite beim Landschwein ist 0,35 cm. Das Minimum beträgt 0,20 cm. Hier liegt der Median bei 0,27 cm. Das 75%-Quartil beträgt 0,29 cm. Das 25%-Quartil beträgt 0,25 cm.

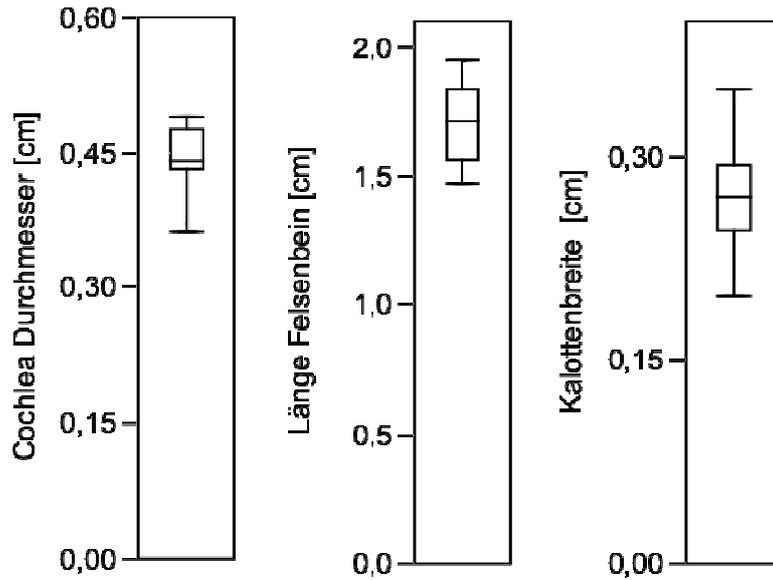


Abbildung 30: Durchmesser der Cochlea, Felsenbeinlänge und Kalottenbreite in [cm], (n=10).

Tabelle 21 fasst die erhobenen Parameter zusammen.

	Cochlea Durchmesser [cm]	Felsenbeinlänge [cm]	Kalottenbreite [cm]
Maximum	0,49	1,94	0,35
75%-Quartil	0,48	1,84	0,29
Median	0,44	1,71	0,27
25%-Quartil	0,43	1,57	0,25
Minimum	0,36	1,47	0,20
n	10	10	10

Tabelle 21: Übersicht über die berechneten Werte des Durchmessers der Cochlea, der Felsenbeinlänge und der Kalottenbreite in [cm].

3.2 Auswertung

Im folgenden Abschnitt werden die Zusammenhänge der jeweiligen Messparameter mit dem Körpergewicht und der Schädelbasislänge getrennt voneinander dargestellt. Hierfür wurden Korrelationen berechnet. Die zwei Schweinerassen wurden dabei gesondert betrachtet. Es wurden dabei die Messgrößen der folgenden Merkmale berücksichtigt:

Schädellänge [cm], Schädelbreite [cm]

MAEa Höhe [cm], MAEa Breite [cm]

MAEi Höhe [cm], Länge [cm], Breite [cm]

MAE Gesamtlänge

MAE Außenwinkel [°], Innenwinkel [°]

MAI Höhe [cm], Länge [cm], Breite [cm]

Paukenhöhle Höhe [cm], Länge [cm], Breite [cm]

Cellulae mastoideae Höhe [cm], Länge [cm], Breite [cm]

Cochlea Durchmesser [cm]

Felsenbeinlänge [cm], Kalottenbreite [cm]

Zur genauen Beschreibung der Messpunkte für die jeweiligen vermessenen Strukturen verweise ich auf den Abschnitt CT-gestützte Morphometrie (2.3.6) des Material und Methoden Teils.

Für die statistische Auswertung wurde der Korrelationskoeffizient r berechnet. Der Koeffizient wurde nach Pearson und anhand des Körpergewichts bzw. der Schädelbasislänge sowie der Messgröße bestimmt. Des Weiteren wurde noch der statistische Zusammenhang bestimmt.

Hierbei wird bei $r > 0$ von einem positiven linearen Zusammenhang gesprochen, bei $r < 0$ von einem negativen linearen Zusammenhang. $R = 0$ beschreibt keinen linearen Zusammenhang. Die Unterteilung in schwachen, mittleren und starken linearen Zusammenhang wurde anhand folgender Regel getroffen.

Positiver statistischer Zusammenhang:

keiner	schwacher	mittlerer	starker	vollständiger
$r = 0$	$0 < r \leq 0,2$	$0,2 < r \leq 0,6$	$0,6 < r \leq 1$	$r = 1$

Tabelle 22: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \geq 0$.

Negativer statistischer Zusammenhang:

keiner	schwacher	mittlerer	starker	vollständiger
$r = 0$	$0 > r \geq -0,2$	$-0,2 > r \geq -0,6$	$-0,6 > r \geq -1$	$r = -1$

Tabelle 23: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \leq 0$.

3.2.1 Landschwein

3.2.1.1 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Messgröße

Zur Darstellung der Zusammenhänge der Messgrößen mit dem Körpergewicht am Landschwein sind in der folgenden Tabelle die jeweiligen Merkmale und der dazu gehörige Korrelationskoeffizient r aufgelistet. Des Weiteren beinhaltet die Tabelle noch den jeweilige statistischen Zusammenhang.

Landschwein n=20	Korrelationskoeffizient r nach Pearson	statistischer Zusammen- hang
Schädellänge [cm]	0,96	starke positive Korrelation
Schädelbreite [cm]	0,76	starke positive Korrelation
Höhe MAEa [cm]	0,05	schwache positive Korrelation
Breite MAEa [cm]	-0,05	schwache negative Korrelation
Höhe MAEi [cm]	0,18	schwache positive Korrelation
Länge MAEi [cm]	0,51	mittlere positive Korrelation
Breite MAEi [cm]	0,06	schwache positive Korrelation
Gesamtlänge MAE [cm]	0,85	starke positive Korrelation
Außenwinkel MAE [°]	0,14	schwache positive Korrelation
Innenwinkel MAE [°]	-0,34	mittlere negative Korrelation
Höhe MAI [cm]	0,13	schwache positive Korrelation
Breite MAI [cm]	0,21	mittlere positive Korrelation

Länge MAI [cm]	0,40	mittlere positive Korrelation
Höhe Paukenhöhle [cm]	0,25	mittlere positive Korrelation
Breite Paukenhöhle [cm]	0,58	mittlere positive Korrelation
Länge Paukenhöhle [cm]	0,09	schwache positive Korrelation
Höhe Cellulae mastoideae [cm]	0,82	starke positive Korrelation
Breite Cellulae mastoideae [cm]	0,79	starke positive Korrelation
Länge Cellulae mastoideae [cm]	0,59	mittlere positive Korrelation
Cochlea Durchmesser [cm]	0,22	mittlere positive Korrelation
Länge Felsenbein [cm]	0,92	starke positive Korrelation
Kalottenbreite [cm]	0,71	starke positive Korrelation

Tabelle 24: Korrelation des Körpergewichts mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, ($n=20$).

Ein starker positiver Zusammenhang kann demnach bei der Schädellänge, Schädelbreite, Gesamtlänge MAE, Höhe und Breite der Cellulae mastoideae, der Felsenbeinlänge und der Kalottenbreite festgestellt werden. Eine mittlere positive Korrelation kann bei der MAEi Länge, dem MAE Innenwinkel, der MAI Breite und Länge, der Höhe und Breite der Paukenhöhle, der Länge der Cellulae mastoideae und dem Cochlea Durchmesser ermittelt werden. Demnach kann ein schwacher positiver Zusammenhang bei der MAEa Höhe, MAEi Höhe, MAEi Breite und der Länge der Paukenhöhle gezeigt werden.

Ein schwacher negativer linearer Zusammenhang wurde für die Breite des MAEa berechnet. Ein mittlerer negativer Zusammenhang lässt sich beim MAE Innenwinkel feststellen.

In den nachfolgenden Abbildungen wird der Zusammenhang zwischen Körpergewicht in [kg] und den verschiedenen Messgrößen am Felsenbein des Landschweins dargestellt.

Die Schädellänge in Zentimeter weist einen starken positiven statistischen Zusammenhang mit dem Körpergewicht des Landschweins in [kg] auf (siehe Abbildung 31). Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,96.

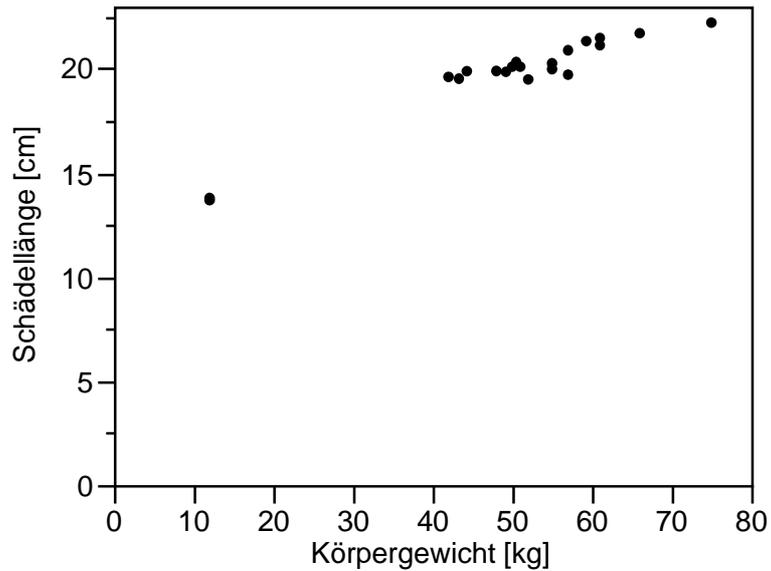


Abbildung 31: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=20).

Im folgenden Diagramm ist die Korrelation zwischen der Schädelbreite [cm] und dem Körpergewicht [kg] dargestellt. Der Korrelationskoeffizient wurde mit $r=0,76$ berechnet. Statistisch kann demnach ein starker positiver Zusammenhang gezeigt werden.

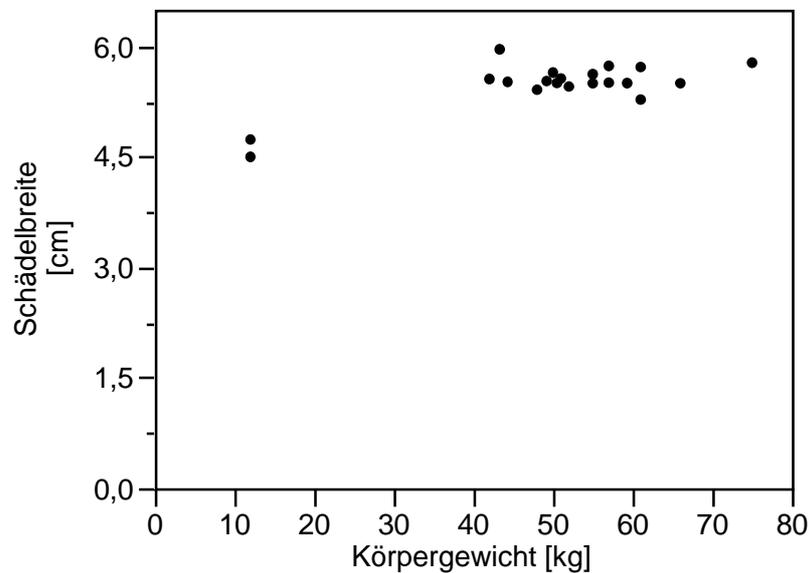


Abbildung 32: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=20).

Im anschließenden Graphen ist eine weitere Messgröße dargestellt. Hier wird ein schwacher positiver statistischer Zusammenhang zwischen der Höhe des

MAEa in [cm] und dem Körpergewicht [kg] gezeigt. Der Korrelationskoeffizient r bei der MAEa Höhe wurde mit 0,05 berechnet.

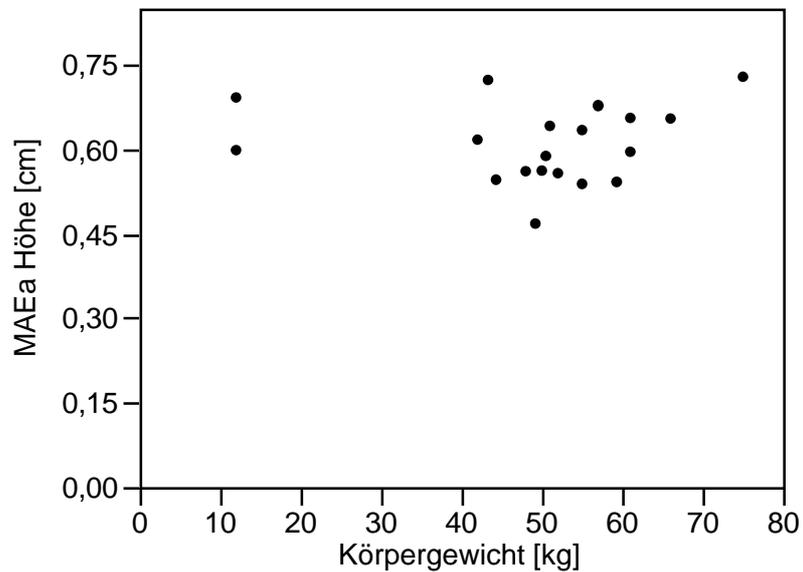


Abbildung 33: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=20).

Abbildung 34 veranschaulicht die Korrelation zwischen der MAEa Breite in [cm] und dem Körpergewicht [kg] der Landschweine. Bei einem Korrelationskoeffizienten r von -0,05 kann demnach ein schwacher negativer Zusammenhang gezeigt werden.

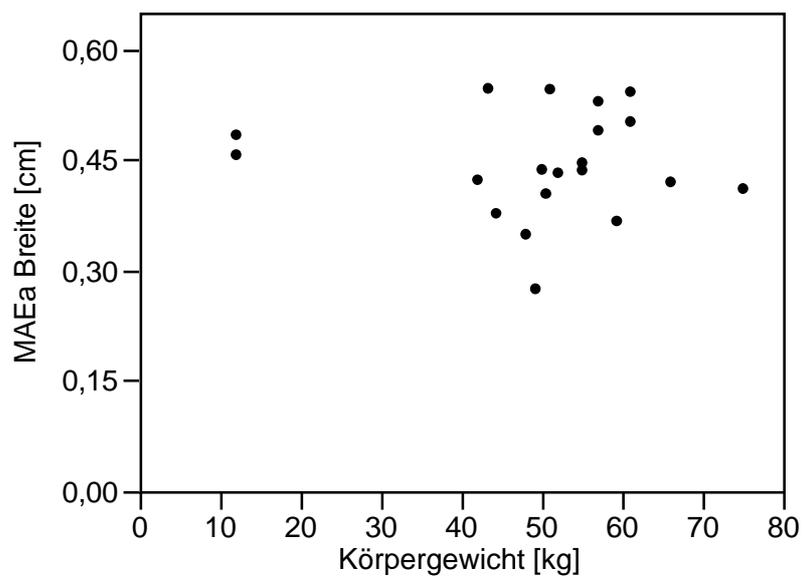


Abbildung 34: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=20).

Im Folgenden Graphen ist der Zusammenhang zwischen der MAEi Höhe in [cm] und dem Körpergewicht [kg] dargestellt. Statistisch kann eine schwache positive Korrelation gezeigt werden. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,18.

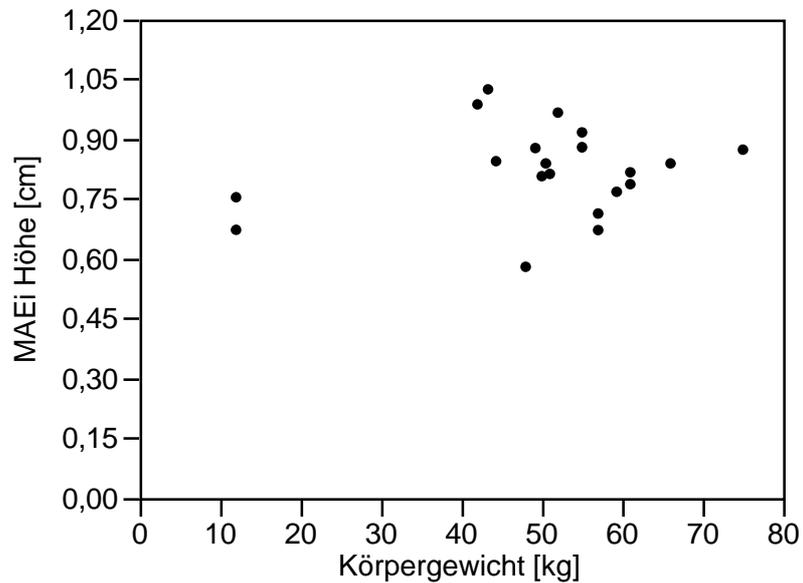


Abbildung 35: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=20).

Bei der Länge des MAEi in [cm] und dem Körpergewicht in [kg] wurde ein Korrelationskoeffizient r von 0,51 berechnet. Statistisch kann ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden.

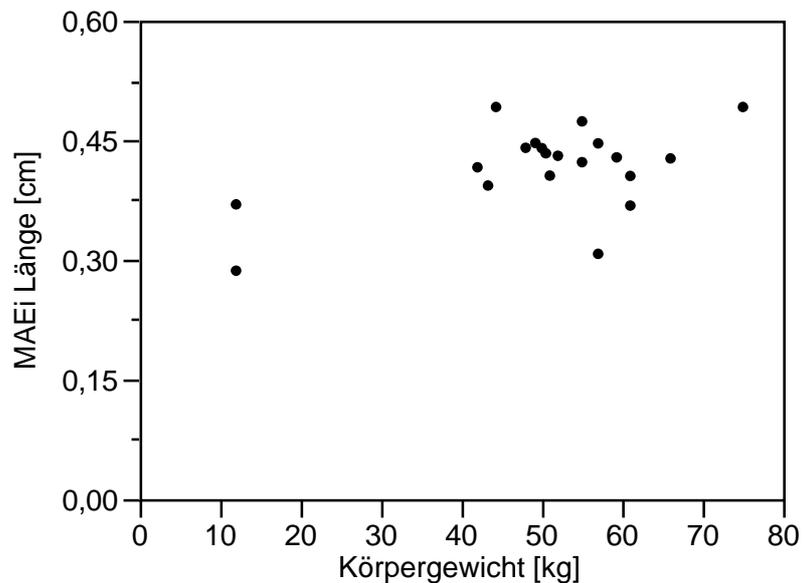


Abbildung 36: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=20).

Eine schwache positive Korrelation ergibt sich statistisch bei der MAEi Breite in [cm] und dem Körpergewicht in [kg]. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,06.

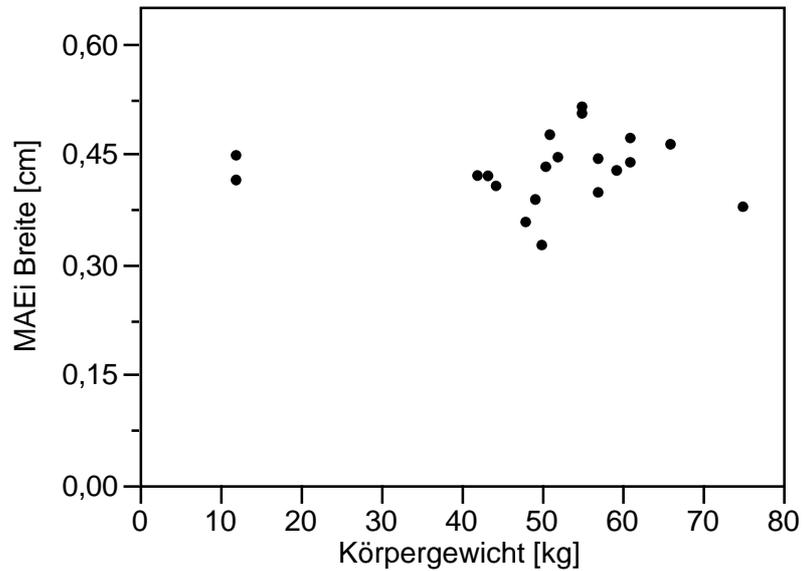


Abbildung 37: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=20).

Folgende Abbildung stellt den Zusammenhang zwischen MAE Gesamtlänge in [cm] und Körpergewicht [kg] dar. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,85. Demnach kann ein starker positiver Zusammenhang gezeigt werden.

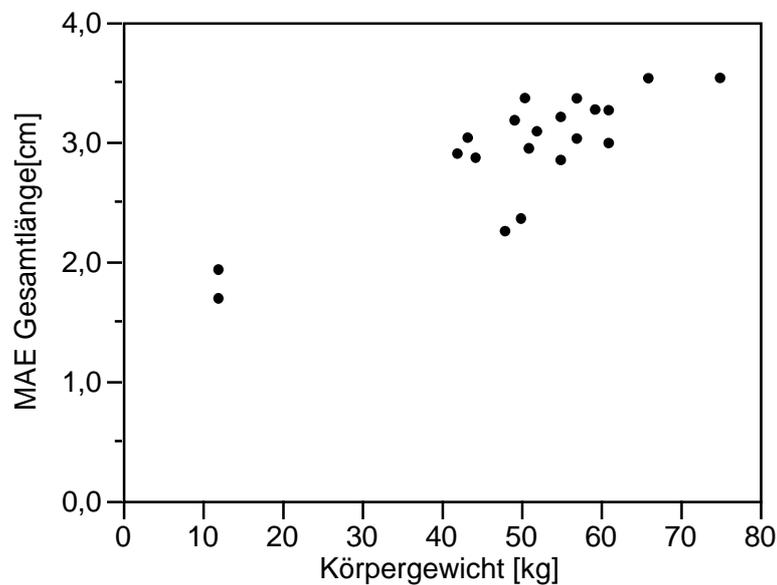


Abbildung 38: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=20).

Für den Außenwinkel MAE in [°] und Körpergewicht [kg] wurde ein Korrelationskoeffizient $r=0,14$ berechnet. Demnach lässt sich ein schwacher positiver Zusammenhang feststellen, der im Folgenden dargestellt ist.

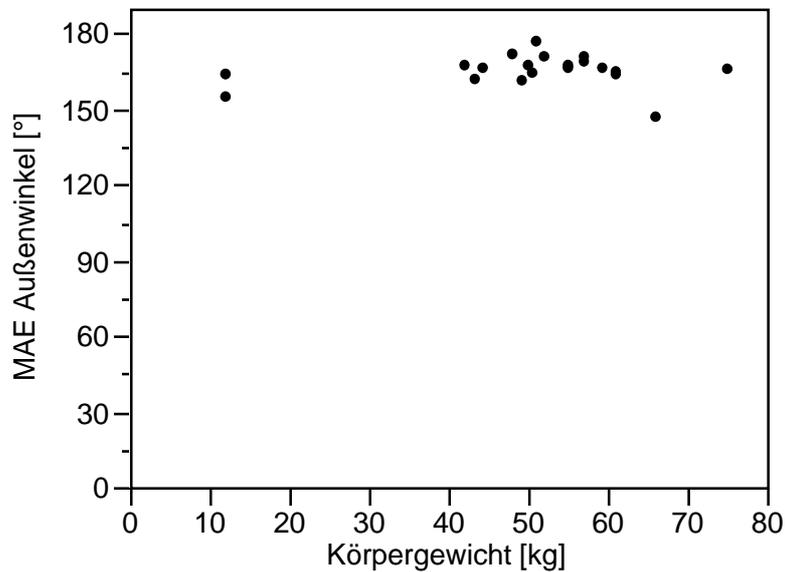


Abbildung 39: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=20).

Zwischen MAE Innenwinkel in [°] und Körpergewicht [kg] besteht statistisch ein mittlerer negativer Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient r beträgt $-0,34$.

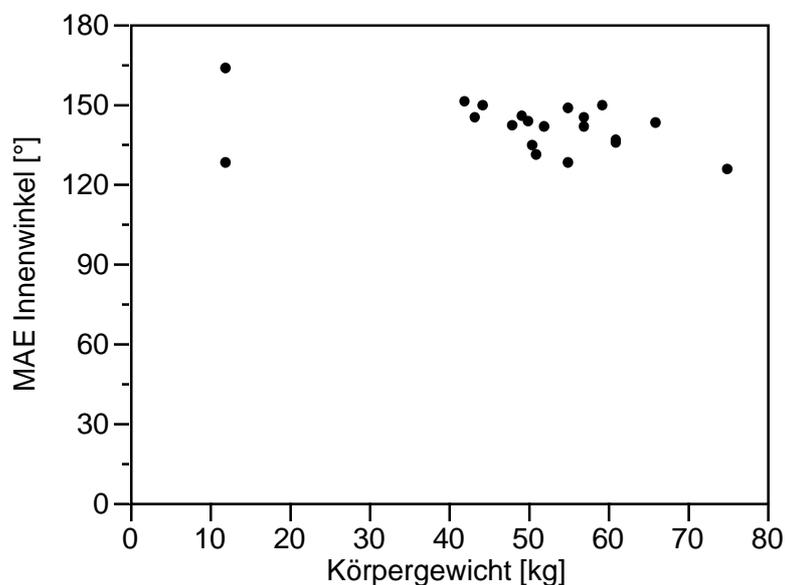


Abbildung 40: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und dem erfassten MAE Innenwinkel in [°], (n=20).

Im Folgenden ist die Korrelation zwischen der MAI Höhe und dem Körpergewicht dargestellt. Es konnte ein Korrelationskoeffizient von $r=0,13$ berechnet werden. Es lässt sich daher ein schwacher positiver Zusammenhang zeigen.

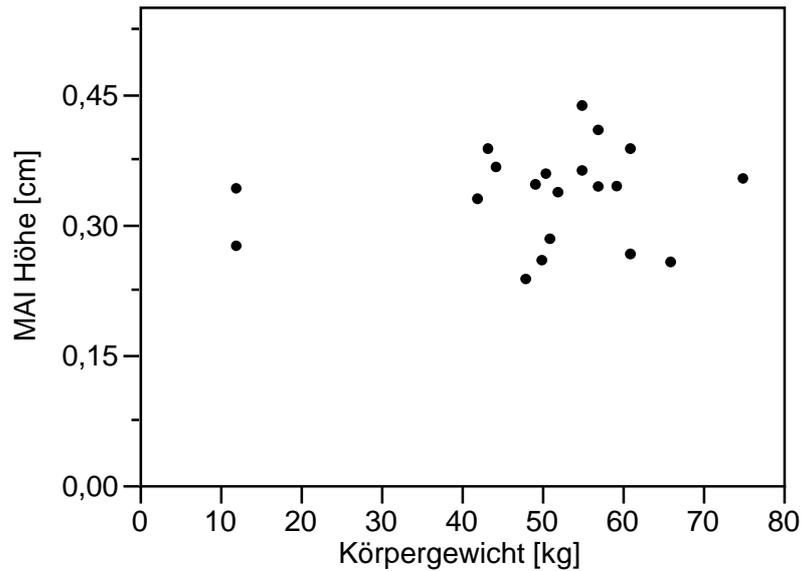


Abbildung 41: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=20).

Im anschließenden Diagramm ist die Korrelation zwischen MAI Breite und Körpergewicht dargestellt. Es lässt sich ein mittlerer positiver Zusammenhang feststellen. Der Korrelationskoeffizient r wurde mit 0,21 berechnet.

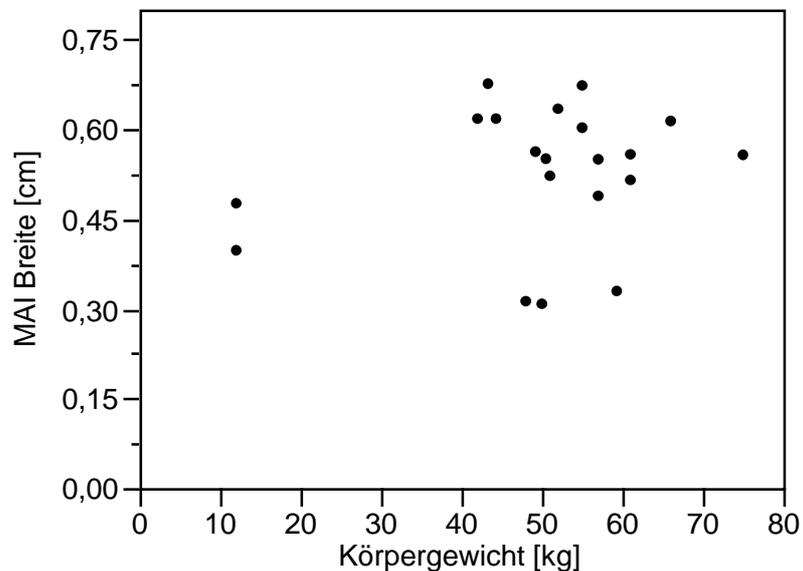


Abbildung 42: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=20).

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten für die MAI Länge in [cm] und das Körpergewicht [kg] ergab $r=0,40$. Demnach kann ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden.

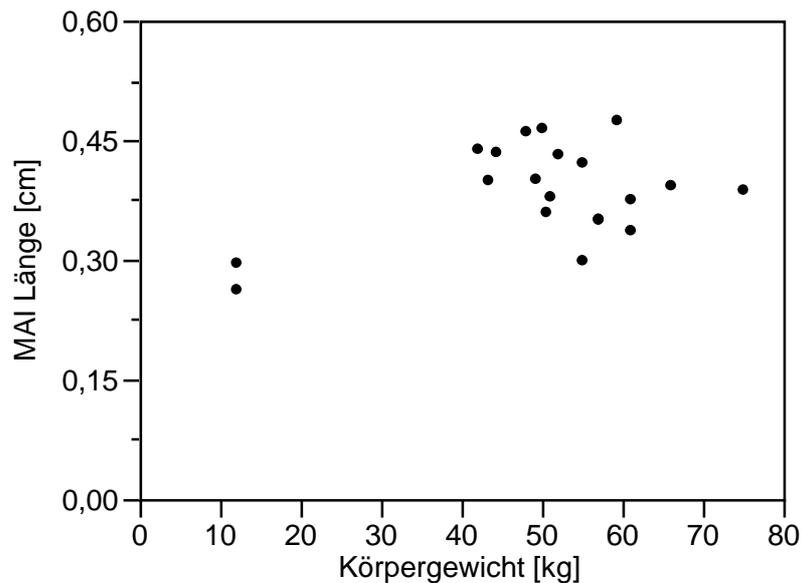


Abbildung 43: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=20).

In Abbildung 44 ist der Zusammenhang zwischen der Messgröße Höhe der Paukenhöhle in [cm] und des Körpergewichts in [kg] veranschaulicht. Es besteht ein positiver Zusammenhang ($r=0,25$). Statistisch kann ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen der Höhe der Paukenhöhle in [cm] und dem Körpergewicht in [kg] der Landschweine gezeigt werden.

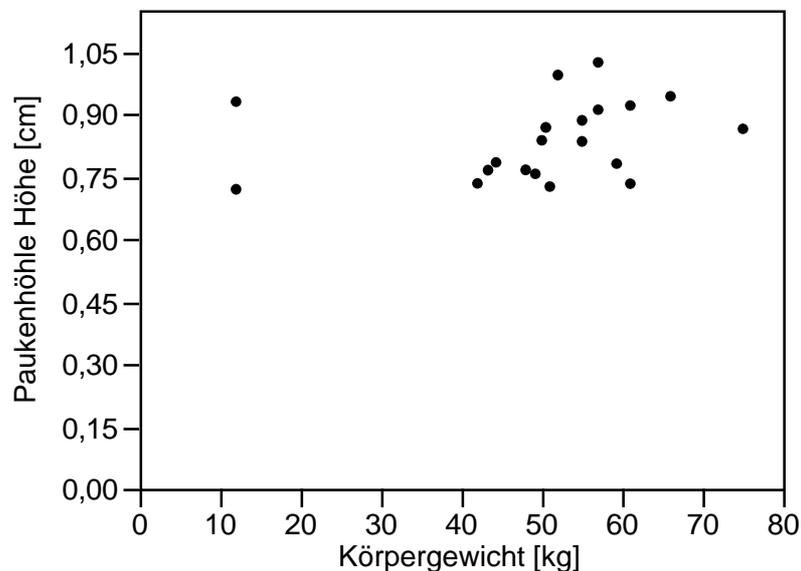


Abbildung 44: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Höhe der Paukenhöhle in [cm], (n=20).

Bei der Breite der Paukenhöhle und dem Körpergewicht ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von $r=0,58$. Es lässt sich demnach ein mittlerer positiver Zusammenhang feststellen.

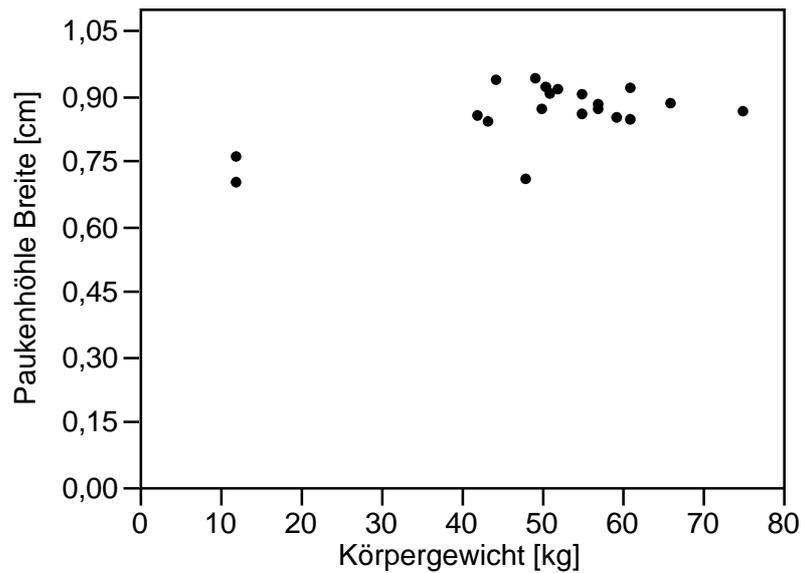


Abbildung 45: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Breite der Paukenhöhle in [cm], (n=20).

Ein schwacher positiver Zusammenhang lässt sich bei der Länge der Paukenhöhle zeigen. Der Korrelationskoeffizient r beträgt hier 0,09. In nachfolgender Graphik ist dies dargestellt.

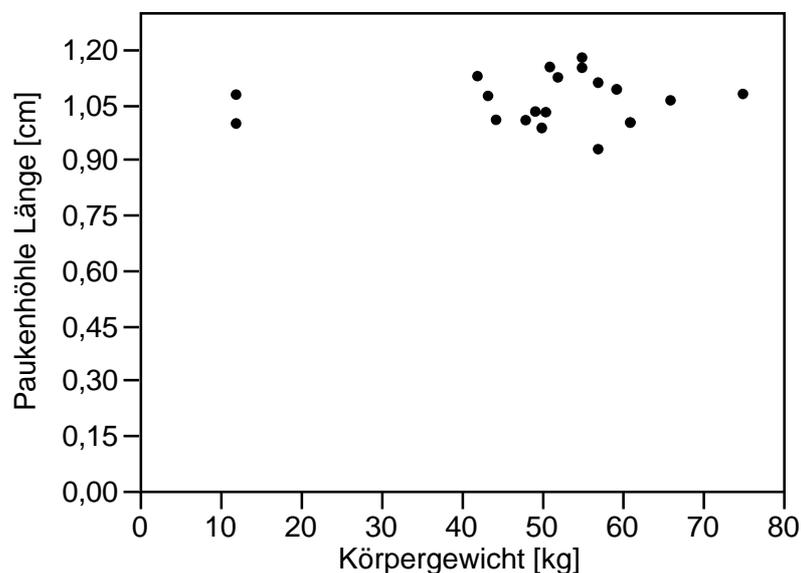


Abbildung 46: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Länge der Paukenhöhle in [cm], (n=20).

Für die Höhe der Cellulae mastoideae und das Körpergewicht der Landschweine lässt sich ein starker positiver Zusammenhang zeigen. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r=0,82$. Folgender Graph veranschaulicht diesen Zusammenhang.

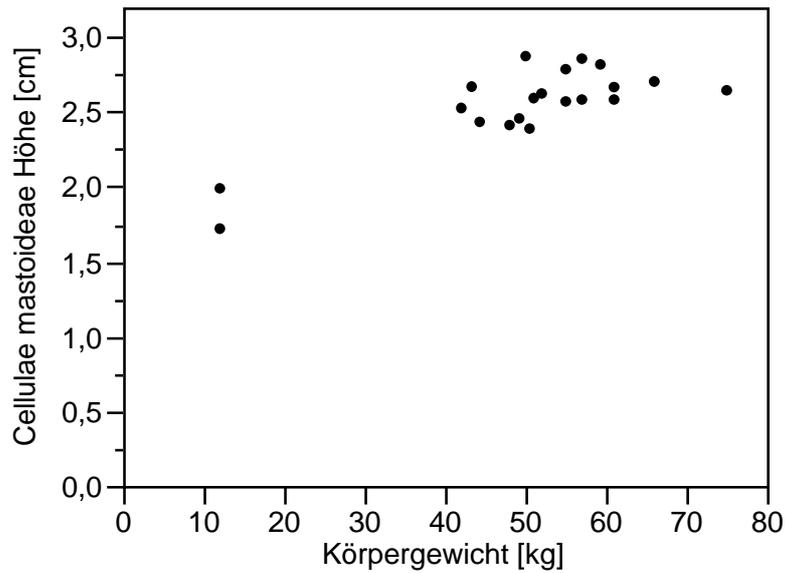


Abbildung 47: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Höhe der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).

Bei der Breite der Cellulae mastoideae kann ein Korrelationskoeffizient $r=0,79$ berechnet werden. Demnach kann eine starke positive Korrelation ermittelt werden.

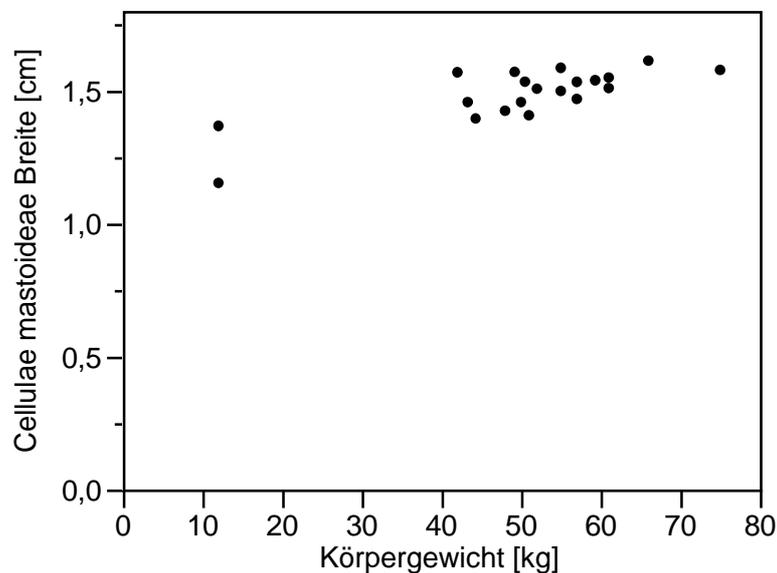


Abbildung 48: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Breite der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).

Im folgenden Diagramm erfolgt die Darstellung des Zusammenhangs der Länge der Cellulae mastoideae und des Körpergewichts. Es kann ein Korrelationskoeff-

fizient r von 0,59 berechnet werden. Statistisch besteht ein mittlerer positiver Zusammenhang.

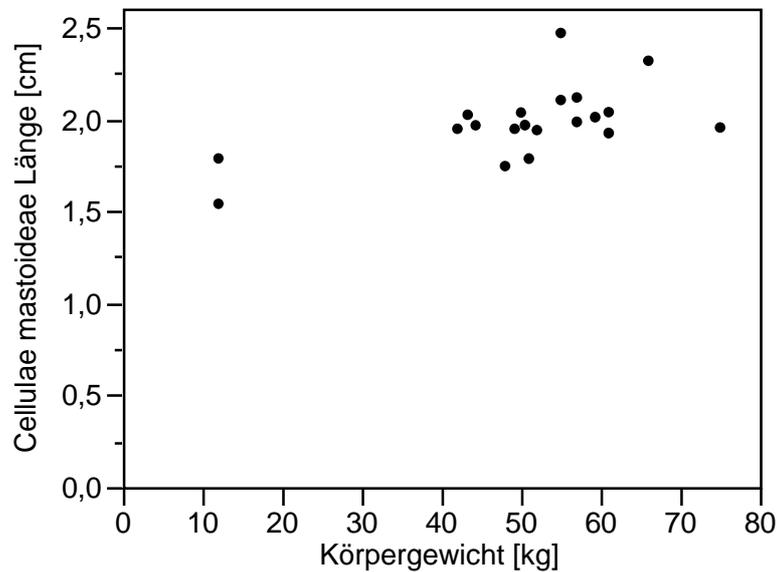


Abbildung 49: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Länge der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).

Eine mittlere positive Korrelation kann beim Durchmesser der Cochlea und dem Körpergewicht der Landschweine ermittelt werden. Es lässt sich ein Korrelationskoeffizient $r=0,22$ berechnen.

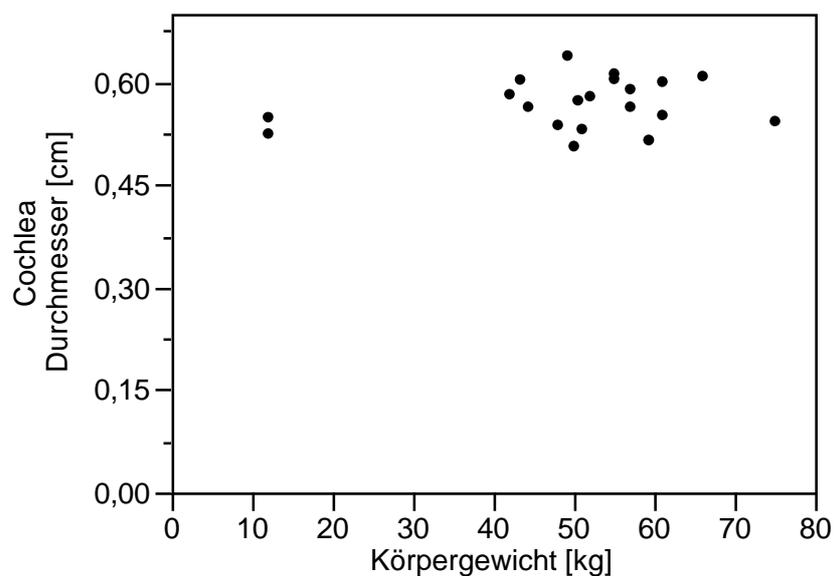


Abbildung 50: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und des erfassten Durchmessers der Cochlea in [cm], (n=20).

Die Felsenbeinlänge in [cm] korreliert mit dem Körpergewicht [kg] stark. Statistisch kann ein starker positiver Zusammenhang festgestellt werden. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,92$.

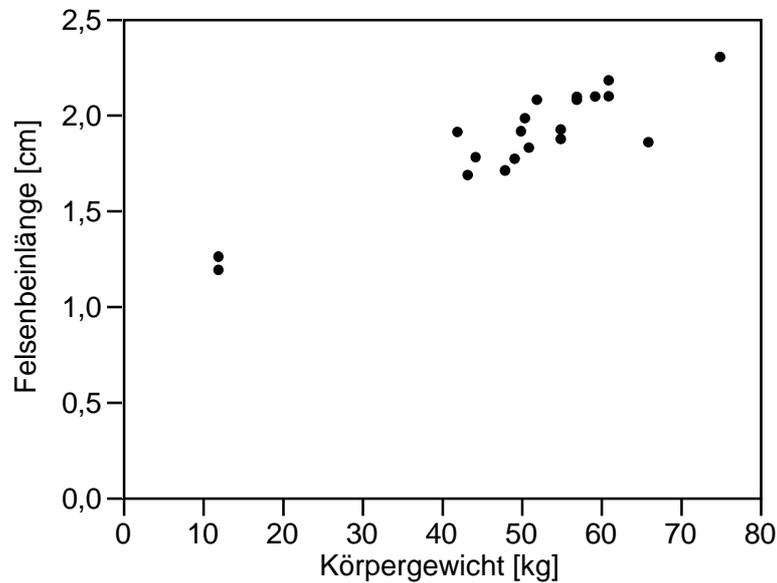


Abbildung 51: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=20).

Für die Kalottenbreite kann ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,71$ berechnet werden. Demnach kann ein starker positiver Zusammenhang gezeigt werden, in folgender Abbildung dargestellt.

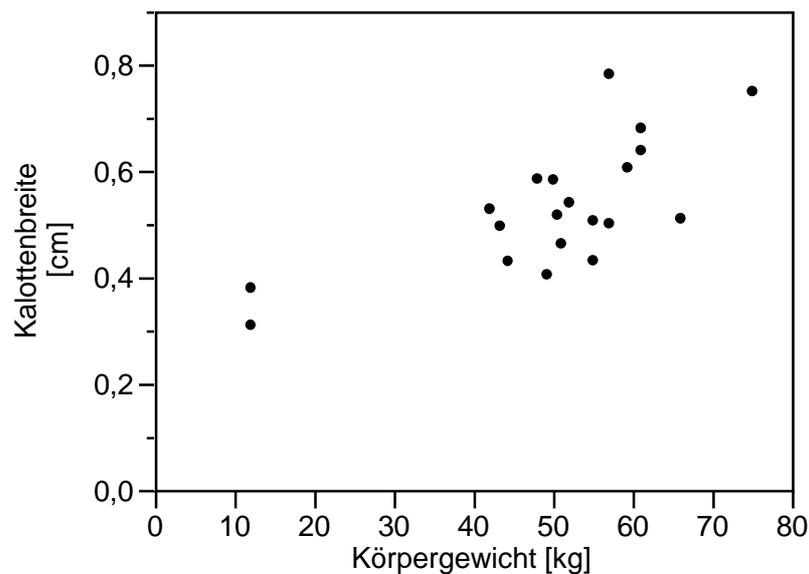


Abbildung 52: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=20).

3.2.1.2 Zusammenhang zwischen Schädelbasislänge und Messgröße

Zur Darstellung der Zusammenhänge der Messgrößen mit der Schädelbasislänge am Landschwein sind in der folgenden Tabelle die jeweiligen Merkmale und der dazugehörige Korrelationskoeffizient r aufgelistet. Des Weiteren beinhaltet die Tabelle noch den jeweilige statistischen Zusammenhang.

Landschwein n=20	Korrelationskoeffizient r nach Pearson	statistischer Zusammenhang
Schädellänge [cm]	0,60	mittlere positive Korrelation
Schädelbreite [cm]	0,53	mittlere positive Korrelation
Höhe MAEa [cm]	-0,06	schwache negative Korrelation
Breite MAEa [cm]	-0,13	schwache negative Korrelation
Höhe MAEi [cm]	0,22	mittlere positive Korrelation
Länge MAEi [cm]	0,47	mittlere positive Korrelation
Breite MAEi [cm]	0,01	schwache positive Korrelation
Gesamtlänge MAE [cm]	0,54	mittlere positive Korrelation
Außenwinkel MAE [°]	0,16	schwache positive Korrelation
Innenwinkel MAE [°]	-0,09	schwache negative Korrelation
Höhe MAI [cm]	-0,06	schwache negative Korrelation
Breite MAI [cm]	0,21	mittlere positive Korrelation
Länge MAI [cm]	0,33	mittlere positive Korrelation
Höhe Paukenhöhle [cm]	-0,19	schwache negative Korrelation
Breite Paukenhöhle [cm]	0,29	mittlere positive Korrelation
Länge Paukenhöhle [cm]	0,05	schwache positive Korrelation
Höhe Cellulae mastoideae [cm]	0,30	mittlere positive Korrelation
Breite Cellulae mastoideae [cm]	0,51	mittlere positive Korrelation

Länge Cellulae mastoideae [cm]	0,12	schwache positive Korrelation
Cochlea Durchmesser [cm]	0,16	schwache positive Korrelation
Länge Felsenbein [cm]	0,49	mittlere positive Korrelation
Kalottenbreite [cm]	0,43	mittlere positive Korrelation

Tabelle 25: Korrelation der Schädelbasislänge mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, (n=20).

Ein mittlerer positiver Zusammenhang kann bei der Schädellänge, Schädelbreite, MAEi Höhe und Länge, Gesamtlänge MAE, Breite und Länge des MAI, Paukenhöhlen Breite, Höhe und Breite der Cellulae mastoideae, Felsenbeinlänge und Kalottenbreite gezeigt werden. Eine schwache positive Korrelation kann demnach bei der MAEi Breite, dem MAE Außenwinkel, der Länge der Paukenhöhle, der Länge der Cellulae mastoideae und dem Durchmesser der Cochlea ermittelt werden.

Ein schwacher negativer linearer Zusammenhang lässt sich bei der vermessenen Höhe und Breite des MAEa, Innenwinkel des MAE, Höhe des MAI und der Höhe der Paukenhöhle feststellen.

In den nachfolgenden Abbildungen wird der Zusammenhang zwischen Schädelbasislänge in [cm] und den verschiedenen Messgrößen am Felsenbein des Landschweins dargestellt.

Bei der Schädellänge [cm] lässt sich ein mittlerer positiver statistischer Zusammenhang mit der Schädelbasislänge des Landschweins in [cm] zeigen. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,60.

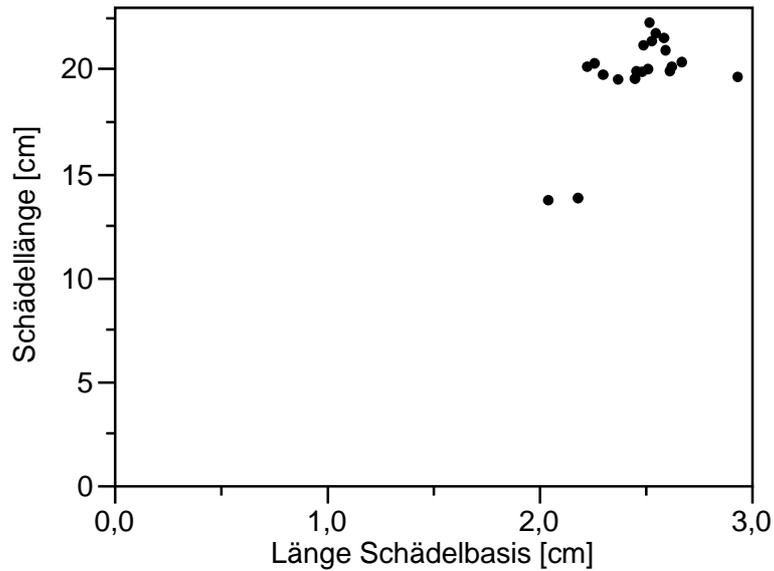


Abbildung 53: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=20).

Im folgenden Diagramm ist die Korrelation zwischen der Schädelbreite [cm] und der Schädelbasislänge [cm] dargestellt. Der Korrelationskoeffizient wurde mit $r=0,53$ berechnet. Statistisch kann demnach ein starker positiver Zusammenhang gezeigt werden

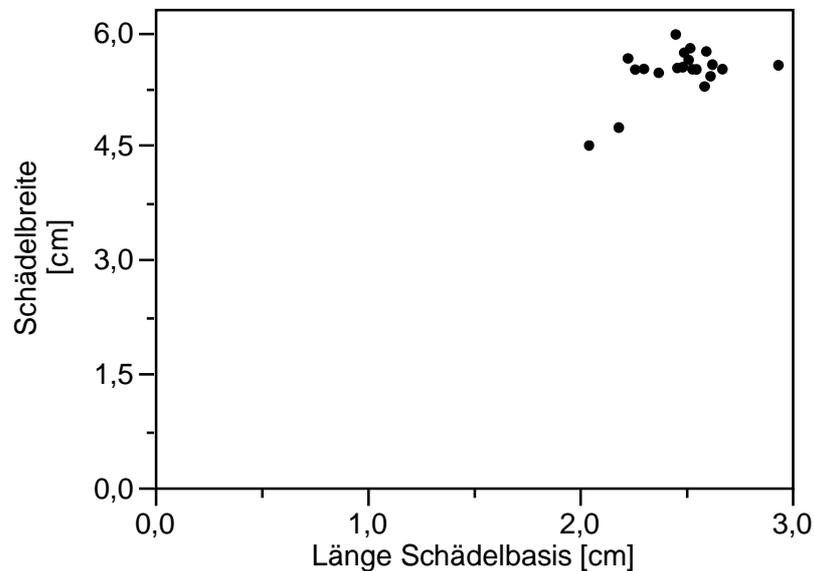


Abbildung 54: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=20).

Bei der Höhe des MAEa und der Schädelbasislänge kann ein Korrelationskoeffizient von $r=-0,06$ berechnet werden. Es wird daher ein schwacher negativer Zusammenhang festgestellt.

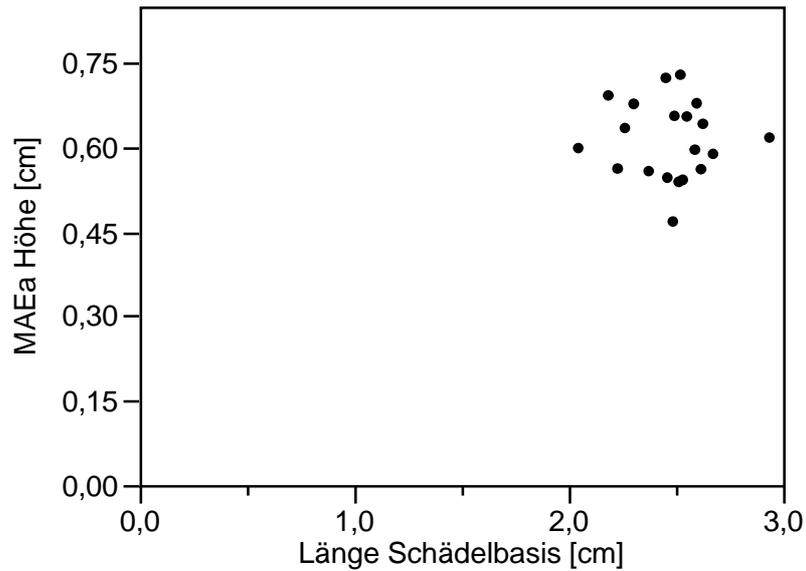


Abbildung 55: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=20).

Im folgenden Graphen wurde der Zusammenhang zwischen der Breite MAEa und der Schädelbasislänge dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r beträgt hier $-0,13$. Statistisch entspricht dies einem schwachen negativen Zusammenhang.

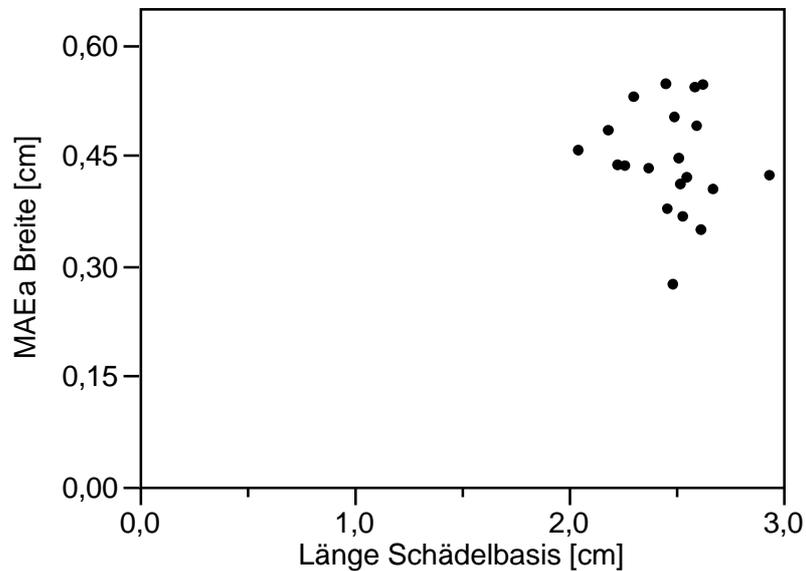


Abbildung 56: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=20).

Folgende Abbildung stellt den Zusammenhang zwischen der MAEi Höhe in [cm] und der Schädelbasislänge [cm] dar. Statistisch kann demnach eine mittlere positive Korrelation gezeigt werden. Der Korrelationskoeffizient r beträgt $0,22$.

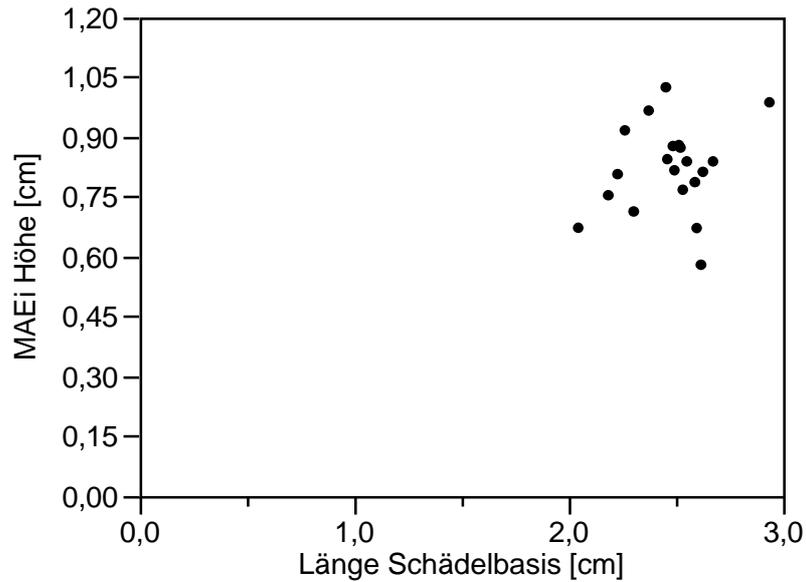


Abbildung 57: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=20).

Bei der Länge des MAEi in [cm] und der Schädelbasislänge in [cm] wurde ein Korrelationskoeffizient r von 0,47 berechnet. Statistisch kann ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden.

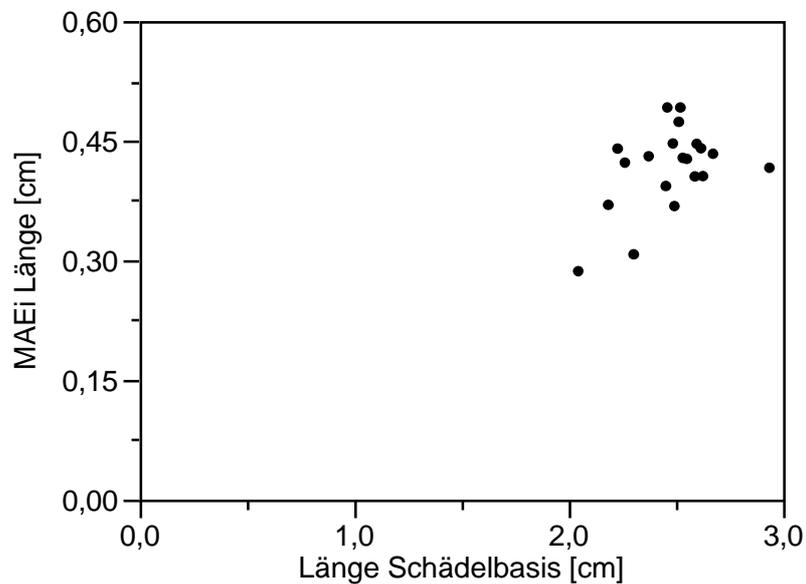


Abbildung 58: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=20).

Eine schwache positive Korrelation ergab sich statistisch bei MAEi Breite in [cm] und dem Schädelbasislänge in [cm]. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,01.

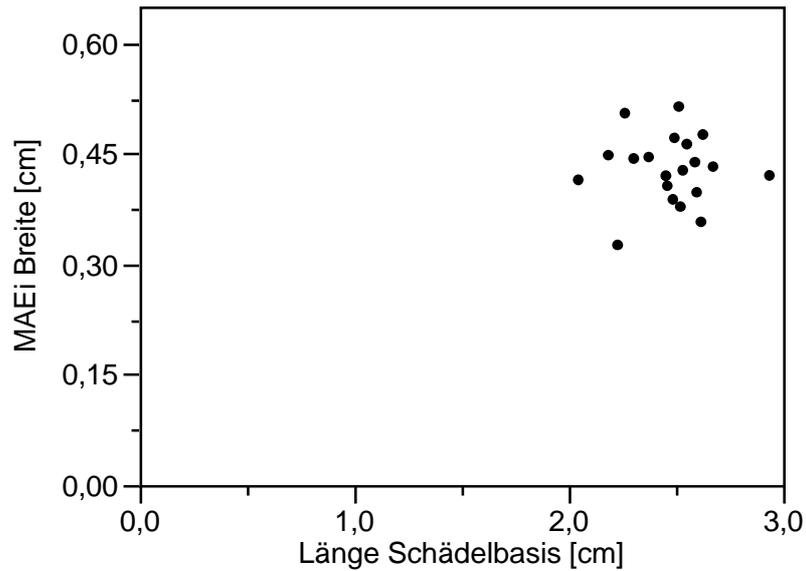


Abbildung 59: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=20).

Folgende Abbildung stellt den Zusammenhang zwischen MAE Gesamtlänge in [cm] und der Schädelbasislänge [cm] dar. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,54. Demnach kann ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden.

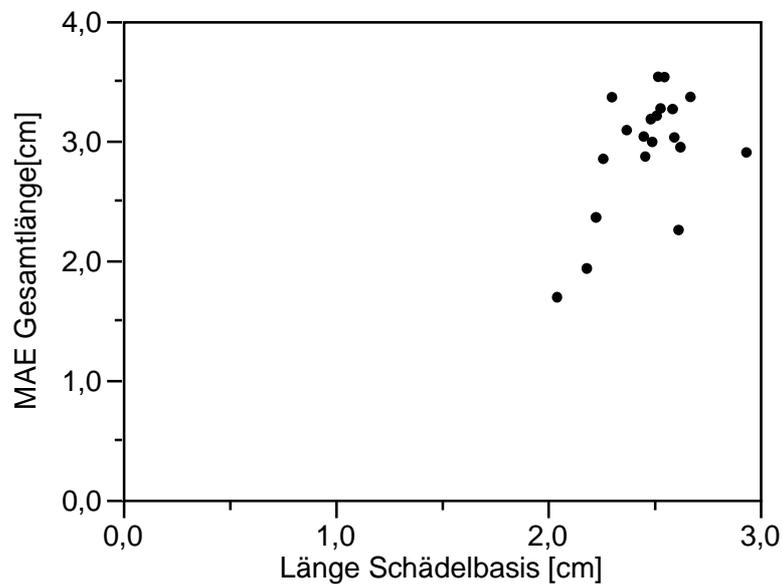


Abbildung 60: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=20).

Für den Außenwinkel MAE in [°] und die Schädelbasislänge [cm] wurde ein Korrelationskoeffizient $r=0,16$ berechnet. Demnach lässt sich ein schwacher positiver Zusammenhang feststellen, der im Folgenden dargestellt ist.

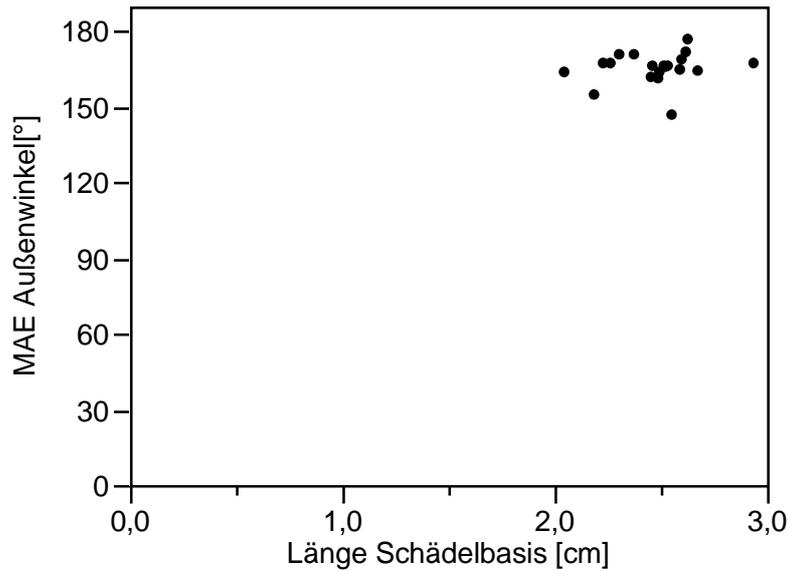


Abbildung 61: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=20).

Zwischen MAE Innenwinkel in [°] und Schädelbasislänge [cm] besteht statistisch ein schwacher negativer Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient r beträgt -0,09.

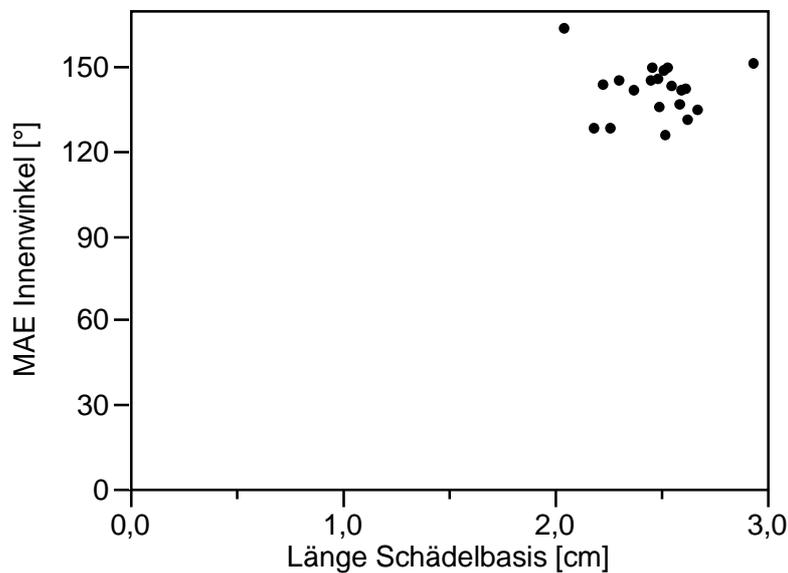


Abbildung 62: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und dem erfassten Innenwinkel in [°], (n=20).

Im Folgenden ist die Korrelation zwischen der MAI Höhe und dem Schädelbasislänge dargestellt. Es konnte ein Korrelationskoeffizient von $r=-0,06$ berechnet werden. Es lässt sich daher ein schwachen negativer Zusammenhang zeigen.

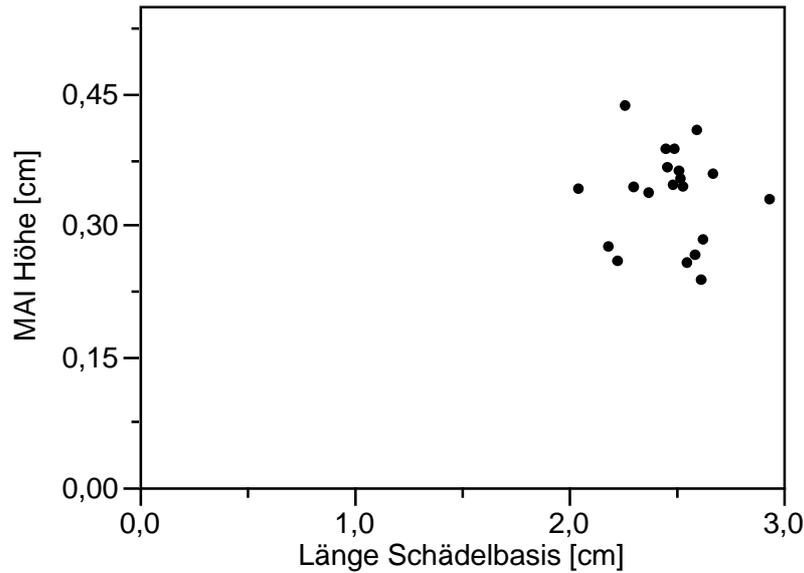


Abbildung 63: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=20).

Im anschließenden Diagramm ist die Korrelation zwischen MAI Breite und Schädelbasislänge dargestellt. Es lässt sich ein mittlerer positiver Zusammenhang feststellen. Der Korrelationskoeffizient r wurde mit 0,21 berechnet.

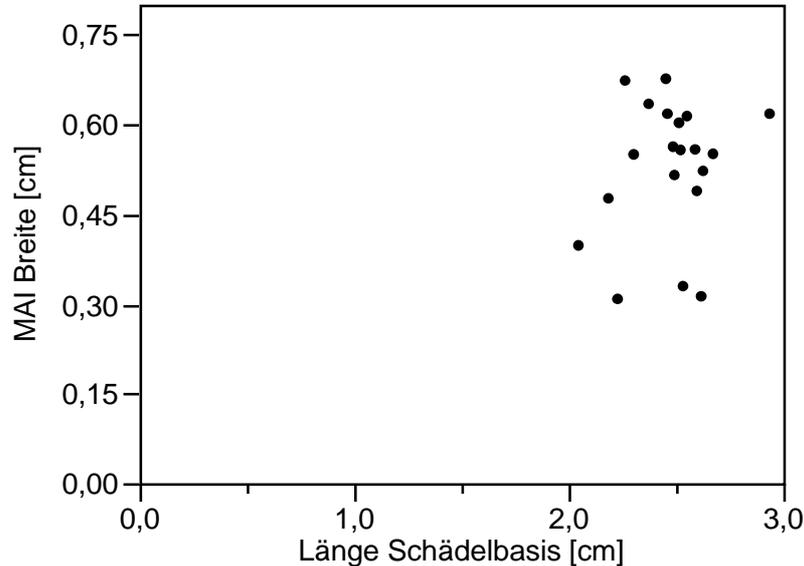


Abbildung 64: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=20).

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten für die MAI Länge in [cm] und das Körpergewicht [kg] ergab $r=0,33$. Demnach kann ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden.

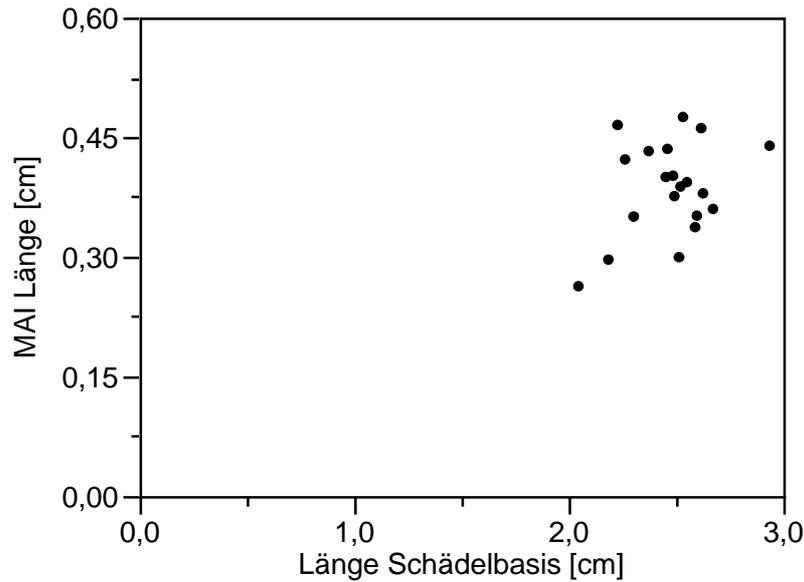


Abbildung 65: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=20).

Die Höhe der Paukenhöhle [cm] zeigt einen schwachen negativen statistischen Zusammenhang mit dem Schädelbasislänge [cm] auf. Der Korrelationskoeffizient r beträgt -0,19.

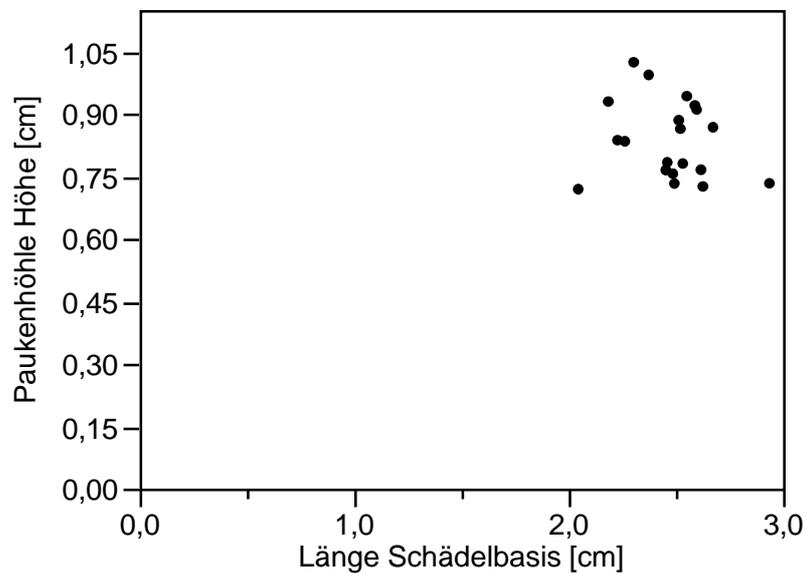


Abbildung 66: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Höhe in [cm], (n=20).

In Abbildung 67 ist der Zusammenhang zwischen der Paukenhöhle Breite [cm] und der Schädelbasislänge [cm] veranschaulicht. In dieser Darstellung kann ein positiver Zusammenhang festgestellt werden ($r=0,29$). Statistisch kann demnach ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden.

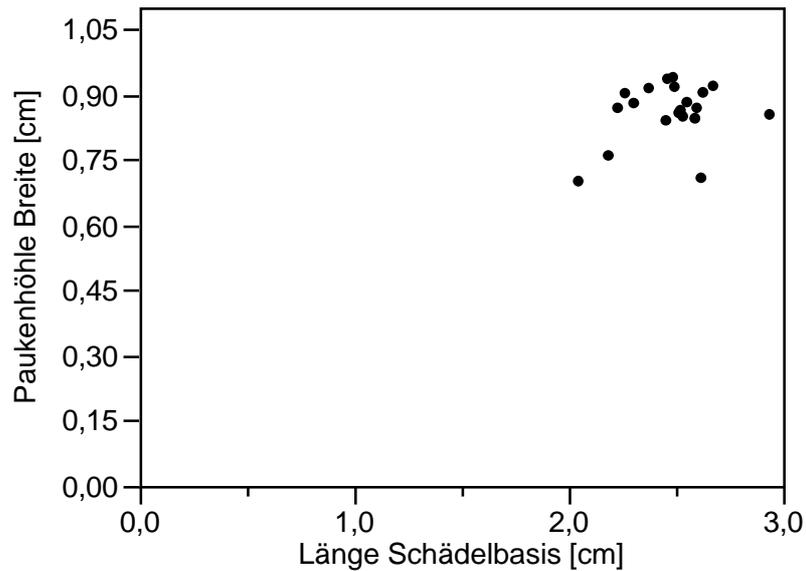


Abbildung 67: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Breite in [cm], (n=20).

Im anschließenden Diagramm ist Paukenhöhlen Länge [cm] dargestellt. Hier besteht ein schwacher positiver statistischer Zusammenhang zwischen der Höhe des MAE in [cm] und der Schädelbasislänge [cm]. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,05.

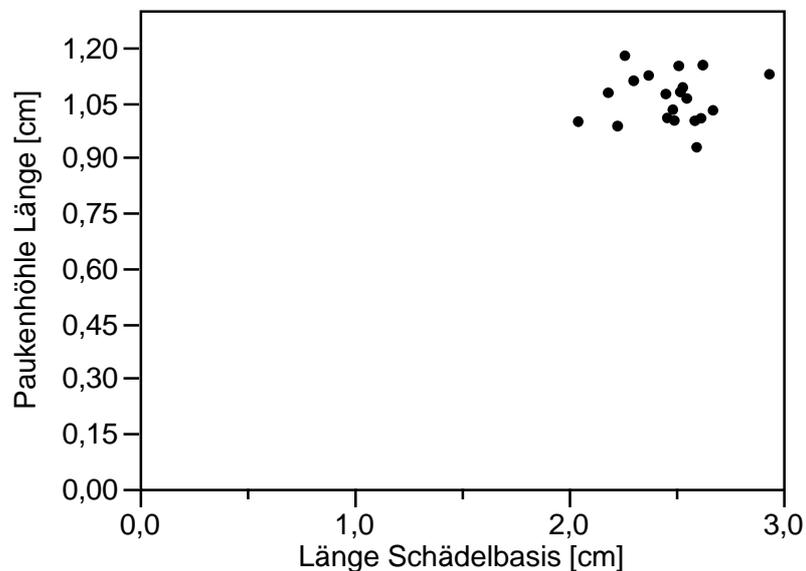


Abbildung 68: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Länge in [cm], (n=20).

Für die Höhe der Cellulae mastoideae und die Schädelbasislänge der Landschweine lässt sich ein mittlere positiver Zusammenhang zeigen. Der Korrelati-

onskoeffizient beträgt $r=0,30$. Folgender Graph veranschaulicht diesen Zusammenhang.

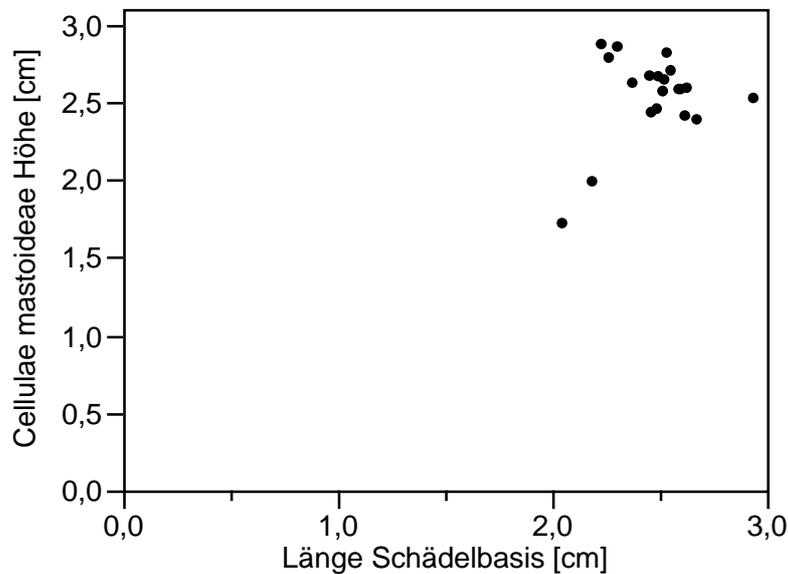


Abbildung 69: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Höhe in [cm], (n=20).

Bei der Breite der Cellulae mastoideae konnte ein Korrelationskoeffizient $r=0,51$ berechnet werden. Demnach kann eine mittlere positive Korrelation ermittelt werden.

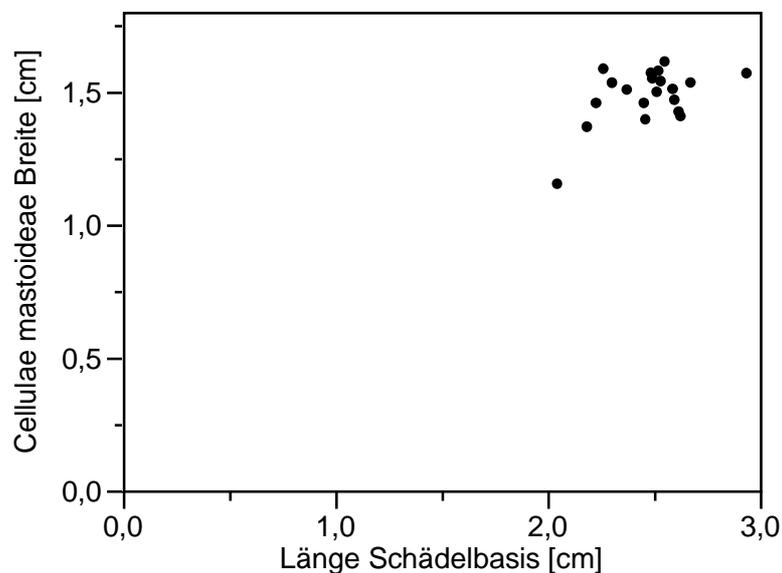


Abbildung 70: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Breite in [cm], (n=20).

Im folgenden Diagramm erfolgt die Darstellung des Zusammenhangs der Länge der Cellulae mastoideae und der Schädelbasislänge. Es kann ein Korrelations-

koeffizient r von 0,12 berechnet werden. Statistisch besteht ein schwacher positiver Zusammenhang.

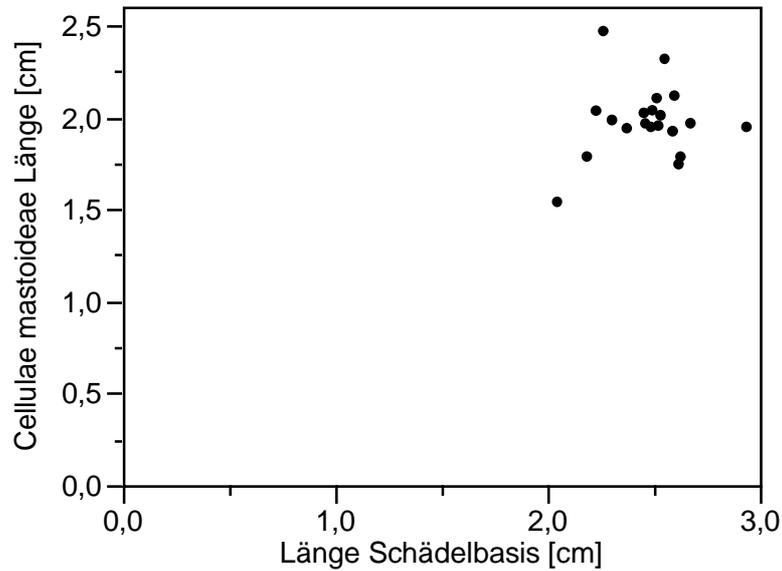


Abbildung 71: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Länge in [cm], (n=20).

Eine schwache positive Korrelation kann beim Durchmesser der Cochlea und der Schädelbasislänge der Landschweine ermittelt werden. Es lässt sich ein Korrelationskoeffizient $r=0,16$ berechnen.

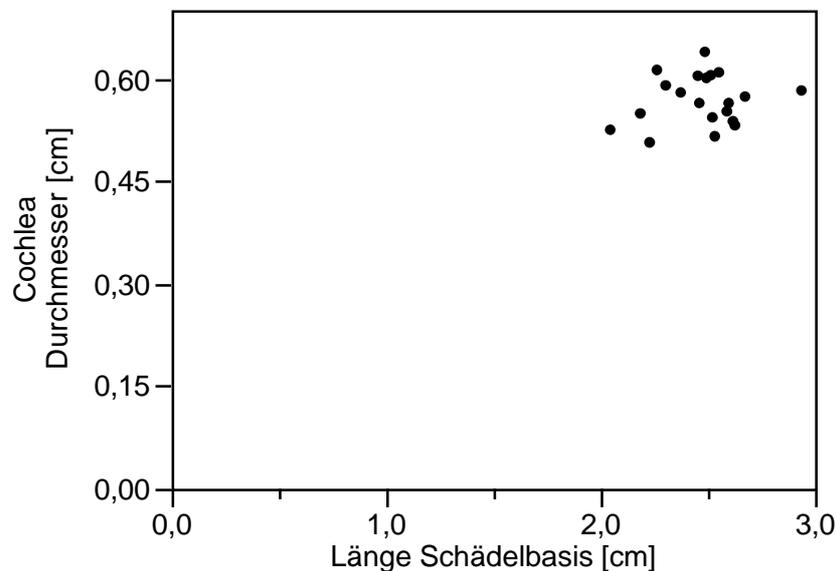


Abbildung 72: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und des erfassten Cochlea Durchmessers in [cm], (n=20).

Bei Felsenbeinlänge [cm] und der Schädelbasislänge [cm] kann statistisch ein mittlerer positiver Zusammenhang festgestellt werden. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,49$.

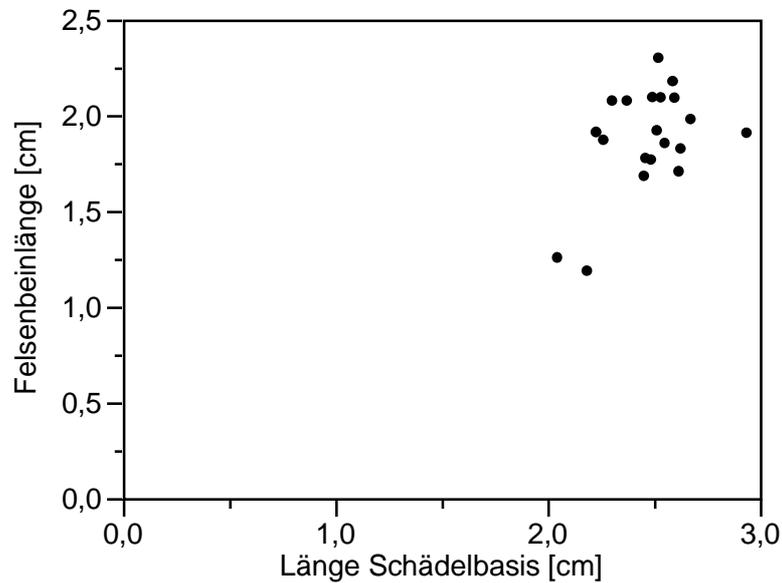


Abbildung 73: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=20).

Für die Kalottenbreite kann ein Korrelationskoeffizient $r = 0,43$ berechnet werden. Demnach kann ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden. In folgender Abbildung dargestellt.

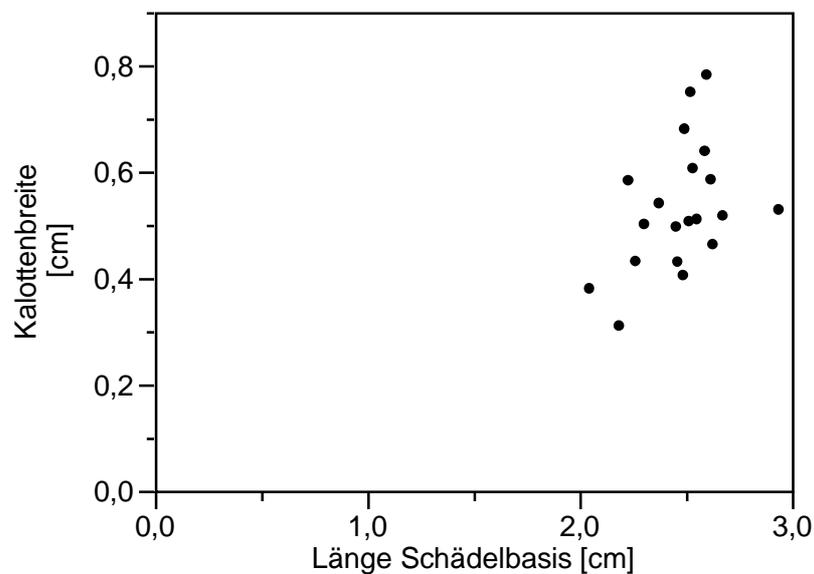


Abbildung 74: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=20).

3.2.2 Göttinger Minipig

3.2.2.1 Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Messgröße

Zur Darstellung der Zusammenhänge mit dem Körpergewicht am Göttinger Minipig sind in der folgenden Tabelle die jeweiligen Messparameter und der dazugehörige Korrelationskoeffizient r aufgelistet. Weiter beinhaltet die Tabelle noch den jeweilige statistischen Zusammenhang.

Bei der Schädellänge konnten aufgrund von Bewegungsartefakten im CT-Bild von 10 Minipigs nur 8 zuverlässig vermessen werden. Daher wurden für die Erfassung der Schädellänge nur die Messung von $n=8$ Individuen gewertet. Bei allen anderen erhobenen Parametern traten solche Artefakte nicht auf und es gingen jeweils $n=10$ Individuen in die statistische Auswertung ein. Diese Artefakte könnten aufgrund einer ungewollten Positionsänderung der Schweineköpfe während des Tischvorschubs unbewusst entstanden sein.

Minipig $n=8$	Korrelationskoeffizient r nach Person	Statistischer Zusammenhang
Schädellänge [cm]	0,66	starke positive Korrelation

Tabelle 26: Korrelation des Körpergewichts mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, ($n=8$).

Minipig $n=10$	Korrelationskoeffizient r nach Person	statistischer Zusammenhang
Schädelbreite [cm]	0,46	mittlere positive Korrelation
Höhe MAEa [cm]	0,41	mittlere positive Korrelation
Breite MAEa [cm]	0,38	mittlere positive Korrelation
Höhe MAEi [cm]	0,66	starke positive Korrelation
Länge MAEi [cm]	0,31	mittlere positive Korrelation
Breite MAEi [cm]	0,24	mittlere positive Korrelation
Gesamtlänge MAE [cm]	0,00	keine Korrelation
Außenwinkel MAE [°]	0,06	schwache positive Korrelation
Innenwinkel MAE [°]	0,15	schwache positive Korrelation
Höhe MAI [cm]	0,17	schwache positive Korrelation
Breite MAI [cm]	-0,04	schwache negative Korrelation
Länge MAI [cm]	0,09	schwache positive Korrelation

Höhe Paukenhöhle [cm]	-0,05	schwache negative Korrelation
Breite Paukenhöhle [cm]	0,45	mittlere positive Korrelation
Länge Paukenhöhle [cm]	0,57	mittlere positive Korrelation
Höhe Cellulae mastoideae [cm]	0,56	mittlere positive Korrelation
Breite Cellulae mastoideae [cm]	0,17	schwache positive Korrelation
Länge Cellulae mastoideae [cm]	0,30	mittlere positive Korrelation
Cochlea Durchmesser [cm]	-0,17	schwache negative Korrelation
Länge Felsenbein [cm]	0,45	mittlere positive Korrelation
Kalottenbreite [cm]	0,17	schwache positive Korrelation

Tabelle 27: Korrelation des Körpergewichts mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, ($n=10$).

Ein starker positiver Zusammenhang kann demnach bei der Schädellänge und der Höhe des MAEi gezeigt werden. Eine mittlere positive Korrelation lässt sich bei der Schädelbreite, der Höhe und Breite des MAEa, der Länge und Breite des MAEi, der Breite und Länge der Paukenhöhle, der Höhe und Länge der Cellulae mastoideae und der Felsenbeinlänge feststellen. Bei Außen- und Innenwinkel MAE, MAI Höhe und Länge, Breite Cellulae mastoideae und der Kalottenbreite lässt sich ein schwacher positiver Zusammenhang zeigen. Zwischen der Gesamtlänge des MAE und der Körpergewicht der Minipigs besteht keine Korrelation.

Ein schwacher negativer linearer Zusammenhang besteht bei der vermessenen Breite des MAI, Höhe der Paukenhöhle und dem Durchmesser der Cochlea.

In den nachfolgenden Abbildungen wird der Zusammenhang zwischen Körpergewicht in [kg] und den verschiedenen Messgrößen am Felsenbein des Göttlinger Minipigs dargestellt.

Die Schädellänge [cm] weist einen starken positiven statistischen Zusammenhang mit dem Körpergewicht des MP in [kg] auf (siehe Abbildung). Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,66.

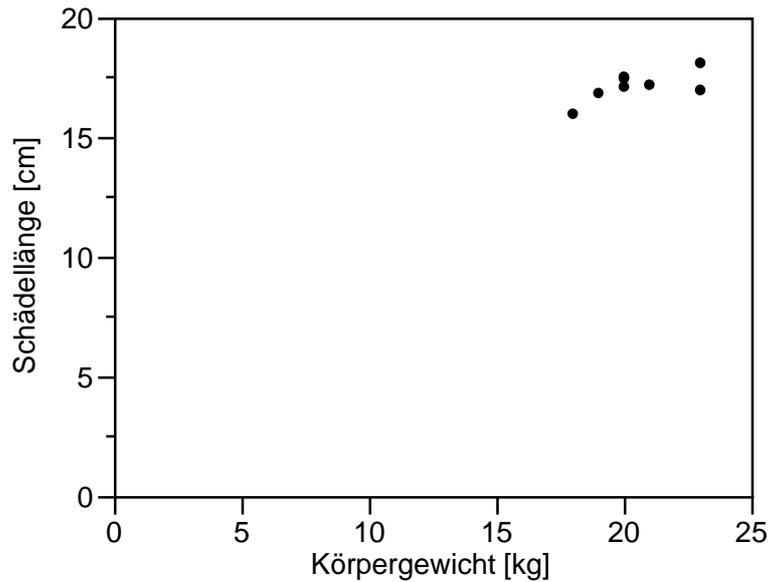


Abbildung 75: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=8).

Im folgenden Diagramm ist die Korrelation zwischen der Schädelbreite [cm] und dem Körpergewicht [kg] dargestellt. Der der Korrelationskoeffizient wurde mit $r=0,46$ berechnet. Statistisch kann demnach ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden

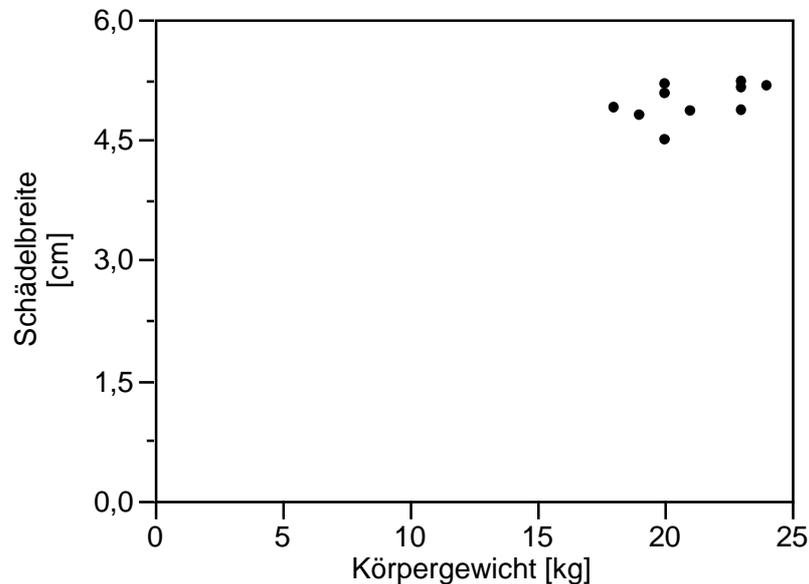


Abbildung 76: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=10).

Im anschließenden Graphen ist eine weitere Messgröße dargestellt. Hier kann ein mittlerer positiver statistischer Zusammenhang zwischen der Höhe des

MAEa in [cm] und dem Körpergewicht [kg] gezeigt werden. Der Korrelationskoeffizient r bei der MAEa Höhe wurde mit 0,41 berechnet.

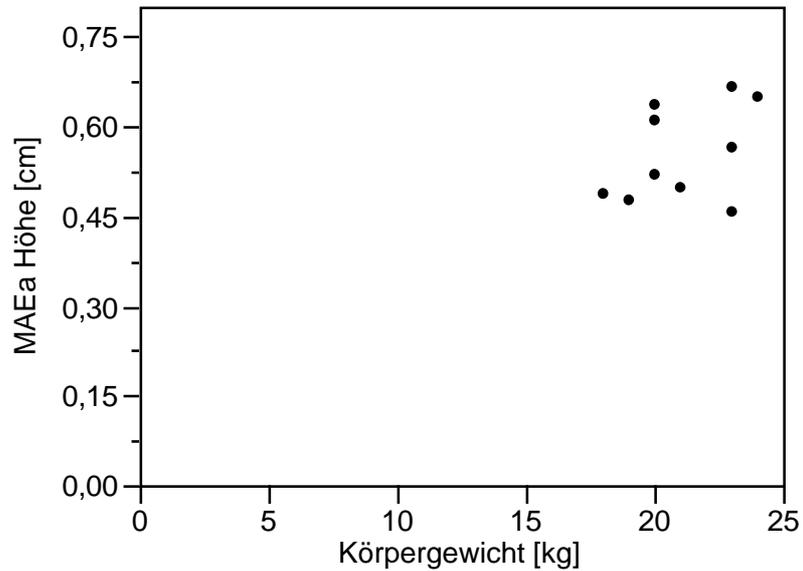


Abbildung 77: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=10).

Abbildung 78 veranschaulicht die Korrelation zwischen der MAEa Breite in [cm] und dem Körpergewicht [kg] der Göttinger Minipigs. Bei eine Korrelationskoeffizienten r von 0,38 kann demnach ein schwacher negativer Zusammenhang gezeigt werden.

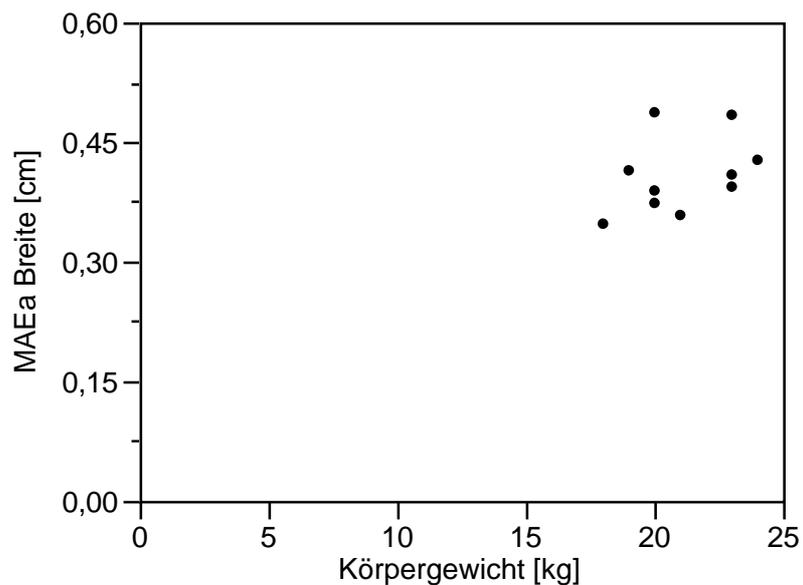


Abbildung 78: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=10).

Für die Höhe des MAEi in [cm] kann ein starker positiver statistischer Zusammenhang mit dem Körpergewicht der Minipigs in [kg] ermittelt werden. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,66.

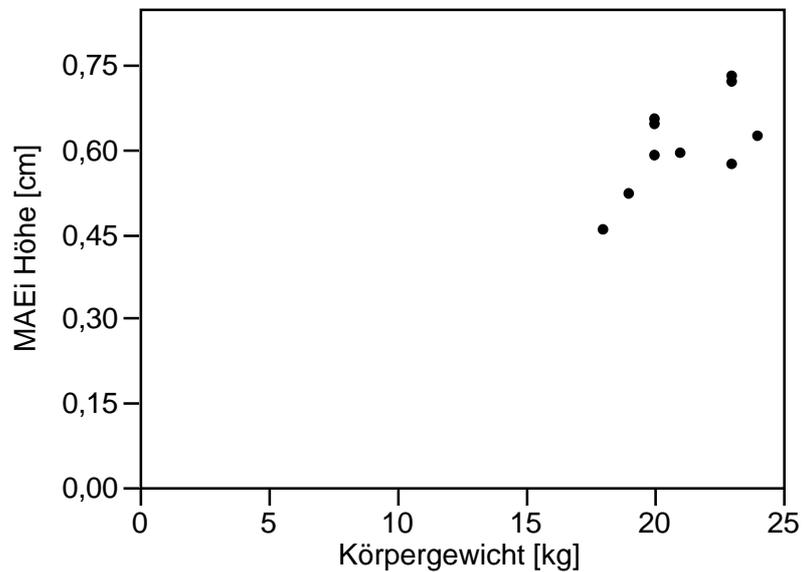


Abbildung 79: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=10).

Bei der Länge des MAEi in [cm] und dem Körpergewicht in [kg] wurde ein Korrelationskoeffizient r von 0,31 berechnet. Statistisch kann ein mittlerer positiver Zusammenhang gezeigt werden.

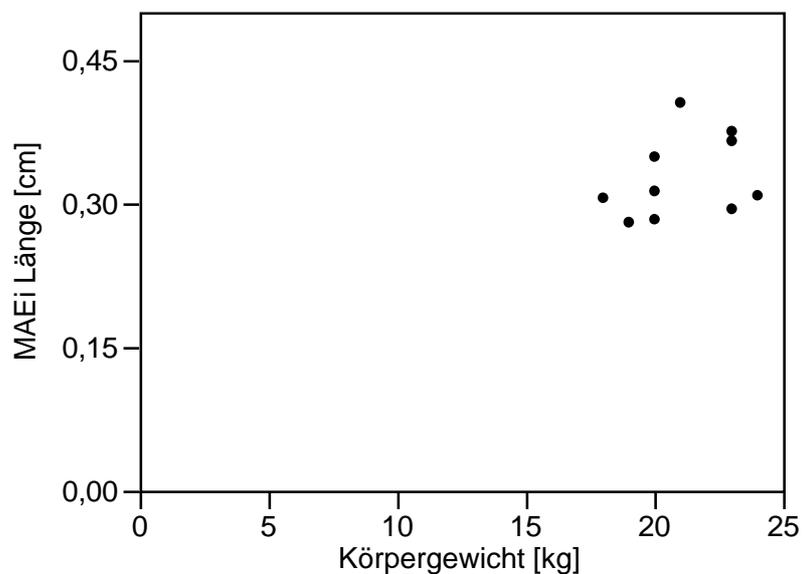


Abbildung 80: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=10).

Eine mittlere positive Korrelation ergab sich statistisch bei MAEi Breite in [cm] und dem Körpergewicht in [kg]. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,24.

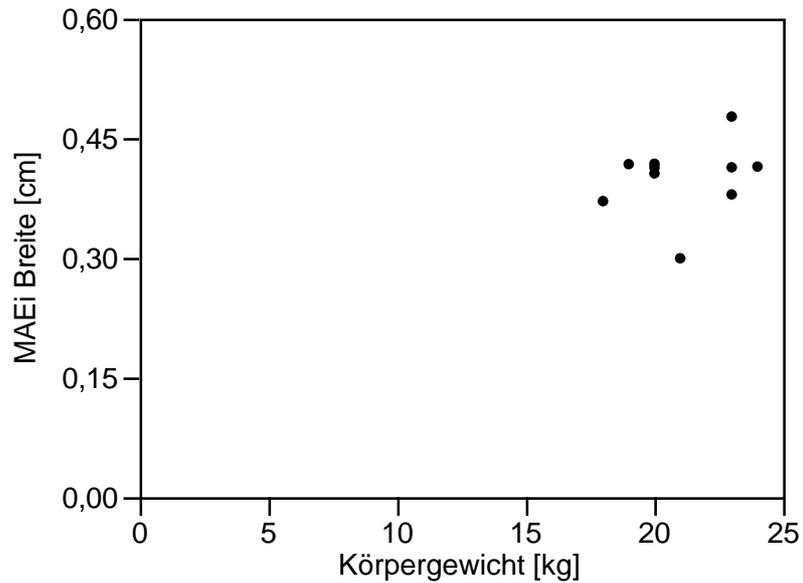


Abbildung 81: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=10).

Bei der Gesamtlänge des MAE vom MP wurde ein Korrelationskoeffizient von 0 berechnet. In diesem Fall kann keine Korrelation zwischen der Gesamtlänge des MAE und dem Körpergewicht festgestellt werden.

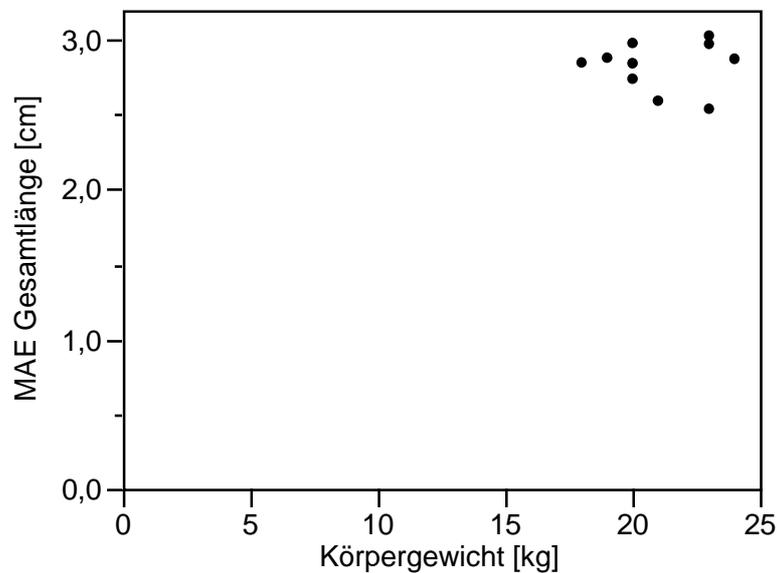


Abbildung 82: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=10).

Für den MAE Außenwinkel in [°] und das Körpergewicht [kg] wurde ein Korrelationskoeffizient $r=0,06$ berechnet. Demnach lässt sich ein schwacher positiver Zusammenhang feststellen, der im Folgenden dargestellt ist

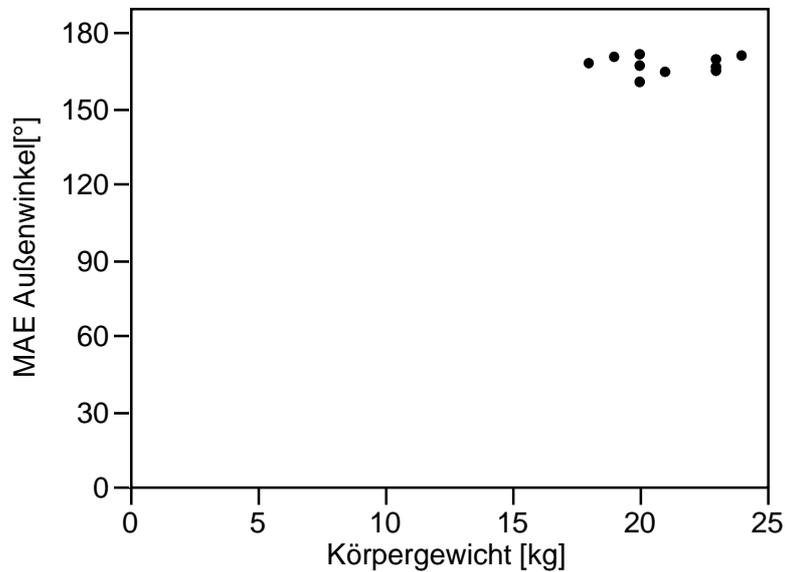


Abbildung 83: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=10).

Zwischen MAE Innenwinkel in [°] und Körpergewicht [kg] besteht statistisch ein schwacher positiver Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,15.

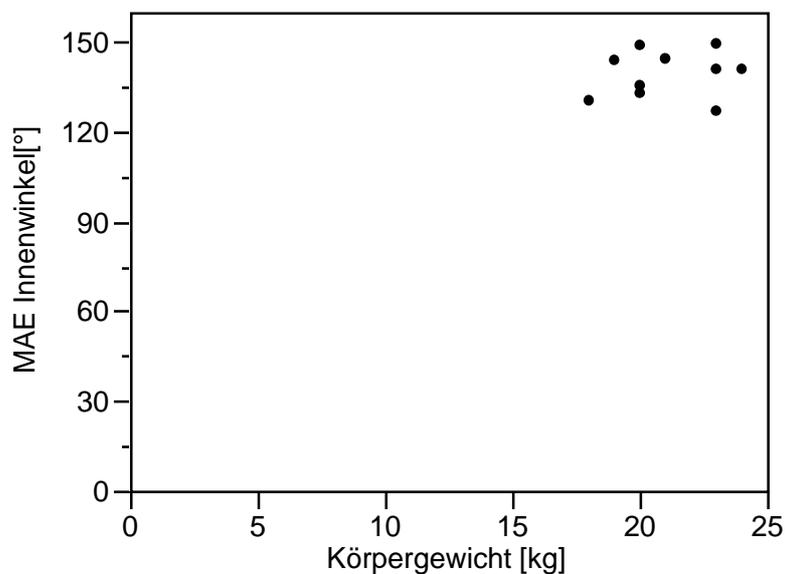


Abbildung 84: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und dem erfassten MAE Innenwinkel in [°], (n=10).

Im Folgenden ist die Korrelation zwischen der MAI Höhe und dem Körpergewicht dargestellt. Es kann ein Korrelationskoeffizient von $r=0,17$ berechnet werden. Es lässt sich daher ein schwachen positiven Zusammenhang zeigen.

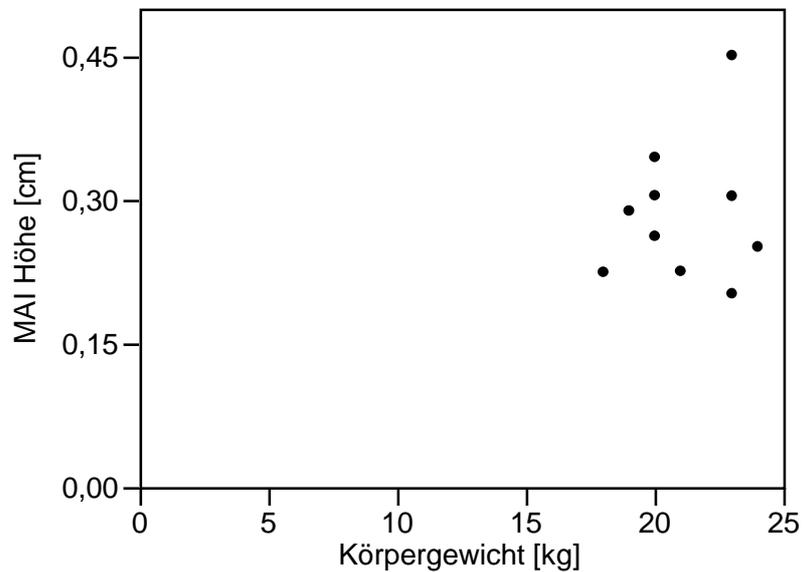


Abbildung 85: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=10).

Bei der Breite des MAI kann ein Korrelationskoeffizient r von $-0,04$ berechnet werden. Es ergibt sich demnach ein schwacher negativer Zusammenhang.

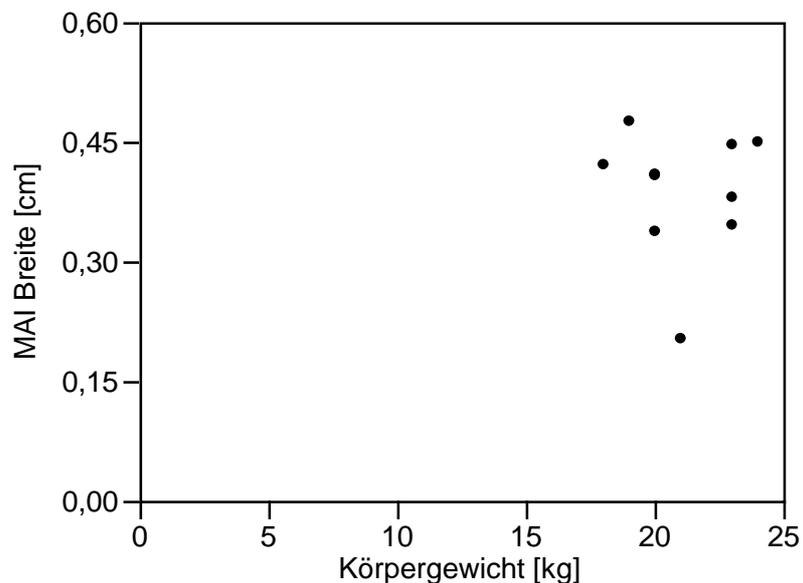


Abbildung 86: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=10).

Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten für die MAI Länge in [cm] und das Körpergewicht [kg] ergab $r=0,09$. Demnach kann ein schwacher positiver Zusammenhang gezeigt werden.

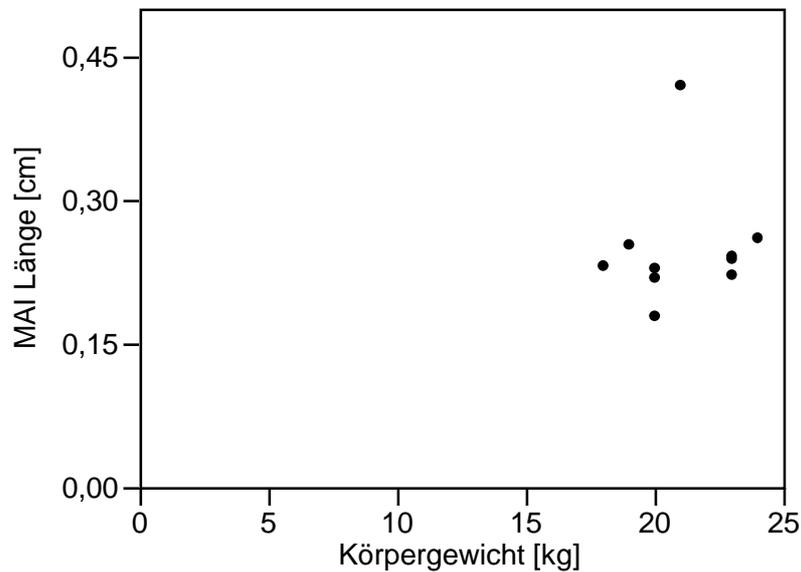


Abbildung 87: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=10).

Ein schwacher negativer Zusammenhang kann statistisch bei der Höhe der Paukenhöhle berechnet werden. Der Korrelationskoeffizient beträgt hier $-0,05$. In nachfolgender Graphik dargestellt

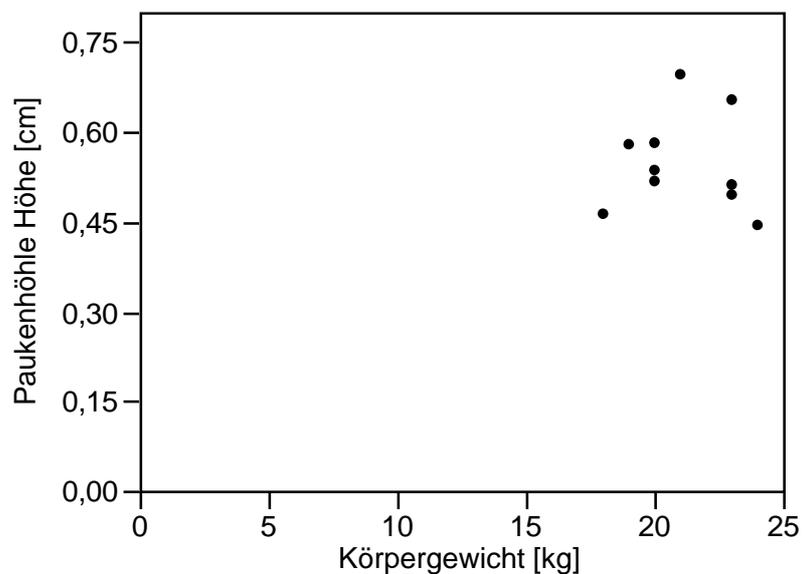


Abbildung 88: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Paukenhöhlen Höhe in [cm], (n=10).

Bei der Breite der Paukenhöhle und dem Körpergewicht kann ein Korrelationskoeffizient von $r=0,45$ berechnet werden. Es lässt demnach ein mittlerer positiver Zusammenhang feststellen.

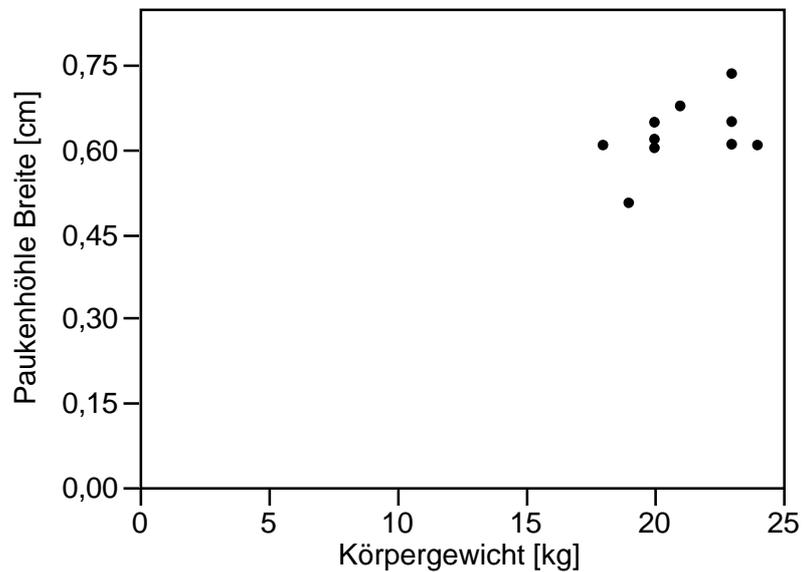


Abbildung 89: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Paukenhöhlen Breite in [cm], (n=10).

Ein mittlerer positiver Zusammenhang lässt sich bei der Länge der Paukenhöhle zeigen. Der Korrelationskoeffizient r beträgt hier 0,57. In nachfolgender Graphik dargestellt.

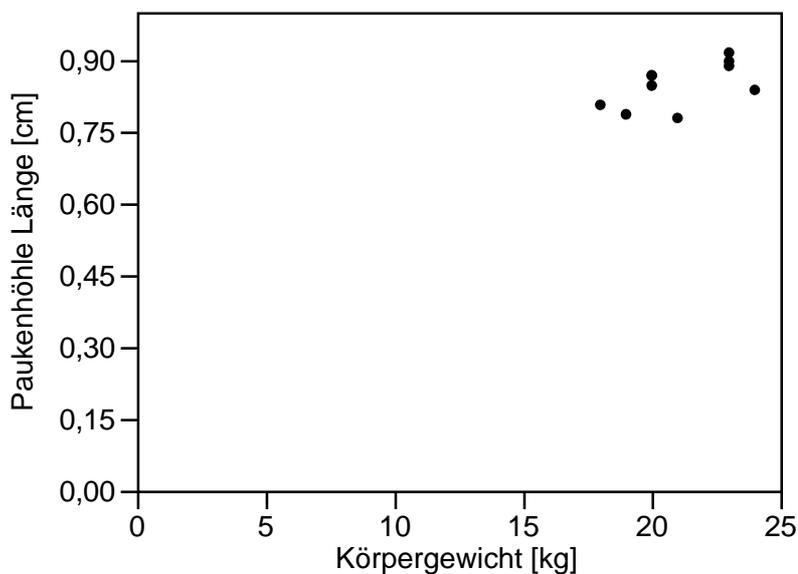


Abbildung 90: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Paukenhöhlen Länge in [cm], (n=10).

In der folgenden Abbildung wird der Zusammenhang zwischen der Messgröße Cellulae mastoideae Höhe in [cm] und des Körpergewichts in [kg] veranschaulicht. In dieser Darstellung kann ein positiver Zusammenhang festgestellt werden ($r=0,56$). Statistisch besteht ein mittlerer positiver Zusammenhang zwischen der Höhe der Cellulae mastoideae und dem Körpergewicht der Göttinger Minipigs.

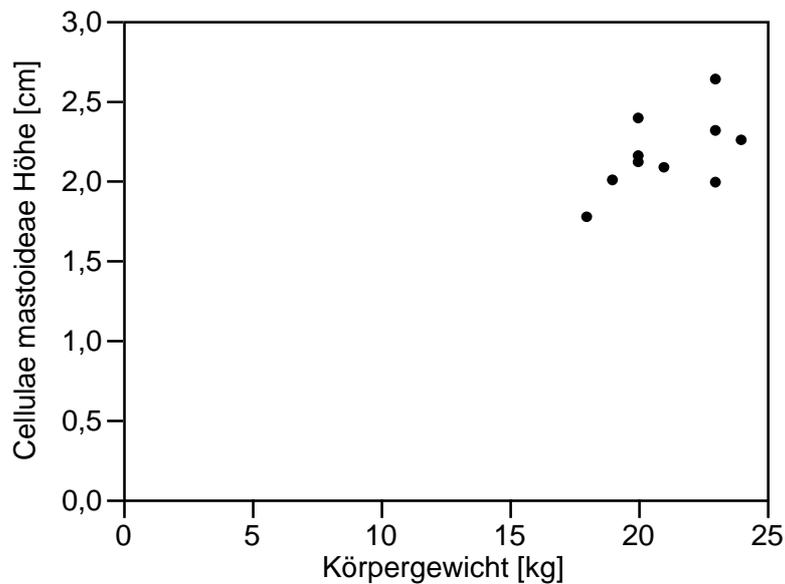


Abbildung 91: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Cellulae mastoideae Höhe in [cm], ($n=10$).

Bei der Breite der Cellulae mastoideae kann ein Korrelationskoeffizient $r= 0,17$ berechnet werden. Demnach kann eine schwache positive Korrelation ermittelt werden.

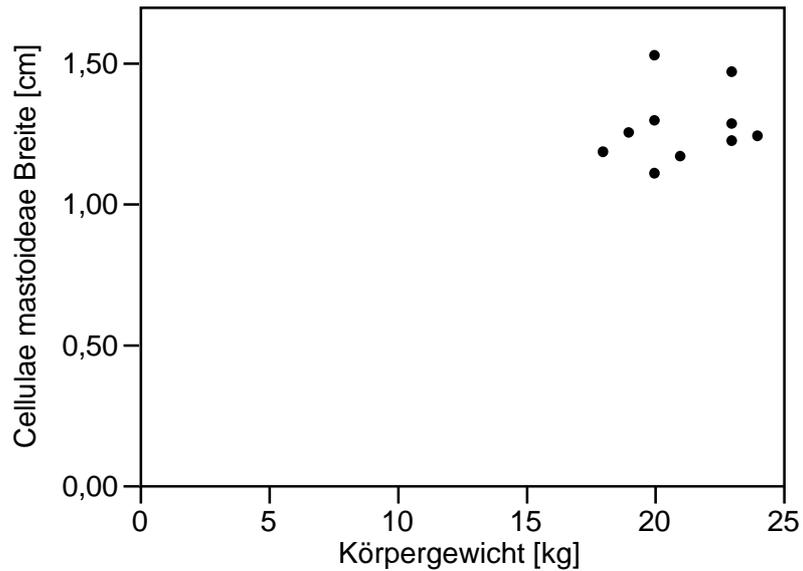


Abbildung 92: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Cellulae mastoideae Breite in [cm], (n=10).

Im folgenden Diagramm erfolgt die Darstellung des Zusammenhangs der Länge der Cellulae mastoideae und des Körpergewichts. Es kann ein Korrelationskoeffizient r von 0,30 berechnet werden. Statistisch besteht ein mittlerer positiver Zusammenhang.

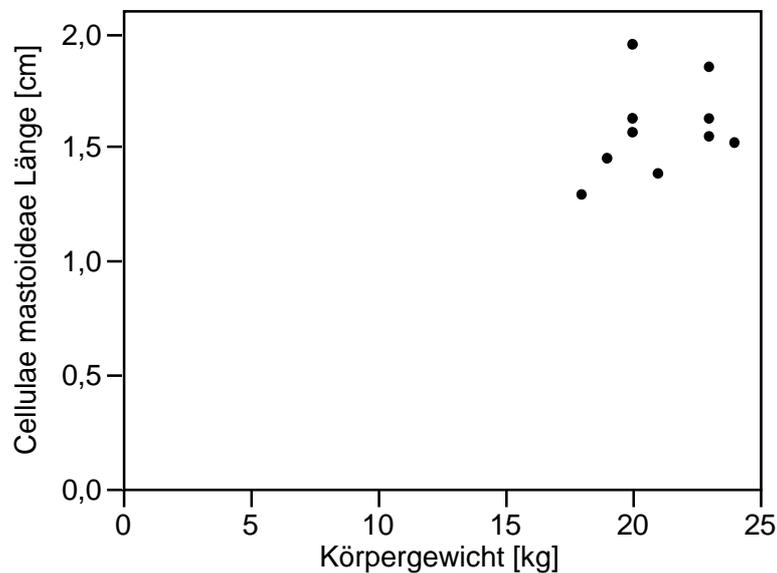


Abbildung 93: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Cellulae mastoideae Länge in [cm], (n=10).

Der Korrelationskoeffizient r beim Durchmesser der Cochlea beträgt -0,17. Somit ergibt sich statistisch ein schwacher negativer Zusammenhang. Dargestellt in der folgenden Abbildung.

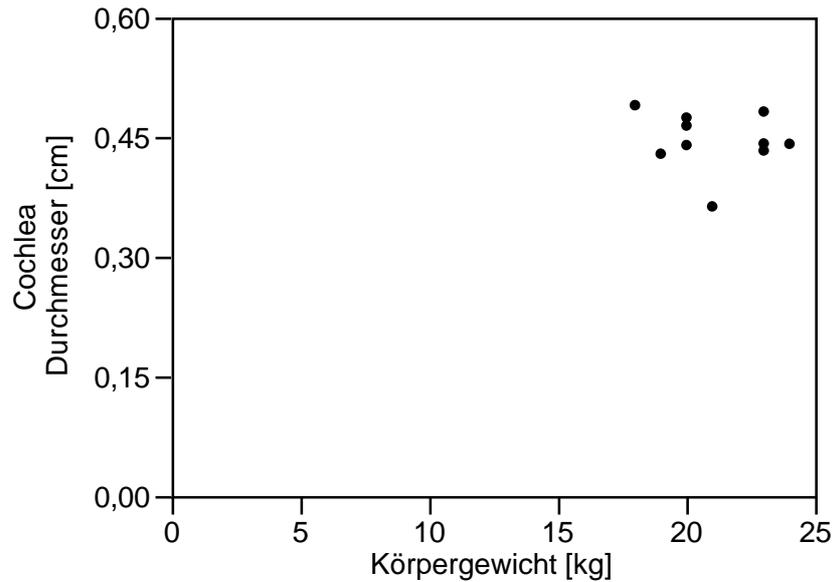


Abbildung 94: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und des erfassten Cochlea Durchmessers in [cm], (n=10).

Bei Felsenbeinlänge in [cm] kann eine mittlere positive Korrelation festgestellt werden. Der Korrelationskoeffizient kann mit $r=0,45$ berechnet werden.

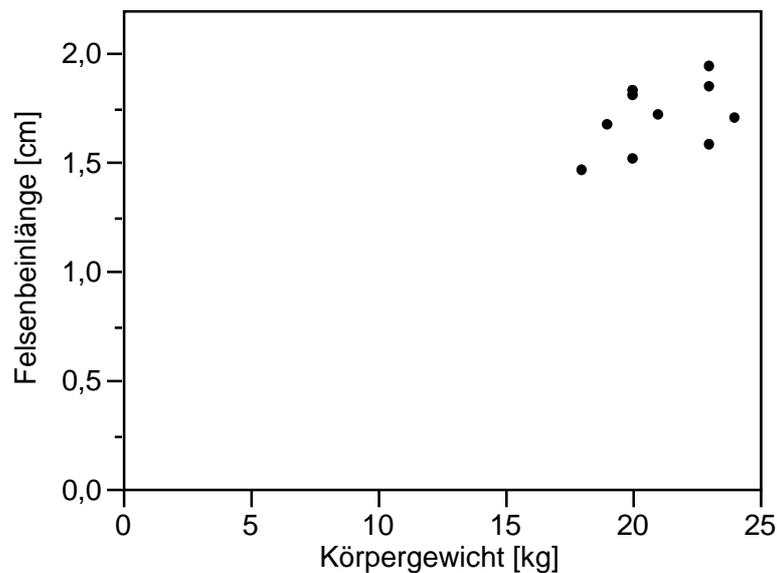


Abbildung 95: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=10).

Im anschließenden Graphen ist eine weitere Messgröße dargestellt. Hier ist ein schwacher positiver statistischer Zusammenhang zwischen der Kalottenbreite in [cm] und dem Körpergewicht [kg] zu erkennen. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r=0,17$.

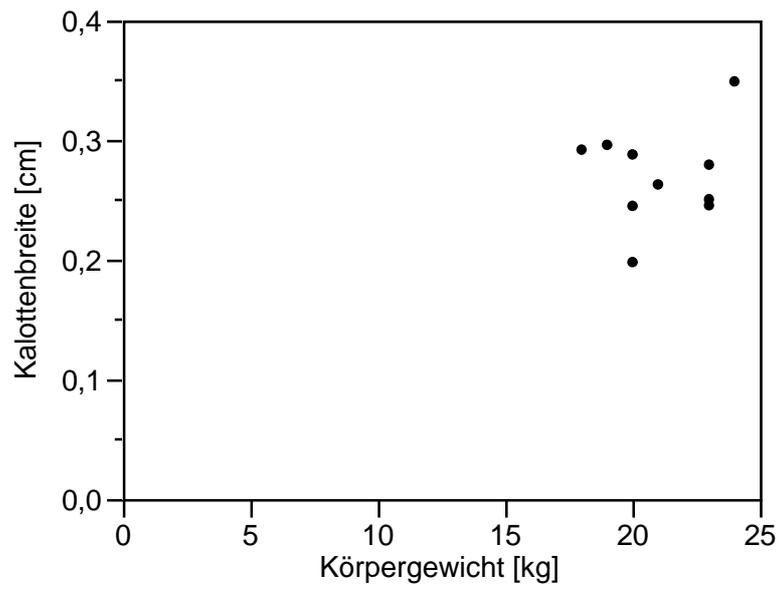


Abbildung 96: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=10).

3.2.2.2 Zusammenhang zwischen Schädelbasislänge und Messgröße

Zur Darstellung der Zusammenhänge mit dem Körpergewicht am Göttinger Minipig sind in der folgenden Tabelle die jeweiligen Messparameter und der dazugehörige Korrelationskoeffizient r aufgelistet. Weiter beinhaltet die Tabelle noch den jeweilige statistischen Zusammenhang.

Bei der Schädelgröße konnten aufgrund von Bewegungsartefakten im CT-Bild von 10 Minipigs nur 8 zuverlässig vermessen werden. Daher wurden für die Erfassung der Schädelgröße nur die Messung von $n=8$ Individuen gewertet. Bei allen anderen erhobenen Parametern traten solche Artefakte nicht auf und es gingen jeweils $n=10$ Individuen in die statistische Auswertung ein. Diese Artefakte könnten aufgrund einer ungewollten Positionsänderung der Schweineköpfe während des Tischvorschubs unbewusst entstanden sein.

Minipig $n=8$	Korrelationskoeffizient r nach Person	Statistischer Zusammenhang
Schädelgröße [cm]	0,08	schwache positive Korrelation

Tabelle 28: Korrelation der Schädelbasislänge mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, ($n=8$).

Minipig $n=10$	Korrelationskoeffizient r nach Person	Statistischer Zusammenhang
Schädelbreite [cm]	0,20	schwache positive Korrelation
Höhe MAEa [cm]	-0,57	mittlere negative Korrelation
Breite MAEa [cm]	-0,36	mittlere negative Korrelation
Höhe MAEi [cm]	0,00	keine Korrelation
Länge MAEi [cm]	0,68	starke positive Korrelation
Breite MAEi [cm]	-0,34	mittlere negative Korrelation
Gesamtlänge MAE [cm]	-0,26	mittlere negative Korrelation
Außenwinkel MAE [°]	0,21	mittlere positive Korrelation
Innenwinkel MAE [°]	0,24	mittlere positive Korrelation
Höhe MAI [cm]	-0,15	schwache negative Korrelation
Breite MAI [cm]	-0,28	mittlere negative Korrelation
Länge MAI [cm]	0,74	starke positive Korrelation

Höhe Paukenhöhle [cm]	0,60	mittlere positive Korrelation
Breite Paukenhöhle [cm]	0,19	schwache positive Korrelation
Länge Paukenhöhle [cm]	-0,22	mittlere negative Korrelation
Höhe Cellulae mastoideae [cm]	0,05	schwache positive Korrelation
Breite Cellulae mastoideae [cm]	-0,26	mittlere negative Korrelation
Länge Cellulae mastoideae [cm]	-0,27	mittlere negative Korrelation
Cochlea Durchmesser [cm]	-0,51	mittlere negative Korrelation
Länge Felsenbein [cm]	0,32	mittlere positive Korrelation
Kalottenbreite [cm]	0,34	mittlere positive Korrelation

Tabelle 29: Korrelation der Schädelbasislänge mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, ($n=10$).

Ein starker positiver Zusammenhang lässt sich bei der Länge des MAEi und der Länge des MAI feststellen. Eine mittlere positive Korrelation kann demnach beim Außen- und Innenwinkel, der Höhe der Paukenhöhle, Felsenbeinlänge und Kalottenbreite ermittelt werden. Bei der Schädellänge und -breite, Breite der Paukenhöhle und Höhe der Cellulae mastoideae besteht ein schwachen positiven Zusammenhang. Zwischen der Höhe des MAEi und der Schädelbasislänge der Göttinger Minipigs kann keine Korrelation ermittelt werden.

Ein mittlerer negativer linearer Zusammenhang kann demnach bei der vermessenen Höhe und Breite des MAEa, der Breite des MAEi, der Gesamtlänge des MAE, der Breite des MAI, der Länge der Paukenhöhle, der Breite und Länge der Cellulae mastoideae und dem Durchmesser der Cochlea gezeigt werden.

In den nachfolgenden Abbildungen wird der Zusammenhang zwischen Schädelbasislänge in [cm] und den verschiedenen Messgrößen am Felsenbein des Göttinger Minipigs dargestellt.

Bei der Schädellänge [cm] lässt sich ein schwacher positiver statistischer Zusammenhang mit dem Schädelbasislänge des Göttinger Minipigs in [cm] zeigen. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,08.

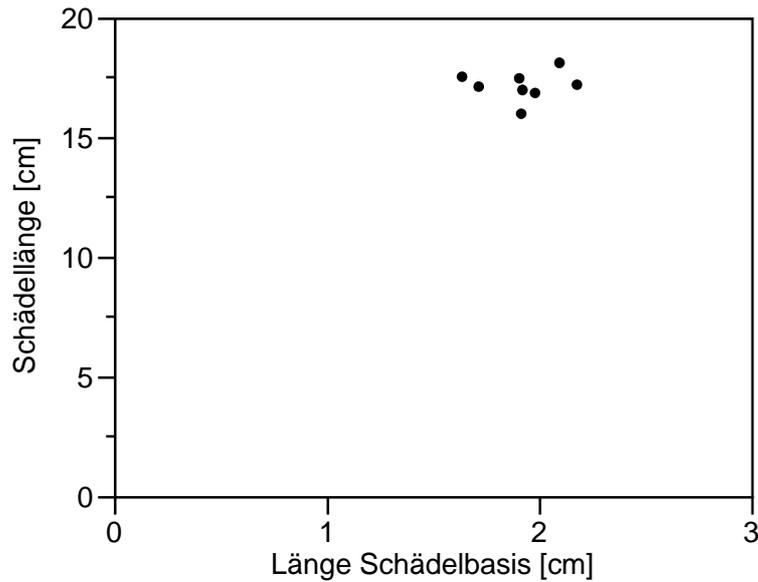


Abbildung 97: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=8)

Im folgenden Diagramm ist die Korrelation zwischen der Schädelbreite [cm] und der Schädelbasislänge [cm] dargestellt. Der der Korrelationskoeffizient wurde mit $r=0,20$ berechnet. Statistisch kann demnach ein schwacher positiver Zusammenhang gezeigt werden

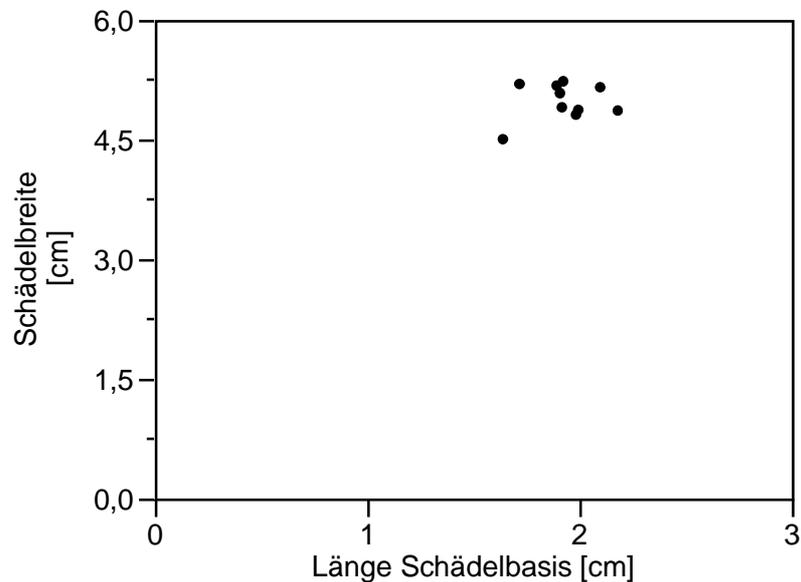


Abbildung 98: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=10)

Bei der Höhe des MAEa und der Schädelbasislänge kann ein Korrelationskoeffizient r von $-0,57$ berechnet werden. Demnach kann ein mittlerer negativer Zusammenhang ermittelt werden.

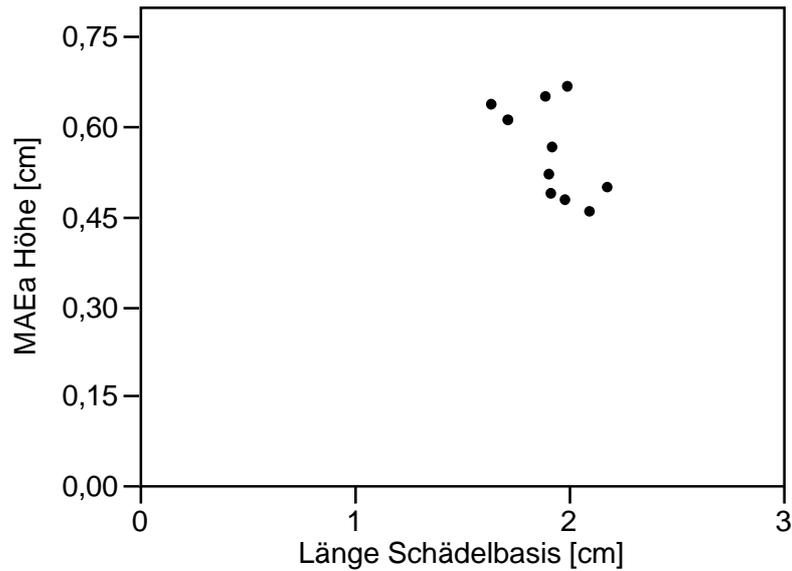


Abbildung 99: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=10)

Die folgende Darstellung veranschaulicht einen Korrelationskoeffizienten $r = -0,36$. Statistisch kann dabei ein mittlerer negativer Zusammenhang festgestellt werden.

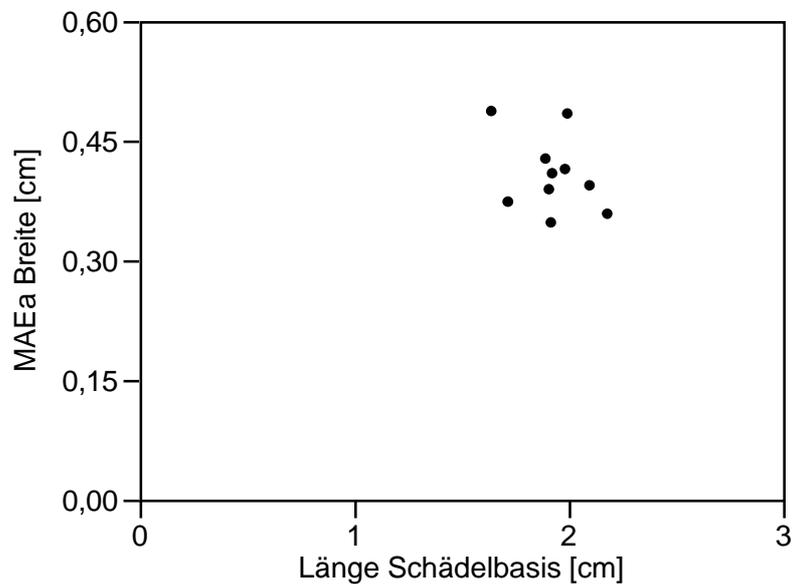


Abbildung 100: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=10)

Bei der Höhe des MAEi vom Göttinger Minipig wurde ein Korrelationskoeffizient von 0 berechnet. In diesem Fall besteht keine Korrelation zwischen der Höhe des MAEi und der Schädelbasislänge.

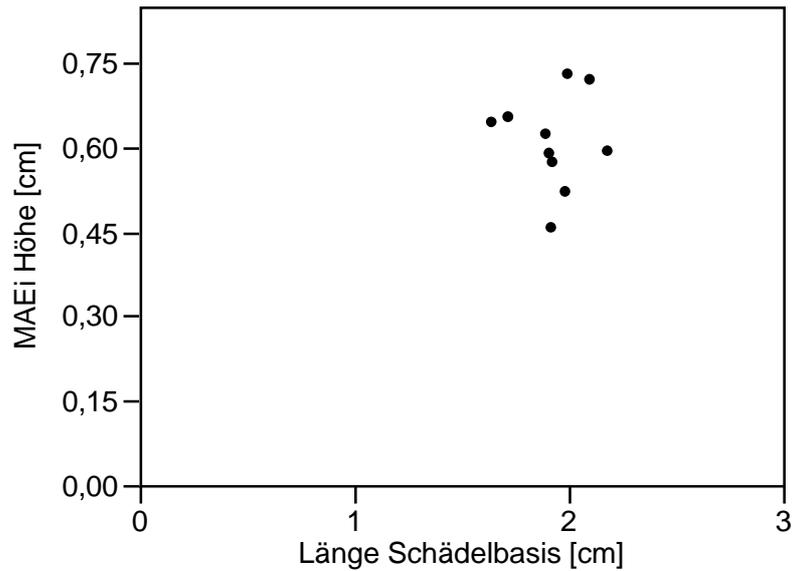


Abbildung 101: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=10)

Nach der Korrelationsanalyse berechnet sich bei der MAEi Länge ein Koeffizient r von 0,68. Demnach kann ein starker positiver Zusammenhang gezeigt werden. In folgender Abbildung veranschaulicht.

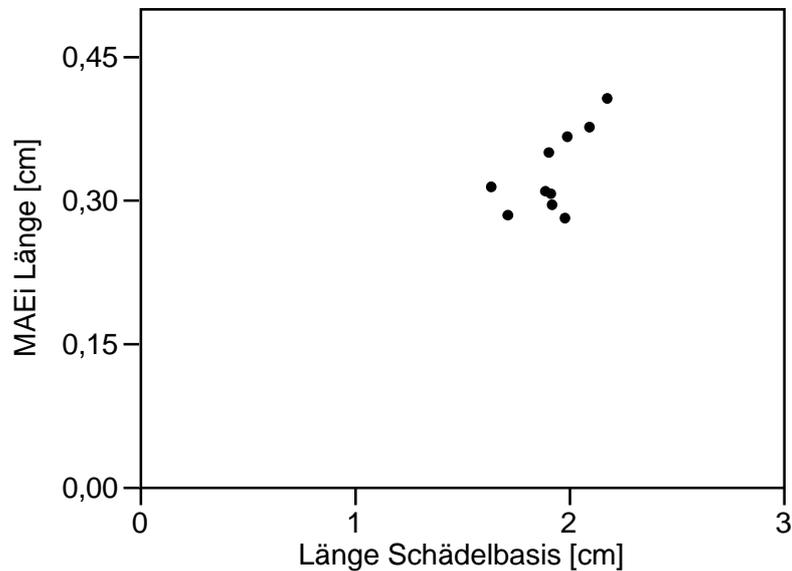


Abbildung 102: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=10)

Ein mittlerer negativer Zusammenhang kann bei der Breite des MAEi ermittelt werden. Der Korrelationskoeffizient beträgt hier -0,34. In nachfolgender Graphik dargestellt.

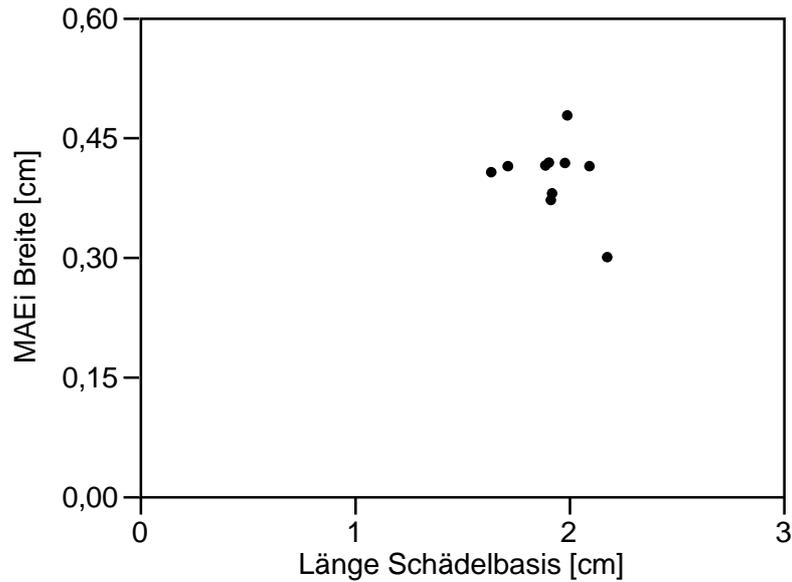


Abbildung 103: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=10)

Bei der Gesamtlänge des MAE und der Schädelbasislänge kann ein Korrelationskoeffizient von $r=-0,26$ berechnet werden. Demzufolge kann ein mittlerer negativer Zusammenhang ermittelt werden.

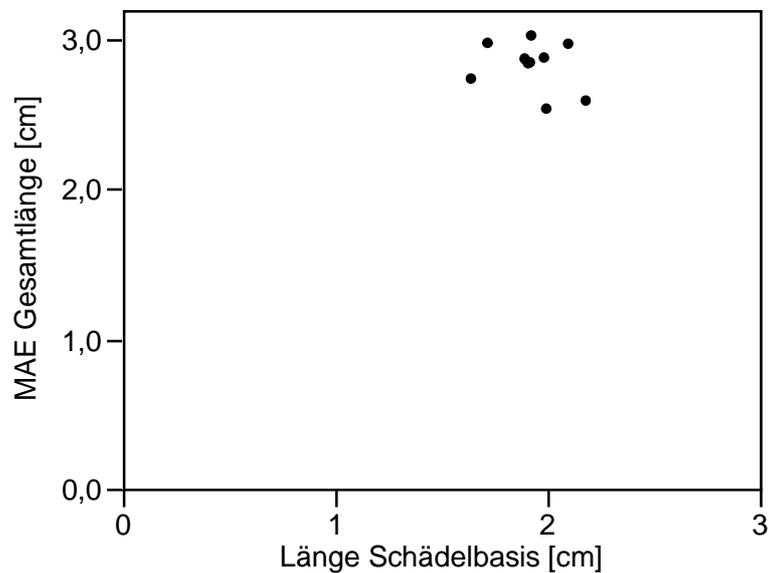


Abbildung 104: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=10)

Für den Außenwinkel MAE in [°] und die Schädelbasislänge [cm] wurde ein Korrelationskoeffizient $r=0,21$ berechnet. Demnach lässt sich ein mittlerer positiver Zusammenhang feststellen, der im Folgenden dargestellt ist.

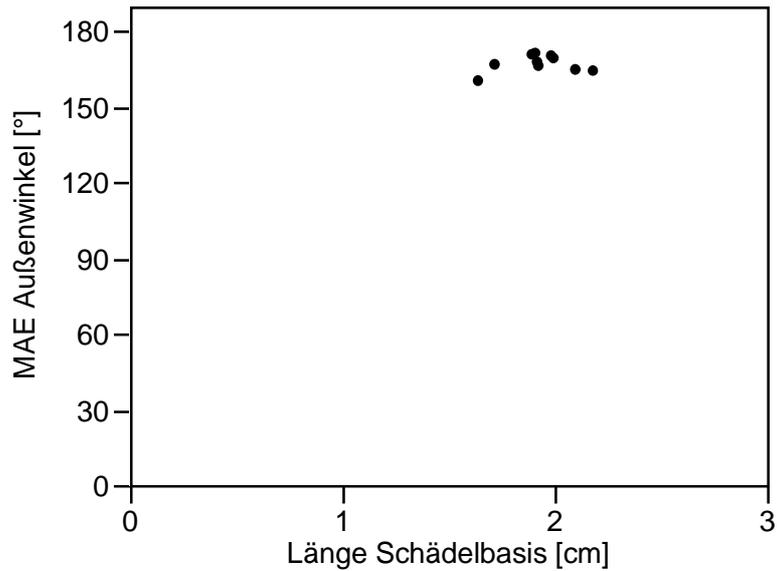


Abbildung 105: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=10)

Zwischen MAE Innenwinkel in [°] und Schädelbasislänge [cm] besteht statistisch ein mittlerer positiver Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,24.

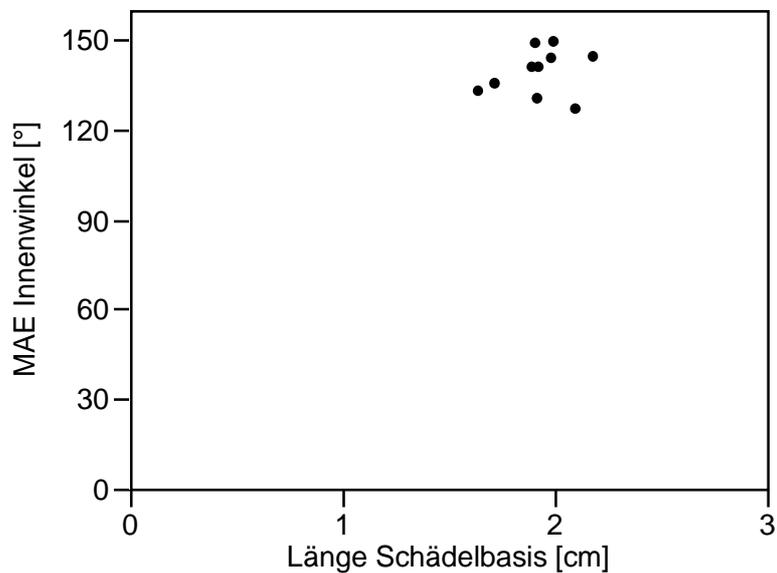


Abbildung 106: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und dem erfassten MAE Innenwinkel in [°], (n=10)

Bei der Höhe des MAI errechnet sich ein Korrelationskoeffizient r von -0,15. Es besteht ein schwacher negativer Zusammenhang. Dargestellt in folgender Abbildung.

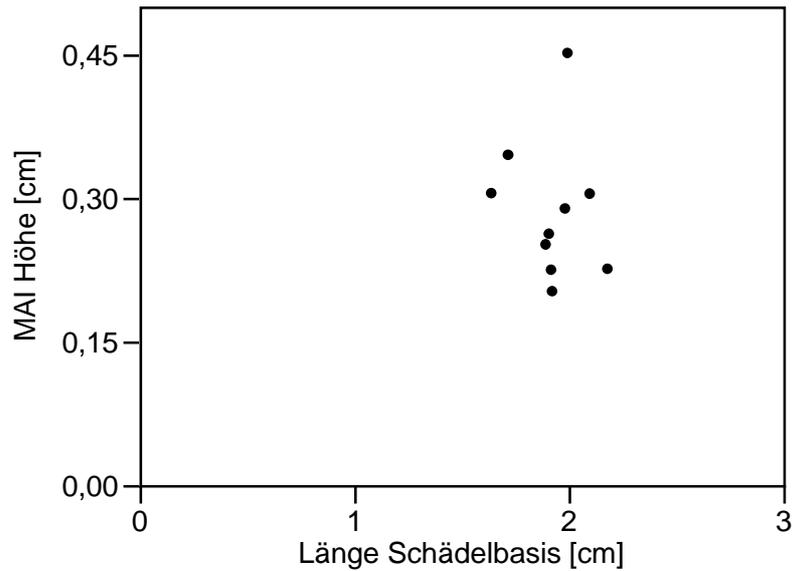


Abbildung 107: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=10)

Ein statistisch mittlerer negativer Zusammenhang kann bei der Breite des MAI ermittelt werden. Der Korrelationskoeffizient r beträgt $-0,28$.

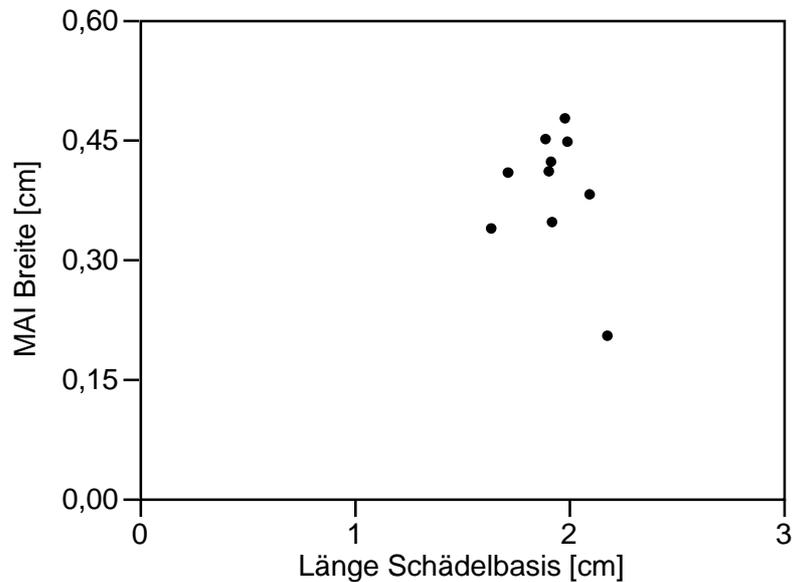


Abbildung 108: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=10)

Die Länge des MAI in [cm] weist einen starken positiven statistischen Zusammenhang mit der Schädelbasislänge der Minipigs in [kg] auf. Der Korrelationskoeffizient r kann mit $0,74$ berechnet werden.

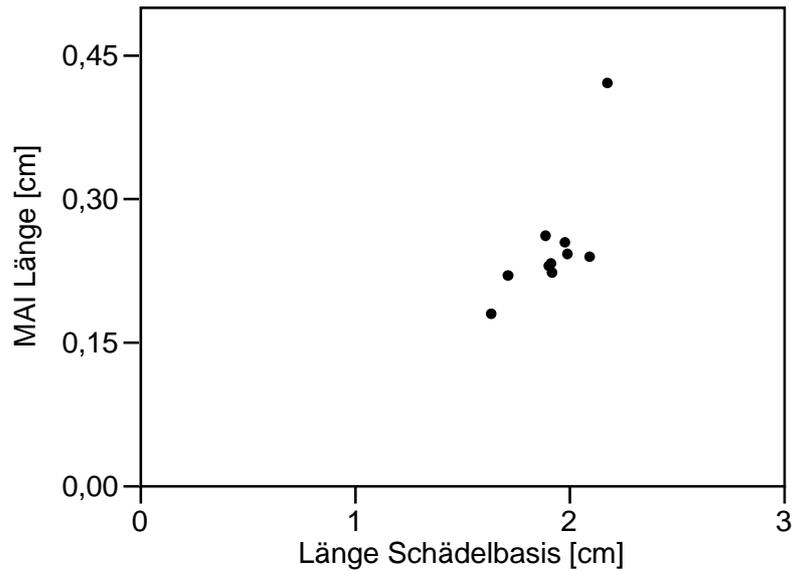


Abbildung 109: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=10)

Für den Zusammenhang zwischen Paukenhöhlen Höhe und Schädelbasislänge kann ein Korrelationskoeffizient r von 0,60 berechnet werden. Statistisch besteht eine mittlere positive Korrelation.

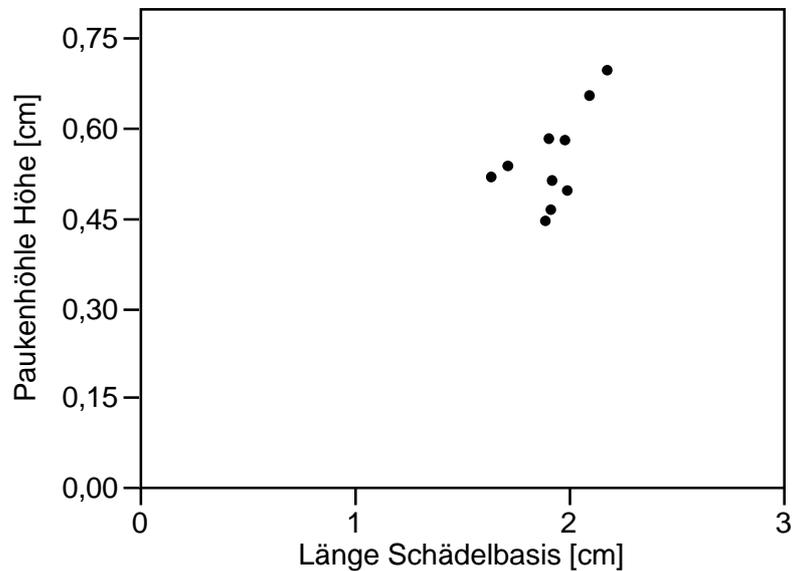


Abbildung 110: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Höhe in [cm], (n=10)

Bei der Breite der Paukenhöhle [cm] lässt sich eine schwache positive Korrelation feststellen. Der Korrelationskoeffizient r beträgt 0,19.

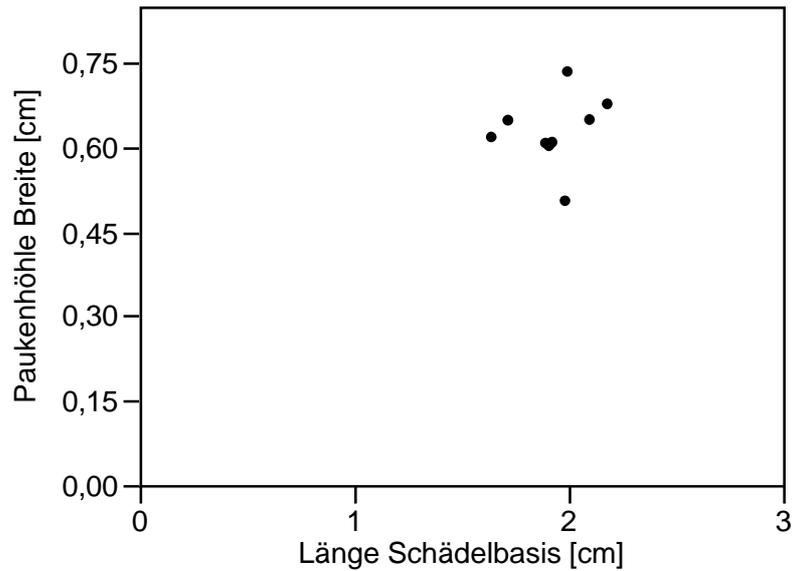


Abbildung 111: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Breite in [cm], (n=10)

Bei der Länge der Paukenhöhle und der Schädelbasislänge errechnet sich ein Korrelationskoeffizient von $r=-0,22$. Es kann demnach von einem mittleren negativen Zusammenhang gesprochen werden.

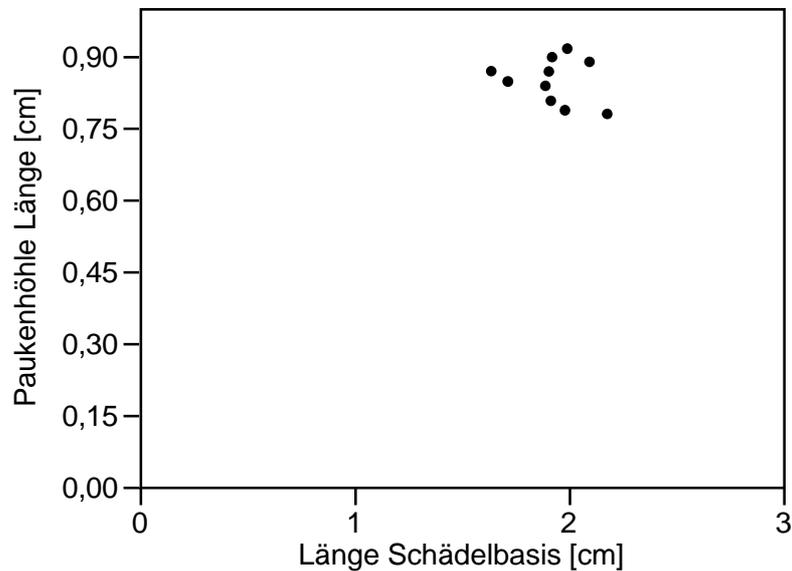


Abbildung 112: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Länge in [cm], (n=10)

Im anschließenden Diagramm ist eine weitere Messgröße dargestellt. Hier ist ein schwacher positiver statistischer Zusammenhang zwischen der Höhe der Cellulae mastoideae in [cm] und der Schädelbasislänge [cm] zu erkennen. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r=0,05$.

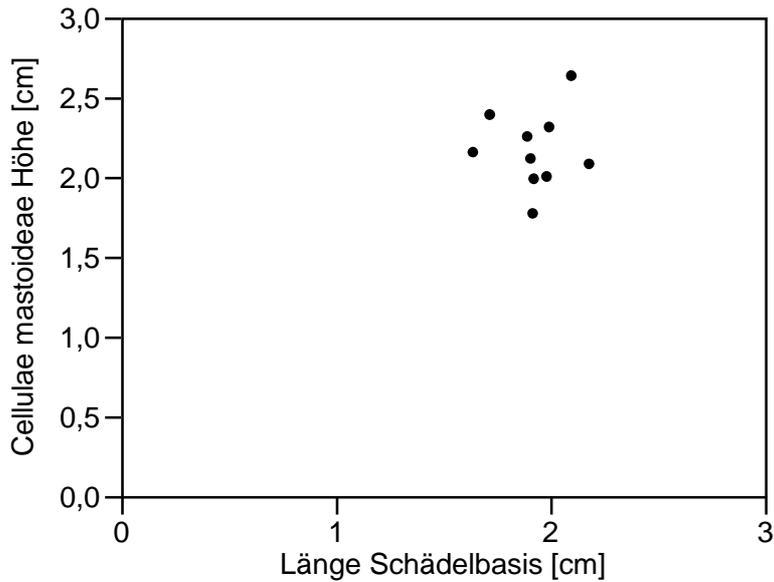


Abbildung 113: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Höhe in [cm], (n=10)

Nachfolgende Graphik veranschaulicht einen Korrelationskoeffizienten $r=-0,26$. Statistisch kann demnach ein mittlerer negativer Zusammenhang ermittelt werden.

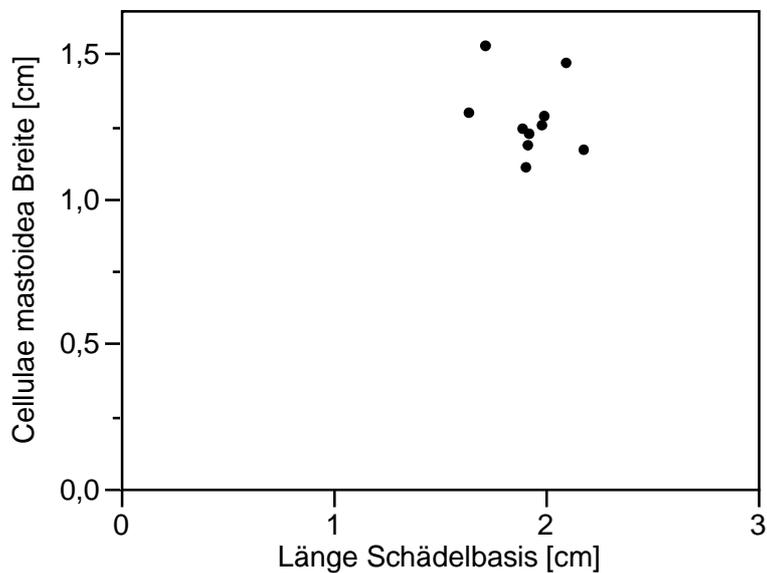


Abbildung 114: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Breite in [cm], (n=10)

Im Folgenden Graphen wird der Zusammenhang zwischen der Länge der Cellulae mastoideae und der Schädelbasislänge dargestellt. Der Korrelationskoeffizient r beträgt $-0,27$. Statistisch lässt sich ein schwacher negativer Zusammenhang feststellen.

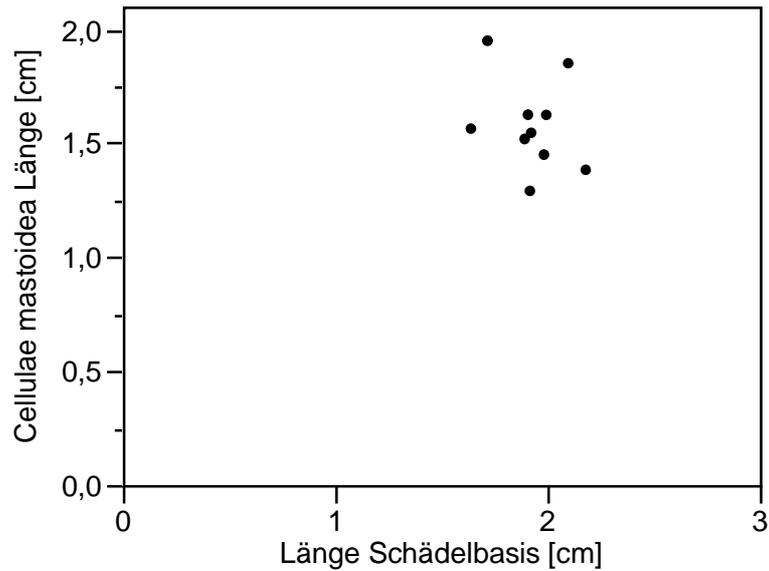


Abbildung 115: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Länge in [cm], (n=10)

Beim Durchmesser der Cochlea kann ein Korrelationskoeffizient r von $-0,51$ berechnet werden. Es besteht daher statistisch ein mittlerer negativer Zusammenhang.

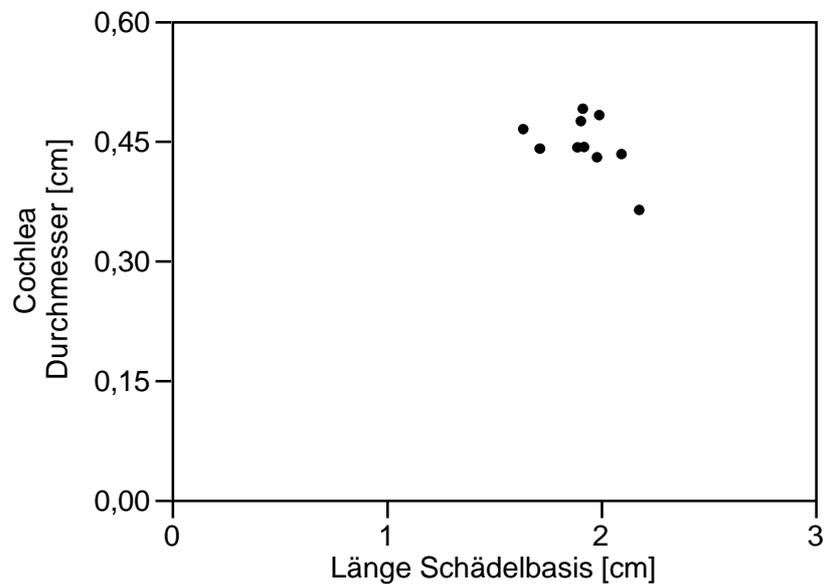


Abbildung 116: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und des erfassten Cochlea Durchmessers in [cm], (n=10)

Folgende Abbildung veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der Felsenbeinlänge in [cm] und der Schädelbasislänge in [cm]. In dieser Darstellung kann ein positiver Zusammenhang ermittelt werden ($r=0,32$). Statistisch wird

daher von einem mittleren positiven Zusammenhang zwischen der Felsenbeinlänge und der Schädelbasislänge der Göttinger Minipigs gesprochen.

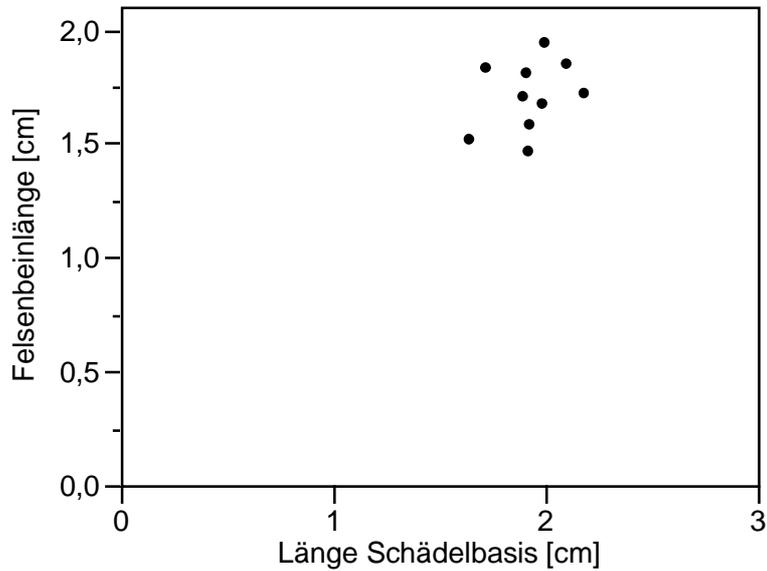


Abbildung 117: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=10)

Bei der Korrelationsanalyse für die Kalottenbreite und die Schädelbasislänge kann ein Koeffizient r von 0,34 berechnet werden. Demnach kann von ein mittlerer positiver Zusammenhang festgestellt werden.

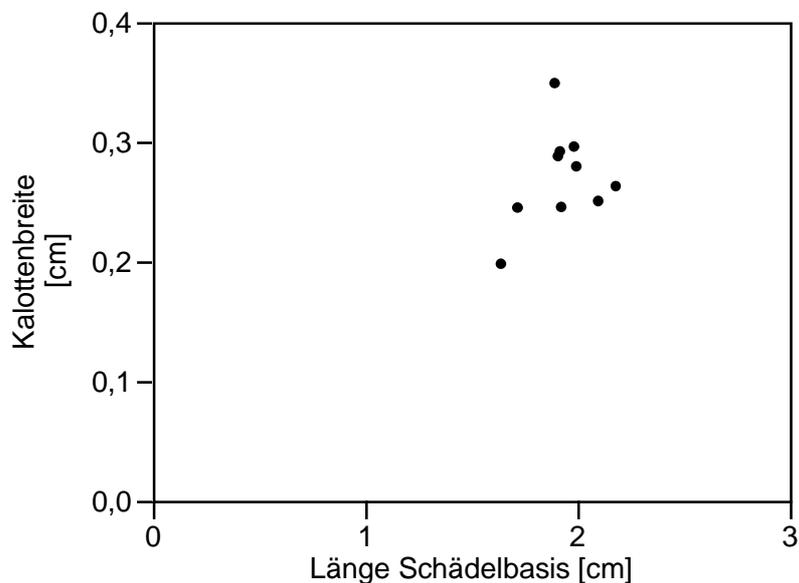


Abbildung 118: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=10)

3.3 Vergleich Göttinger Minipig und Landschwein

Die Darstellung der Werte erfolgt in einem Box-Whiskers-Plot. Hierbei kennzeichnet die horizontale Linie innerhalb einer Box die Lage des Median (50% Quartil). Die untere Grenze der Box kennzeichnet das 25%-Quartil und die obere Grenze das 75%-Quartil. Die dünneren Querstriche ober- und unterhalb einer Box geben den größten bzw. kleinsten Wert an (Maximum bzw. Minimum). Zur genauen Beschreibung der Messpunkte für die jeweiligen vermessenen Strukturen verweise ich auf den Abschnitt CT-gestützte Morphometrie (2.3.6) des Material und Methoden Teils.

Bei den Tieren aus der Gruppe der Landschweine ($n=20$) zeigte sich bei der Schädellänge ein Minimum von 13,69 cm und ein Maximum von 22,22 cm. Der Median liegt bei 20,04 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 21,07 cm, das 25%-Quartil bei 19,64 cm (siehe Abbildung). Die meisten Tiere befanden sich zum Zeitpunkt der Messung in der Adult Phase. Das Minimum ist damit zu erklären, dass sich zwei Tiere noch in der Wachstumsphase befanden. Diese zwei Tiere waren insgesamt kleiner als die restlichen untersuchten 18 Landschweine.

Die Tiere der Göttinger Minipig-Gruppe ($n=8$) zeigten ein Minimum von 15,98 cm und ein Maximum 18,10 cm. Der Median kann mit 17,15 cm berechnet werden. In dieser Gruppe liegt das 75%-Quartil bei 17,50 cm und das 25%-Quartil bei 16,87 cm.

Bei der Schädellänge konnten aufgrund von Bewegungsartefakten im CT-Bild von 10 Minipigs nur 8 zuverlässig vermessen werden. Diese Artefakte könnten aufgrund einer unbeabsichtigten Positionsänderung der Schweineköpfe in ihrer Halterung während des Tischvorschubs am Computertomographen entstanden sein. Daher wurden für die Erfassung der Schädellänge nur die Messung von $n=8$ Individuen gewertet. Bei allen anderen erhobenen Parametern traten solche Artefakte nicht auf und es gingen jeweils $n=10$ Individuen in die statistische Auswertung ein. Insgesamt fällt auf, dass die Landschweine mit Ausnahme der zwei in der Wachstumsphase befindlichen Tiere, einen längeren Schädel aufweisen. Bei den Göttinger Minipigs fällt eine geringere Spannweite der Schädellänge innerhalb der untersuchten Gruppe auf. Die Spannweite beschreibt den gesamten Wertebereich des Datensatzes.

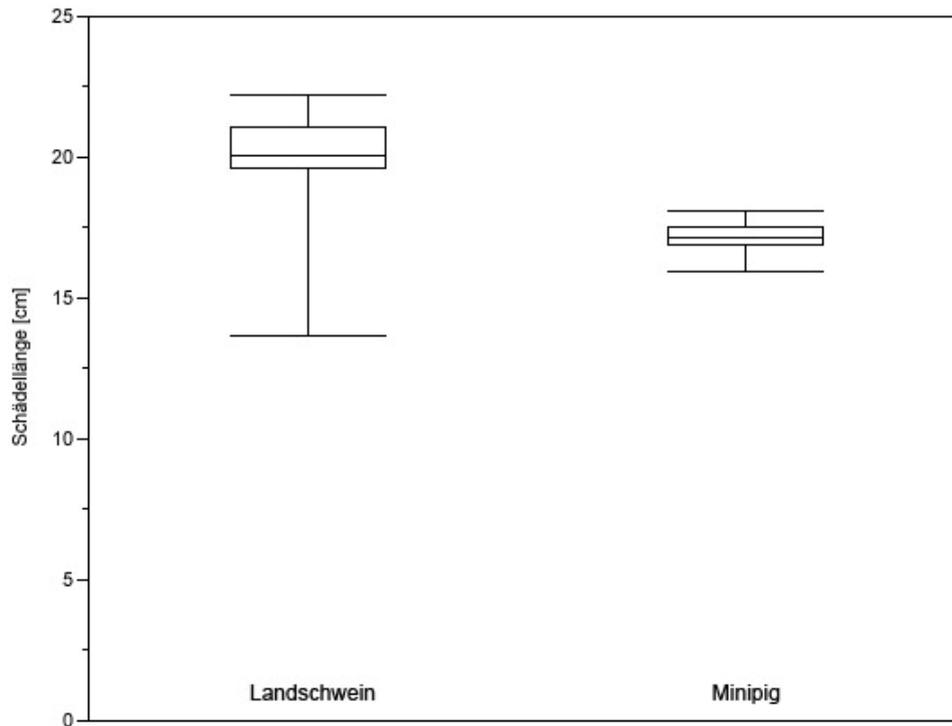


Abbildung 119: Vergleich LS (n=20) und MP (n=8), Schädellänge [cm].

Folgende Tabelle fasst die Werte zusammen.

Schädellänge [cm]	Landschwein [cm]	Göttinger Minipig [cm]
Maximum	22,22	18,10
75%-Quartil	21,07	17,50
Median	20,04	17,15
25%-Quartil	19,64	16,87
Minimum	13,69	15,98
Anzahl	20	8

Tabelle 30: Zusammenfassung der zur Schädellänge berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Die untersuchten Landschweine weisen eine maximale Schädelbreite von 5,96 cm auf. Das Minimum beträgt 4,5 cm, der Median liegt bei 5,51 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 5,64 cm, das 25%-Quartil bei 5,47 cm. Auch hier sind die niedrigen Messwerte des Minimums durch die Tiere in der Wachstumsphase zu erklären.

Bei den Göttinger Minipigs fällt eine solche Abweichung nicht auf. Insgesamt besteht hier eine geringere Variation der Schädelbreite innerhalb der Gruppe. Das Maximum wurde mit 5,23 cm und das Minimum mit 4,51 cm berechnet. Der Median liegt bei diesem erhobenen Parameter bei 4,99 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 5,18 cm, das 25%-Quartil bei 4,85 cm.

Die Größenunterschiede zwischen Landschwein und Göttinger Minipig bei der Schädelbreite fallen geringer aus als bei der Schädellänge.

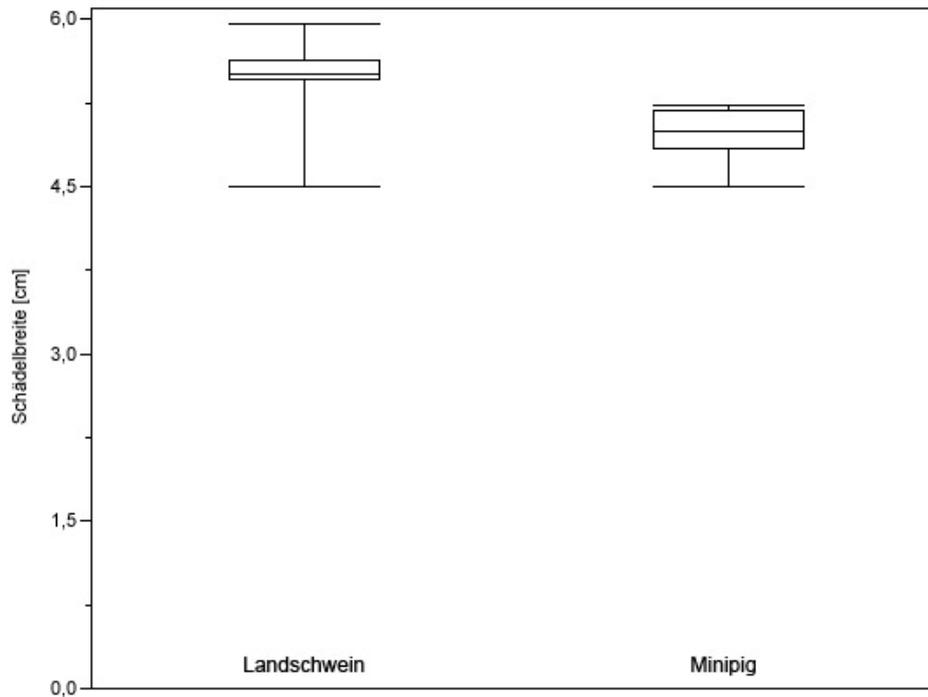


Abbildung 120: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Schädelbreite [cm].

Die nachfolgende Tabelle stellt die Ergebnisse der untersuchten Schädelbreite bei beiden Versuchsgruppen dar.

Schädelbreite [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	5,96	5,23
75%-Quartil	5,64	5,18
Median	5,51	4,99
25%-Quartil	5,47	4,85
Minimum	4,50	4,51
Anzahl	20	10

Tabelle 31: Zusammenfassung der zur Schädelbreite berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Das Maximum der Schädelbasislänge beim Landschwein ist 2,94 cm. Das Minimum beträgt 2,05 cm. Hier liegt der Median bei 2,5 cm. Das 75%-Quartil beträgt 2,6 cm. Das 25%-Quartil beträgt 2,32 cm. Niedrige Messwerte am Minimum aufgrund der unterschiedlichen Wachstumsphasen sind nicht zu erkennen.

Beim Göttinger Minipig beträgt das Maximum 2,18 cm. Das Minimum beträgt 1,64 cm. Hier liegt der Median bei 1,92 cm. Das 75%-Quartil beträgt 2,02 cm. Das 25%-Quartil beträgt 1,85 cm.

Im Vergleich zum Landschwein fällt die Länge der Schädelbasis beim Göttinger Minipig kürzer aus. Die Spannweite innerhalb der Versuchsgruppen fällt ähnlich aus.

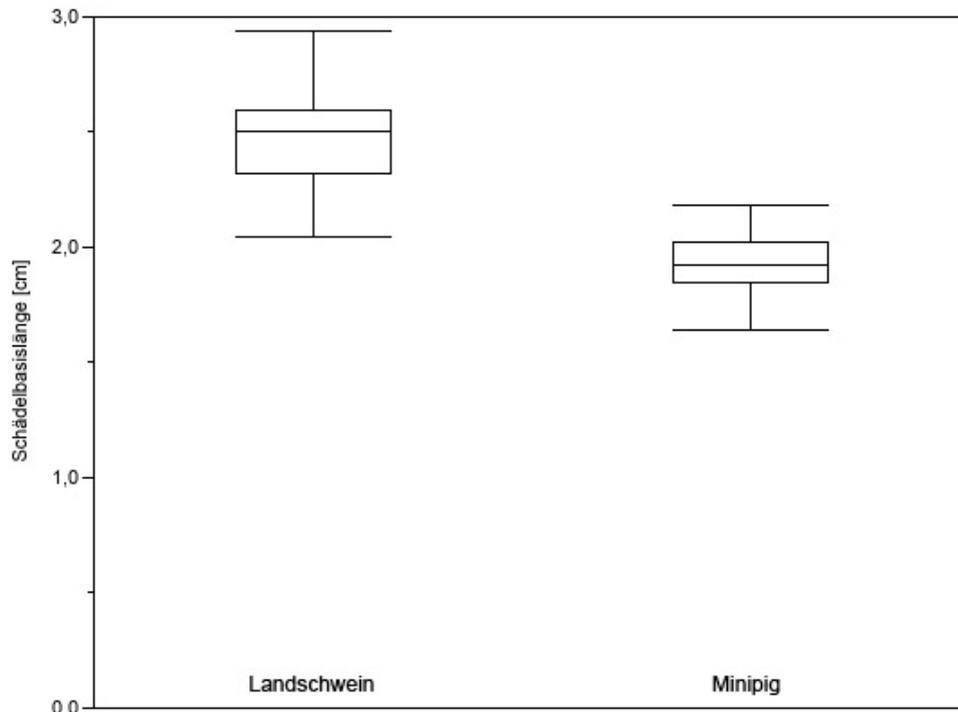


Abbildung 121: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Schädelbasislänge [cm].

Nachfolgend sind die Werte tabellarisch aufgelistet.

Schädelbasislänge [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	2,94	2,18
75%-Quartil	2,60	2,02
Median	2,50	1,92
25%-Quartil	2,32	1,85
Minimum	2,05	1,64
Anzahl	20	10

Tabelle 32: Zusammenfassung der zur Schädelbasislänge berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Beim Landschwein kann das Maximum MAEa Höhe mit 0,73 cm berechnet werden. Das Minimum beträgt 0,47 cm. Der Median liegt bei 0,61 cm. Die MAEa Höhe liegt bei 50% der Landschweine zwischen 0,56 cm und 0,67 cm.

Das Maximum der MAEa Höhe beim Göttinger Minipig liegt bei 0,67 cm. Das Minimum beträgt 0,46 cm. Der Median liegt bei 0,54 cm. Die MAEa Höhe von 50% der Minipigs beträgt zwischen 0,48 cm und 0,64 cm.

Im Vergleich fallen sehr ähnliche Ausmaße der MAEa Höhe zwischen den Versuchsgruppen auf. Der Interquartilabstand fällt beim MP breiter aus. Der Interquartilabstand beschreibt den Wertebereich in dem sich 50% der Daten befinden. Er liegt zwischen dem 75%- und dem 25%-Quartil. Bei der MAEa Höhe liegt er demnach zwischen 0,67 cm und 0,56 cm.

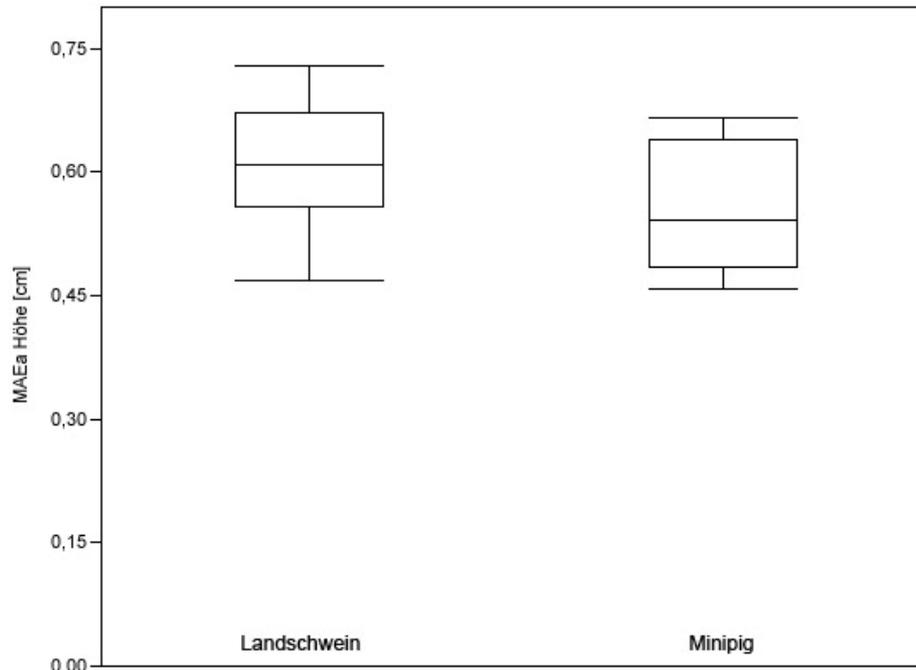


Abbildung 122: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe des MAEa [cm].

In der anschließenden Tabelle ist eine Zusammenfassung aller zu dieser Struktur erhobenen statistischen Parameter dargestellt.

Höhe MAEa [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,73	0,67
75%-Quartil	0,67	0,64
Median	0,61	0,54
25%-Quartil	0,56	0,48
Minimum	0,47	0,46
Anzahl	20	10

Tabelle 33: Zusammenfassung der zur Höhe des MAEa berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Beim Landschwein ergibt die größte MAEa Breite 0,55 cm. Die kleinste MAEa Breite 0,28 cm. Der Median beträgt 0,44 cm. Bei der Breite des MAEa kann ein 75%-Quartil von 0,55 cm und ein 25%-Quartil von 0,41 cm berechnet werden.

Das Maximum der MAEa Breite der untersuchten Göttinger Minipigs beträgt 0,49 cm. Die kleinste Breite des MAEa 0,35 cm. Der Median kann mit 0,40 cm berechnet werden. Bei der Breite des MAEa kann ein 75%-Quartil von 0,44 cm und ein 25%-Quartil von 0,37 cm festgestellt werden.

Der Interquartilabstand der Breite des MAEa beim Landschwein und Minipig fällt ähnlich aus. Das Landschwein erweist jedoch eine insgesamt etwas größere Breite (Maximum 0,55 cm, Median 0,44 cm, Interquartilabstand 0,41 cm bis 0,50 cm).

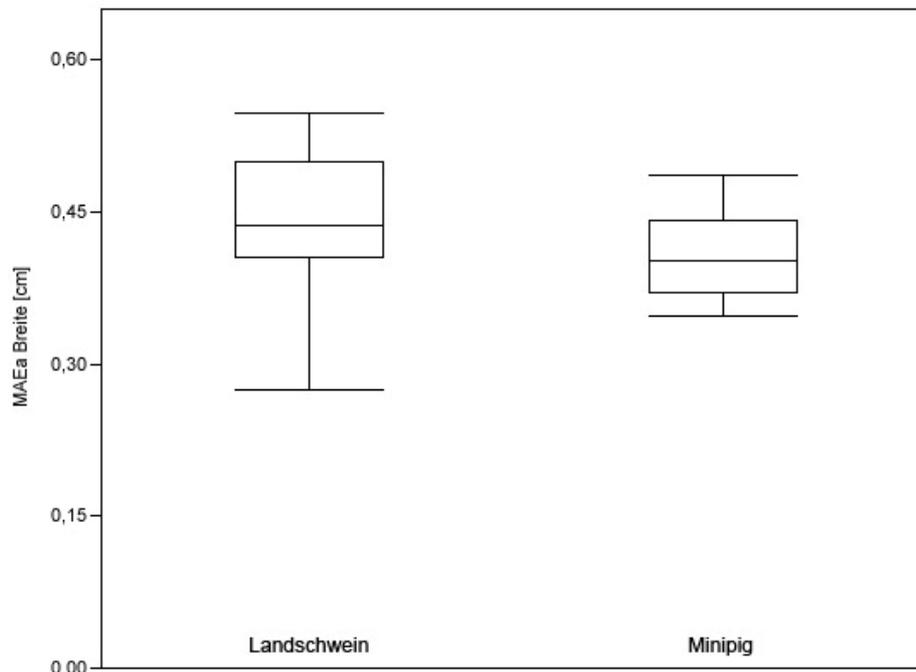


Abbildung 123: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite des MAEa [cm].

Folgende Tabelle fasst die berechneten statistischen Parameter zusammen.

Breite MAEa [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,55	0,49
75%-Quartil	0,50	0,44
Median	0,44	0,40
25%-Quartil	0,41	0,37
Minimum	0,28	0,35
Anzahl	20	10

Tabelle 34: Zusammenfassung der zur Breite des MAEa berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Die Höhe des MAEi weist beim Landschwein ein Maximum von 1,03 cm und ein Minimum von 0,58 cm auf. Der Median liegt bei 0,83cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,88 cm, das 25%-Quartil mit 0,76 cm berechnet.

Die untersuchten Minipigs weisen eine maximale Höhe des MAEi von 0,73 cm und ein Minimum von 0,46 cm auf. Der Median liegt bei 0,61 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,67 cm, das 25%-Quartil mit 0,56 cm berechnet.

In der Höhe unterscheiden sich die zwei Rassen. Der Median der Landschweine ist größer als das Maximum der Minipigs. Insgesamt weisen Minipigs geringere Höhen des MAEi auf.

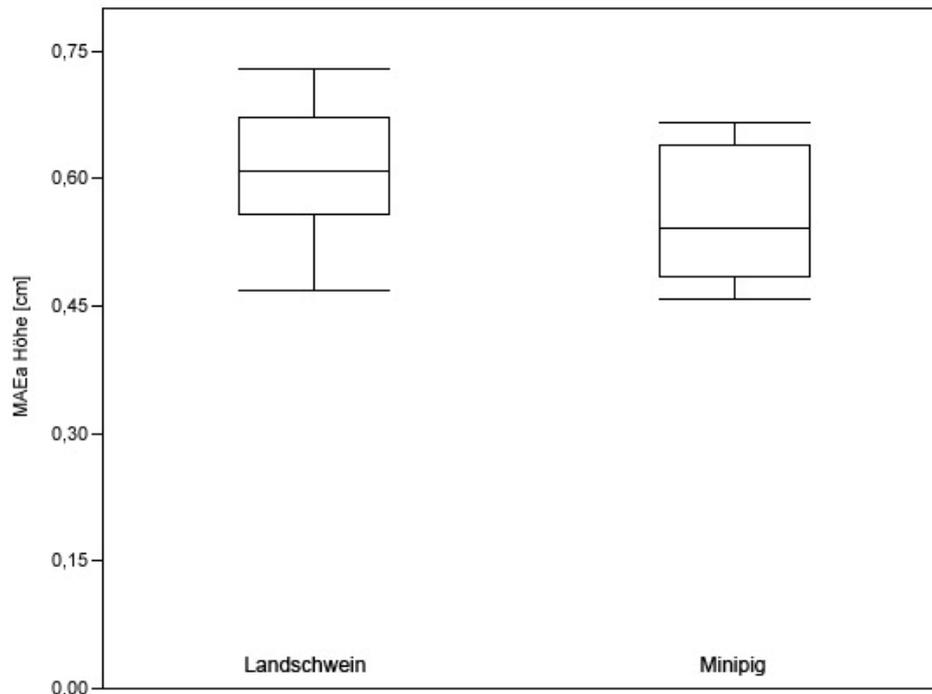


Abbildung 124: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe des MAEi [cm].

Die nachfolgende Tabelle fasst das Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum der MAEi Höhe am Landschwein und am Göttinger Minipig zusammen.

MAEi Höhe [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	1,03	0,73
75%-Quartil	0,88	0,67
Median	0,83	0,61
25%-Quartil	0,76	0,56
Minimum	0,58	0,46
Anzahl	20	10

Tabelle 35: Zusammenfassung der zur Höhe des MAEi berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Die maximale Länge des MAEi der erfassten Landschweine liegt bei 0,49 cm. Das Minimum beträgt 0,29 cm. Der Median liegt bei 0,43 cm. Die Länge des MAEi ergibt bei 50% der Landschweine zwischen 0,4 cm und 0,49 cm.

Beim Göttinger Minipig liegt das Maximum der Länge des MAEi bei 0,41 cm. Das Minimum beträgt 0,28 cm. Der Median liegt bei 0,31 cm. Bei 50% der Minipigs lag die Länge des MAEi zwischen 0,29 cm und 0,37 cm.

Bis auf das Minimum (0,28 cm) ist die Länge des MAEi der vermessenen Landschweine größer als die der Minipigs.

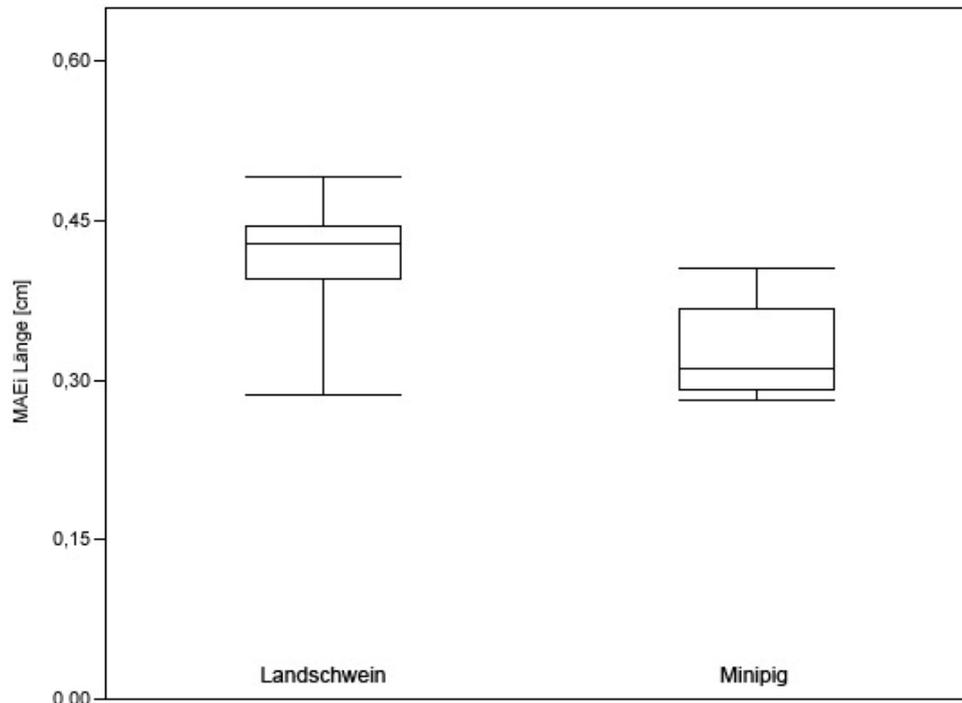


Abbildung 125: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge des MAEi [cm].

In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenfassung der zu dieser Struktur erhobenen statistischen Parameter dargestellt.

MAEi Länge [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,49	0,41
75%-Quartil	0,44	0,37
Median	0,43	0,31
25%-Quartil	0,40	0,29
Minimum	0,29	0,28
Anzahl	20	10

Tabelle 36: Zusammenfassung der zur Länge des MAEi berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Beim Landschwein ergibt die größte Breite des MAEi 0,51 cm. Die kleinste Breite des MAEi 0,33 cm. Der Median beträgt 0,43 cm. Bei der Breite des MAEi kann ein 75%-Quartil von 0,46 cm und ein 25%-Quartil von 0,33 cm berechnet werden.

Die Messwerte beim Göttinger Minipig weisen nur ein geringer Unterschied zu den Messwerten des Landschweins auf. Die größte Breite des MAEi beträgt 0,48 cm. Die kleinste Breite des MAEa 0,30 cm. Der Median ergibt 0,41 cm und liegt damit auf einem ähnlichen Niveau wie der der Landschweine. Bei der Breite des MAEi kann ein 75%-Quartil von 0,42 cm und ein 25%-Quartil von 0,38 cm berechnet werden. Die Spannweite beider Datensätze fällt gleich groß aus.

Beim Landschwein zwischen 0,33 cm und 0,51 cm (0,18 cm). Beim Minipig umfasst die Spannweite ebenfalls 0,18 cm.

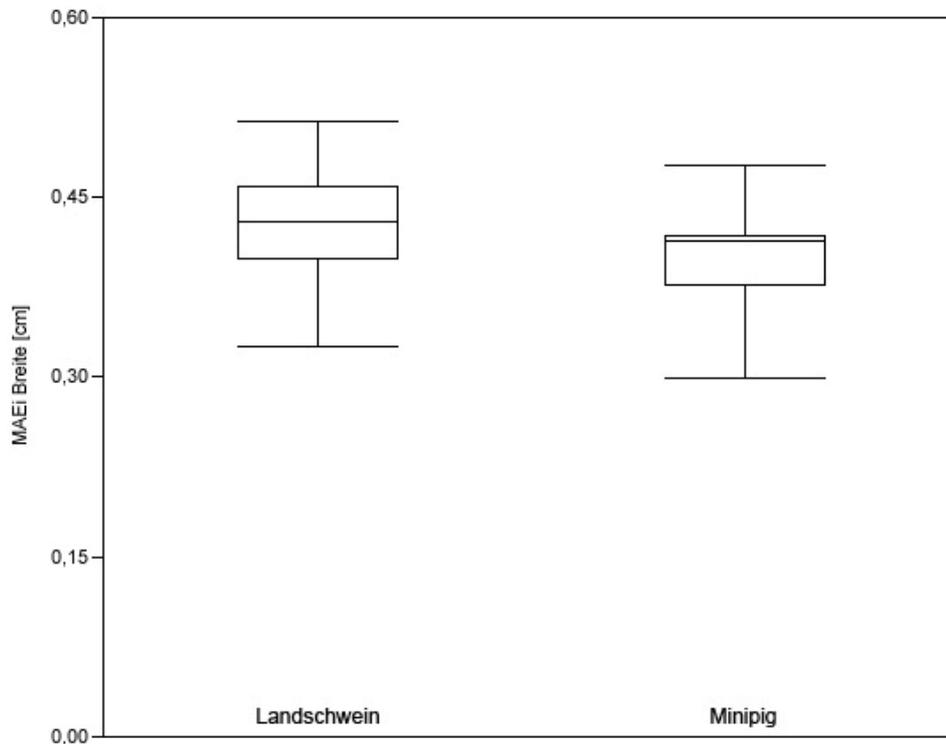


Abbildung 126: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite des MAEi [cm].

In der anschließenden Tabelle ist eine Zusammenfassung aller zu dieser Struktur erhobenen statistischen Parameter dargestellt.

MAEi Breite [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,51	0,48
75%-Quartil	0,46	0,42
Median	0,43	0,41
25%-Quartil	0,40	0,38
Minimum	0,33	0,30
Anzahl	20	10

Tabelle 37: Zusammenfassung der zur Breite des MAEi berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Die Gesamtlänge des MAE der untersuchten Landschweine weist ein Maximum von 3,53 cm und ein Minimum von 1,69 cm auf. Der Median liegt bei 3,03 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 3,27 cm, das 25%-Quartil mit 2,85 cm berechnet. Die niedrigen Messwerte am Minimum sind durch die Tiere in der Wachstumsphase zu erklären.

Bei den Göttinger Minipigs fällt eine solche Abweichung nicht auf. Insgesamt besteht hier eine geringere Variation der Gesamtlänge des MAE innerhalb der Gruppe auf.

Bei den untersuchten Minipigs beträgt das Maximum der Gesamtlänge des MAE 3,03 cm und das Minimum 2,54 cm auf. Der Median liegt bei 2,86 cm. Das 75%-Quartil beträgt 2,98 cm, das 25%-Quartil beträgt 2,7 cm. Die vermessenen Landschweine weisen einen längeren MAE auf.

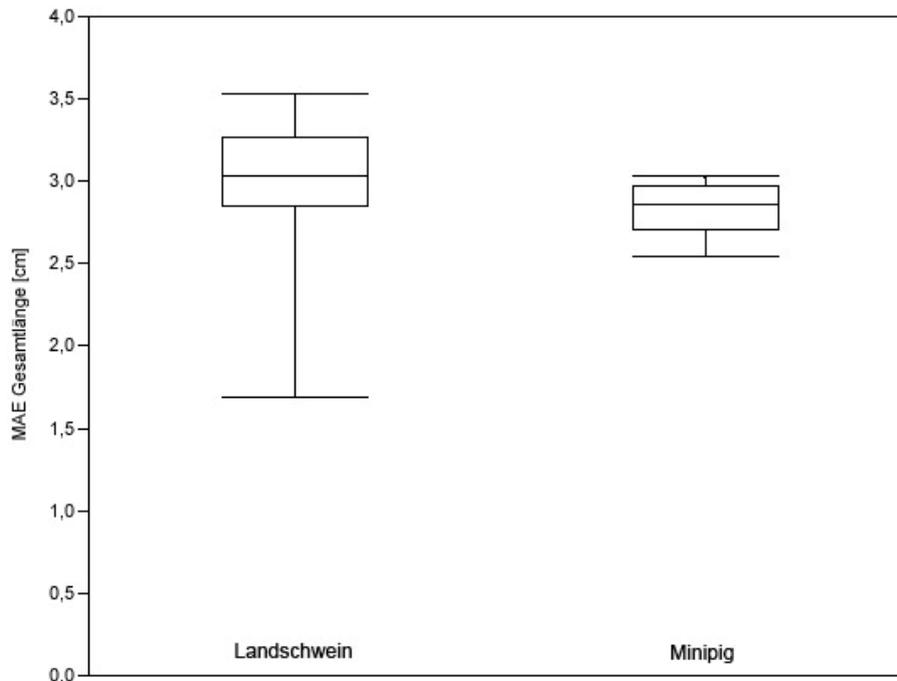


Abbildung 127: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Gesamtlänge des MAE [cm].

Tabelle 38 fasst die Ergebnisse der Gesamtlänge des MAE am Landschwein und des Göttinger Minipigs zusammen.

MAE Gesamtlänge [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	3,53	3,03
75%-Quartil	3,27	2,98
Median	3,03	2,86
25%-Quartil	2,85	2,70
Minimum	1,69	2,54
Anzahl	20	10

Tabelle 38: Zusammenfassung der zur Gesamtlänge des MAE berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Der maximale Außenwinkel beim Landschwein beträgt 177,00°. Das Minimum 147,00°. Der Median liegt bei 166,50°. Der Außenwinkel beträgt bei 50% der Landschweine zwischen 168,63° und 164,00°. Der bei den Göttinger Minipigs vermessene maximale Außenwinkel beträgt 171,50°. Das Minimum 160,50°. Der Median liegt bei 167,50°. Bei 50% der Minipigs liegt der Außenwinkel zwischen 164,88° und 170,63°. Die Spannweite des Datensatzes des Außenwin-

kels der Landschweine ist größer, als der der Göttinger Minipigs. 50% der Ergebnisse liegen in einem analogen Wertebereich.

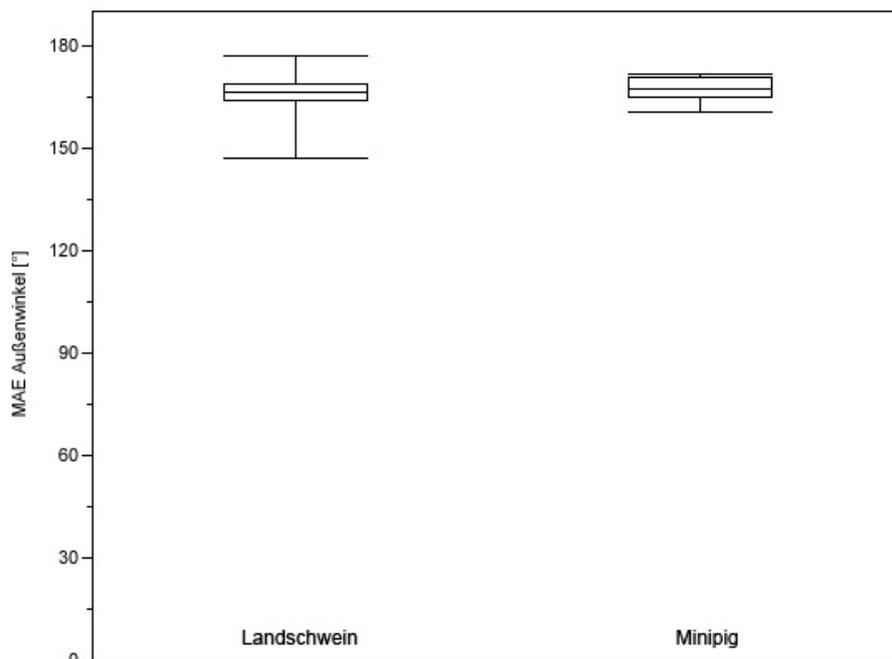


Abbildung 128: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Außenwinkel des MAE in Winkelgrad.

Die Tabelle 39 stellt Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des Außenwinkels des MAE dar.

Außenwinkel MAE [°]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	177,00	171,50
75%-Quartil	168,63	170,63
Median	166,50	167,50
25%-Quartil	164,00	164,88
Minimum	147,00	160,50
Anzahl	20	10

Tabelle 39: Zusammenfassung der zum Außenwinkel des MAE berechneten Werte am LS und MP in Winkelgrad.

Beim Innenwinkel der Landschweine beträgt das Maximum 163,50° und das Minimum 125,50°. Hier liegt der Median bei 142,50°. Für das 75%-Quartil wurde ein Wert von 147,75° berechnet und ein 25%-Quartil von 134,75°. Die erhobenen statistischen Parameter für den Innenwinkel beim Göttinger Minipig ergeben ein Maximum von 149,50° und ein Minimum 127,00°. Hier liegt der Median bei 141,00°. Für das 75%-Quartil wurde ein Wert von 145,63° berechnet und ein 25%-Quartil von 132,38°. Hier ist zu erkennen, dass 50% der Ergebnisse in einem entsprechenden Wertebereich liegen.

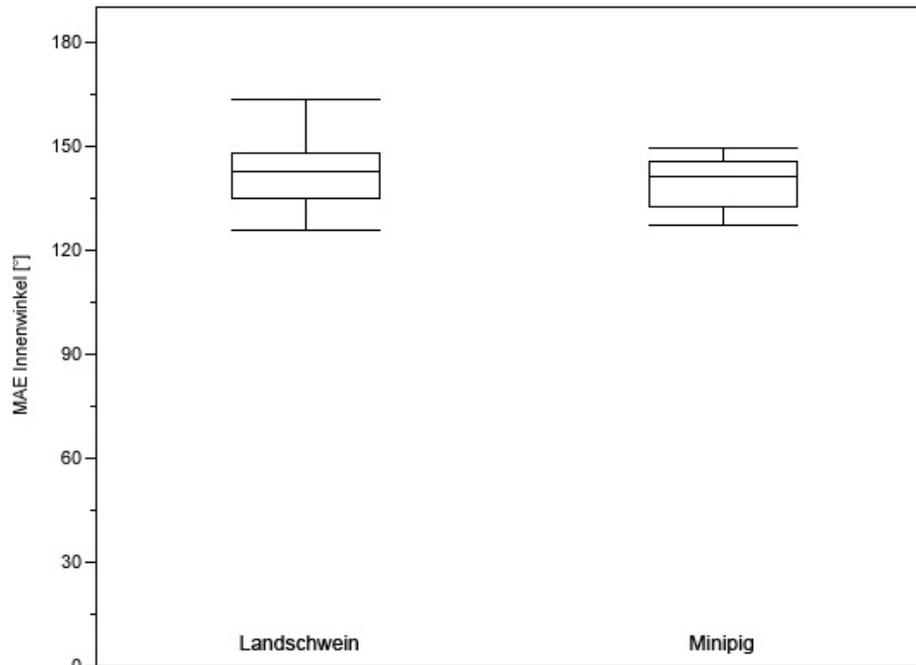


Abbildung 129: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Innenwinkel des MAE in Winkelgrad.

Tabelle 40 stellt die Ergebnisse für Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des Innenwinkels des MAE dar.

Innenwinkel MAE [°]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	163,50	149,50
75%-Quartil	147,75	145,63
Median	142,50	141,00
25%-Quartil	134,75	132,38
Minimum	125,50	127,00
Anzahl	20	10

Tabelle 40: Zusammenfassung der zum Innenwinkel des MAE berechneten Werte am LS und MP in Winkelgrad.

Nachfolgende Abbildung stellt die MAI Höhe am Felsenbein des Landschweins im Vergleich mit der MAI Höhe des Minipigs dar. Die Höhe beim Landschwein wurde mit maximal 0,44 cm und minimal 0,24 cm bestimmt. Der Median liegt bei 0,34 cm. Das 75%-Quartil ergibt 0,36 cm, das 25%-Quartil beträgt 0,28 cm. Im Vergleich dazu kann bei den erfassten Göttinger Minipigs ein Maximum von 0,45 cm und ein Minimum von 0,2 cm berechnet werden. Der Median liegt bei 0,28 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,32 cm, das 25%-Quartil mit 0,23 cm berechnet. Die beiden Datensätze befinden sich in sehr ähnlichen Wertebereichen. Die Messwerte der Minipigs sind bis auf einen Ausreißer (Maximum 0,45 cm) etwas geringer.



Abbildung 130: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe des MAI in [cm].

Die anschließende Tabelle fasst die erhobenen Parameter zusammen.

MAI Höhe [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,44	0,45
75%-Quartil	0,36	0,32
Median	0,34	0,28
25%-Quartil	0,28	0,23
Minimum	0,24	0,20
Anzahl	20	10

Tabelle 41: Zusammenfassung der zur Höhe des MAI berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Bei den erforschten Landschweinen beträgt die größte Breite des MAI 0,68 cm. Die kleinste Breite des MAI 0,31 cm. Der Median ergibt 0,55 cm. Bei der Breite des MAI kann ein 75%-Quartil von 0,62 cm und ein 25%-Quartil von 0,48 cm berechnet werden. Im Vergleich dazu ergibt das Maximum der Göttinger Minipig 0,48 cm. Die kleinste Breite des MAI beträgt 0,20 cm. Der Median ergibt 0,41 cm. Das 75%-Quartil beträgt 0,45 cm, das 25%-Quartil 0,20 cm. Bei der Breite des MAI fallen die Werte der Landschweine größer aus. Ausnahme ist das Minimum der Landschweine. Es liegt im Wertebereich der Minipigs.

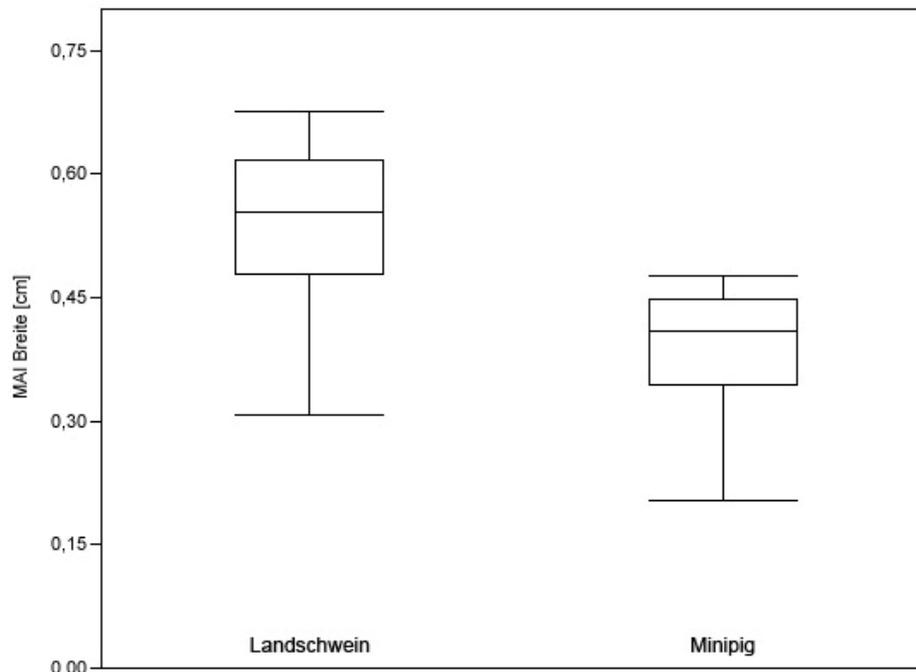


Abbildung 131: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite des MAI in [cm].

In der nachfolgenden Tabelle sind Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum der Breite des MAI dargestellt.

MAI Breite [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,68	0,48
75%-Quartil	0,62	0,45
Median	0,55	0,41
25%-Quartil	0,48	0,34
Minimum	0,31	0,20
Anzahl	20	10

Tabelle 42: Zusammenfassung der zur Breite des MAI berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Die maximale Länge des MAI beim Landschwein liegt bei 0,48 cm. Das Minimum beträgt 0,26 cm. Der Median liegt bei 0,39 cm. Die Länge des MAI liegt bei 50% der Landschweine zwischen 0,35 cm und 0,43 cm. Die maximale Länge des MAI der Göttinger Minipigs liegt bei 0,42 cm. Das Minimum beträgt 0,18 cm. Der Median liegt bei 0,24 cm. Die Länge des MAI beträgt bei 50% der Minipigs zwischen 0,22 cm und 0,26 cm. Der Wertebereich in dem sich 50% der Ergebnisse der Minipigs befinden ist geringer als der der Landschweine. Eine Ausnahme stellt das Maximum der Minipigs dar. Insgesamt fällt die Länge des MAI beim Minipig geringer aus.

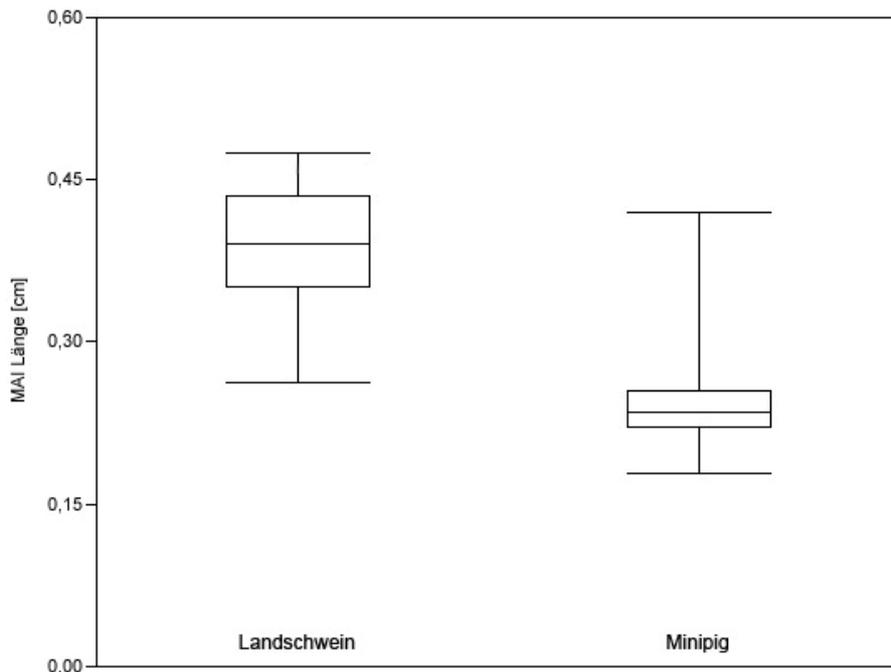


Abbildung 132: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge des MAI in [cm].

In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenfassung aller zu dieser Struktur erhobenen statistischen Parameter dargestellt.

MAI Länge [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,48	0,42
75%-Quartil	0,43	0,26
Median	0,39	0,24
25%-Quartil	0,35	0,22
Minimum	0,26	0,18
Anzahl	20	10

Tabelle 43: Zusammenfassung der zur Länge des MAI berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Die erforschten Tiere aus der Gruppe der Landschweine weisen bei der Höhe der Paukenhöhle ein Maximum von 1,02 cm und ein Minimum von 0,72 cm auf. Der Median liegt bei 0,84 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,92 cm, das 25%-Quartil mit 0,76 cm berechnet. Verglichen dazu fallen die Werte bei der Gruppe der Göttinger Minipigs geringer aus. Hier liegen das Maximum bei 0,70 cm und das Minimum bei 0,44 cm. Der Median berechnet sich mit 0,53 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 0,60 cm, das 25%-Quartil mit 0,49 cm berechnet.

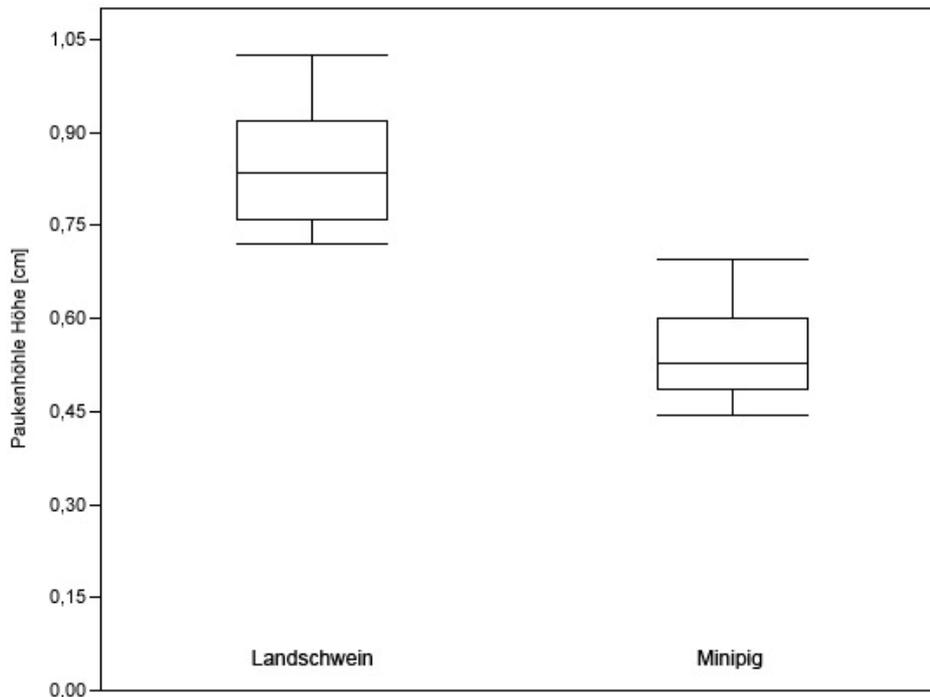


Abbildung 133: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe der Paukenhöhle in [cm].

Nachfolgende Tabelle fasst die erhobenen Werte für die beiden Rassen zusammen.

Paukenhöhle Höhe [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	1,02	0,70
75%-Quartil	0,92	0,60
Median	0,84	0,53
25%-Quartil	0,76	0,49
Minimum	0,72	0,44
Anzahl	20	10

Tabelle 44: Zusammenfassung der zur Höhe der Paukenhöhle berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Bei der Breite der Paukenhöhle beträgt die größte Distanz 0,94 cm. Die kleinste Breite der Paukenhöhle 0,7 cm. Der Median ergibt 0,87 cm. Es konnte ein 75%-Quartil von 0,91 cm und ein 25%-Quartil von 0,85 cm berechnet werden. Auch bei dieser Messgröße sind die Werte der Göttinger Minipigs geringer. Die größte Breite beträgt 0,73 cm. Die kleinste Breite der Paukenhöhle 0,51 cm. Der Median ergibt 0,61 cm. Bei der Breite konnte ein 75%-Quartil von 0,66 cm und ein 25%-Quartil von 0,61 cm berechnet werden.

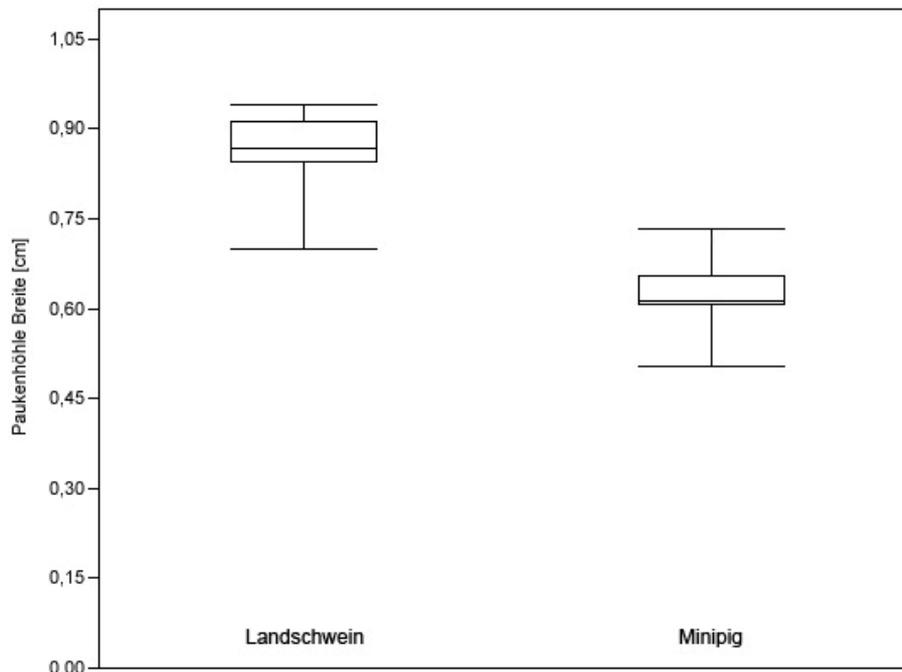


Abbildung 134: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite der Paukenhöhle in [cm].

Anschließende Tabelle gibt einen Überblick über die statistischen Parameter der Paukenhöhlen Breite.

Paukenhöhle Breite [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,94	0,73
75%-Quartil	0,91	0,66
Median	0,87	0,61
25%-Quartil	0,85	0,61
Minimum	0,70	0,51
Anzahl	20	10

Tabelle 45: Zusammenfassung der zur Breite der Paukenhöhle berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Die Distanzen der Landschweine bei der Länge der Paukenhöhle fallen größer aus als bei den Göttinger Minipigs. Das Maximum beträgt 1,18 cm. Das Minimum wurde mit 0,93 cm bestimmt. Der Median liegt bei 1,07 cm. Bei 50% der Landschweine liegt die Länge der Paukenhöhle zwischen 1,00 cm und 1,12 cm. Dagegen wurden folgende Werte für das Minipig berechnet. Die maximale Länge beträgt 0,92 cm. Das Minimum beträgt 0,78 cm. Der Median liegt bei 0,86 cm. Die Länge der Paukenhöhle beträgt bei 50% der Minipigs zwischen 0,8 cm und 0,89 cm.

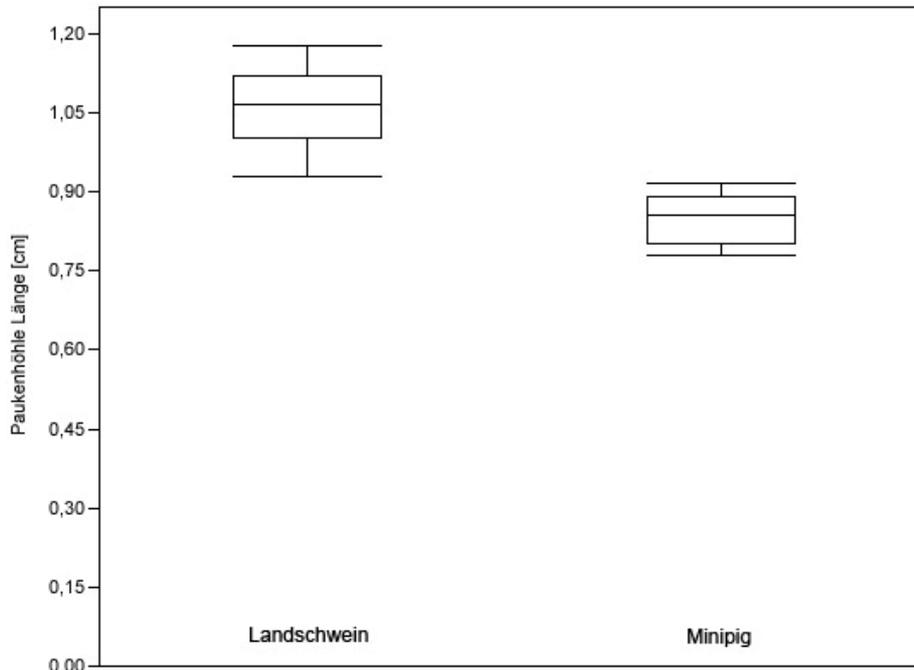


Abbildung 135: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge der Paukenhöhle in [cm].

In der folgenden Tabelle sind Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil, Minimum, sowie Anzahl der vermessenen Tiere aufgelistet.

Paukenhöhle Länge [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,92	1,18
75%-Quartil	0,89	1,12
Median	0,86	1,07
25%-Quartil	0,80	1,00
Minimum	0,78	0,93
Anzahl	20	10

Tabelle 46: Zusammenfassung der zur Länge der Paukenhöhle berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Nachfolgende Abbildung stellt die Höhe der Cellulae mastoideae des Landschweins im Vergleich zum Göttinger Minipig dar. Das Landschwein weist ein Maximum von 2,87 cm und ein Minimum von 1,72 cm auf. Der Median liegt bei 2,59 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 2,7 cm, das 25%-Quartil mit 2,44 cm berechnet.

Beim Göttinger Minipig ist ein Maximum von 2,63 cm und ein Minimum von 1,77 cm berechnet worden. Der Median liegt bei 2,14 cm. Das 75%-Quartil wurde mit 2,33 cm, das 25%-Quartil mit 2,00 cm berechnet. Es ist zu erkennen dass bei beiden Rassen eine breite Variation der Höhen besteht. Insgesamt ist die Höhe der Cellulae mastoideae beim Minipig aber geringer ausgefallen.

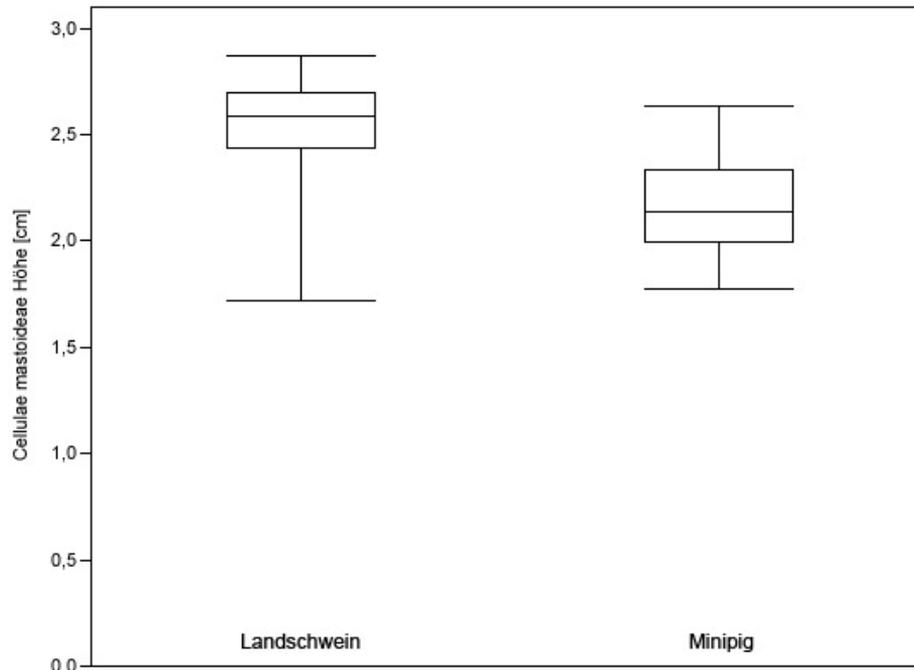


Abbildung 136: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe der Cellulae mastoideae in [cm].

Folgende Tabelle stellt die statistischen Parameter für die Höhe der Cellulae mastoideae der beiden Schweinerassen dar.

Cellulae mastoideae Höhe [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	2,87	2,63
75%-Quartil	2,70	2,33
Median	2,59	2,14
25%-Quartil	2,44	2,00
Minimum	1,72	1,77
Anzahl	20	10

Tabelle 47: Zusammenfassung der zur Höhe der Cellulae mastoideae berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Bei der Breite der Cellulae mastoideae ergibt sich beim Landschwein ein Maximum von 1,61 cm. Die kleinste Breite beträgt 1,15 cm. Der Median liegt bei 1,51 cm. Es kann ein 75%-Quartil von 1,56 cm und ein 25%-Quartil von 1,43 cm berechnet werden. Im Vergleich dazu ergeben sich folgende Parameter für die untersuchten Göttinger Minipigs. Die größte Breite beträgt 1,53 cm. Die kleinste Breite 1,11 cm. Der Median ergibt 1,25 cm. Bei der Breite der Cellulae mastoideae kann ein 75%-Quartil von 1,34 cm und ein 25%-Quartil von 1,18 cm berechnet werden. Beide Rassen weisen einen ähnlich großen Wertebereich auf. 50% der Werte des Landschweins bei der Breite der Cellulae mastoideae sind größer als die der Minipigs.

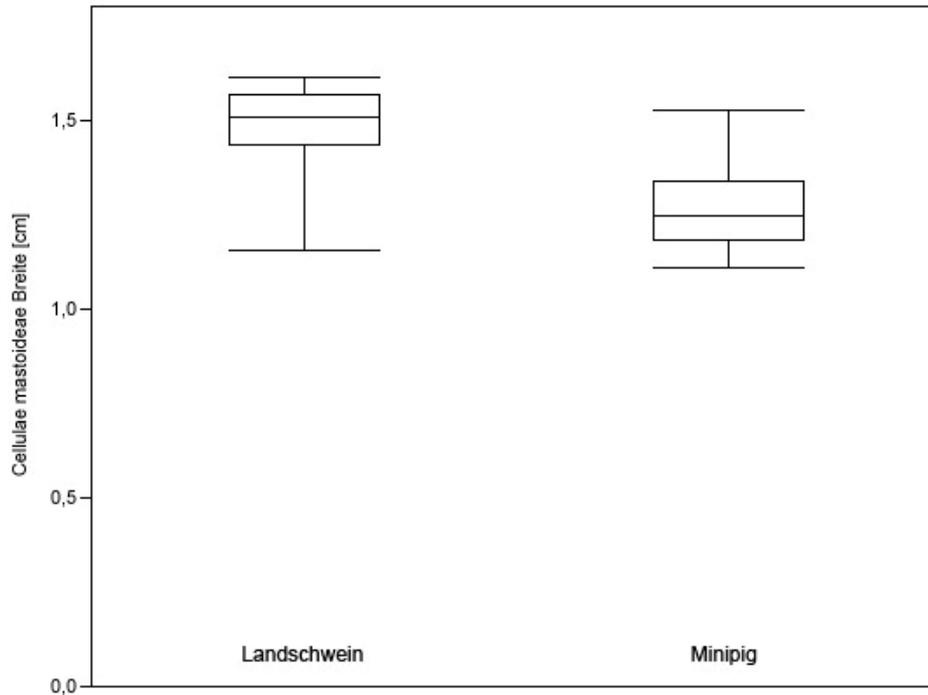


Abbildung 137: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite der Cellulae mastoideae in [cm].

Folgende Darstellung fasst die Ergebnisse tabellarisch zusammen.

Cellulae mastoideae Breite [cm]	Land Schwein	Göttinger Minipig
Maximum	1,61	1,53
75%-Quartil	1,56	1,34
Median	1,51	1,25
25%-Quartil	1,43	1,18
Minimum	1,15	1,11
Anzahl	20	10

Tabelle 48: Zusammenfassung der zur Breite der Cellulae mastoideae berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Auch die Länge der Cellulae mastoideae fällt insgesamt beim Land Schwein größer aus. Die maximale Länge der Cellulae mastoideae liegt bei 2,47 cm. Das Minimum beträgt 1,54 cm. Der Median liegt bei 1,97 cm. Die Länge der Cellulae mastoideae liegt bei 50% der Land Schweine zwischen 1,93 cm und 2,47 cm. Dagegen kann die maximale Länge der Cellulae mastoideae beim Göttinger Minipig mit 1,95 cm berechnet werden. Das Minimum beträgt 1,29 cm. Der Median liegt bei 1,55 cm. Bei 50% der Minipigs beträgt die Länge der Cellulae mastoideae zwischen 1,43 cm und 1,68 cm.

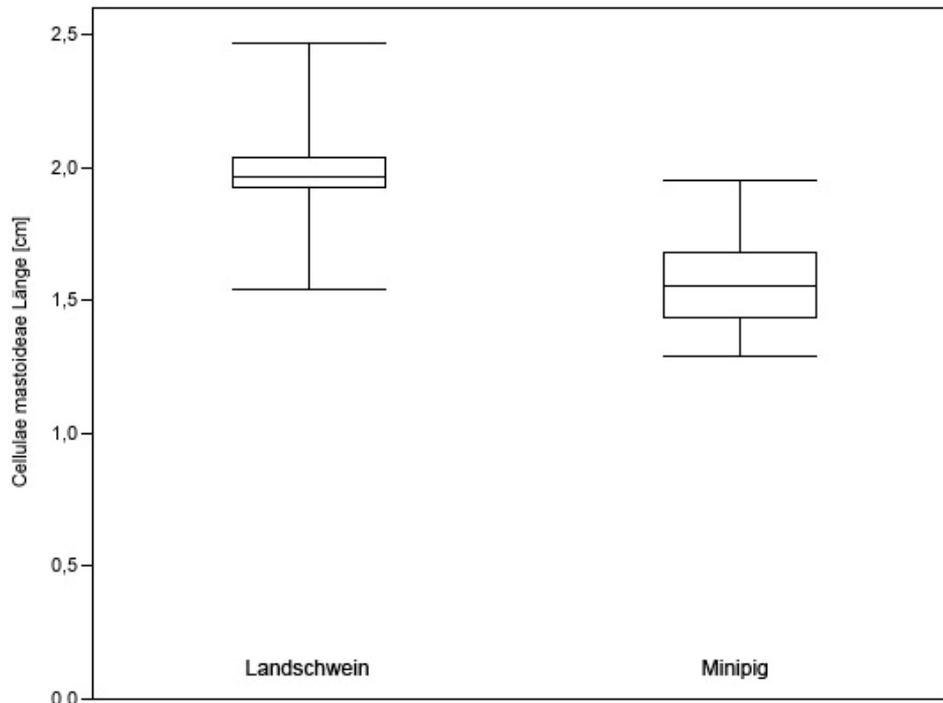


Abbildung 138: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge der Cellulae mastoideae in [cm].

Anschließende Tabelle fasst die erhobenen Daten zusammen

Cellulae mastoideae Länge [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	2,47	1,95
75%-Quartil	2,04	1,68
Median	1,97	1,55
25%-Quartil	1,93	1,43
Minimum	1,54	1,29
Anzahl	20	10

Tabelle 49: Zusammenfassung der zur Länge der Cellulae mastoideae berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Folgende Abbildung stellt die Gruppe der Landschweine im Vergleich zur Gruppe der Göttinger Minipigs beim Durchmesser der Cochlea dar. Es fällt ein im Vergleich zu den Minipig größerer Durchmesser der Cochlea bei den Landschweinen auf. Das Maximum des Durchmessers der Cochlea beträgt 0,64 cm. Das Minimum wurde mit 0,51 cm berechnet. Der Median liegt hier bei 0,57 cm. Der Cochlea Durchmesser lag bei 50% der Landschweine zwischen 0,54 cm und 0,6 cm. Im Vergleich dazu liegt das Maximum des Cochlea Durchmessers bei den Minipigs bei 0,49 cm. Das Minimum bei 0,36 cm. Der Median beträgt hier bei 0,44 cm. Der Cochlea Durchmesser beträgt bei 50% der Minipigs zwischen 0,36 cm und 0,48 cm.

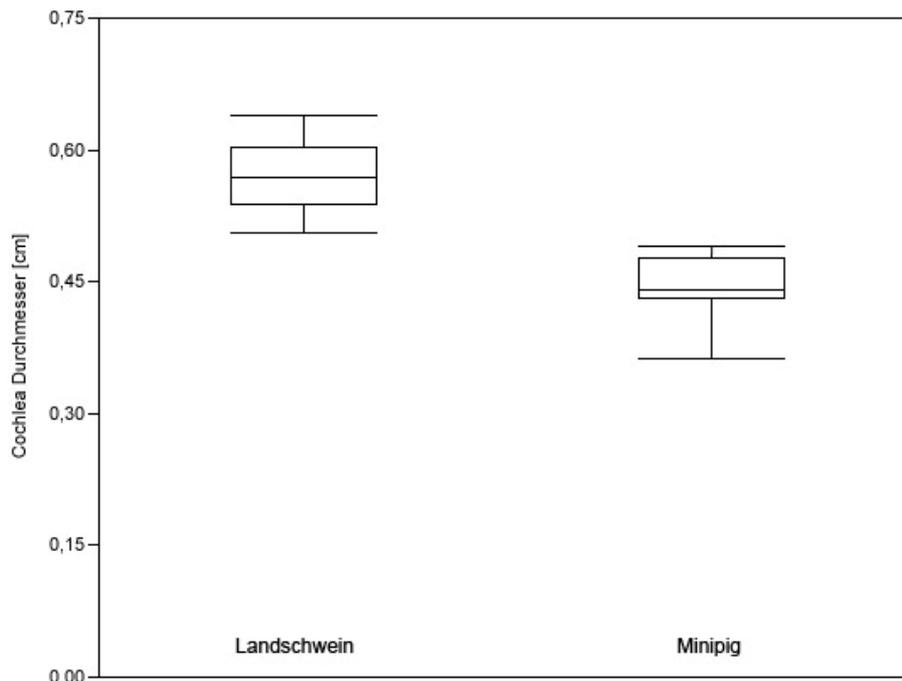


Abbildung 139: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Durchmesser der Cochlea in [cm].

Folgende Tabelle fasst Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil und Minimum des Durchmessers der Cochlea für das Landschwein und das Göttinger Minipig zusammen.

Cochlea Durchmesser [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,64	0,49
75%-Quartil	0,60	0,48
Median	0,57	0,44
25%-Quartil	0,54	0,43
Minimum	0,51	0,36
Anzahl	20	10

Tabelle 50: Zusammenfassung der zum Durchmesser der Cochlea berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Folgende Abbildung veranschaulicht den Vergleich der Felsenbeinlänge zwischen den beiden Schweinerassen. Bei der Felsenbeinlänge liegen das Maximum der Landschweine bei 2,3 cm und das Minimum bei 1,19 cm. Der Median liegt bei diesem erhobenen Parameter bei 1,91 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 2,09 cm, das 25%-Quartil bei 1,77 cm. Dagegen kann das Maximum der Minipigs mit 1,94 cm und das Minimum mit 1,47 cm berechnet werden. Der Median liegt bei diesem erhobenen Parameter bei 1,71 cm. Das 75%-Quartil liegt bei 1,84 cm, das 25%-Quartil bei 1,57 cm. Die meisten der Werte der Landschweine liegen auch bei diesem erhobenen Parameter oberhalb der Werte der Mini-

pigs. Ausnahme stellt das Minimum dar. In diesem Fall wird dies auf die sich in der Wachstumsphase befindlichen Tiere zurückgeführt.

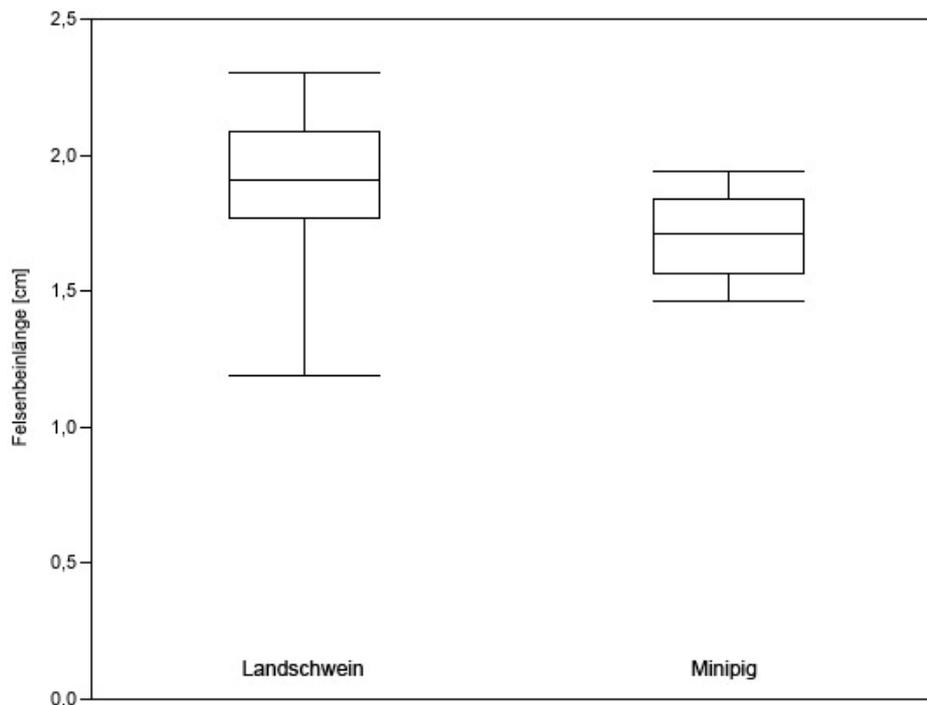


Abbildung 140: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Felsenbeinlänge in [cm].

Die folgende Darstellung fasst die berechneten Daten tabellarisch zusammen.

Felsenbeinlänge [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	2,30	1,94
75%-Quartil	2,09	1,84
Median	1,91	1,71
25%-Quartil	1,77	1,57
Minimum	1,19	1,47
Anzahl	20	10

Tabelle 51: Zusammenfassung der zur Felsenbeinlänge berechneten Werte am LS und MP in [cm].

Im Vergleich zwischen den beiden Schweinerassen fällt auf, dass die Kalottenbreite bei den Landschweinen insgesamt größer ausfällt. Das Maximum der Kalottenbreite beim Landschwein ergibt 0,78 cm. Das Minimum beträgt 0,31 cm. Der liegt Median bei 0,51 cm. Das 75%-Quartil beträgt 0,6 cm. Das 25%-Quartil beträgt 0,44 cm. Dagegen kann das Maximum beim Minipig mit 0,35 cm, das Minimum mit 0,2 cm berechnet werden. Der liegt Median bei 0,27 cm. Das 75%-Quartil beträgt 0,29 cm. Das 25%-Quartil beträgt 0,25 cm. Der größte Teil des Wertebereichs liegt unterhalb des Wertebereichs der Landschweine.

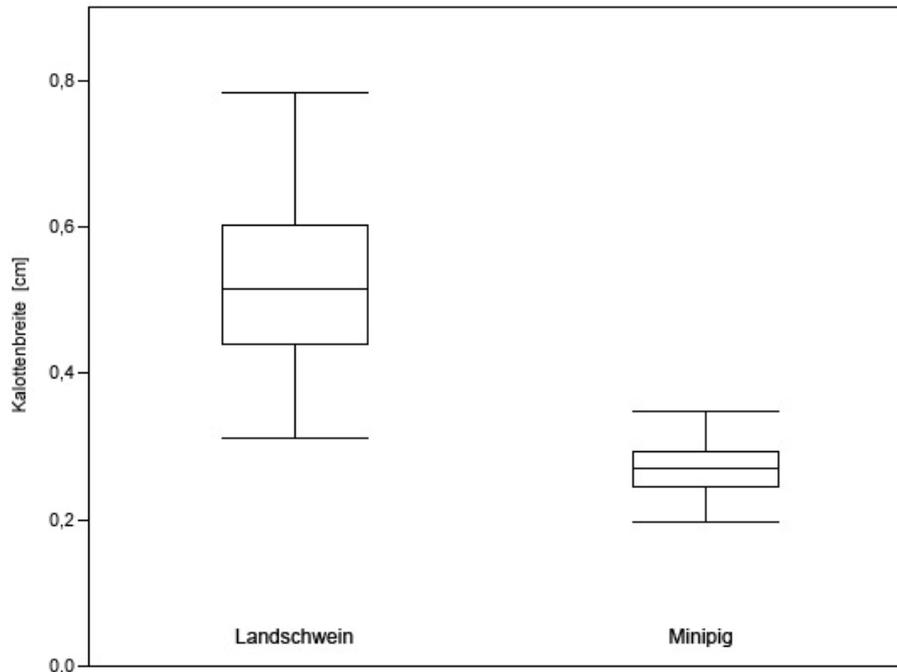


Abbildung 141: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Kalottenbreite in [cm].

In der anschließenden Tabelle sind Maximum, 75%-Quartil, Median, 25%-Quartil sowie Minimum und Anzahl der Tiere aufgelistet.

Kalottenbreite [cm]	Landschwein	Göttinger Minipig
Maximum	0,78	0,35
75%-Quartil	0,60	0,29
Median	0,51	0,27
25%-Quartil	0,44	0,25
Minimum	0,31	0,20
Anzahl	20	10

Tabelle 52: Zusammenfassung der zur Kalottenbreite berechneten Werte am LS und MP in [cm].

4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, die Anatomie des Felsenbeins des Landschweins und des Göttinger Minipigs mit Hilfe modernster CT-Technik darzustellen und morphometrisch zu beschreiben.

Dieses moderne bildgebende Verfahren wird in der humanmedizinischen Forschung und Diagnostik seit geraumer Zeit routinemäßig angewendet. In der Veterinärmedizin wird die Computertomographie bisher nur bedingt für Untersuchungen eingesetzt. Daher existieren nur wenige Studien über die knöchernen Strukturen des Schweineschädels.

4.1 Material und Methode

4.1.1 Tiermodell

Die in dieser Studie verwendeten Göttinger Minipigs (MP) und Landschweine (LS) wurden von einem regionalen Mastbetrieb bezogen. Im Vergleich zu anderen Tiermodellen dieser Größenordnung (Primaten), stellen die LS und MP eine ethisch und finanziell günstige Alternative dar [24]. Die Anatomie des Schädels, dessen Gefäßversorgung und Histologie sind mit der des Menschen vergleichbar [25]. Es existieren einige weitere Studien, die den Schädel des Schweins aufgrund seiner Ähnlichkeit zum Menschen als Großtiermodell nutzen [17, 19, 20]. Aus diesem Grund eignen sich MP und LS als Großtiermodell für die Ausführung dieser Arbeit. Die Schweineköpfe, mit denen die radiologischen Untersuchungen durchgeführt wurden, stammten aus anderen Studien. Der Erkenntnisgewinn aus dem jeweiligen Tier konnte dadurch weiter gesteigert werden und diese aufgrund der unbeeinträchtigten knöchernen Struktur ohne Probleme analysiert werden.

4.1.2 Computertomographie

Durch die hohe räumliche Auflösung eignet sich die Computertomographie ideal zur Darstellung feinsten anatomischer Strukturen. Besonders für Untersuchungen im Bereich des Felsenbeins ist die hochauflösende Computertomographie (HR-CT) ein gängiges Verfahren und anderen bildgebenden Verfahren überle-

gen [26]. Sie ist das Mittel der Wahl für die Abklärung von Erkrankungen des äußeren Gehörgangs, wie auch bei Fragestellungen zu entzündlichen und tumorösen Prozessen im Mittel- und Innenohr [27-32]. Die HR-CT ist ebenfalls eine ergänzende Voruntersuchung bei der Planung einer Cochleaimplantation [33-35].

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Körpergewichtsverteilung

Im Vergleich der Körpergewichtsverteilung der Tiere aus der Landschwein-Gruppe und der Göttinger Minipig-Gruppe besteht ein signifikanter Unterschied (LS-Gruppe: $50,03 \pm 15,21$ kg (MW, \pm Std.Abw.), MP-Gruppe: $21,10 \pm 2,00$ kg). Bereits Holtz und Kallweit [36] gingen in ihren Untersuchungen auf die Körpergewichtsentwicklung der Göttinger Minipigs ein. Sie verwiesen hierbei auf eine relativ starke Streuung dieses Merkmals. Diese Streuung unterliegt neben einer genetischen Fixierung (Inzuchtkoeffizient ca. 10%) auch Einflüssen bei der Haltung. Bogner und Grauvogel [37] fanden heraus, dass die Haltung in Gruppen zu einer Rangfolge führt und infolge dessen zu einer Konkurrenz am Futtertrog. Diese Konkurrenz könnte wiederum zu einer unterschiedlichen Mengenaufnahme an Futtermittel zwischen ranghohen und rangniedrigeren Tieren geführt haben [38]. Für die Landschwein-Gruppe zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit eine noch weitaus größere Streuung dieses Leistungsmerkmals. Hier zeigt sich, dass die Einteilung nach dem Alter mit einer großen Streuung des Körpergewichts einhergeht. Die Tiere der Landschwein-Gruppe beinhalteten des Weiteren zwei Schweine, die sich noch in der präadulten Phase befanden und ein dementsprechend geringeres Gewicht aufwiesen (12,00 kg).

4.2.2 Statistische Verteilung der vermessenen Merkmale

Die anatomisch-morphometrische Charakterisierung des Felsenbeins am Landschwein und Göttinger Minipig mittels CT wurde im Rahmen dieser Studie erstmals in einem grundlegenden, systematischen Umfang durchgeführt und spezifisch beschrieben. Die hier gewonnenen Resultate können als wertvolle Grundlage für weiterführende Studien und umfangreiche medizinisch-

technische Anwendungen im Bereich des Schädels dienen, zum Beispiel für die Erprobung neuer Methoden in der HNO-Chirurgie [19].

Die Betrachtung der statistischen Verteilung der vermessenen anatomischen Merkmale gibt einen guten Überblick über das analysierte Kollektiv dieser Studie. Es wird ersichtlich, in welchem Wertebereich sich die Messungen der jeweiligen Merkmale befinden. Bei der Auswahl der vermessenen Strukturen wurde auf den Nutzen der Daten als Grundlage für Schweine als Tiermodell Wert gelegt. So wurden lediglich die Merkmale vermessen, die sich schon in anderen Studien als sinnvoll erwiesen [11, 39]. Die Daten können für den Nutzen von Schweinen zum chirurgischen Training und in der experimentellen otologischen Chirurgie wertvoll sein [19]. Im Gegensatz zu den Erkenntnissen der Untersuchungen von Gurr et al. konnte bei der Betrachtung der hier untersuchten Felsenbeine stets ein pneumatisiertes Mastoid beschrieben werden.

Durch den Mangel an vergleichbaren Versuchsaufbauten sind die Diskussionsmöglichkeiten sehr limitiert. So berechneten Seibel et. al in ihrer Studie einen Durchmesser des Meatus acusticus internus von 0,53 cm am Menschen [40]. Verglichen mit der in unserer Studie entsprechenden MAI Länge von 0,39 cm am Landschwein und 0,24 cm am Göttinger Minipig kann eine Größendifferenz festgestellt werden. Bei den weiteren Strukturen, für die bereits Studien gibt, fällt Folgendes auf: Die Gesamtlänge des MAE liegt mit 3,03 cm (Median) beim Göttinger Minipig deutlich unter dem von Gurr et al. angegebenen durchschnittlichen Wert von 4,27 cm. Allerdings verwenden die Forscher um Gurr nicht die CT zur Bestimmung der Länge des MAE, sondern mikroskopisch ermittelte Werte [19]. Dies könnte eine Begründung für die beachtlichen Unterschiede sein. Bei der Erhebung unserer Daten wurde sich rein an knöchernen Landmarken orientiert. Dies hatte den Vorteil einer besseren Reproduzierbarkeit. Jedoch ist in Bezug auf den Nutzen des Schweins als Tiermodell zur Erprobung neuer Methoden in der HNO-Chirurgie eine mikroskopische und makroskopische Betrachtung ebenfalls sinnvoll. Es muss demnach erwähnt werden, dass sich die beiden Studien in ihrer Messmethodik zu stark unterscheiden, als dass ein adäquater Vergleich sinnvoll ist. Um Vergleiche zu anderen Modellen anzustellen, müsste sich in zukünftigen Untersuchungen an die jeweilige Methode angepasst, oder zum Beispiel zusätzlich zu den verwendeten Schweinerassen noch ein Kollektiv an menschlichen Schädeln nach dem glei-

chen Prinzip analysiert werden. Bei der Analyse der Schädellänge, Schädelbreite, MAE Gesamtlänge und der Felsenbeinlänge fallen die untersuchten präadulten Landschweine besonders auf. So entsprechen die berechneten Minima bei diesen Parameter $n=2$ Individuen (jeweils 12 kg). Bei den restlichen untersuchten Strukturen fällt das geringe Körpergewicht und die damit verbundene geringere Körpergröße nicht wesentlich ins Gewicht. Wie auch in der Korrelationsanalyse beschrieben, kann hier ein besonders enger Zusammenhang zwischen Gewicht und Schädellänge, -breite, MAE Gesamtlänge und Felsenbeinlänge festgestellt werden.

Die vorliegenden Daten können demnach unter Berücksichtigung und Bewertung der begrenzten Fallzahl in der Rassen- und Gewichtsverteilung Grundlage für ein Normalkollektiv bilden.

4.2.3 Zusammenhänge zwischen Körpergewicht und Messparameter

Bei der Analyse der Zusammenhänge zwischen dem Körpergewicht der Tiere und den jeweiligen Parametern zeigte sich in den meisten Fällen eine positive statistische Korrelation. Erwartungsgemäß nehmen die Werte der Parameter mit zunehmender Körpermasse [kg] zu. So kann ein starker positiver Zusammenhang zwischen der Schädellänge und dem Körpergewicht bei beiden Spezies gezeigt werden (LS $r=0,96$; MP $r=0,66$). Analog dazu verhält es sich mit allen anderen Zusammenhängen. Ausnahmen stellen die MAEa Breite und der MAE Innenwinkel beim Landschwein sowie die MAE Gesamtlänge, die MAI Breite, Paukenhöhlen Breite und der Cochlea Durchmesser beim Göttinger Minipig dar. Allerdings sind die r -Werte so gering im negativen Bereich, dass bei den erwähnten Ausnahmen kein statistisch signifikanter Zusammenhang vorliegt. Demnach können anhand unserer Untersuchungen problemlos Rückschlüsse vom Körpergewicht auf die Größe der Struktur gezogen werden, bzw. beim MAE auf dessen Winkel. Die gewichtigeren Individuen zeigen – insbesondere Landschweine, aber auch Göttinger Minipigs – längere gemessene Distanzen und größere Winkel. Dies kann von Nutzen bei der Auswahl des korrekten, für das Studiendesign notwendigen, Individuums sein.

Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen der MAE Gesamtlänge und dem Körpergewicht beim MP ist ersichtlich, dass auch bei schwankendem Gewicht die Werte kaum variieren ($r=0$). Dieser Messparameter ist demnach ge-

wichtsunabhängig. Hierzu analog verhält es sich mit allen schwach positiven bzw. negativen Zusammenhängen der Auswertung. Es handelt sich beim Landschwein um die MAEa Höhe und Breite, die MAEi Höhe und Breite, die MAI Höhe und die Paukenhöhlen Länge. Beim Göttinger Minipig sind es die Messparameter MAE Außen- und Innenwinkel, MAI (Höhe, Breite, Länge), Paukenhöhlen Höhe, Cellulae mastoideae Breite, Cochlea Durchmesser und Kalottenbreite. Hier kann demnach von keinem statistisch signifikanten Zusammenhang ausgegangen werden. Bei der Analyse der genannten anatomischen Strukturen der jeweiligen Schweinerasse ist eine Einbeziehung des Gewichts daher nicht angezeigt.

4.2.4 Zusammenhänge zwischen Schädelbasislänge und Messparameter

Bei der Analyse der Zusammenhänge zwischen der Schädelbasislänge und den jeweiligen Parametern ergibt sich insgesamt ein zu uneinheitliches Bild, als dass sich fundierte Schlüsse daraus ableiten lassen. Die untersuchten Landschweine zeigen im Bereich der Schädelbasislänge einige negative Korrelationen auf. Dabei handelt es sich um die MAEa Höhe und Breite, MAE Innenwinkel, MAI Höhe und die Paukenhöhle Höhe. Allerdings nimmt der berechnete r -Wert einen nur sehr kleinen negativen Wert an. Es liegt demnach kein statistisch signifikanter Zusammenhang vor. Statistisch stark positive Zusammenhänge können nicht festgestellt werden. Daher lässt sich schlussfolgern, dass die Schädelbasislänge zur Abschätzung der Größe der jeweiligen Merkmale am Landschwein nicht geeignet ist.

Bei den Göttinger Minipigs zeigt sich ein noch uneinheitlicheres Bild. Es wurden dieselben Korrelationsanalysen wie beim Landschwein durchgeführt. Bei mehr als 50% der berechneten Korrelationskoeffizienten beträgt $r \leq 0$. Demnach nehmen die Messparameter mit zunehmender Schädelbasislänge ab und die Strukturen werden zunehmend kleiner. Am Beispiel des MAI ist zu sehen, dass bei der Höhe und Breite ein negativer r berechnet werden kann (Höhe $r = -0,15$, Breite $r = -0,28$), jedoch bei der gemessenen MAI Länge eine stark positive Korrelation festgestellt werden kann ($r = 0,74$). Die Messungen wurden in analoger Weise zum Landschwein durchgeführt, die Ergebnisse variieren jedoch deutlich. Die Schädelbasislänge kann demnach nicht dazu dienen, Rückschlüsse auf die vermessenen Strukturen zu tätigen.

4.2.5 Vergleich zwischen Göttinger Minipig und Landschwein

In dieser Studie wurden die Ausprägungen der knöchernen Strukturen im Bereich des Felsenbeins zweier Rassen, dem Göttinger Minipig und dem gemeinen Landschwein untersucht und miteinander verglichen. Dabei konnten eindeutig rassenspezifische Unterschiede festgestellt werden. Ausgenommen hiervon sind die sich in der präadulten Phase befindlichen Landschweine (n=2, jeweils 12 kg). Wie in Abschnitt 4.2.2 beschrieben, erklären sich die Ausreißer der Schädellänge, -breite, MAE Gesamtlänge und Felsenbeinlänge durch diese Individuen. Parameter wie Schädellänge, Schädelbreite, MAEi (Höhe, Breite, Länge), MAE Gesamtlänge, MAI Breite und Länge, Paukenhöhle (Höhe, Breite, Länge), Cellulae mastoideae (Höhe, Breite, Länge), Cochlea Durchmesser und Kalottenbreite nahmen bei den Landschweinen größere Messwerte an als bei den Göttinger Minipigs. Die Dimensionen der gemessenen Werte nehmen abhängig vom Körpergewicht des Schweins zu. Dies war zu erwarten, da die Körpermasse der MP unterhalb der der LS liegt. Wir gehen demnach nicht von einem rassenspezifischen, sondern von einem gewichtsabhängigen Unterschied bei diesen Messparametern aus. Unabhängig von der Rasse sind die MAEa Höhe und Breite, MAE Außen- und Innenwinkel und die Felsenbeinlänge. Trotz erheblicher rassenspezifischer Gewichtsunterschiede fallen die Wertebereiche hier sehr ähnlich aus. Aufgrund unserer Ergebnisse können wir demnach keine Empfehlung für eine der beiden Rassen aussprechen.

5. Zusammenfassung

In Deutschland stellt das Schwein das am häufigsten in der biomedizinischen Forschung verwendete Großtiermodell dar. In der Forschung mit Versuchstieren hat das Schwein als Modellorganismus einen großen Stellenwert. Trotz der zunehmenden Verwendung von Schweinen als Tiermodell wurden bisher noch keine grundlegenden, systematischen, anatomischen und morphometrischen Charakterisierungen des Felsenbeins in diesem Umfang durchgeführt.

Die Computertomographie als Methode der Wahl zur Untersuchung feinsten knöcherner Strukturen ist unumstritten, daher wurde sich auch in dieser Arbeit dafür entschieden. Ziel der vorliegenden Arbeit war es in einem grundlagenorientierten, morphometrischen Ansatz die wichtigsten Strukturen und Merkmale des Felsenbeins zu charakterisieren und damit den Kenntnisstand über Schweine als Modellorganismus zu erweitern. Die Untersuchungen wurden postmortal an 20 Landschweinen mit einem Gewicht von $50,03 \pm 15,21$ kg (MW, \pm Std.Abw.) und 10 Göttinger Minipigs ($21,10 \pm 2,00$ kg) bilateral durchgeführt. Dabei wurden an beiden Schweinerassen dieselben Merkmale und Strukturen anhand von hochauflösenden cranialen CT-Aufnahmen erfasst. Mit Hilfe von entsprechender Software wurden die verschiedenen Distanzen der wichtigsten anatomischen Strukturen des Felsenbeins der einzelnen Individuen vermessen. Die statistische Auswertung ergab, dass mit zunehmender Körpermasse die Werte der gemessenen Parameter ebenfalls zunahm. Es wird demnach geschlossen, dass von dem Körpergewicht der Schweine auf die jeweilige anatomische Struktur geschlossen werden kann. Des Weiteren wurden die Messwerte bei der statistischen Analyse auf einen Zusammenhang mit der Schädelbasislänge untersucht. Die Resultate lassen keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Größe der untersuchten Merkmale zu. In einer weiteren Analyse wurden die beiden Schweinerassen und deren erfasste Wertebereiche in Hinblick auf die jeweiligen Merkmale verglichen. Erwartungsgemäß fallen die Messwerte bei den insgesamt leichteren und kleineren Göttinger Minipigs auch geringer aus. Der Unterschied ist somit nicht rassen- sondern gewichtsspezifisch. Hiermit wurde die anatomisch-morphometrische Charakterisierung des Felsenbeins beim Landschwein und Göttinger Minipig erstmals systematisch

durchgeführt

und

erfasst.

6. Anhang

6.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dichteskala in Houndsfieldeinheiten.	7
Tabelle 2: Anatomische Strukturen, Messparameter in [cm], Landmarken, Messpunkte und Schnittebenen.	14
Tabelle 3: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \geq 0$	21
Tabelle 4: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \leq 0$	21
Tabelle 5: Übersicht der berechneten Werte des Körpergewichts der untersuchten Landschweine und Göttinger Minipigs in [kg].	24
Tabelle 6: Übersicht der berechneten Werte der Schädellänge, Schädelbreite und Schädelbasislänge in [cm] am Schädel des Landschweins.....	26
Tabelle 7: Übersicht der berechneten Werte der Gesamtlänge, Höhe und Breite außen des MAE in [cm] am Schädel des Landschweins.....	27
Tabelle 8: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite des MAEi in [cm] am Schädel des Landschweins.	28
Tabelle 9: Übersicht der berechneten Werte des Außen- und Innenwinkels des MAE in Winkelgrad am Schädel des Landschweins.....	29
Tabelle 10: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm].	30
Tabelle 11: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm]......	31
Tabelle 12: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm].	32
Tabelle 13: Übersicht der berechneten Werte des Durchmessers der Cochlea, der Länge des Felsenbeins und der Kalottenbreite in [cm].	33
Tabelle 14: Übersicht der berechneten Werte der Schädellänge (n=8), Schädelbreite und Schädelbasislänge (n=10) in [cm] am Schädel des Göttinger Minipigs.	35
Tabelle 15: Übersicht der berechneten Werte der Gesamtlänge MAE, Höhe und Breite des MAEa in [cm]......	36
Tabelle 16: Übersicht der berechneten Werte der Gesamtlänge, Höhe und Breite des MAEi in [cm].	37
Tabelle 17: Übersicht der berechneten Werte des Außen- und Innenwinkels des MAE in Winkelgrad.....	38
Tabelle 18: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm].	39
Tabelle 19: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm]......	40

Tabelle 20: Übersicht der berechneten Werte der Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm].	41
Tabelle 21: Übersicht über die berechneten Werte des Durchmessers der Cochlea, der Felsenbeinlänge und der Kalottenbreite in [cm].	42
Tabelle 22: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \geq 0$.	44
Tabelle 23: Interpretation des Korrelationskoeffizienten $r \leq 0$.	44
Tabelle 24: Korrelation des Körpergewichts mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, (n=20).	45
Tabelle 25: Korrelation der Schädelbasislänge mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, (n=20).	58
Tabelle 26: Korrelation des Körpergewichts mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, (n=8).	70
Tabelle 27: Korrelation des Körpergewichts mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, (n=10).	71
Tabelle 28: Korrelation der Schädelbasislänge mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, (n=8).	84
Tabelle 29: Korrelation der Schädelbasislänge mit dem jeweiligen anatomischen Merkmal, Korrelationskoeffizienten r und statistischer Zusammenhang, (n=10).	85
Tabelle 30: Zusammenfassung der zur Schädellänge berechneten Werte am LS und MP in [cm].	98
Tabelle 31: Zusammenfassung der zur Schädelbreite berechneten Werte am LS und MP in [cm].	99
Tabelle 32: Zusammenfassung der zur Schädelbasislänge berechneten Werte am LS und MP in [cm].	100
Tabelle 33: Zusammenfassung der zur Höhe des MAEa berechneten Werte am LS und MP in [cm].	101
Tabelle 34: Zusammenfassung der zur Breite des MAEa berechneten Werte am LS und MP in [cm].	102
Tabelle 35: Zusammenfassung der zur Höhe des MAEi berechneten Werte am LS und MP in [cm].	103
Tabelle 36: Zusammenfassung der zur Länge des MAEi berechneten Werte am LS und MP in [cm].	104
Tabelle 37: Zusammenfassung der zur Breite des MAEi berechneten Werte am LS und MP in [cm].	105
Tabelle 38: Zusammenfassung der zur Gesamtlänge des MAE berechneten Werte am LS und MP in [cm].	106
Tabelle 39: Zusammenfassung der zum Außenwinkel des MAE berechneten Werte am LS und MP in Winkelgrad.	107

Tabelle 40: Zusammenfassung der zum Innenwinkel des MAE berechneten Werte am LS und MP in Winkelgrad.	108
Tabelle 41: Zusammenfassung der zur Höhe des MAI berechneten Werte am LS und MP in [cm].	109
Tabelle 42: Zusammenfassung der zur Breite des MAI berechneten Werte am LS und MP in [cm].	110
Tabelle 43: Zusammenfassung der zur Länge des MAI berechneten Werte am LS und MP in [cm].	111
Tabelle 44: Zusammenfassung der zur Höhe der Paukenhöhle berechneten Werte am LS und MP in [cm].	112
Tabelle 45: Zusammenfassung der zur Breite der Paukenhöhle berechneten Werte am LS und MP in [cm].	113
Tabelle 46: Zusammenfassung der zur Länge der Paukenhöhle berechneten Werte am LS und MP in [cm].	114
Tabelle 47: Zusammenfassung der zur Höhe der Cellulae mastoideae berechneten Werte am LS und MP in [cm].	115
Tabelle 48: Zusammenfassung der zur Breite der Cellulae mastoideae berechneten Werte am LS und MP in [cm].	116
Tabelle 49: Zusammenfassung der zur Länge der Cellulae mastoideae berechneten Werte am LS und MP in [cm].	117
Tabelle 50: Zusammenfassung der zum Durchmesser der Cochlea berechneten Werte am LS und MP in [cm].	118
Tabelle 51: Zusammenfassung der zur Felsenbeinlänge berechneten Werte am LS und MP in [cm].	119
Tabelle 52: Zusammenfassung der zur Kalottenbreite berechneten Werte am LS und MP in [cm].	120

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schweineschädel (von dorsal): (1) Porus acusticus externus, (2) Os frontale, (3) Crista nuchae, (4) Os temporale, (5) Os frontale, (6) Processus zygomaticus ossis frontalis, (7) Os lacrimale, (8) Os zygomaticus, (9) Foramen supraorbitale, (10) Os nasale, (11) Foramina lacrimalia, modifiziert nach [22]...	8
Abbildung 2: Sagittalschnitt des Schwineschädels: (1) Sinus frontalis, (2) Os nasale, (3) Os frontale, (4) Os parietale, (5) Foramen magnum, (6) Cavum cranii, (7) Porus acusticus internus, modifiziert nach [22].	9
Abbildung 3: MAEa, sagittale Schnittebene, (1) Messstrecke Höhe, (2) Messstrecke Breite.	15
Abbildung 4: MAEi, (A) axiale Schnittebene, (1) Messstrecke Länge, (2) Messstrecke Breite, (B) sagittale Schnittebene, (3) Messstrecke Höhe.	15
Abbildung 5: Coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Gesamtlänge MAE.	16
Abbildung 6: Coronare Schnittebene (A) Messpunkt Außenwinkel MAE, (B) Messpunkt Innenwinkel.	16
Abbildung 7: MAI, (A) axiale Schnittebene, (1) Messstrecke Breite, (2) Messstrecke Länge, (B) coronare Schnittebene, (3) Messstrecke Höhe.	17
Abbildung 8: Paukenhöhle, (A) coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Breite, (2) Messstrecke Höhe, (B) sagittale Schnittebene, (3) Messstrecke Länge.	18
Abbildung 9: Cellulae mastoideae, (A) coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Breite, (2) Messstrecke Höhe, (B) sagittale Schnittebene, (3) Messstrecke Länge.	18
Abbildung 10: Cochlea, coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Durchmesser Cochlea.	19
Abbildung 11: Coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Felsenbeinlänge, (2) Messstrecke Kalottenbreite.	19
Abbildung 12: (A) Sagittale Schnittebene, (1) Messstrecke Schädelhöhe, (B) Sagittale Schnittebene, (2) Messstrecke Schädelbasislänge.	20
Abbildung 13: Coronare Schnittebene, (1) Messstrecke Schädelbreite.	20
Abbildung 14: Verteilung des Körpergewichts in [kg] der untersuchten Landschweine (n=20) und Göttinger Minipigs (n=10) im Vergleich.	24
Abbildung 15: Schädelhöhe, Schädelbreite und Schädelbasislänge in [cm], (n=20).	25
Abbildung 16: Gesamtlänge, Höhe und Breite des MAEa in [cm], (n=20).	26
Abbildung 17: Höhe, Länge und Breite des MAEi in [cm], (n=20).	27
Abbildung 18: Außen- und Innenwinkel des MAE in Winkelgrad, (n=20).	28
Abbildung 19: Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm], (n=20).	29
Abbildung 20: Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm], (n=20).	30
Abbildung 21: Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).	31

Abbildung 22: Durchmesser der Cochlea, Länge des Felsenbeins und Kalottenbreite in [cm], (n=20).	32
Abbildung 23: Schädellänge (n=8), Schädelbreite und Schädelbasislänge in [cm], (n=10).	35
Abbildung 24: Gesamtlänge MAE, Höhe und Breite des MAEa am Schädel des Göttinger Minipigs [cm], (n=10).	36
Abbildung 25: Höhe, Länge und Breite des MAEi in [cm], (n=10).	37
Abbildung 26: Außen- und Innenwinkel des MAE in Winkelgrad, (n=10).	38
Abbildung 27: Höhe, Länge und Breite des MAI in [cm], (n=10).	39
Abbildung 28: Höhe, Länge und Breite der Paukenhöhle in [cm], (n=10).	40
Abbildung 29: Höhe, Länge und Breite der Cellulae mastoideae in [cm], (n=10).	41
Abbildung 30: Durchmesser der Cochlea, Felsenbeinlänge und Kalottenbreite in [cm], (n=10).	42
Abbildung 31: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=20).	46
Abbildung 32: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=20).	46
Abbildung 33: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=20).	47
Abbildung 34: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=20).	47
Abbildung 35: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=20).	48
Abbildung 36: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=20).	48
Abbildung 37: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=20).	49
Abbildung 38: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=20).	49
Abbildung 39: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=20).	50
Abbildung 40: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und dem erfassten MAE Innenwinkel in [°], (n=20).	50
Abbildung 41: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=20).	51
Abbildung 42: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=20).	51
Abbildung 43: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=20).	52
Abbildung 44: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Höhe der Paukenhöhle in [cm], (n=20).	52

Abbildung 45: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Breite der Paukenhöhle in [cm], (n=20).	53
Abbildung 46: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Länge der Paukenhöhle in [cm], (n=20).....	53
Abbildung 47: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Höhe der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).....	54
Abbildung 48: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Breite der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).....	54
Abbildung 49: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Länge der Cellulae mastoideae in [cm], (n=20).	55
Abbildung 50: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und des erfassten Durchmessers der Cochlea in [cm], (n=20).....	55
Abbildung 51: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=20).....	56
Abbildung 52: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht LS in [kg] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=20).....	56
Abbildung 53: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=20).....	59
Abbildung 54: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=20).....	59
Abbildung 55: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=20).	60
Abbildung 56: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=20).....	60
Abbildung 57: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=20).....	61
Abbildung 58: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=20).	61
Abbildung 59: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=20).....	62
Abbildung 60: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=20).....	62
Abbildung 61: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=20).	63
Abbildung 62: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und dem erfassten Innenwinkel in [°], (n=20).	63
Abbildung 63: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=20).....	64
Abbildung 64: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=20).	64
Abbildung 65: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=20).	65

Abbildung 66: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Höhe in [cm], (n=20).	65
Abbildung 67: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Breite in [cm], (n=20).	66
Abbildung 68: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Länge in [cm], (n=20).	66
Abbildung 69: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Höhe in [cm], (n=20).	67
Abbildung 70: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Breite in [cm], (n=20).	67
Abbildung 71: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Länge in [cm], (n=20).	68
Abbildung 72: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und des erfassten Cochlea Durchmessers in [cm], (n=20).	68
Abbildung 73: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=20).	69
Abbildung 74: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge LS in [cm] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=20).	69
Abbildung 75: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=8).	72
Abbildung 76: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=10).	72
Abbildung 77: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=10).	73
Abbildung 78: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=10).	73
Abbildung 79: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=10).	74
Abbildung 80: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=10).	74
Abbildung 81: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=10).	75
Abbildung 82: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=10).	75
Abbildung 83: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=10).	76
Abbildung 84: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und dem erfassten MAE Innenwinkel in [°], (n=10).	76
Abbildung 85: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=10).	77
Abbildung 86: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=10).	77

Abbildung 87: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=10).	78
Abbildung 88: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Paukenhöhlen Höhe in [cm], (n=10).	78
Abbildung 89: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Paukenhöhlen Breite in [cm], (n=10).....	79
Abbildung 90: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Paukenhöhlen Länge in [cm], (n=10).	79
Abbildung 91: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Cellulae mastoideae Höhe in [cm], (n=10).....	80
Abbildung 92: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Cellulae mastoideae Breite in [cm], (n=10).	81
Abbildung 93: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Cellulae mastoideae Länge in [cm], (n=10).	81
Abbildung 94: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und des erfassten Cochlea Durchmesser in [cm], (n=10).	82
Abbildung 95: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=10).....	82
Abbildung 96: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Körpergewicht MP in [kg] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=10).....	83
Abbildung 97: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Schädellänge in [cm], (n=8)	86
Abbildung 98: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Schädelbreite in [cm], (n=10).....	86
Abbildung 99: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEa Höhe in [cm], (n=10)	87
Abbildung 100: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEa Breite in [cm], (n=10).....	87
Abbildung 101: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEi Höhe in [cm], (n=10).....	88
Abbildung 102: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEi Länge in [cm], (n=10)	88
Abbildung 103: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAEi Breite in [cm], (n=10).....	89
Abbildung 104: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAE Gesamtlänge in [cm], (n=10).....	89
Abbildung 105: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und dem erfassten MAE Außenwinkel in [°], (n=10)	90
Abbildung 106: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und dem erfassten MAE Innenwinkel in [°], (n=10).....	90
Abbildung 107: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAI Höhe in [cm], (n=10).....	91

Abbildung 108: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAI Breite in [cm], (n=10)	91
Abbildung 109: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten MAI Länge in [cm], (n=10)	92
Abbildung 110: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Höhe in [cm], (n=10)	92
Abbildung 111: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Breite in [cm], (n=10)	93
Abbildung 112: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Paukenhöhlen Länge in [cm], (n=10)	93
Abbildung 113: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Höhe in [cm], (n=10)	94
Abbildung 114: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Breite in [cm], (n=10)	94
Abbildung 115: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Cellulae mastoideae Länge in [cm], (n=10)	95
Abbildung 116: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und des erfassten Cochlea Durchmessers in [cm], (n=10)	95
Abbildung 117: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Felsenbeinlänge in [cm], (n=10)	96
Abbildung 118: Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädelbasislänge MP in [cm] und der erfassten Kalottenbreite in [cm], (n=10)	96
Abbildung 119: Vergleich LS (n=20) und MP (n=8), Schädellänge [cm]	98
Abbildung 120: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Schädelbreite [cm].	99
Abbildung 121: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Schädelbasislänge [cm].	100
Abbildung 122: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe des MAEa [cm]. .	101
Abbildung 123: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite des MAEa [cm].	102
Abbildung 124: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe des MAEi [cm]. ..	103
Abbildung 125: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge des MAEi [cm]. .	104
Abbildung 126: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite des MAEi [cm]..	105
Abbildung 127: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Gesamtlänge des MAE [cm].	106
Abbildung 128: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Außenwinkel des MAE in Winkelgrad.	107
Abbildung 129: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Innenwinkel des MAE in Winkelgrad.	108
Abbildung 130: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe des MAI in [cm]..	109
Abbildung 131: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite des MAI in [cm].	110
Abbildung 132: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge des MAI in [cm].	111
Abbildung 133: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe der Paukenhöhle in [cm].	112

Abbildung 134: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite der Paukenhöhle in [cm].	113
Abbildung 135: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge der Paukenhöhle in [cm].	114
Abbildung 136: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Höhe der Cellulae mastoideae in [cm].	115
Abbildung 137: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Breite der Cellulae mastoideae in [cm].	116
Abbildung 138: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Länge der Cellulae mastoideae in [cm].	117
Abbildung 139: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Durchmesser der Cochlea in [cm].	118
Abbildung 140: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Felsenbeinlänge in [cm].	119
Abbildung 141: Vergleich LS (n=20) und MP (n=10), Kalottenbreite in [cm]. .	120

7. Literaturverzeichnis

1. Ketten, D.R., et al., *In vivo measures of cochlear length and insertion depth of nucleus cochlear implant electrode arrays*. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl, 1998. **175**: p. 1-16.
2. Wang, G., et al., *Spiral CT image deblurring for cochlear implantation*. IEEE Trans Med Imaging, 1998. **17**(2): p. 251-62.
3. Skinner, M.W., et al., *CT-derived estimation of cochlear morphology and electrode array position in relation to word recognition in Nucleus-22 recipients*. J Assoc Res Otolaryngol, 2002. **3**(3): p. 332-50.
4. Ali, Q.M., C. Ulrich, and H. Becker, *Three-dimensional CT of the middle ear and adjacent structures*. Neuroradiology, 1993. **35**(3): p. 238-41.
5. Reisser, C., et al., *Anatomy of the temporal bone: detailed three-dimensional display based on image data from high-resolution helical CT: a preliminary report*. Am J Otol, 1996. **17**(3): p. 473-9.
6. Park, K., et al., *3D micro-CT images of ossicles destroyed by middle ear cholesteatoma*. Acta Otolaryngol, 2004. **124**(4): p. 403-7.
7. Hammerschlag, S.B., S.M. Wolpert, and B.L. Carter, *Computed tomography of the skull base*. J Comput Assist Tomogr, 1977. **1**(1): p. 75-80.
8. Jun, B.C., et al., *Three-dimensional reconstruction based on images from spiral high-resolution computed tomography of the temporal bone: anatomy and clinical application*. J Laryngol Otol, 2005. **119**(9): p. 693-8.
9. Noble, J.H., et al., *Automatic identification and 3D rendering of temporal bone anatomy*. Otol Neurotol, 2009. **30**(4): p. 436-42.
10. Langman, A.W. and S.M. Quigley, *Accuracy of high-resolution computed tomography in cochlear implantation*. Otolaryngol Head Neck Surg, 1996. **114**(1): p. 38-43.
11. Wysocki, J., *Topographical anatomy of the guinea pig temporal bone*. Hear Res, 2005. **199**(1-2): p. 103-10.
12. Probst, A. and S. Kneissl, *Computed tomographic anatomy of the canine temporal bone*. Anat Histol Embryol, 2006. **35**(1): p. 19-22.
13. Eom, K., et al., *Virtual CT otoscopy of the middle ear and ossicles in dogs*. Vet Radiol Ultrasound, 2008. **49**(6): p. 545-50.
14. Lee, C.F., et al., *Registration of micro-computed tomography and histological images of the guinea pig cochlea to construct an ear model using an iterative closest point algorithm*. Ann Biomed Eng, 2010. **38**(5): p. 1719-27.
15. Poznyakovskiy, A.A., et al., *The creation of geometric three-dimensional models of the inner ear based on micro computer tomography data*. Hear Res, 2008. **243**(1-2): p. 95-104.
16. Anson, B.J., *Critical distances in the middle and inner ear and in the posterior cranial fossa*. Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol, 1972. **76**(1): p. 108-29.
17. Schwager, K. and J.M. Gilyoma, *[Ceramic model for temporal bone exercises - an alternative for human temporal bones?]*. Laryngorhinootologie, 2003. **82**(10): p. 683-6.
18. George, A.P. and R. De, *Review of temporal bone dissection teaching: how it was, is and will be*. J Laryngol Otol, 2010. **124**(2): p. 119-25.
19. Gurr, A., et al., *The common pig: a possible model for teaching ear surgery*. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2010. **267**(2): p. 213-7.

20. Gurr, A., et al., [*The temporal bone of lamb and pig as an alternative in ENT-education*]. *Laryngorhinootologie*, 2010. **89**(1): p. 17-24.
21. Loeffler, K., *Anatomie und Physiologie der Haustiere*. 2002. 456.
22. Popesko, P., *Atlas der topographischen Anatomie der Haustiere*. Stuttgart: Enke.
23. van Eerdenburg, F.J. and J.A. Dierx, *A new technique for long term, stress free, cannulation of the lateral ventricle in postpubertal, freely moving, pigs*. *J Neurosci Methods*, 2002. **121**(1): p. 13-20.
24. Lind, N.M., et al., *The use of pigs in neuroscience: modeling brain disorders*. *Neurosci Biobehav Rev*, 2007. **31**(5): p. 728-51.
25. Sauleau, P., et al., *The pig model in brain imaging and neurosurgery*. *Animal*, 2009. **3**(8): p. 1138-51.
26. Astinet, F., et al., [*High-resolution computerized tomography of the petrous bone with two-dimensional and three-dimensional reconstruction*]. *Rofo*, 1990. **153**(1): p. 14-21.
27. O. Köster, H.J.S.-P., *Die hochauflösende Computertomographie in der Abklärung knochendestruierender Prozesse des äußeren Ohres*. *Fortschr Röntgenstr*, 1986. **145**(12): p. 651-656.
28. O. Köster, K., H. Scholaut, H.-J. Straehler-Pohl, *Hochauflösende Computertomographie bei Erkrankungen des Innenohres*. *Fortschr Röntgenstr*. **152**(6): p. 644-648.
29. O. Köster, R.B., K. Lackner, U. Koch, *Die hochauflösende Computertomographie des Mittel- und Innenohrs*. *Laryngo-Rhino-Otol*, 1984. **63**(10): p. 488-493.
30. Virapongse, C., et al., *The role of high resolution computed tomography in evaluating disease of the middle ear*. *J Comput Assist Tomogr*, 1982. **6**(4): p. 711-20.
31. Virapongse, C., et al., *High-resolution computed tomography of the temporal bone: its role in the evaluation of middle ear disease*. *Am J Otolaryngol*, 1983. **4**(2): p. 107-12.
32. Silver, A.J., et al., *Complicated cholesteatomas: CT findings in inner ear complications of middle ear cholesteatomas*. *Radiology*, 1987. **164**(1): p. 47-51.
33. Harnsberger, H.R., et al., *Cochlear implant candidates: assessment with CT and MR imaging*. *Radiology*, 1987. **164**(1): p. 53-7.
34. Laszig, R., et al., *Magnetic resonance imaging (MRI) and high resolution computertomography (HRCT) in cochlear implant candidates*. *Scand Audiol Suppl*, 1988. **30**: p. 197-200.
35. Jackler, R.K., et al., *Cochlear patency problems in cochlear implantation*. *Laryngoscope*, 1987. **97**(7 Pt 1): p. 801-5.
36. Holtz, W.K.E., *Körperbau und -entwicklung*. Das Göttinger Miniaturschwein, 1981.
37. Bogner, H.G., A., *Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere*. 1984.
38. Fraser, A.F., *Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere*. 1. Aufl. ed. 1978, Stuttgart: Ulmer. 133 S.
39. Goksu, N., et al., *Anatomy of the guinea pig temporal bone*. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1992. **101**(8): p. 699-704.
40. Seibel, V.A., L. Lavinsky, and K. Irion, *CT-Scan sheep and human inner ear morphometric comparison*. *Braz J Otorhinolaryngol*, 2006. **72**(3): p. 370-6.

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. M.H. Morgalla und Dr. K. Kroppe für ihre engagierte Betreuung dieser Arbeit. Selbst neben dem klinischen Alltag standen sie mir stets zeitnah zur Seite und hatten damit unmittelbaren Anteil am erfolgreichen Gelingen dieses Projektes.

Des Weiteren möchte ich mich bei Dr. M. Schenk und seinen Mitarbeitern aus dem Institut für experimentelle Chirurgie für ihre Unterstützung bedanken. Beim Team der Neuroradiologie Tübingen möchte ich mich ebenfalls für ihre freundliche Unterstützung bei der Erstellung der CT-Aufnahmen bedanken.

Weiterhin danke ich meiner Familie, insbesondere meinem Vater für das Ermöglichen meines Studiums sowie meiner Mutter für die stetige Unterstützung.