

Vergleichende anatomische Untersuchungen
der Orbita des Schweineschädels mittels cranialer
Computertomographie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

Rauschenberger, Ines Belinda

2015

Dekan:

Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter:

Professor Dr. M. Morgalla

2. Berichterstatter:

Professor Dr. C. A. Pfannenber

INHALTSVERZEICHNIS

I EINLEITUNG

I.1 Anatomie des Schweineschädels und des Cavum cranii	1
I.2 Die Computertomographie (CT)	4
I.3 Die Rolle der CCT von Schweinen in der Forschung	6
I.3.1 Rekonstruktion der Orbita nach Destruktion	6
I.3.2 Das Retinaimplantat	7
I.3.3 Zielsetzung	9

II MATERIAL UND METHODEN

II.1 Beschaffung der Schweineschädel.....	11
II.2 Präparation der Schweineschädel	11
II.3 Untersuchung der Schweineschädel	13
II.4 Ausmessung der anatomischen Strukturen	14
II.5 Auswertung der Ergebnisse	21
II.5.1 Statistische Auswertung und graphischer Vergleich	21
II.5.2 Box-and-Whiskers-Plots	21
II.5.3 XY-Plots	22

III. ERGEBNISSE

III.1 Klinische Parameter der untersuchten Schweine.....	23
III.2 Graphische Darstellung der gemessenen Werte mittels Box-and-Whiskers-Plots	23
III.3 Korrelation zwischen Parametern und Gewicht	49
III.4 Graphische Darstellung der gemessenen Werte mittels XY-Plots.....	54

IV DISKUSSION

V ZUSAMMENFASSUNG

VI ANHANG

VI.1 Abkürzungsverzeichnis	A
VI.2 Literaturverzeichnis	A
VI.3 Abbildungsverzeichnis	D
VI.4 Tabellenverzeichnis	J
VI.5 Danksagung	M

I EINLEITUNG

I.1 Anatomie des Schweineschädels und des Cavum cranii

Der Schweineschädel wird in Gesichts- (Facies) und Hirnschädel (Cranium) gegliedert. Der Gesichtsschädel ist beim Schwein flächenmäßig wesentlich stärker ausgeprägt als der Hirnschädel (Loeffler *L.*, 2002). Beim adulten Schwein sind die Sinus frontales vollständig ausgebildet und pneumatisieren das Schädeldach völlig (van Eerdenburg *et al.*, 2002). Die Bildung der luftgefüllten Räume beginnt mit Einsetzen der Pubertät im fünften bis sechsten Monat (Lind *et al.*, 2007).

Die Orbita wird von verschiedenen Schädelknochen gebildet und bildet den knöchernen Schutz für das Auge. An ihrem Aufbau sind

- Os frontale (Stirnbein)
- Os lacrimalis (Tränenbein)
- Os sphenoidale (Keilbein)
- Os zygomaticum (Jochbein)
- Os ethmoidale (Siebbein)
- Os palatinum (Gaumenbein)
- Maxilla (Oberkiefer)

beteiligt (Rhoton *et al.*, 2002). Anders als beim Menschen ist jedoch der knöcherne Augenhöhlenrand beim Schwein nicht vollständig geschlossen, es besteht eine Lücke zwischen Os frontale und Os zygomaticum. Diese Lücke wird durch das Ligamentum orbitale geschlossen (Loeffler *et al.*, 2002).

Die Orbita enthält neuronale, muskuläre, vaskuläre und knöcherne Strukturen. Letztere werden von verschiedenen Anteilen mehrerer Schädelknochen gebildet und formen den knöchernen Schutz für das Auge. Der Bulbus oculi ist von einer Muskelgruppe

umschlossen und in Fettgewebe eingebettet, seine Bewegung wird durch Ligamente begrenzt.

Die Orbita hat durch das Foramen infraorbitale eine Verbindung mit der Fossa pterygopalatina und der Fossa infratemporalis und posterior mit der vorderen und mittleren Schädelgrube über die Fissura orbitalis superior. Der Sehnerv verläuft, begleitet von der zugehörigen Arterie, durch den Optikuskanal zum Gehirn.

Da es eine Vielzahl von Zu- und Abgängen von Nerven und Gefäßen zur Orbita gibt, kann sich die Suche nach dem optimalen Operationszugang sehr komplex gestalten (Rhoton *et al.*, 2002). Es wird daher je nach Indikation und Lokalisation des Operationsgebietes ein extra- oder ein transkranieller Zugang gewählt. Beispiele für extrakranielle Zugänge sind die laterale Orbitomie oder der transethmoidale, transkonjunktivale sowie der trans- und supraorbitale Weg. Transkraniell ist die Orbita subfrontal, frontolateral oder pterional, pterional-extradural sowie pterional-kontralateral zu erreichen (Moskopp *et al.*, 2005).

Es müssen also auf engstem Raum knochenchirurgische Techniken mit mikrochirurgischen Operationsverfahren kombiniert werden (Mohr *et al.*, 2012).

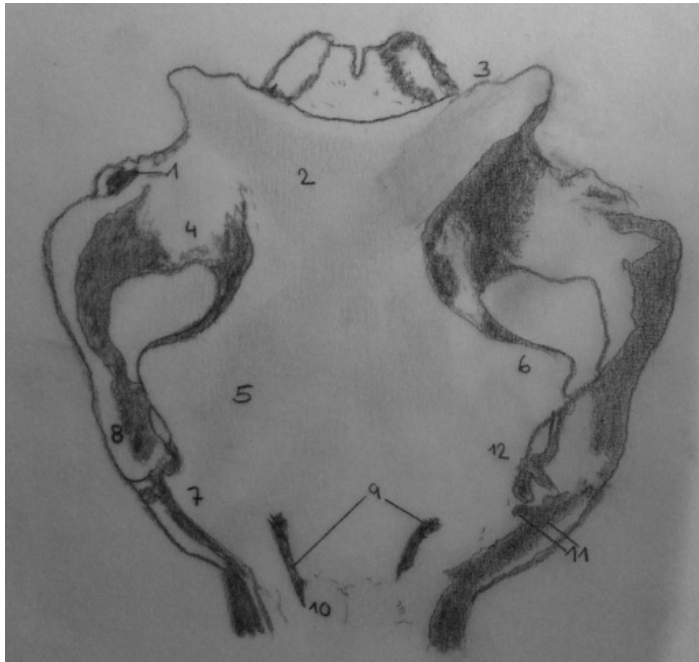


Abb. 1: Schweineschädel (von dorsal): (1) Porus acusticus externus, (2) Os frontale, (3) Crista nuchae, (4) Os temporale, (5) Os frontale, (6) Processus zygomaticus ossis frontalis, (7) Os lacrimale, (8) Os zygomaticus, (9) Foramen supraorbitale, (10) Os nasale, (11) Foramina lacrimalia, modifiziert nach Popesko (2007).

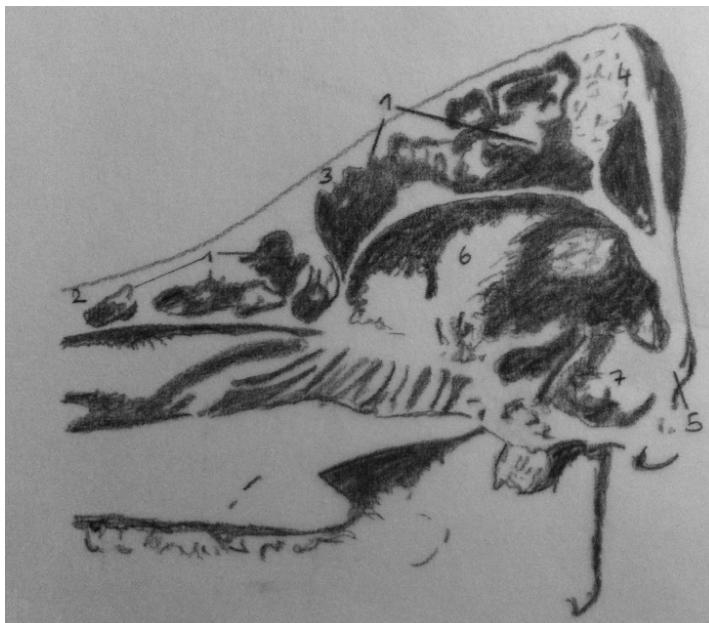


Abb. 2: Sagittalschnitt des Schweineschädels: (1) Sinus frontalis, (2) Os nasale, (3) Os frontale, (4) Os parietale, (5) Foramen magnum, (6) Cavum cranii, (7) Porus acusticus internus, modifiziert nach Popesko (2007).

I.2 Die Computertomographie (CT)

Die Computertomographie (CT) ist ein röntgenologisches Schnittbildverfahren, mit dem sich Schichtbilder in allen Raumrichtungen rekonstruieren lassen. Die Datenakquisition kann über eine sequentielle Multischicht- oder eine Spiral-CT stattfinden. Letztere wird in einer spiralförmigen Bahn um den Körper bewegt und ermöglicht so beim verwendeten Gerät die Rekonstruktion bis zu einer Schichtdicke von minimal 0,8 mm und in variablem Abstand zueinander. So können Strukturen im Gegensatz zu einer Projektionsaufnahme wie zum Beispiel dem konventionellen Röntgenthorax, zwei- und auch dreidimensional dargestellt werden. Die Messung der Röntgendichte erlaubt eine differenzierte Darstellung verschiedener Gewebe. Zu den entscheidenden Vorteilen der CT gegenüber konventionellen Röntgenaufnahmen gehört die Möglichkeit einer besseren topographischen Zuordnung aufgrund der fehlenden Überlagerung.

Der Computertomograph besteht aus dem Patientenlagerungstisch, einem Bedienpult, dem Hauptrechner und der Gantry. In ihr befinden sich ein Hochspannungsgenerator, eine Röntgenröhre, ein Blendensystem, die Kühlung und ein Detektorsystem, in dem die Intensitätsunterschiede der Röntgenstrahlung gemessen und in elektrische Signale umgewandelt werden. Geräte der neuesten Generation haben zwei solch Detektorsysteme.

Das Verfahren wurde Ende der 1960er Jahre von Godfrey Hounsfield und Allan McLeod Cormack entwickelt. Die Röntgenröhre bewegte sich bei den ersten verwendeten Computertomographen in zwei getrennten Einzelbewegungen. Heutige Geräte besitzen bis zu 2 x 128 Zeilen, was zu einer hohen Volumenabdeckung pro Rotation führt und somit äußerst schnelle Scans mit 485 mm pro Sekunde ermöglicht (Siemens AG, 2013).

Nach der Akquisition der Rohdaten erfolgt die Rekonstruktion durch die Bearbeitung und Logarithmierung der Dichteunterschiede, die von den Detektoren gemessen werden. Durch Mittelung mehrerer Schichten nach der 3D-Fourier-Analyse wird das Bildrauschen vermindert, die Überlagerung dieser Werte ergibt das Schichtbild.

Jedes Bildelement (Pixel) stellt ein Volumenelement (Voxel) dar, es gilt:

$$\text{Pixel} \times \text{Schichtdicke} = \text{Voxel}$$

Die Abschwächung der Röntgenstrahlung, beziehungsweise das Ausmaß der Absorption ist abhängig von der Zusammensetzung des Gewebes im Voxel. Ein Maß für die relative Abschwächung ist die Hounsfield-Einheit (HE). Sie wird durch folgende Formel berechnet:

$$\text{HE} = [(\mu(\text{Objekt}) - \mu(\text{Wasser})) / \mu(\text{Wasser})] \times 1000$$

Mit den Bezugsgrößen für Wasser (0 HE) und Luft (-1000 HE) ist es möglich die relativen Schwächungskoeffizienten der Gewebe auf einer Dichteskala, der Hounsfield-Skala anzuordnen.

Beispiele für einige HE-Werte:

Organ bzw. Substanz	Dichtewert in HE
Knochen: Kompakta	300 – 1000
Knochen: Spongiosa	100 – 300
Geronnenes Blut	70 – 90
Fließendes Blut	50 – 60
Milz	40 – 60
Leber	55 – 60
Muskulatur	40 – 50
Graue Hirnsubstanz	35 – 45
Weißer Hirnsubstanz	20 – 35
Nebenniere	5 – 20
Exsudat (Eiweiß > 3 g/dl)	20 – 30
Transsudat	10 – 20
Liquor	7
Zysteninhalt	5 – 10
Fettgewebe	(-70) – (-60)
Lunge	(-400) – (-175)

Tabelle 1: Beispiele von Dichtewerten verschiedener Gewebe (Kauffmann et al., 2005)

Die Dichtewerte werden als Graustufen dargestellt.

Als hyperdens werden Strukturen bezeichnet, wenn sie dichter als die jeweilige Bezugsgröße sind und im CT-Bild somit heller erscheinen; als hypodens, wenn sie weniger dicht als die jeweilige Bezugsgröße sind. Im CT werden diese als „dunkle“ Strukturen dargestellt. Strukturen sind isodens, wenn ihre Graustufen bei einem Gewebe oder einer pathologischen Veränderung mit einer Bezugsgröße übereinstimmen (Kauffmann *et al.*, 2005).

Ein entscheidender Nachteil der Computertomographie liegt in der in Abhängigkeit der jeweiligen Untersuchung relativ hohen Strahlenbelastung für den zu Untersuchenden. Die Indikation muss daher streng gestellt und die Parameter sorgfältig gewählt werden (Reiser *et al.*, 2006; Laubenberger *et al.*, 1999).

I.3 Die Rolle der CCT von Schweinen in der Forschung

I.3.1 Rekonstruktion der Orbita nach Destruktion

Die Orbita, die knöcherne Schutzhöhle des Auges, kann durch unterschiedliche Mechanismen verletzt werden. Ziel ist es, diese Läsionen möglichst kurativ zu behandeln und die verletzte Struktur gegebenenfalls operativ wieder herzustellen. Voraussetzung hierfür ist in vielen Fällen eine genaue vorherige Diagnose, zum Beispiel aufgrund einer CT, die eine Beurteilung des Ausmaßes der Beschädigung, des optimalen Operationszeitpunktes, des günstigsten Zugangsweges und geeigneter Rekonstruktionsmittel ermöglicht (Chen *et al.*, 2010).

Heute zählt die CT zu den Routineuntersuchungen bei Orbitatraumata. Es lassen sich insbesondere Frakturen, Fremdkörper, Einklemmungen intraokulärer Muskeln, Emphyseme und Blut darstellen (Kanski *et al.*, 2004); 3D-Rekonstruktionen ermöglichen die Übersicht komplexer Verletzungsmuster (Freyschmid *et al.*, 2002). Zudem besteht die Möglichkeit, eine computerbasierte orbitale Volumenmessung nach Orbitafraktur durchzuführen.

Ye et al. entwickeln eine Methode, mit deren Hilfe sich die Wahrscheinlichkeit eines sich später ausbildenden Enophthalmus berechnen und die Veränderung des Orbitalvolumens vor und nach der Operation feststellen lässt (Ye et al., 2006).

Die Vermessung des Schweineschädels, insbesondere der Orbita, per CT- oder MRT-Scan fand in den vergangenen Jahren in verschiedensten Forschungsprojekten Anwendung. Ein Schwerpunkt liegt hierbei in der Entwicklung von Orbitaboden- oder wandimplantaten, die zur Rekonstruktion der Orbitahöhle nach einem Trauma eingebracht werden können. Im Folgenden sind einige Studien aufgeführt, die sich mit Verfahren zur Wiederherstellung des Orbitabodens beschäftigen.

Grundlage für eine genaue Rekonstruktion ist die exakte Vermessung des betroffenen Gebietes, um so die optimale Anpassung des Implantats und damit das bestmögliche Ergebnis erzielen zu können. Aufgrund dieser Daten kann man dann ein durch Bone-Tissue-Engineering (BTE) genau angepasstes Gerüst herstellen (Hollister et al., 2000; Petrovic et al., 2007). Dies kann an einem Stück beispielsweise aus Keramik (Neumann et al., 2006) erfolgen, oder aber es wird ein Gerüst zum Beispiel aus Polycaprolacton hergestellt, welches mit autologen Knochenmarkzellen (Jones et al., 2004; Rohner et al., 2002 und 2003) oder dermalen Kollagenzellen (Avery et al., 2005) durchsetzt wird und eine Neubildung des Knochens ermöglicht. Nach Implantation eines Orbitabodens können die Anpassungsform, vor allem aber der Mineralisierungsgrad des eingesetzten Ersatzstückes per CT und MRT beurteilt werden (Neumann et al., 2006). Als Maß für den Grad der Mineralisierung wird er per Mikro-CT in DMB (degree of mineralization of bone) eingeteilt (Willems et al., 2010).

I.3.2 Das Retinaimplantat

Ein relativ neuer Zweig in der Orbitaforschung ist die Entwicklung von Retina-Implantaten bei degenerativen Retinaerkrankungen wie zum Beispiel Retinitis Pigmentosa oder Makuladegeneration. Hierdurch Erblindeten soll so ein Teil ihrer Sehkraft zurückgegeben werden.

Dafür werden Mikrochips in den Subretinalraum eingebracht, die der zugehörigen Gehirnregion einfallende Seheindrücke vermitteln (Stingl *et al.*, 2010). Ein Implantat ermöglicht es Erblindeten, Objekte zu erkennen oder Buchstaben zu lesen (Wrobel *et al.*, 2010). Probanden in Studien von Gekeler *et al.* (2007), Zrenner *et al.* (2009), Stingl *et al.* (2010) und Harscher *et al.* (2010) waren nach Implantation eines Retina-Implantats in der Lage, verschiedene Graustufen auf schwarzem Hintergrund zu differenzieren, Linienverläufe als vertikal oder horizontal zu erkennen, die Bewegungen von Lichtpunkten nachzuvollziehen und helle Buchstaben auf dunkler Unterlage zu lesen (Gekeler *et al.*, 2007; Zrenner *et al.*, 2009; Stingl *et al.*, 2010; Harscher *et al.*, 2010).

Das Implantat besteht aus

- a) einem subretinalen Anteil, dem Mikrochip als solchem
- b) einem okularen Fixationsteil
- c) einem subdermal gelegenen Silikonkabel, an dessen Ende sich
- d) ein austretender Anschluss befindet, über den die für die Signalverstärkung nötige Energie zugeführt werden kann. Hierüber können außerdem Kontrollsignale gesendet werden.
- e) Zusätzlich eine Stahlklammer, die das Kabel im Retroaurikularbereich am Schädel befestigt .

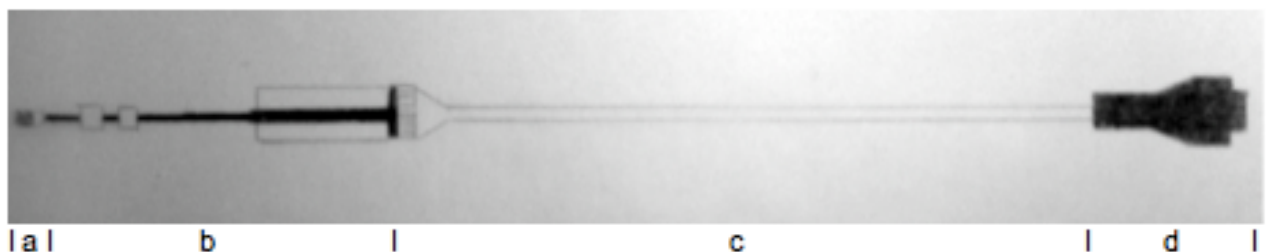


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Retinaimplantats, modifiziert nach Besch *et al.* (2008)

Das Implantat passt sich zunächst von der Makularegion ausgehend dem Verlauf des Augapfels an, an dem es episkleral fixiert wird. Danach verläuft es durch die Orbitahöhle und schließlich um den lateralen Orbitalrand. Hier befindet sich der Übergang zum Silikonkabel durch ein Verbindungs-Pad in der Fossa temporalis. Das Kabel verläuft subdermal bis hin zur Retroaurikularregion, wo es von der Stahlklammer fixiert in Form des Anschlusses aus der Haut austritt (Gekeler *et al.*, 2010).

I.3.3 Zielsetzung

Um die optimale Behandlungsmöglichkeit für eine traumabedingte Destruktion der Orbitastruktur herausfinden zu können, sei es durch das Einsetzen vorbereiteter Netze (Jones *et al.*, 2004; Rohner *et al.*, 2002 und 2003), autologer Knochenmarkszellen (Gunarajah *et al.*, 2013) oder neuartiger, noch nicht veröffentlichter Methoden, bedarf es intensiver Forschung auf dem Gebiet der rekonstruktiven Orbitachirurgie. Als Versuchstiere eignen sich hierfür insbesondere Schweine aufgrund der Ähnlichkeit ihrer Anatomie zu der des Menschen, der hohen Verfügbarkeit und der vergleichsweise kostenwirksamen Haltung (Suner *et al.*, 2000).

Während für die Ausführung der Orbitawand- und bodenrekonstruktionen mit exakter Anpassung, sowie für das korrekte Einsetzen eines Retinaimplantats die Kenntnis der individuellen Anatomie der Orbita Voraussetzung ist, so sind für die Entwicklung neuer Verfahrenstechniken Informationen wünschenswert, die an einem möglichst großen Kollektiv von Versuchstieren gewonnen wurden und damit eine möglichst große statistische Aussagekraft besitzen.

Diese Beispiele illustrieren, wie wichtig die genaue Kenntnis der individuellen anatomischen Verhältnisse ist, um operative Eingriffe an orbitalen Strukturen vorzunehmen. Es gibt jedoch kaum Studien, in welchen Daten in einem großen Kollektiv erhoben wurden. Ein Beispiel ist die Studie von Witmer *et al.* (2007). Hier wurden dreidimensionale Darstellungen von Schweineschädeln veröffentlicht. Da das Bildmaterial allerdings ausschließlich Demonstrationszwecken dient, wurde hier auf Ausmessungen oder Größenangaben verzichtet.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen die anatomischen Verhältnisse und Besonderheiten der Orbita am Schwein gezeigt werden. Insbesondere werden Messdaten erhoben, um eine Basis für weiterführende tierexperimentelle Untersuchungen zu schaffen, die in zukünftigen Arbeiten verwendet werden können.

II MATERIAL UND METHODEN

II.1 Beschaffung der Schweineschädel

Es wurden Schweineschädel von Minipigs und Landschweinen untersucht. Die Schädel stammen von Tieren, die nach Abschluss von Experimenten verschiedener anderer Disziplinen vorschriftsmäßig getötet worden sind. Ich habe die bereits toten Tiere im Forschungs-Verfügungsgebäude der Medizin am Universitätsklinikum Tübingen übernommen und die Schädel abgetrennt.

II.2 Präparation der Schweineschädel

Die Schweineköpfe wurden im Bereich der Halswirbelsäule abgetrennt. Die Weichteile wurden mit dem Skalpell, die knöcherne Wirbelsäule mit der Rippenschere durchtrennt. Anschließend folgten die ausgiebige Reinigung mit Waschbenzin, sowie eine partielle Rasur des Kopfes.

Sämtliche im Rahmen der vorangegangenen Versuche eingebrachten Kanülen und der Beatmungstubus sind entfernt und ordnungsgemäß entsorgt worden. Anschließend erfolgte die transdermale Palpation mehrerer Landmarken und deren Markierung mit röntgendichtem Klebmarker, „Fiducials“ genannt.

Hierfür galt folgendes Muster:

1. In der Medianlinie
 - a) auf Höhe der Marginae supraorbitales
 - b) auf Höhe der Crista nuchae
 - c) auf mittlerer Strecke zwischen 1a) und 1b)

2. In der rechten um einen cm versetzten Paramedianlinie
 - a) auf Höhe von 1c)
 - b) einen cm rostral von 2a)
 - c) einen cm caudal von 2a)

3. In der linken um einen cm versetzten Paramedianlinie
 - a) auf Höhe der Processus zygomatici ossis frontalis

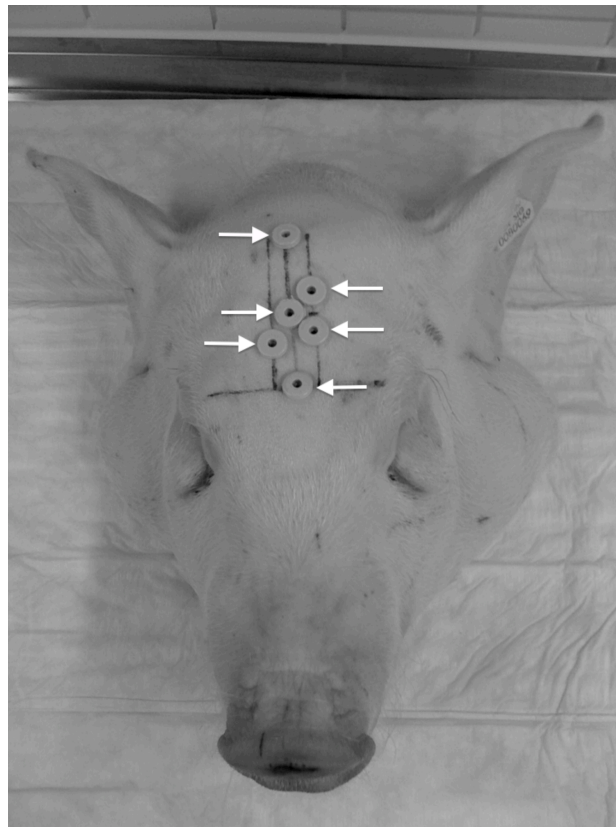


Abb. 4: Präparierter Kopf mit angeklebten Fiducials (weiße Pfeile), Ansicht von oben (Landschwein)

Die Klebmarker dienen normalerweise dazu, eine topographische Korrelation zwischen Aufnahmen verschiedener röntgenologischer Verfahren herstellen zu können (Brown *et al.*, 2013).

Hier sollten sie ursprünglich der exakten Positionierung verschiedener intrazerebraler Messsonden dienen. Aufgrund anderweitiger Lösung dieser Fragestellung wurden die Markierungen jedoch nicht weiter verwendet oder ausgewertet.

II.3 Untersuchung der Schweineschädel

Nach abgeschlossener Präparation des Kopfes erfolgte die Anfertigung eines computertomographischen Datensatzes. Die Untersuchung fand im Neuroradiologischen Institut des Universitätsklinikums Tübingen statt. Zum Sichtschutz wurden die Köpfe in einer nicht transparenten Plastikbox transportiert, für die Durchführung des Computertomogramms wurde das Präparat in der Box mit senkrechter Ausrichtung mittig auf dem Untersuchungstisch platziert.

An einem 16-zeiligen Mehrschicht-Computertomographen der Firma Siemens (Siemens Sensation 16) wurde ein lückenloser nativer dreidimensionaler Spiraldatensatz erhoben. Die Schichtdicke betrug hierbei 1 mm bei 120 kV, 285 mAs, FoV 220 bei 20 s Scandauer. Die Datenverarbeitung erfolgte an den angebundenen Rechnern (Fujitsu-Siemens Workstation) mit der vom Hersteller bereitgestellten Software (Syngo[®]). Nun wurden multiplanare Sekundärrekonstruktionen im Knochenfenster im Darstellungsmodus MPR (multiplanar reformations) in einer Schichtdicke von 1 mm durchgeführt. Es wurden jeweils Rekonstruktionen in axialer, koronarer und sagittaler Ebene des gesamten Schädels angefertigt. Zur Darstellung der orbitalen Knochenstrukturen wurden zusätzlich Rekonstruktionen in Ausschnittsvergrößerung in axialer Ebene beidseits, in sagittaler Ebene jeweils rechts und links, in coronarer Ebene beidseits und paracoronar rechts und links orthogonal zum Verlauf des Nervus opticus generiert. Alle Vermessungen erfolgten bilateral.

Eine Strahlenexposition von lebenden Menschen oder lebenden Tieren fand nicht statt.

Nach jeder Schädelaufnahme wurde der Untersuchungsraum nach den Vorschriften des Instituts für Hygiene desinfiziert.

II.4 Ausmessung der anatomischen Strukturen

Die Erhebung der Daten beinhaltete die Vermessung bestimmter anatomischer Strukturen. Tabelle 2 zeigt die erhobenen Parameter, die für die Messung vorher definierten Landmarken und die Orientierung der CT-Schicht, in der die Messung vorgenommen wurde. Die Messungen wurden mit dem Programm Osirix 3.9.4, einer Software für die Darstellung und Bearbeitung radiologischer Bilddaten, mit den hierin implementierten Werkzeugen vorgenommen. Die Abbildungen 6 – 13 illustrieren beispielhaft einige CT-Bilder, an denen die Messungen vorgenommen wurden.

Zu messender Parameter	Anatomische Landmarke	Ebene
Schädel		
Schädellänge	Protuberantia mentalis bis caudales Ende des Os sphenoidale	Sagittalebene
Länge Frontobasis	Rostrales bis caudales Ende der Frontobasis	Sagittalebene
Maximale Schädelbreite exklusive Kalotte	Maximaler Abstand der medialen Schädelbegrenzung	Coronarebene
Maximale Schädelbreite inklusive Kalotte	Maximaler Abstand der lateralen Schädelbegrenzung	Coronarebene
Augenmuskeln		
Länge Musculus rectus medialis (rechts und links)	Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae	Axialebene
Länge Musculus rectus lateralis (rechts und links)	Insertio musculi rectus lateralis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae	Axialebene

Zu messender Parameter	Anatomische Landmarke	Ebene
Nervus opticus		
Länge (rechts und links)	Lamina cribrosa sclerae bis Chiasma opticum	Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus
Maximaler Durchmesser (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Nervus opticus	Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus
Bulbus		
Länge (rechts und links)	Maximaler Abstand der Cornea zur dorsalen Sklerawand	Axialebene
Breite (rechts und links)	Maximaler Abstand der medialen zur lateralen Sklerawand	Axialebene
Höhe (rechts und links)	Maximaler Abstand der kranialen zur kaudalen Sklerawand	Coronarebene
Linse		
Breite (rechts und links)	Maximale Ausdehnung medial bis lateral	Axialebene
Länge (rechts und links)	Maximale Ausdehnung rostral bis kaudal	Axialebene
Orbita		
Länge (rechts und links)	Canalis opticus bis Crista lacrimalis anterior	Axialebene
Höhe (rechts und links)	Os frontale bis Os zygomaticus	Coronarebene

Zu messender Parameter	Anatomische Landmarke	Ebene
Opticuskanal		
Länge (rechts und links)	Mitte des Chiasma opticum bis Anulus tendineus communis	Axialebene
Durchmesser (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Anulus tendineus communis	Axialebene
Sinus maxillaris		Axialebene
Länge (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Sinus maxillaris von rostral bis kaudal	Axialebene
Breite (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Sinus maxillaris von medial bis lateral	Sagittalebene
Höhe (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Sinus maxillaris von kranial bis kaudal	Sagittalebene
Sinus sphenoidalis		
Länge (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Sinus sphenoidalis von rostral bis kaudal	Axialebene
Breite (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Sinus sphenoidalis von medial bis lateral	Axialebene
Höhe (rechts und links)	Maximale Ausdehnung des Sinus sphenoidalis von kranial bis kaudal	Sagittalebene

Tabelle 2: Anatomische Landmarken, gemessene Parameter und Ebene der vermessenen Strukturen.



Abb. 5: Beispiel einer Messung der Parameter „Länge der Schädelbasis“ und „Länge der Frontobasis“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in sagittaler Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.



Abb. 6: Beispiel einer Messung des Parameters „Schädelbreite mit Kalotte“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.

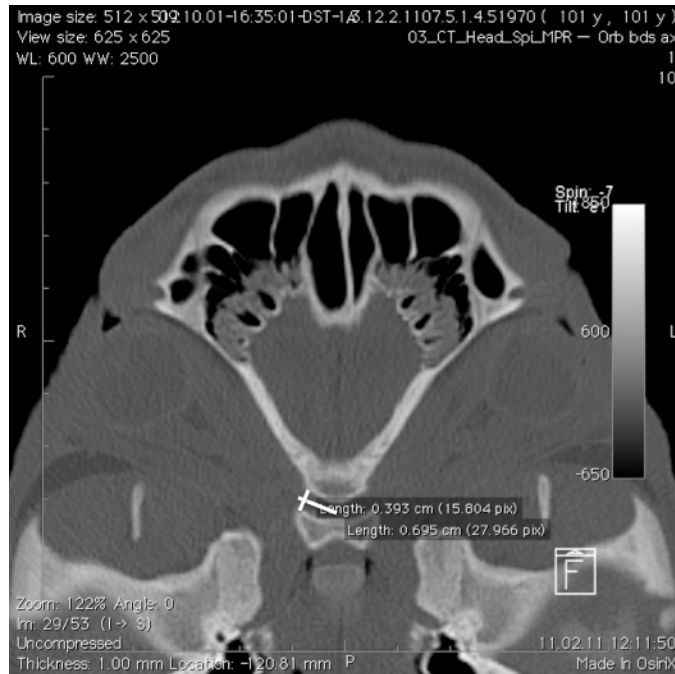


Abb. 7: Beispiel einer Messung der Parameter „Länge des canalis opticus“ und „maximaler Durchmesser des canalis opticus“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in axialer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.

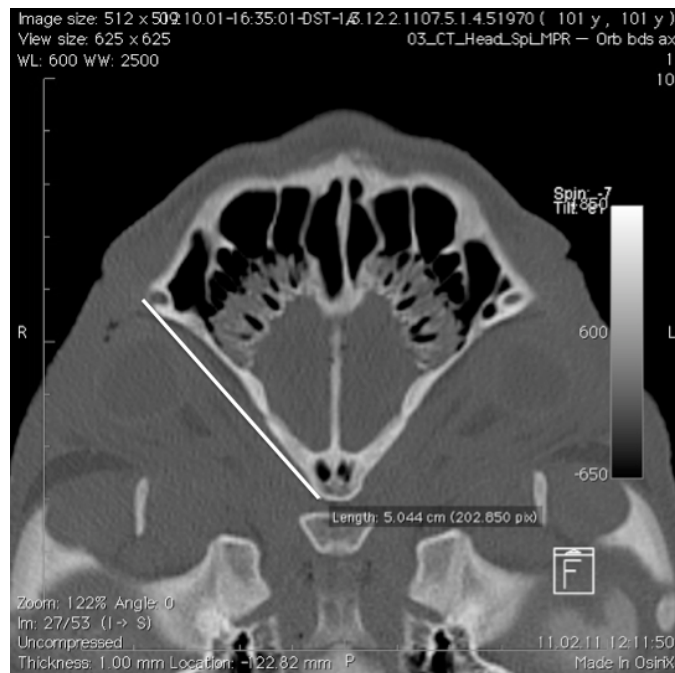


Abb. 8: Beispiel einer Messung des Parameters „Länge der Orbita“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in axialer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.



Abb. 9: Beispiel einer Messung des Parameters „Höhe der Orbita“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.



Abb. 10: Beispiel einer Messung des Parameters „Breite der Linse“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in paracoroner Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.

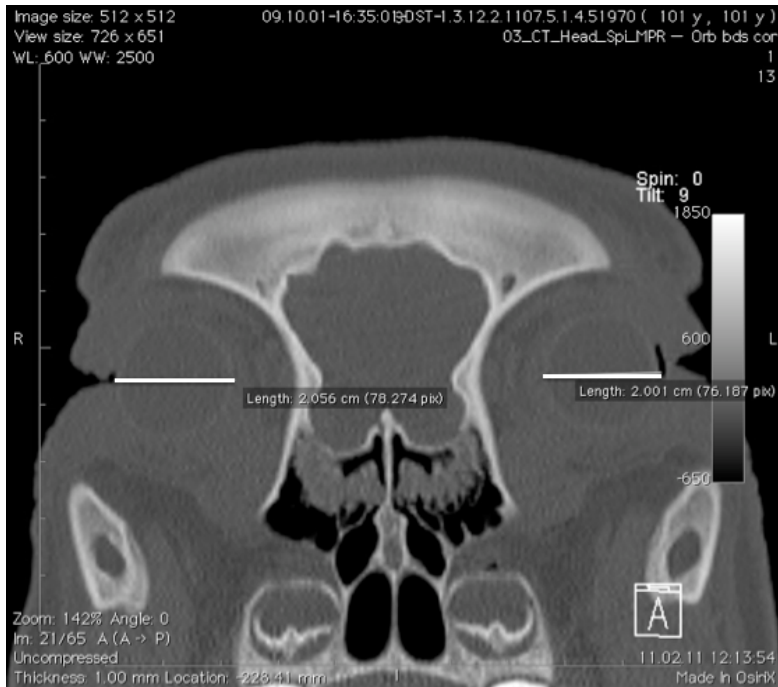


Abb. 11: Beispiel einer Messung des Parameters „Breite des Bulbus“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.



Abb. 12: Beispiel einer Messung des Parameters „Breite des Sinus sphenoidalis“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.

II.5 Auswertung der Ergebnisse

II.5.1 Statistische Auswertung und graphischer Vergleich

Alle gemessenen Werte wurden mit Hilfe von Microsoft Office Excel 2008 in einer Tabelle erfasst, in der jeweils das Gesamtkollektiv und die Gruppe der Landschweine sowie die der Minipigs getrennt aufgeführt wurden. Alle Landschweine waren weiblich und alle Minipigs männlich, sodass eine geschlechterspezifische Aufteilung nicht vorgenommen werden konnte.

Zur statistischen Auswertung der computertomographischen Daten wurden die Parameter Minimum, 25%-Quartil, Median, 75%-Quartil und Maximum berechnet sowie der Korrelationskoeffizient r , der den linearen Zusammenhang der Daten beschreibt. Letzterer wurde via Korrelationsanalyse nach Pearson bestimmt.

Zur anschaulichen Darstellung der kardinal skalierten Daten wurden Box-and-Whiskers-Plots und XY-Plots gewählt.

II.5.2 Box-and-Whiskers-Plots

Diese Art der graphischen Darstellung von Datensammlungen zeigt auf einen Blick, in welchem Bereich sich die Hälfte, also der Großteil der Daten befindet; der Median hilft bei der Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Verteilung der Daten.

Des Weiteren ermöglicht die Box-and-Whiskers-Plot-Darstellung den Vergleich mehrerer Datensätze nebeneinander auf einen Blick.

Die Box erstreckt sich vom unteren zum oberen Quartil und beinhaltet somit 50% der erfassten Daten. Die orthogonale Linie in der Box stellt den Median dar und zeigt die Schiefenverteilung der Daten nach rechts oder nach links auf; die untere Grenze beschreibt also das 25%-Quartil, die Obere das 75%-Quartil. Die beiden Striche am oberen beziehungsweise unteren Ende der Box werden auch als Antennen bezeichnet und zeigen laut Tukey et al. (1977) das maximal 1,5-fache des Interquartilabstands.

II.5.3 XY-Plots

Außerdem wurden XY-Plots mit den Durchschnittswerten von rechts und links der gemessenen Absolutwerte in Relation zum Schlachtgewicht erstellt. So konnte die jeweilige Ausprägung der anatomischen Strukturen der Orbita in Abhängigkeit vom Gewicht gezeigt und anhand des Korrelationskoeffizienten r statistisch erfasst werden. Auch hier erfolgte die Unterscheidung von Landschweinen und Minipigs, um charakteristische Unterschiede aufzuzeigen.

III. ERGEBNISSE

III.1 Klinische Parameter der untersuchten Schweine

Es wurden insgesamt 30 Schweineschädel untersucht, die Köpfe wurden zwischen Januar und Mai 2009 generiert.

Die Gewichtsverteilung der Gruppe der Landschweine (n=20) weist ein Minimum von 12 kg und ein Maximum von 75 kg auf. Die weite Spannweite lässt sich mit dem unterschiedlichen Alter der Tiere zum Todeszeitpunkt erklären, zwei Tiere befanden sich im Gegensatz zu den 18 Adulti der Gruppe noch in der Wachstumsphase. Der Median liegt hier bei 50,5 kg.

Die Gruppe der Minipigs (n=10) zeigt ein Minimum von 18 kg und ein Maximum von 24 kg. Der Median liegt bei 20,5 kg.

Die Anzahl n variiert bei einzelnen Parametern, da manche Strukturen bei einzelnen Individuen nicht messbar waren. Des Weiteren ist das Gewicht bei zwei Landschweinen unbekannt, diese wurden deshalb nicht in die XY-Plots miteinbezogen.

III.2 Graphische Darstellung der gemessenen Werte mittels Box-and-Whiskers-Plots

Die Werte wurden anhand Box-and-Whiskers-Plots graphisch miteinander verglichen und so deren statistische Verteilung aufgezeigt. Dafür wurde jeweils das Minimum, das erste Quartil, der Median, das dritte Quartil und das Maximum der jeweils darzustellenden Gruppe erfasst.

In den folgenden Abbildungen 13 bis 35 wurden die Messwerte der anatomischen Strukturen des Gesamtkollektivs erfasst, sowie die jeweiligen Ergebnisse von Minipigs und Landschweinen nebeneinander dargestellt, um den direkten Vergleich zu ermöglichen. Die Skalierung wurde hierbei nach den jeweiligen Messwerten ausgerichtet. Zudem werden die zugehörigen Rohdaten tabellarisch in den Tabellen 3 bis 26 aufgeführt.

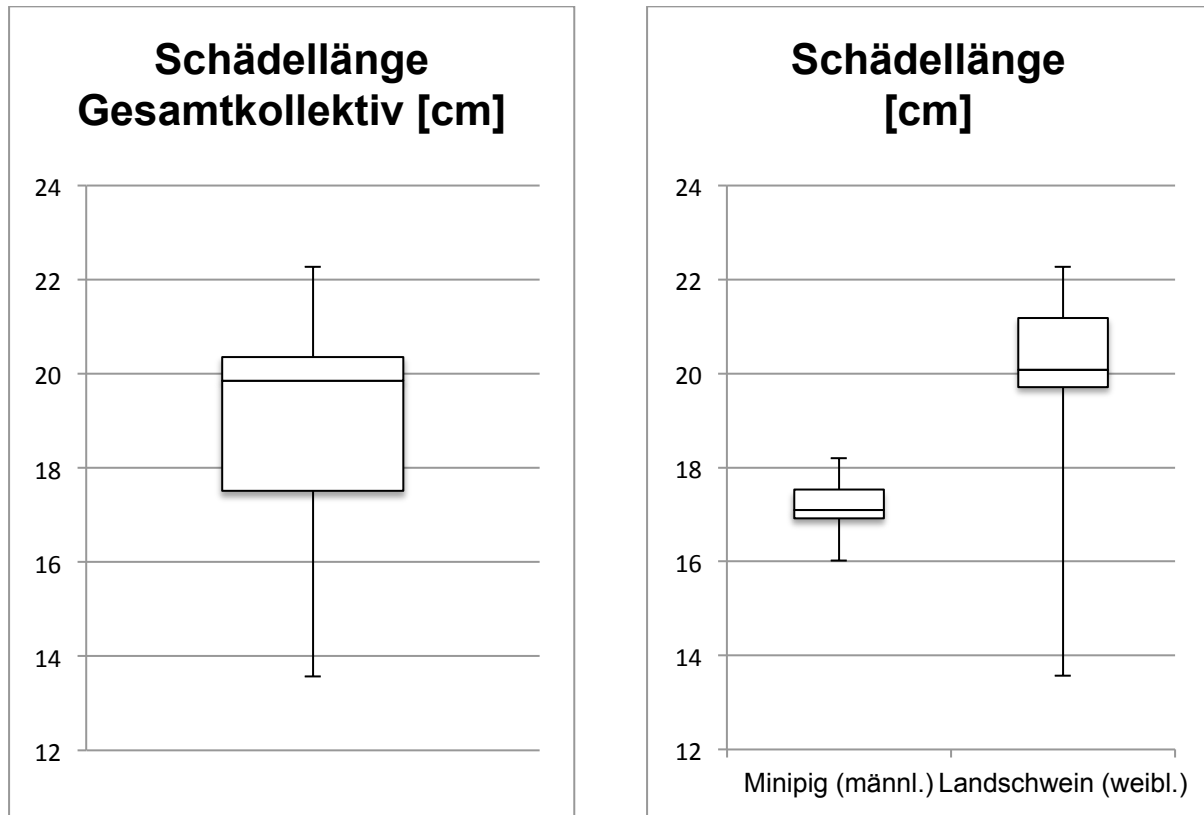


Abb. 13: Schädel­länge, gemessen in der Sagittalebene von der Protuberantia mentalis bis zum kaudalen Ende des Os sphenoidale. Illustration des Gesamtkollektivs (n=28) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=8) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Schädel­länge in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	13,57	16,02	13,57
25%-Quartil	17,51	16,92	19,71
Median	19,86	17,10	20,08
75%-Quartil	20,36	17,53	21,18
Maximum	22,27	18,20	22,27
n	28	8	20

Tabelle 3: Berechnete Werte der Schädel­länge in [cm].

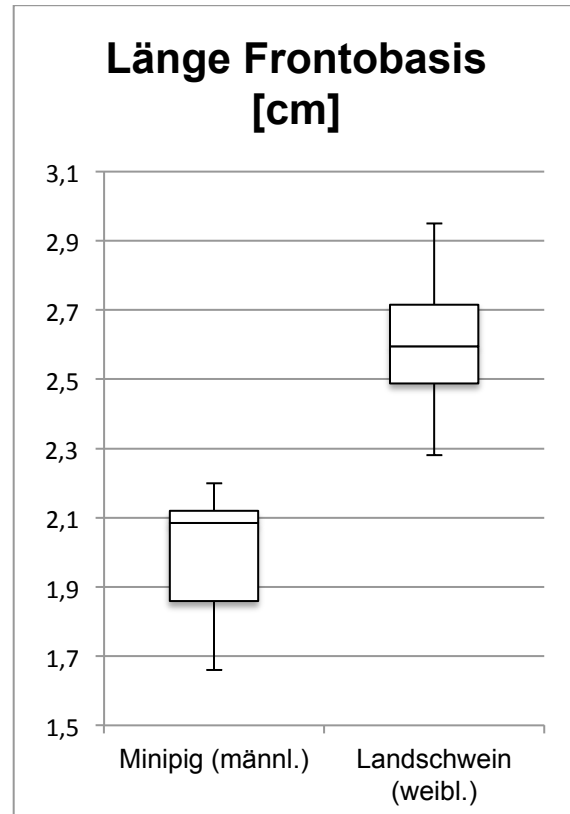
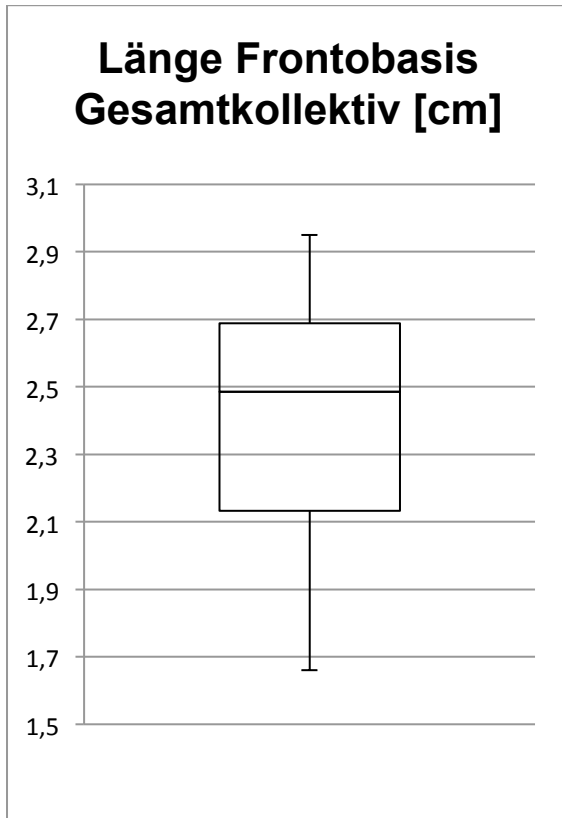


Abb. 14: Länge der Frontobasis, gemessen in der Sagittalebene vom rostralen bis zum kaudalen Ende der Frontobasis. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Länge der Frontobasis in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,66	1,66	2,28
25%-Quartil	2,13	1,86	2,49
Median	2,49	2,09	2,60
75%-Quartil	2,69	2,12	2,72
Maximum	2,95	2,20	2,95
n	30	10	20

Tabelle 4: Berechnete Werte der Frontobasis in [cm].

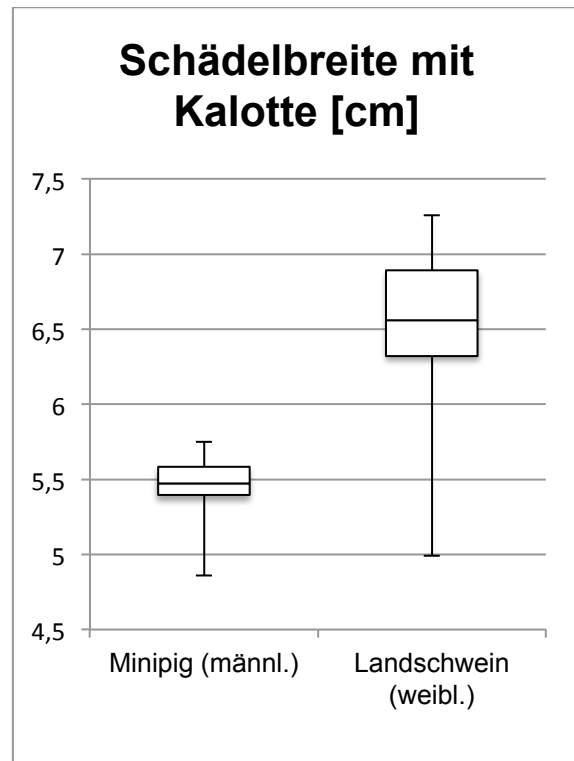
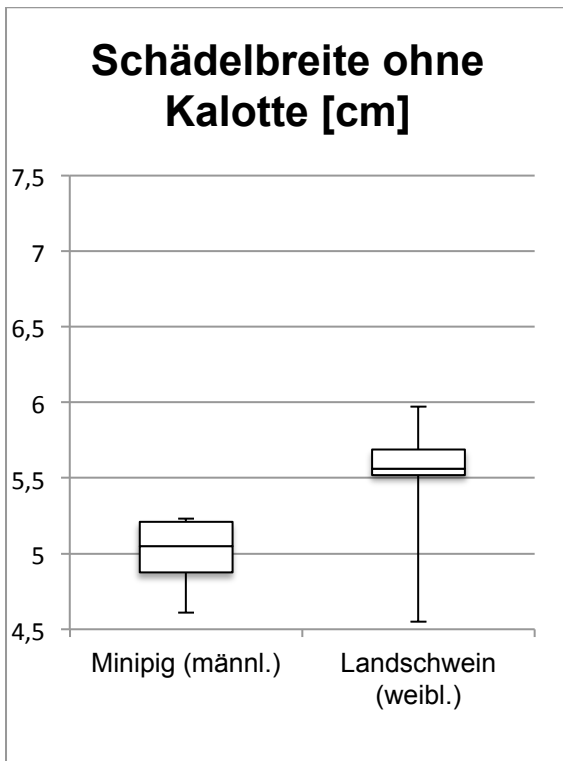
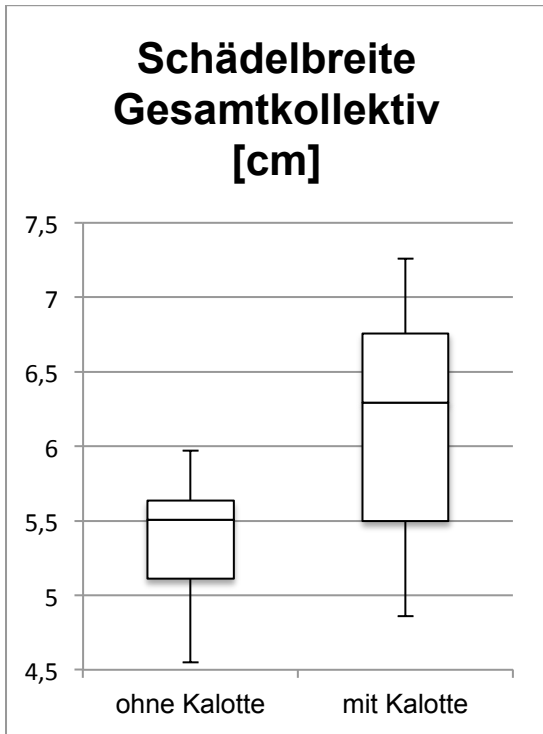


Abb. 15: Schädelbreite ohne und mit Kalotte, in der Coronarebene in der maximalen Ausdehnung gemessen. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Schädelbreite ohne Kalotte in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	4,55	4,61	4,55
25%-Quartil	5,11	4,88	5,52
Median	5,51	5,05	5,56
75%-Quartil	5,64	5,21	5,69
Maximum	5,97	5,23	5,97
n	30	10	20

Tabelle 5: Berechnete Werte der Schädelbreite ohne Kalotte in [cm].

Schädelbreite mit Kalotte in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	4,86	4,86	4,99
25%-Quartil	5,50	5,40	6,32
Median	6,30	5,48	6,56
75%-Quartil	6,76	5,58	6,89
Maximum	7,26	5,75	7,26
n	30	10	20

Tabelle 6: Berechnete Werte der Schädelbreite mit Kalotte in [cm].

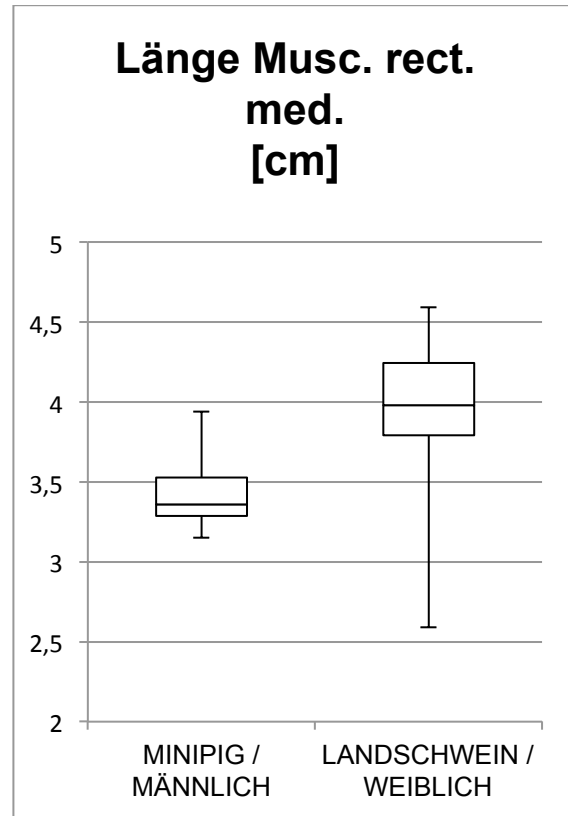
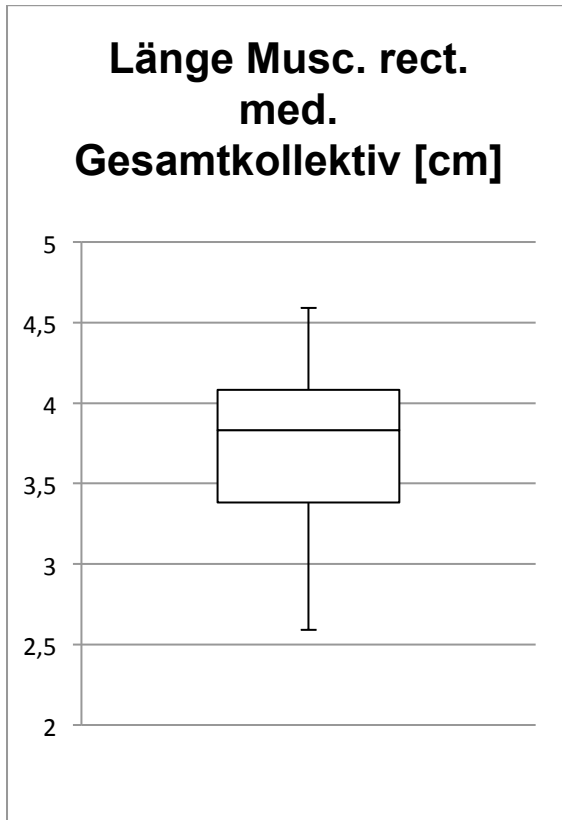


Abb. 16: Länge des Musculus rectus medialis, gemessen in der Axialebene von der Insertio muscoli rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Länge des Musc. rect. med. in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	2,59	3,15	2,59
25%-Quartil	3,38	3,29	3,79
Median	3,83	3,36	3,98
75%-Quartil	4,08	3,53	4,25
Maximum	4,59	3,94	4,59
n	30	10	20

Tabelle 7: Berechnete Werte des Musculus rectus medialis in [cm].

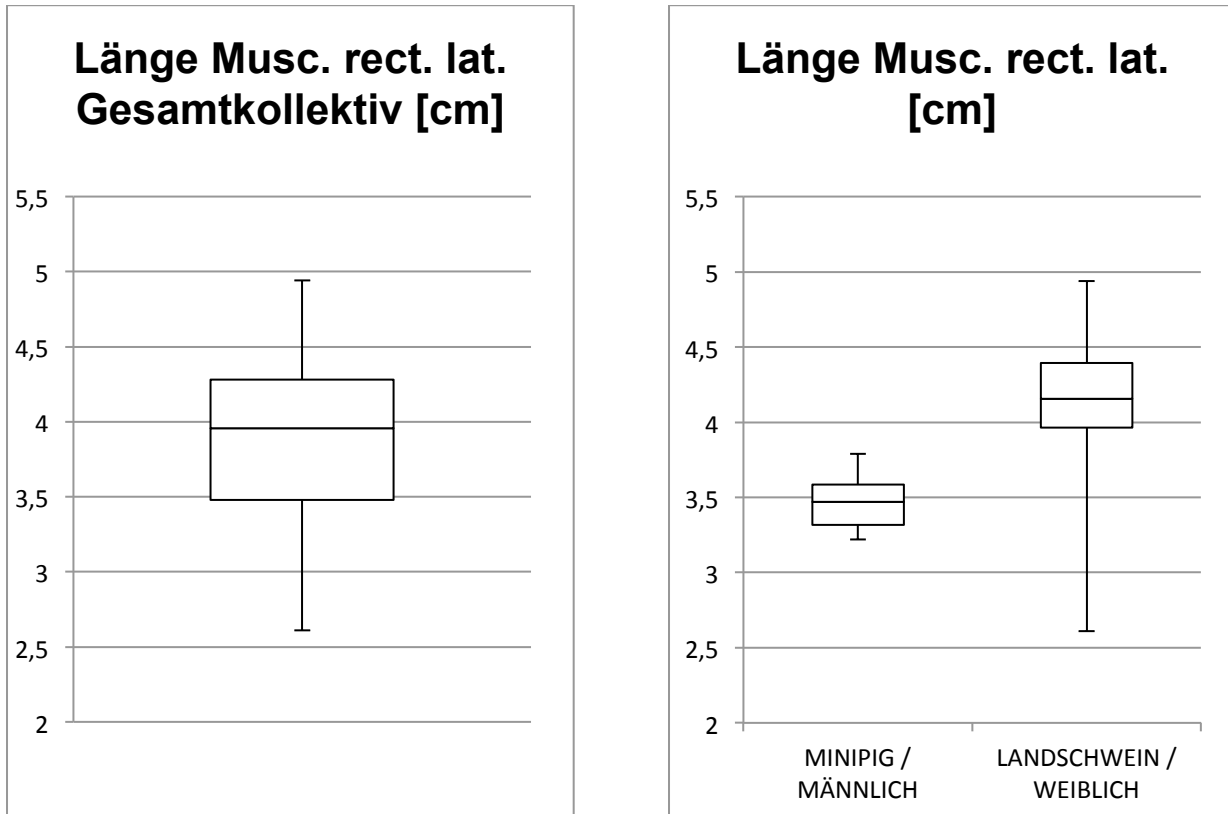


Abb. 17: Länge des Musculus rectus lateralis, gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Musculus rectus lateralis in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	2,61	3,22	2,61
25%-Quartil	3,48	3,32	4,00
Median	4,00	3,47	4,16
75%-Quartil	4,28	3,59	4,40
Maximum	4,94	3,79	4,94
n	30	10	20

Tabelle 8: Berechnete Werte des Musculus rectus lateralis in [cm].

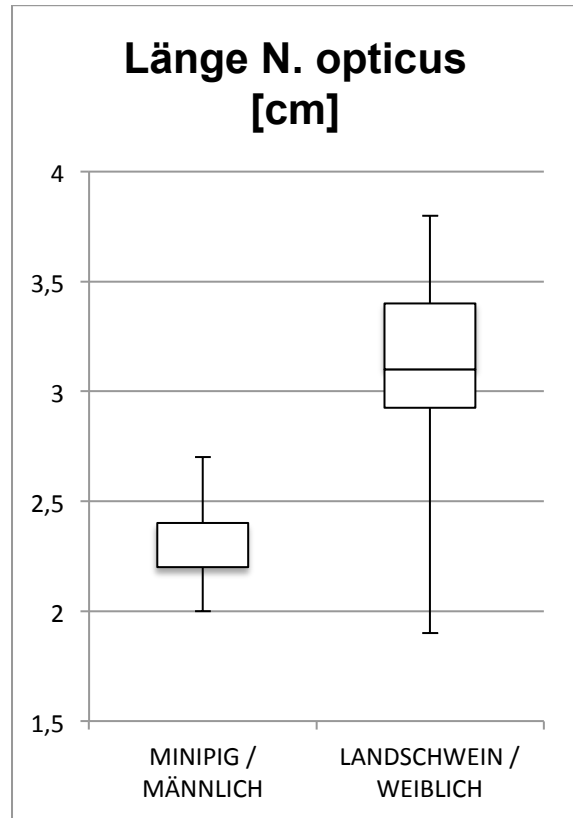
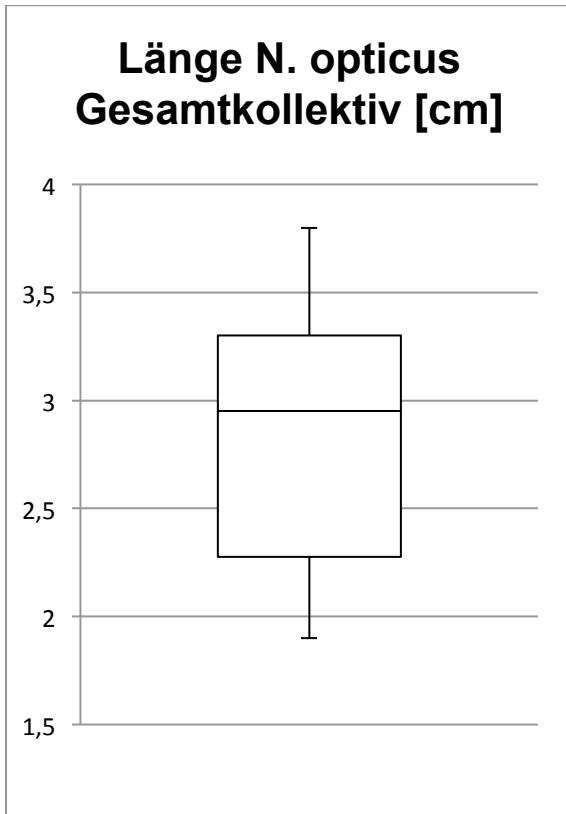


Abb. 18: Länge des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus, von der Lamina cribrosa sclerae bis zum Chiasma opticum. Illustration des Gesamtkollektivs (n=29) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=19) per Box-and-Whiskers-Plot.

Länge N. opticus in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,90	2,00	1,90
25%-Quartil	2,28	2,20	2,93
Median	2,95	2,20	3,10
75%-Quartil	3,30	2,40	3,40
Maximum	3,80	2,70	3,80
n	29	10	19

Tabelle 9: Berechnete Werte des Nervus opticus in [cm].

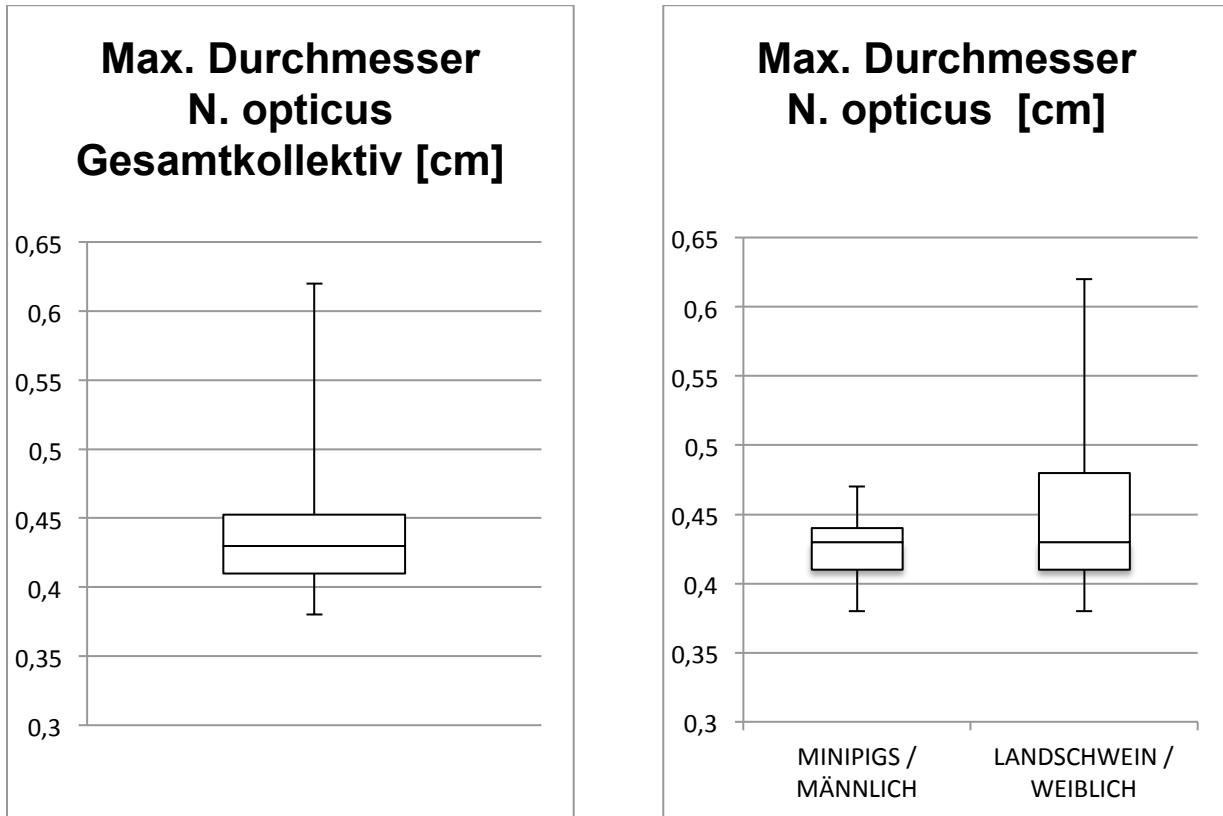


Abb. 19: Maximaler Durchmesser des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus. Illustration des Gesamtkollektivs (n=27) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=17) per Box-and-Whiskers-Plot.

Maximaler Durchmesser des Nervus opticus in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,38	0,38	0,38
25%-Quartil	0,41	0,41	0,41
Median	0,43	0,43	0,43
75%-Quartil	0,45	0,44	0,48
Maximum	0,62	0,47	0,62
n	27	10	17

Tabelle 10: Berechnete Werte des maximalen Durchmessers des Nervus opticus in [cm].

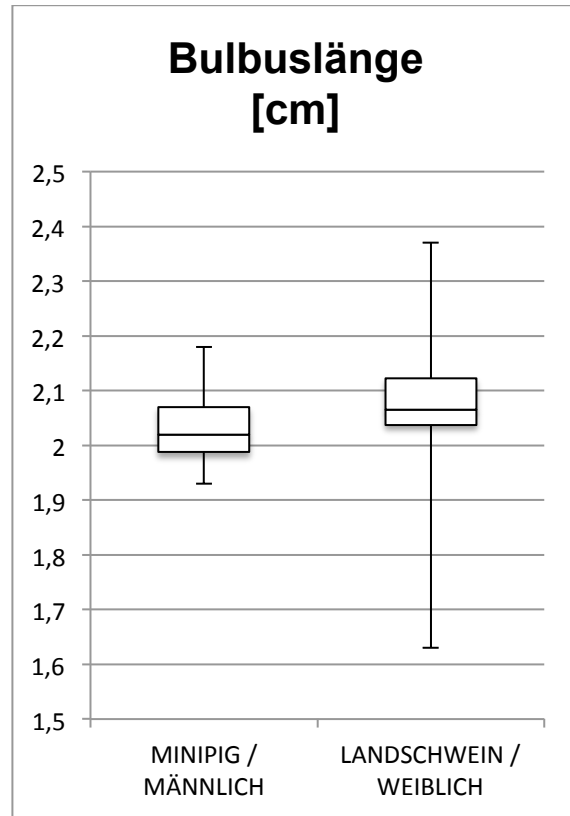
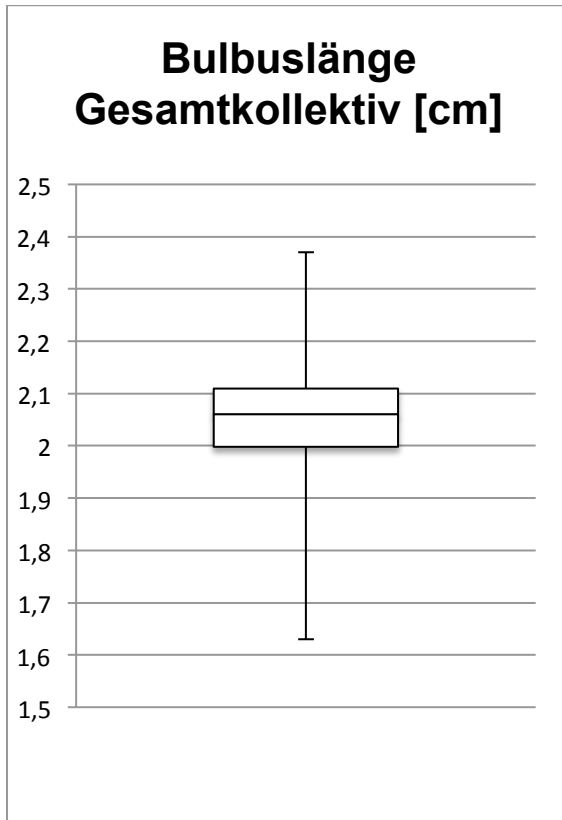


Abb. 20: Bulbuslänge, maximaler Abstand der Cornea zur dorsalen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Bulbuslänge in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,63	1,93	1,63
25%-Quartil	2,00	1,99	2,04
Median	2,06	2,02	2,065
75%-Quartil	2,11	2,07	2,1225
Maximum	2,37	2,18	2,37
n	30	10	20

Tabelle 11: Berechnete Werte der Bulbuslänge in [cm].

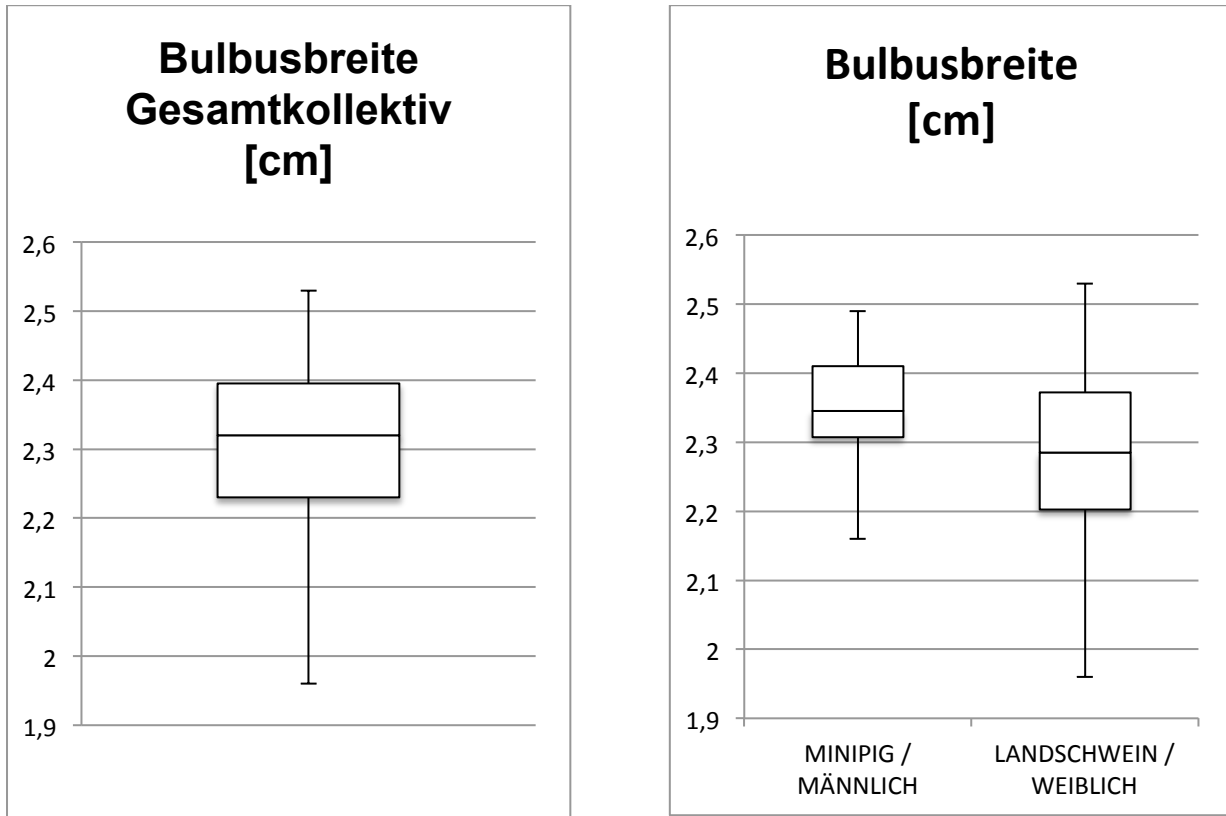


Abb. 21: Bulbusbreite, maximaler Abstand der medialen zur lateralen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Bulbusbreite in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,96	2,16	1,96
25%-Quartil	2,23	2,31	2,20
Median	2,32	2,35	2,29
75%-Quartil	2,40	2,41	2,37
Maximum	2,53	2,49	2,53
n	30	10	20

Tabelle 12: Berechnete Werte der Bulbusbreite in [cm].

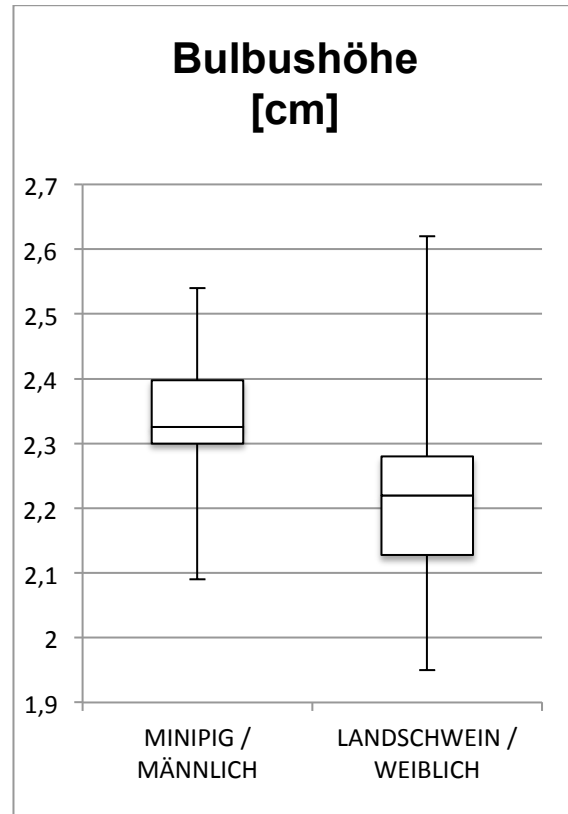
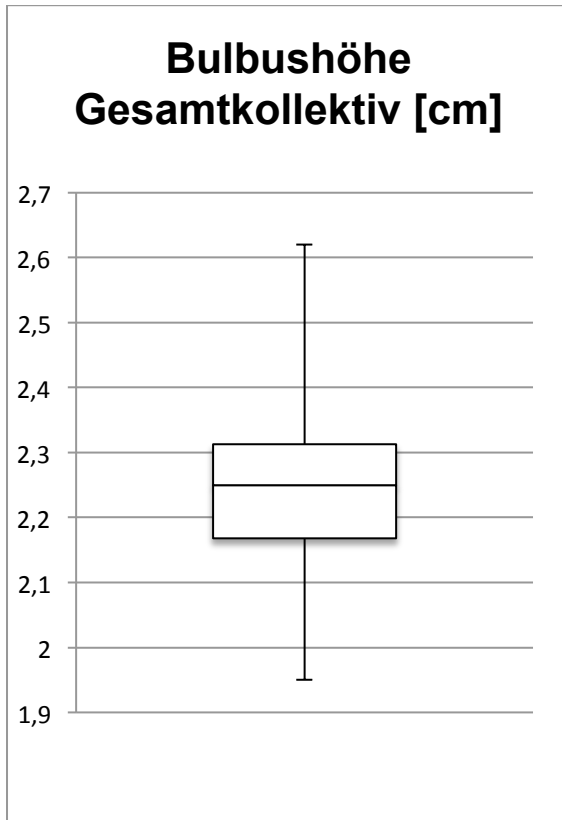


Abb. 22: Bulbushöhe, maximaler Abstand der kranialen zur kaudalen Sklerawand, gemessen in der Coronarebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Bulbushöhe in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,95	2,09	1,95
25%-Quartil	2,17	2,30	2,13
Median	2,25	2,33	2,22
75%-Quartil	2,31	2,40	2,28
Maximum	2,62	2,54	2,62
n	30	10	20

Tabelle 13: Berechnete Werte der Bulbushöhe in [cm].

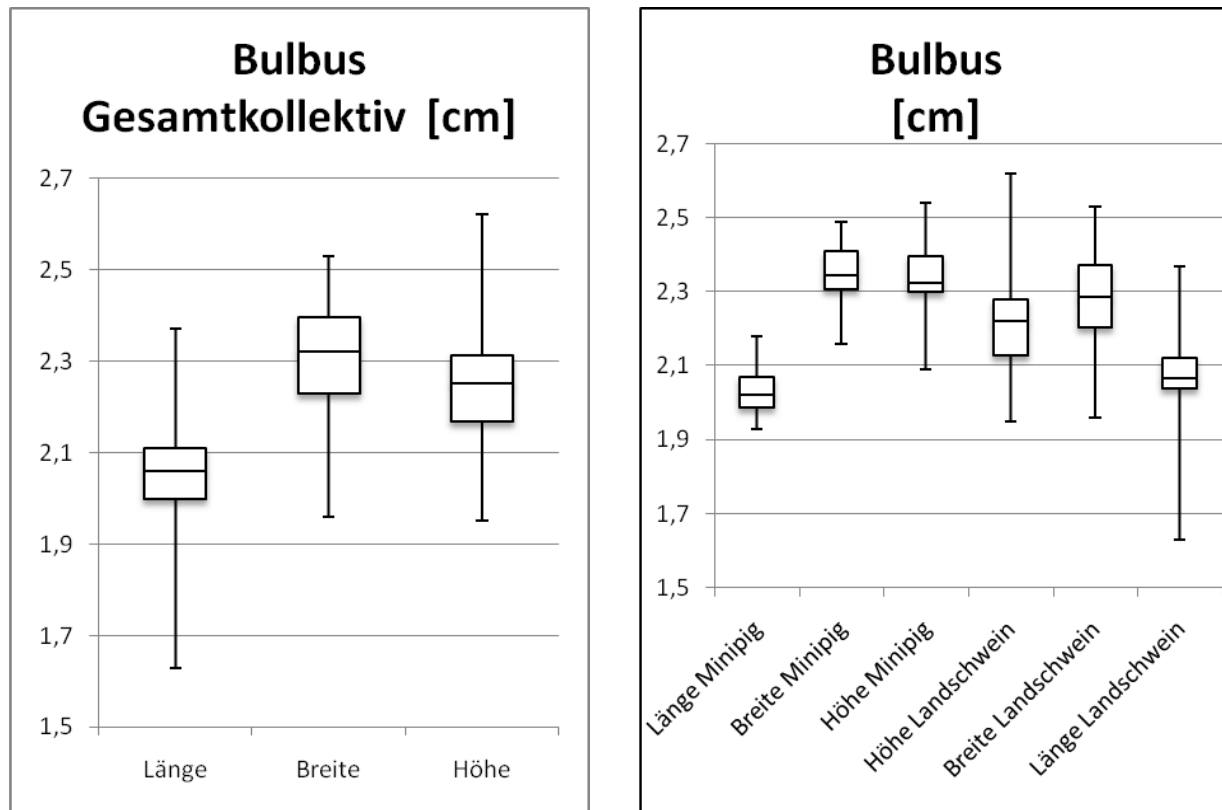


Abb. 23: **Bulbus**länge, -breite und -höhe im Vergleich. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Bulbus in [cm]	Länge	Breite	Höhe
Minimum	1,63	1,96	1,95
25%-Quartil	2,00	2,23	2,17
Median	2,06	2,32	2,25
75%-Quartil	2,11	2,40	2,31
Maximum	2,37	2,53	2,62
n	30	10	20

Tabelle 14: Berechnete Werte des Bulbus in [cm].

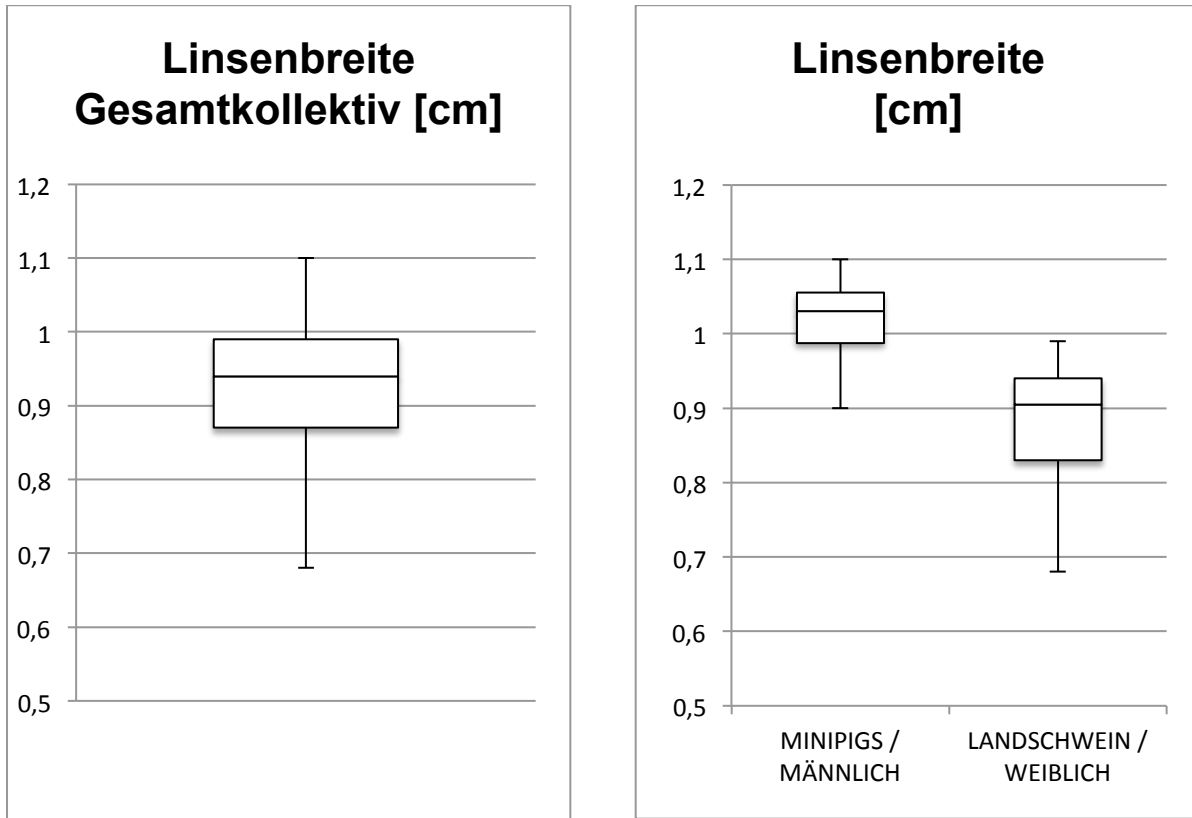


Abb. 24: Linsenbreite, maximale Ausdehnung von medial bis lateral, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Linsenbreitein [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,68	0,90	0,68
25%-Quartil	0,87	0,99	0,83
Median	0,94	1,03	0,91
75%-Quartil	0,99	1,06	0,94
Maximum	1,10	1,10	0,99
n	30	10	20

Tabelle 15: Berechnete Werte der Linsenbreite in [cm].

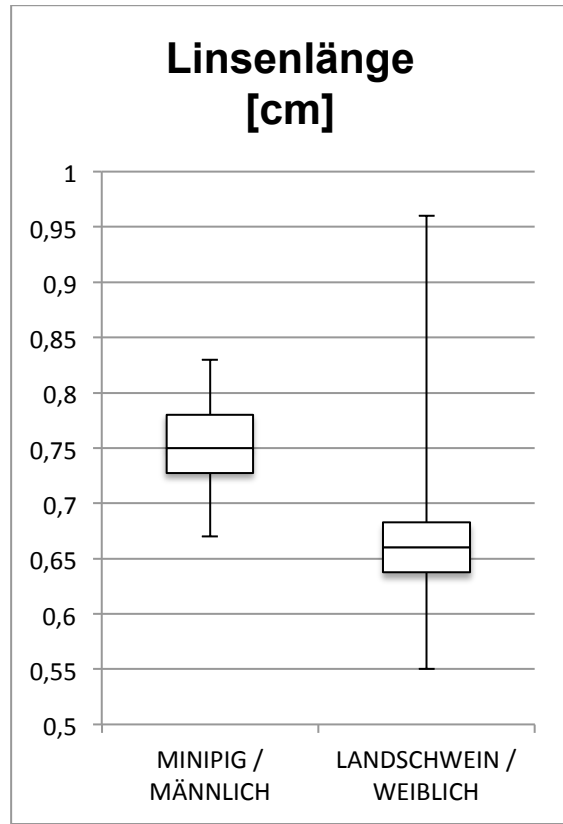
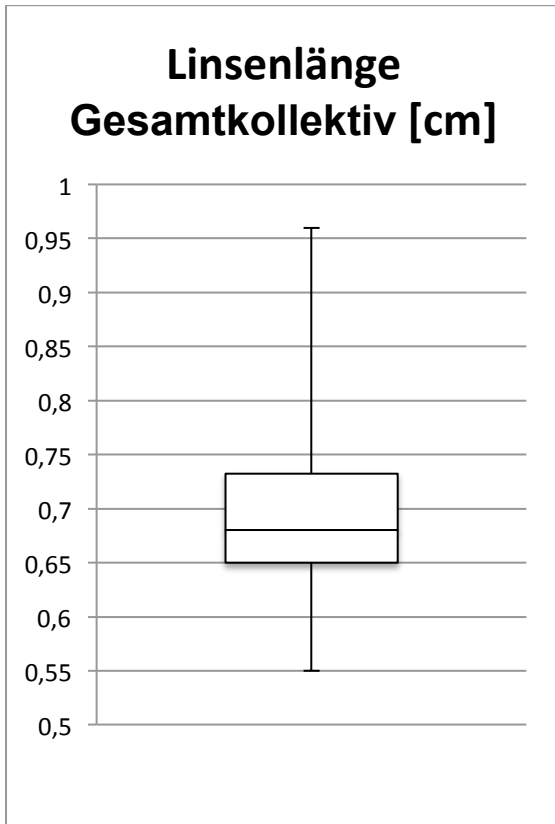


Abb. 25: Linsenlänge, maximale Ausdehnung von rostral bis kaudal, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Linsenlänge in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,55	0,67	0,55
25%-Quartil	0,65	0,73	0,64
Median	0,68	0,75	0,66
75%-Quartil	0,73	0,78	0,68
Maximum	0,96	0,83	0,96
n	30	10	20

Tabelle 16: Berechnete Werte der Linsenlänge in [cm].

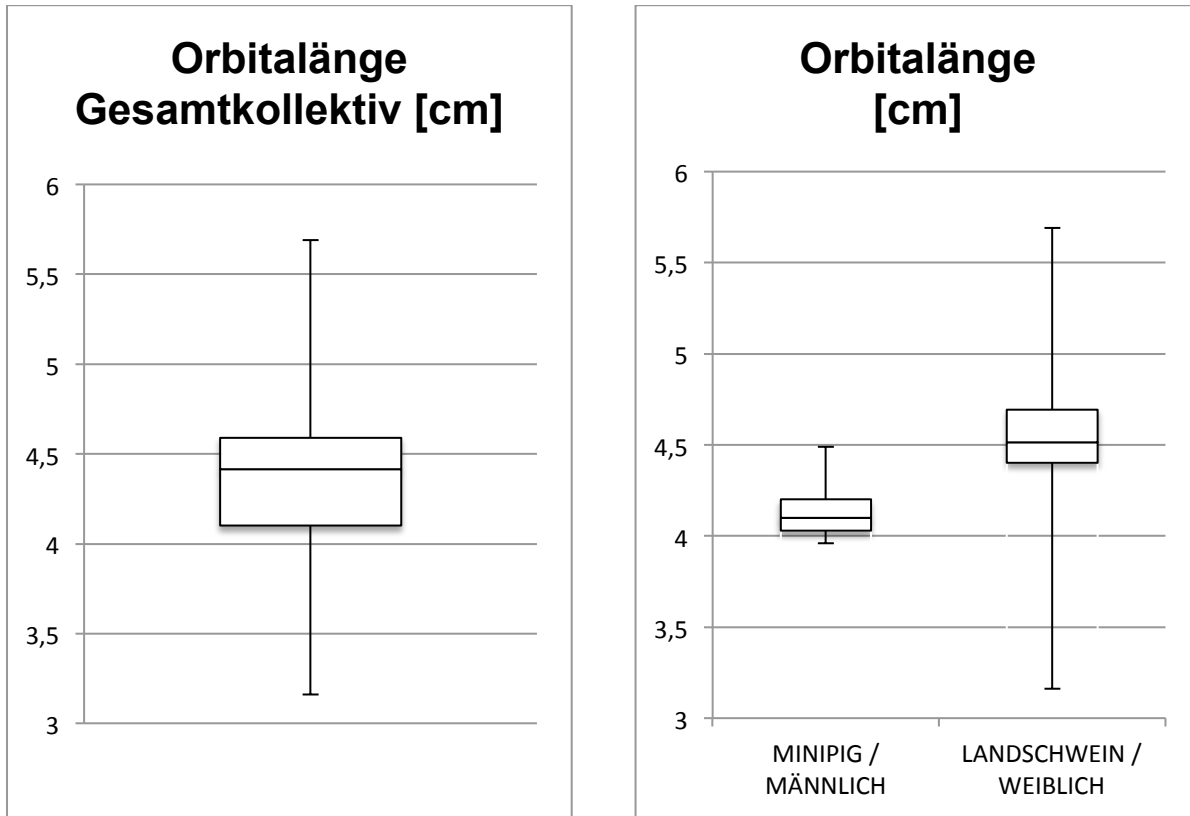


Abb. 26: Orbitalänge, gemessen in der Axialebene, von Canalis opticus bis Crista lacrimalis anterior. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Orbitalänge in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	3,16	3,96	3,16
25%-Quartil	4,10	4,03	4,40
Median	4,42	4,10	4,52
75%-Quartil	4,59	4,20	4,69
Maximum	5,69	4,49	5,69
n	30	10	20

Tabelle 17: Berechnete Werte der Orbitalänge in [cm].

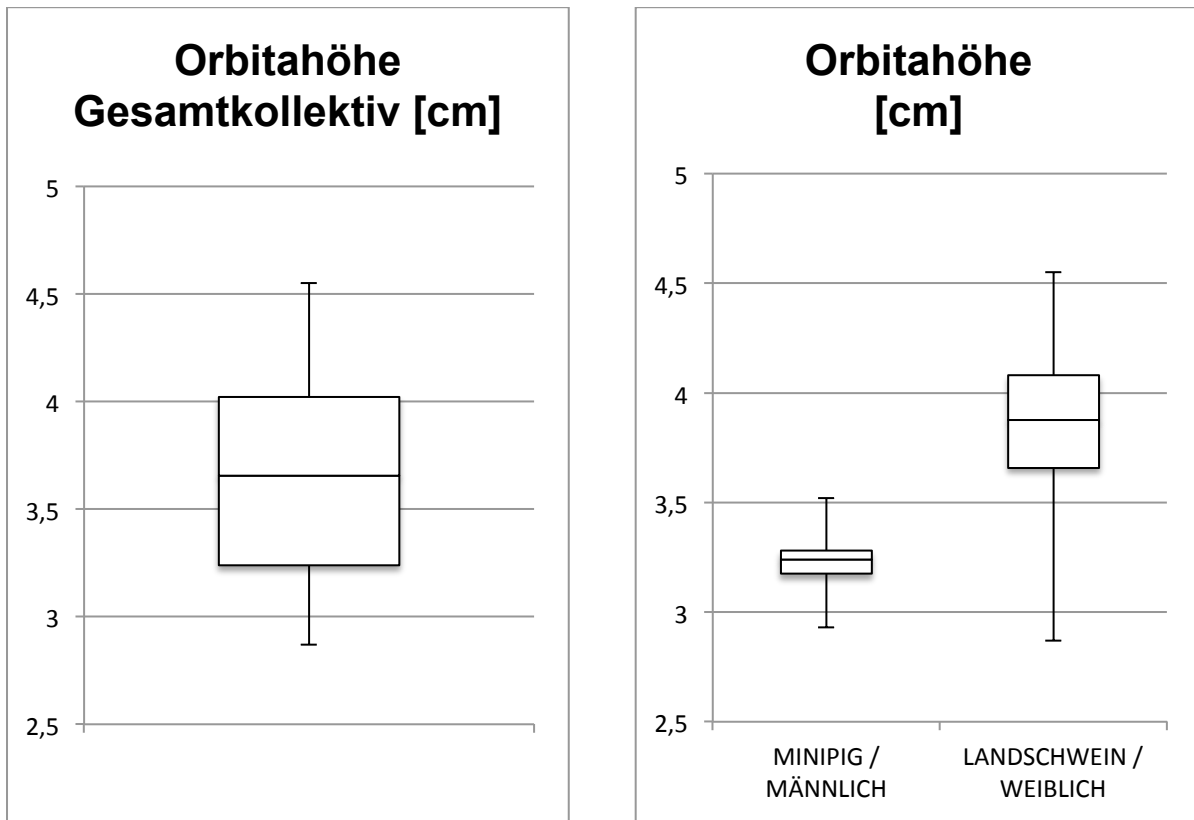


Abb. 27: Orbitahöhe, gemessen in der Coronarebene, von Os frontale bis Os zygomaticus. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Orbitahöhe in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	2,87	2,93	2,87
25%-Quartil	3,24	3,18	3,66
Median	3,66	3,24	3,88
75%-Quartil	4,03	3,28	4,08
Maximum	4,55	3,52	4,55
n	30	10	20

Tabelle 18: Berechnete Werte der Orbitahöhe in [cm].

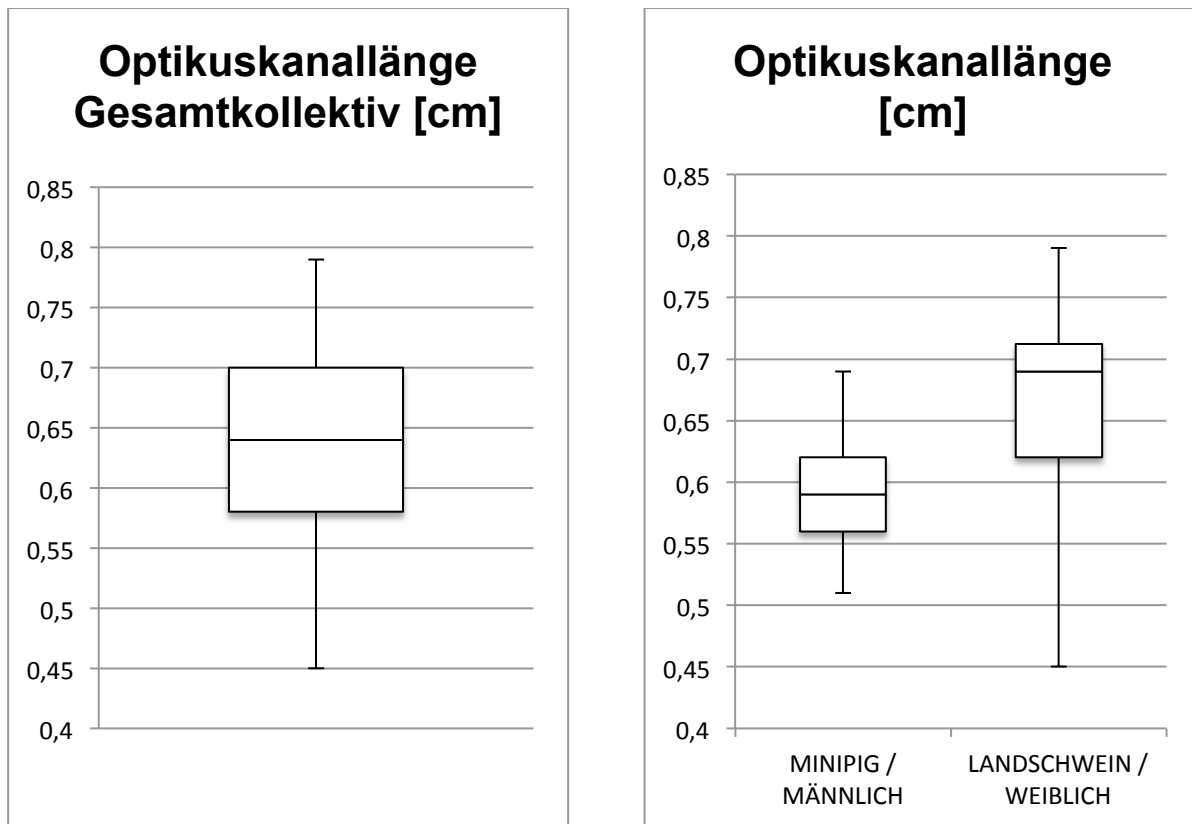


Abb. 28: Länge des Optikuskanals, gemessen in der Axialebene, von der Mitte des Chiasma opticum bis Anulus tendineus communis. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Länge des Opticuskanals in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,45	0,51	0,45
25%-Quartil	0,58	0,56	0,62
Median	0,64	0,59	0,69
75%-Quartil	0,70	0,62	0,71
Maximum	0,79	0,69	0,79
n	30	10	20

Tabelle 19: Berechnete Werte der Länge des Optikuskanals in [cm].

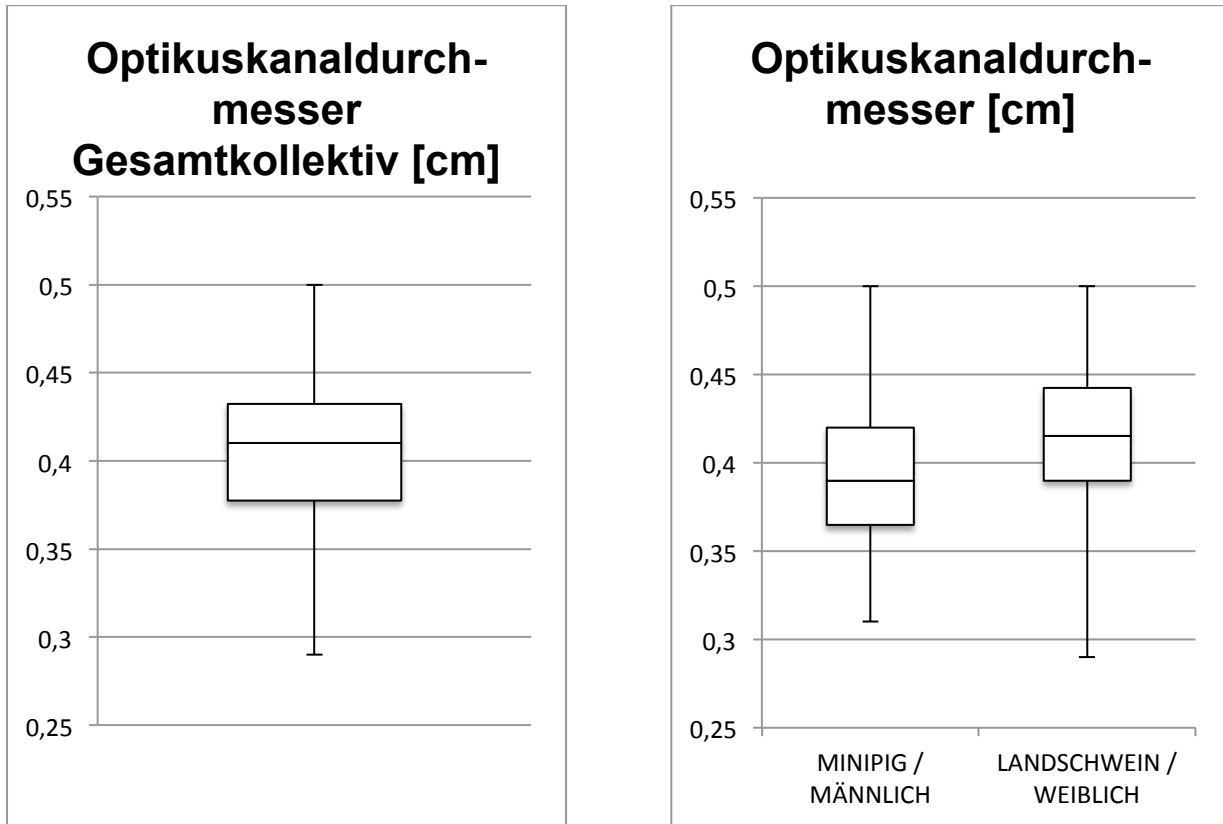


Abb. 29: Durchmesser des Optikuskanals, maximale Ausdehnung des Anulus tendineus communis, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.

Durchmesser des Opticuskanals in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,29	0,31	0,29
25%-Quartil	0,38	0,37	0,39
Median	0,41	0,39	0,42
75%-Quartil	0,43	0,42	0,44
Maximum	0,50	0,50	0,50
n	30	10	20

Tabelle 20: Berechnete Werte des Durchmessers des Optikuskanals in [cm].

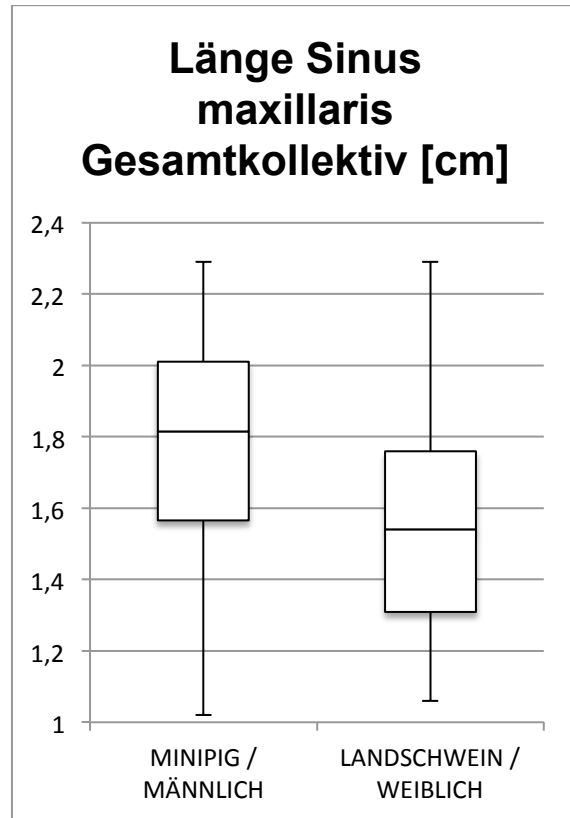
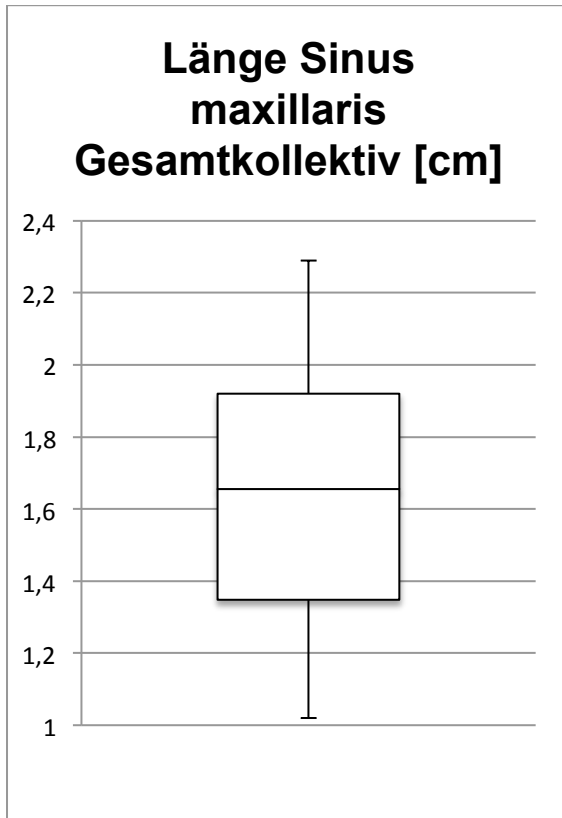


Abb. 30: Länge des Sinus maxillaris, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=27) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=17) per Box-and-Whiskers-Plot.

Länge des Sinus maxillaris in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,02	1,02	1,06
25%-Quartil	1,35	1,57	1,31
Median	1,66	1,82	1,54
75%-Quartil	1,92	2,01	1,76
Maximum	2,29	2,29	2,29
n	27	10	17

Tabelle 21: Berechnete Werte der Länge des Sinus maxillaris in [cm].

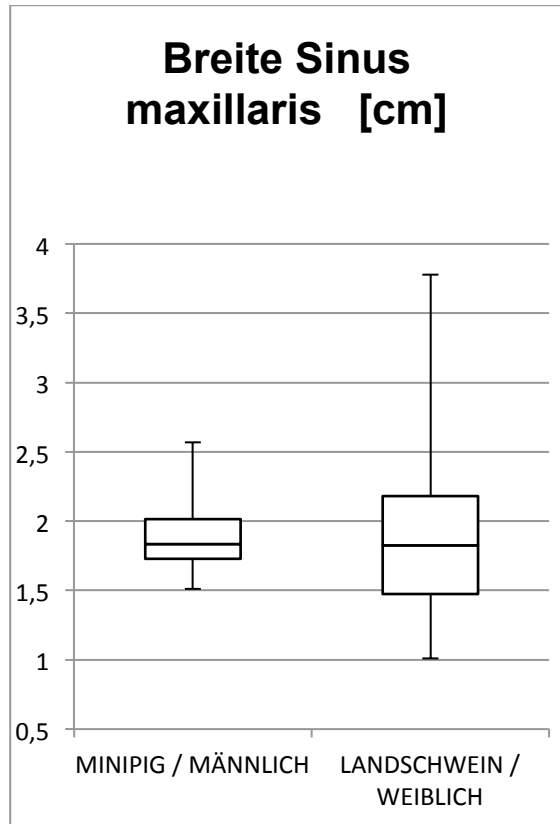
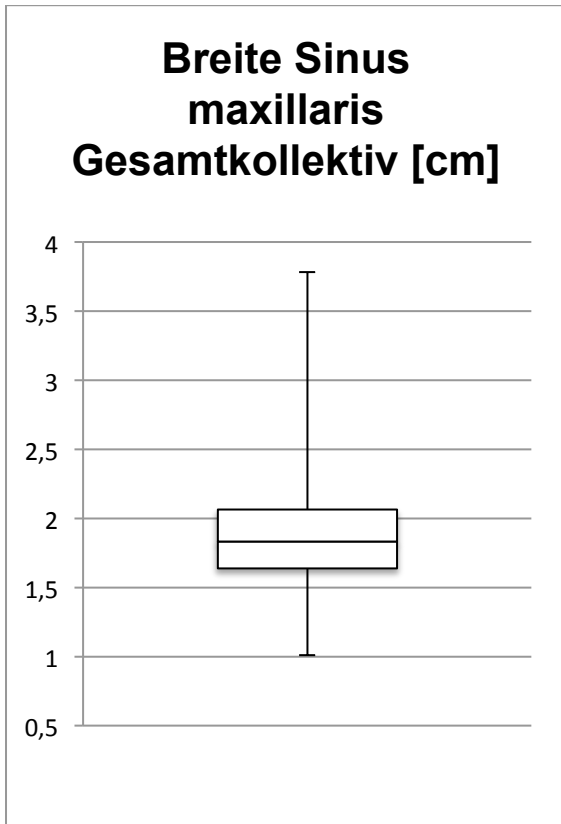


Abb. 31: Breite des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom medialen bis lateralen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=27) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=17) per Box-and-Whiskers-Plot.

Breite des Sinus maxillaris in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,01	1,51	1,01
25%-Quartil	1,64	1,73	1,48
Median	1,83	1,84	1,83
75%-Quartil	2,07	2,01	2,18
Maximum	3,78	2,57	3,78
n	27	10	17

Tabelle 22: Berechnete Werte der Breite des Sinus maxillaris in [cm].

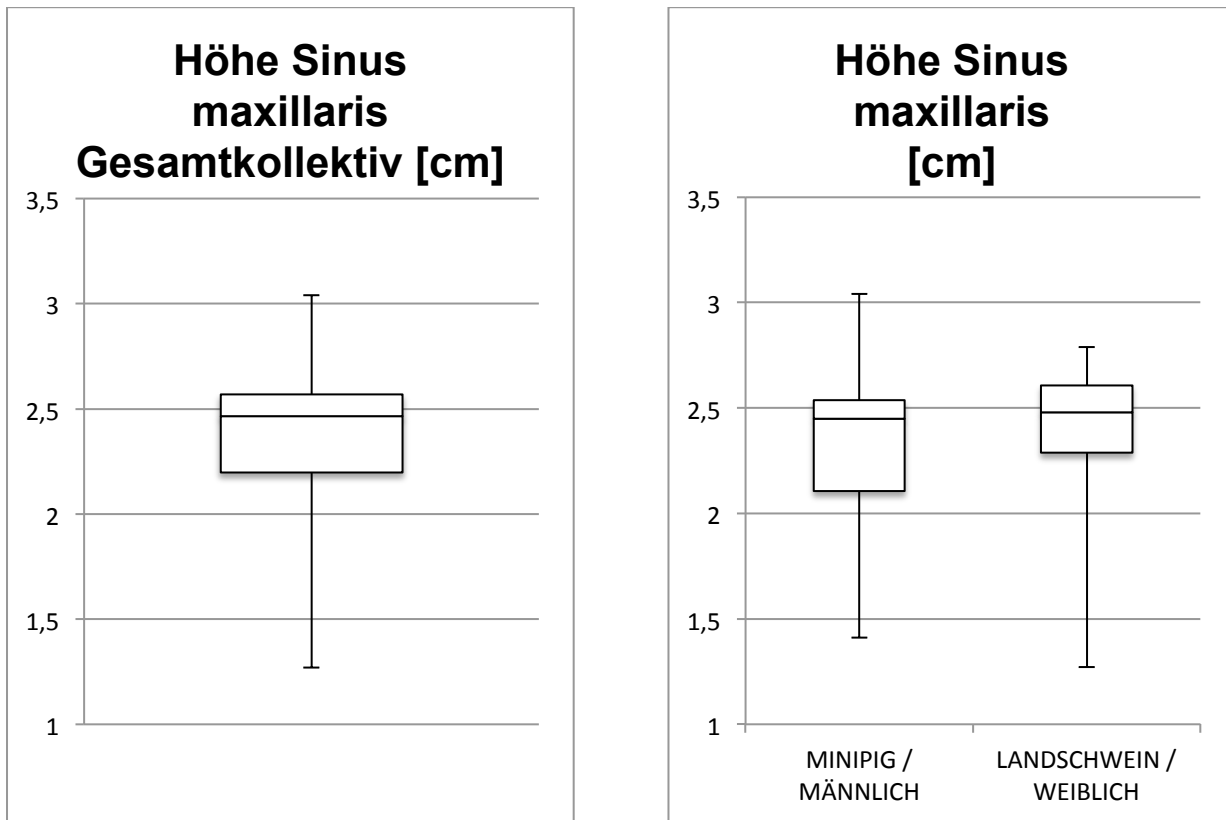


Abb. 32: Höhe des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=24) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=14) per Box-and-Whiskers-Plot.

Höhe des Sinus maxillaris in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	1,27	1,41	1,27
25%-Quartil	2,20	2,11	2,29
Median	2,47	2,45	2,48
75%-Quartil	2,57	2,54	2,61
Maximum	3,04	3,04	2,79
n	24	10	14

Tabelle 23: Berechnete Werte der Höhe des Sinus maxillaris in [cm].

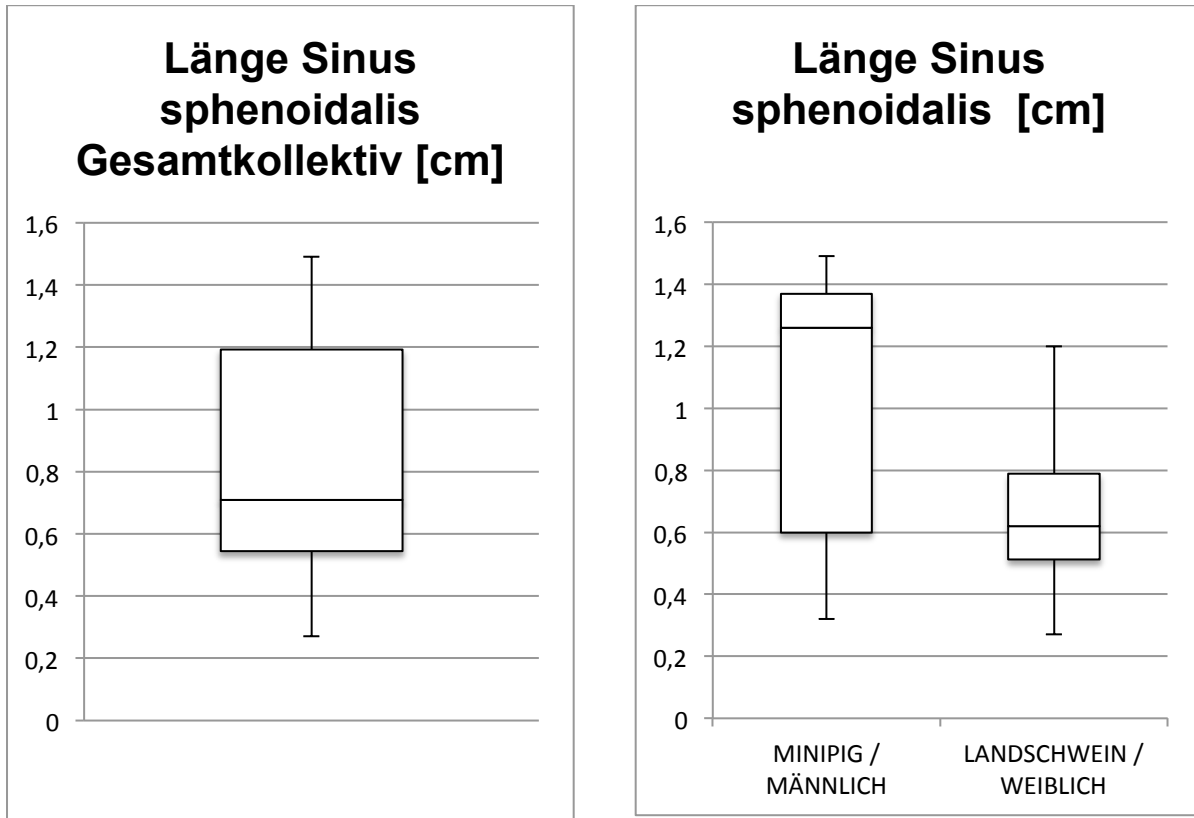


Abb. 33: Länge des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=26) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=16) per Box-and-Whiskers-Plot.

Länge des Sinus sphenoidalis in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,27	0,32	0,27
25%-Quartil	0,55	0,60	0,51
Median	0,71	1,26	0,62
75%-Quartil	1,19	1,37	0,79
Maximum	1,49	1,49	1,20
n	26	10	16

Tabelle 24: Berechnete Werte der Länge des Sinus sphenoidalis in [cm].

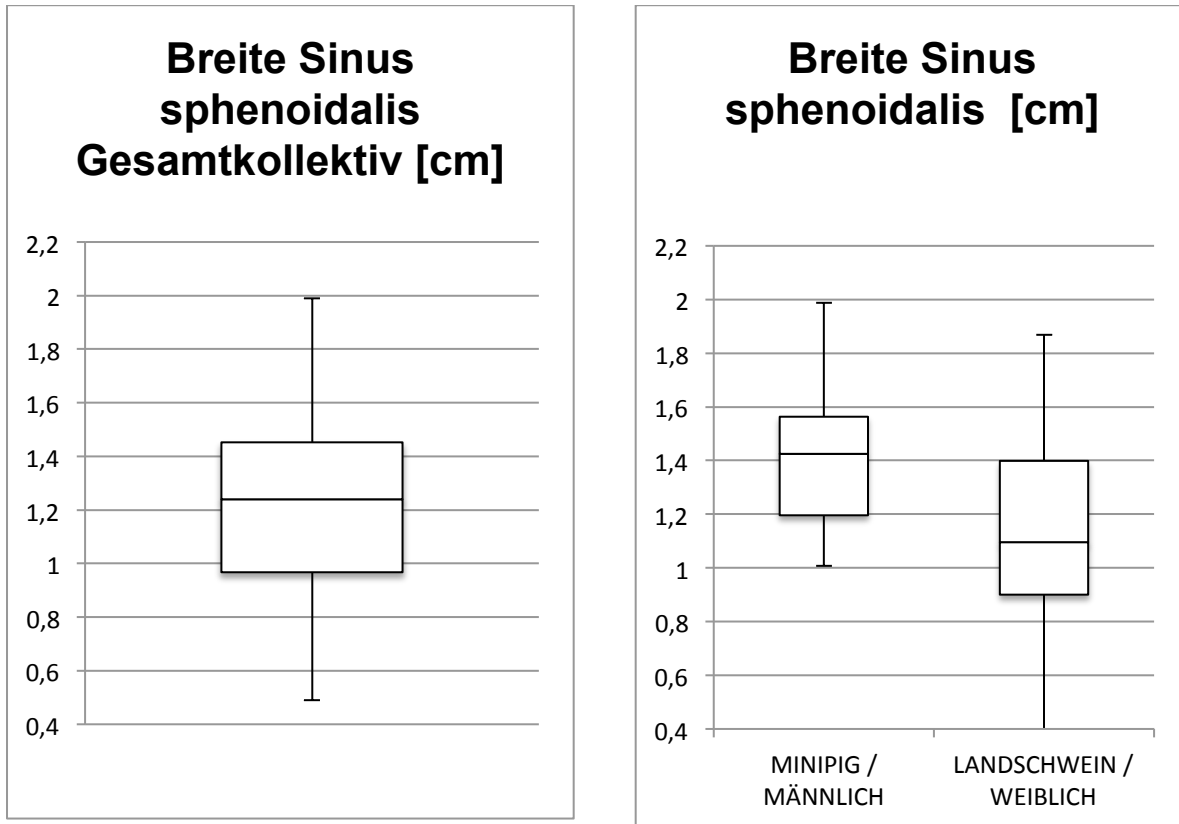


Abb. 34: Breite des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom medialen bis lateralen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=26) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=16) per Box-and-Whiskers-Plot.

Breite des Sinus sphenoidalis in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,43	0,77	0,43
25%-Quartil	0,97	1,20	0,90
Median	1,24	1,43	1,10
75%-Quartil	1,45	1,56	1,40
Maximum	1,93	1,75	1,93
n	26	10	16

Tabelle 25: Berechnete Werte der Breite des Sinus sphenoidalis in [cm].

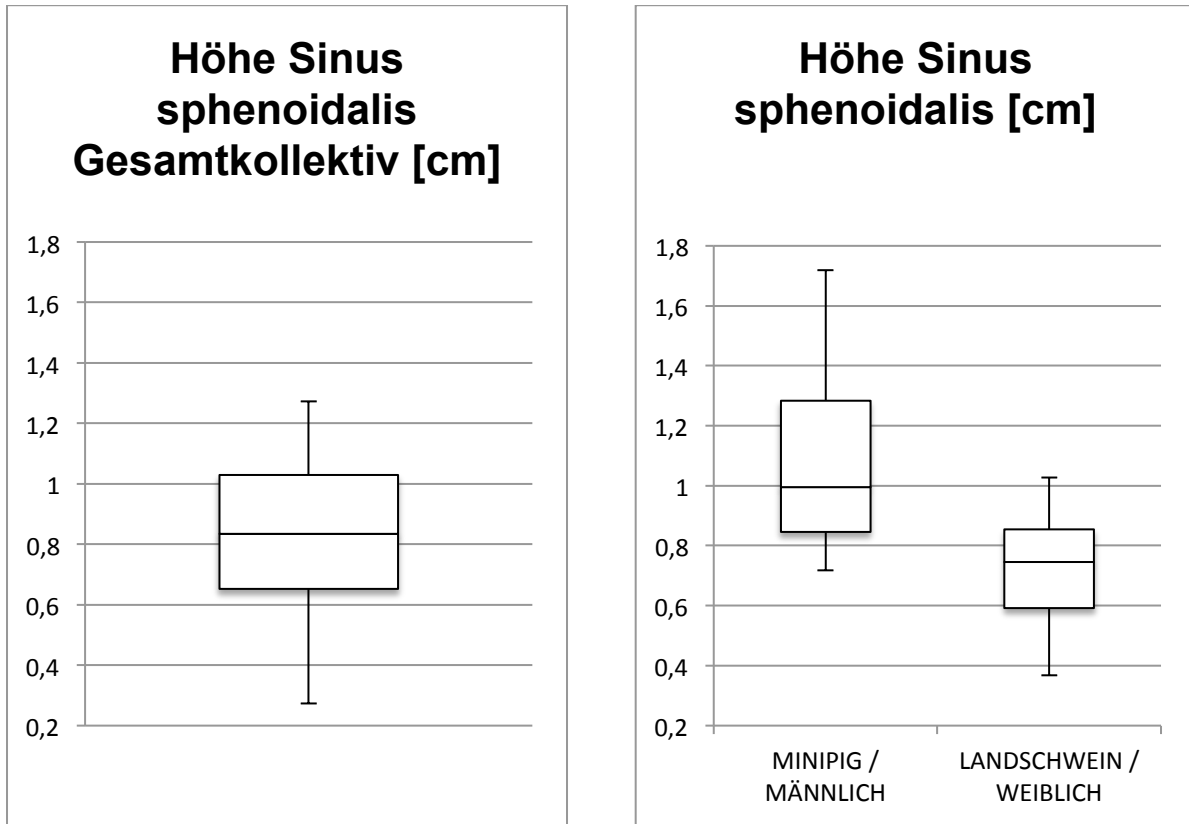


Abb. 35: Höhe des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=23) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n=10) und Landschwein (n=13) per Box-and-Whiskers-Plot.

Höhe des Sinus sphenoidalis in [cm]	Gesamtkollektiv	Minipig	Landschwein
Minimum	0,41	0,41	0,42
25%-Quartil	0,65	0,85	0,59
Median	0,84	1,00	0,75
75%-Quartil	1,03	1,28	0,86
Maximum	1,41	1,41	1,08
n	23	10	13

Tabelle 26: Berechnete Werte der Höhe des Sinus sphenoidalis in [cm].

III.3 Korrelation zwischen Parametern und Gewicht

In den nachstehenden Abbildungen 37 bis 61 und Tabellen 31 bis 55 werden die Durchschnittslängenwerte von rechter und linker Seite in Relation zum Schlachtgewicht erfasst. Um die statistischen Zusammenhänge aufzuzeigen wurde jeweils der Korrelations- koeffizient r nach Pearson bestimmt, für den folgendes gilt:

$r > 0$: positiver linearer Zusammenhang

$r < 0$: negativer linearer Zusammenhang

$r = 0$: kein linearer Zusammenhang

Die Tabellen 27 und 28 zeigen die Kriterien zur Einteilung der Stärke der Korrelation:

Positiver linearer Zusammenhang	
$0,0 \leq r \leq 0,2$	keine bis schwache Korrelation
$0,2 \leq r \leq 0,5$	mäßige bis mittlere Korrelation
$0,5 \leq r \leq 0,8$	deutliche Korrelation
$0,8 \leq r \leq 1$	absolute Korrelation

Tabelle 27: Einteilung des Korrelationsgrades bei positivem linearen Zusammenhang

Negativer linearer Zusammenhang	
$0,0 \geq r \geq -0,2$	keine bis schwache Korrelation
$-0,2 \geq r \geq -0,5$	mäßige bis mittlere Korrelation
$-0,5 \geq r \geq -0,8$	deutliche Korrelation
$-0,8 \geq r \geq -1$	absolute Korrelation

Tabelle 28: Einteilung des Korrelationsgrades bei negativem linearen Zusammenhang.

In den beiden folgenden Tabellen ist der jeweilige Korrelationskoeffizient r und der sich daraus ergebende statistische Zusammenhang in Bezug auf die gemessenen Parameter zum Schlachtgewicht der Gruppe der Landschweine (Tab. 29) und der Gruppe der Minipigs (Tab. 30) aufgeführt.

Landschwein		
Gemessener Parameter in [cm]	Korrelationskoeffizient r	Linearer Zusammenhang
Schädel		
Schädellänge	0,96	absolute positive Korrelation
Länge Frontobasis	0,47	mittlere positive Korrelation
Maximale Schädelbreite exklusive Kalotte	0,74	deutliche positive Korrelation
Maximale Schädelbreite inklusive Kalotte	0,81	absolute positive Korrelation
Augenmuskeln		
Länge Musculus rectus medialis	0,85	absolute positive Korrelation
Länge Musculus rectus lateralis	0,86	absolute positive Korrelation
Länge Musculus rectus medialis und lateralis	0,86	absolute positive Korrelation
Nervus opticus		
Länge	0,82	absolute positive Korrelation
Maximaler Durchmesser	0,35	mäßige positive Korrelation
Bulbus		
Länge	0,79	deutliche positive Korrelation
Breite	0,67	deutliche positive Korrelation
Höhe	0,61	deutliche positive Korrelation

Gemessener Parameter in [cm]	Korrelationskoeffizient r	Linearer Zusammenhang
Linse		
Breite	0,33	mäßige positive Korrelation
Länge	0,55	deutliche positive Korrelation
Orbita		
Länge	0,85	absolute positive Korrelation
Höhe	0,86	absolute positive Korrelation
Optikuskanal		
Länge	0,78	deutliche positive Korrelation
Durchmesser	0,75	deutliche positive Korrelation
Sinus maxillaris		
Länge	0,46	mittlere positive Korrelation
Breite	0,33	mäßige positive Korrelation
Höhe	0,89	absolute positive Korrelation
Sinus sphenoidalis		
Länge	0,78	deutliche positive Korrelation
Breite	0,42	mittlere positive Korrelation
Höhe	0,36	mäßige positive Korrelation

Tabelle 29: Korrelationskoeffizient r in Bezug auf die gemessenen Parameter und die sich daraus ergebende Korrelation in der Gruppe der Landschweine.

Es besteht demzufolge beim Landschwein ein absoluter positiver Zusammenhang zwischen dem Schlachtgewicht und der Schädelgröße, der Schädelbreite mit Kalotte, der Länge der Musculi recti mediales und laterales, der Länge des Nervus opticus, der Höhe und Länge der Orbita, sowie der Höhe des Sinus maxillaris.

Eine deutliche positive Korrelation zeigt sich bei der Schädelbreite ohne Kalotte, der Länge, Breite und Höhe des Bulbus, der Linsenlänge, der Länge und des Durchmessers des Canalis opticus und der Länge des Sinus sphenoidalis. Mäßig bis mittelstark ist der positive Zusammenhang mit der Länge der Frontobasis, dem maximalen Durchmesser des Optikusnervs, der Linsenbreite, Länge und Breite des Sinus maxillaris, sowie Breite und Höhe des Sinus sphenoidalis.

Minipig		
Gemessener Parameter in [cm]	Korrelations- koeffizient r	Linearer Zusammenhang
Schädel		
Schädellänge	0,63	deutliche positive Korrelation
Länge Frontobasis	0,46	mittlere positive Korrelation
Maximale Schädelbreite exklusive Kalotte	0,29	mäßig positive Korrelation
Maximale Schädelbreite inklusive Kalotte	0,41	mittlere positive Korrelation
Augenmuskeln		
Länge Musculus rectus medialis	0,74	deutliche positive Korrelation
Länge Musculus rectus lateralis	0,54	deutliche positive Korrelation
Länge Musculus rectus medialis und lateralis	0,72	deutliche positive Korrelation
Nervus opticus		
Länge	0,78	deutliche positive Korrelation
Maximaler Durchmesser	-0,01	schwache negative
Bulbus		
Länge	-0,18	schwache negative
Breite	0,20	schwache positive
Höhe	0,23	mäßig positive Korrelation

Gemessener Parameter in [cm]	Korrelationskoeffizient r	Linearer Zusammenhang
Linse		
Breite	-0,05	schwache negative Korrelation
Länge	0,19	schwache positive Korrelation
Orbita		
Länge	-0,02	schwache negative Korrelation
Höhe	0,06	schwache positive Korrelation
Optikuskanal		
Länge	0,51	deutliche positive Korrelation
Durchmesser	-0,09	schwache negative Korrelation
Sinus maxillaris		
Länge	0,54	deutliche positive Korrelation
Breite	-0,33	mäßige negative Korrelation
Höhe	0,18	schwache positive Korrelation
Sinus sphenoidalis		
Länge	0,08	schwache positive Korrelation
Breite	-0,36	mittlere negative Korrelation
Höhe	-0,50	mittlere negative Korrelation

Tabelle 30: Korrelationskoeffizient r in Bezug auf die gemessenen Parameter und die sich daraus ergebende Korrelation in der Gruppe der Minipigs.

Beim Minipig ist eine deutliche positive Korrelation bei der Schädellänge, der Länge der Musculi recti mediales und laterales, Länge des Nervus opticus sowie des Optikuskanals und der Länge des Sinus maxillaris zu erkennen.

Ein mäßiger bis mittelstarker positiver Zusammenhang besteht bei der Länge der Frontobasis, der Schädelbreite mit und ohne Kalotte, Bulbushöhe, Linsenlänge und Orbitahöhe. Ein schwaches positives Verhältnis zeigt sich bei Bulbusbreite, Linsenlänge, Orbitahöhe, Höhe des Sinus maxillaris und Länge des Sinus sphenoidalis. Eine mäßige bis mittlere negative Korrelation besteht bei der Breite des Sinus maxillaris sowie Breite und Höhe des Sinus sphenoidalis. Ein schwach ausgeprägter negativer Zusammenhang lässt sich bei dem Durchmesser des Optikusnervs, der Bulbuslänge, der Linsenbreite, der Orbitalänge und dem Durchmesser des Canalis opticus feststellen.

III.4 Graphische Darstellung der gemessenen Werte mittels XY-Plots

XY-Plots eignen sich, um einen Datensatz mit zwei Variablen in Relation zueinander zu vergleichen. Die dargestellten Quadrate finden ihren Platz je nach Wert an der passenden Position zwischen der X- und der Y-Achse (Utts *et al.*, 2005).

In den nachstehenden XY-Diagrammen werden die beiden Populationen Landschwein und Minipig in jeweils einem gemeinsamen Diagramm dargestellt, um den direkten Vergleich zu ermöglichen. Das Kollektiv der Minipigs wird hier mit einem hellen, geraden Quadrat dargestellt, das der Landschweine mit einem dunklen, schräg geneigten Quadrat. Unter dem Diagramm wird zusätzlich jeweils der Korrelationskoeffizient r in einer gesonderten Tabelle aufgeführt.

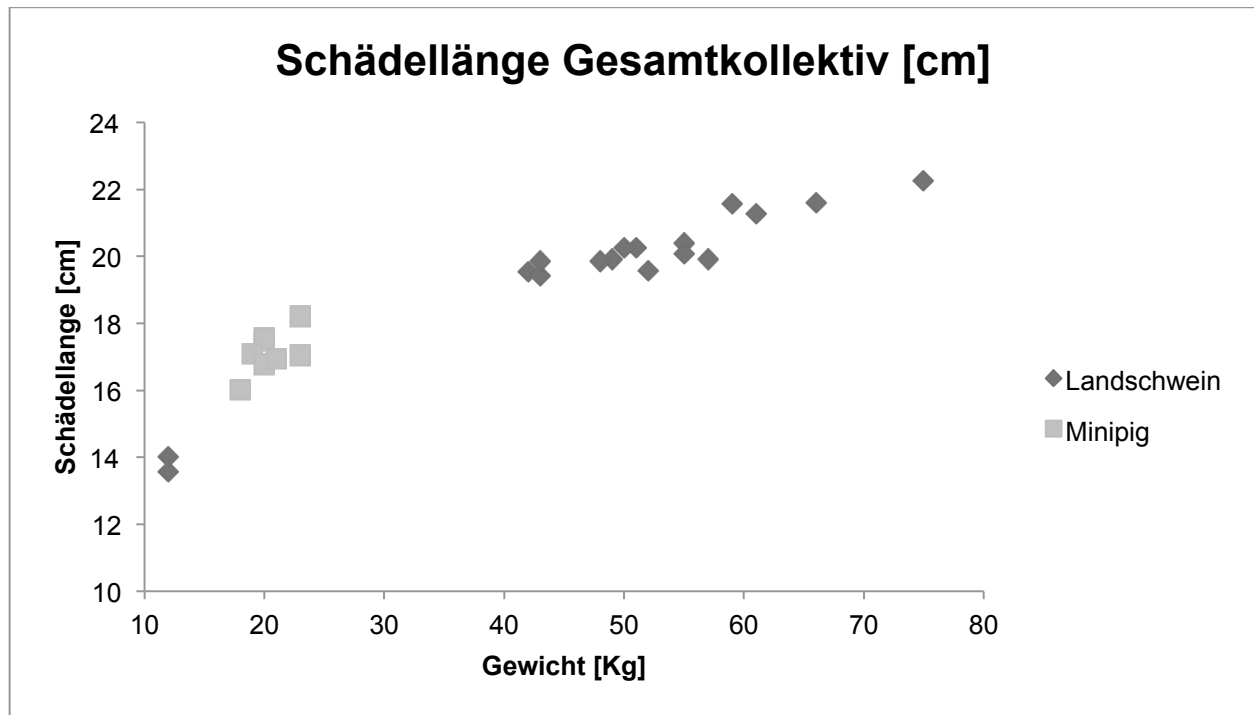


Abb. 36: Schädellänge, gemessen in der Sagittalebene von der Protuberantia mentalis bis zum kaudalen Ende des Os sphenoidalis. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 8) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,96
Minipig	0,63

Tabelle 31: Korrelationskoeffizient r von Schädellänge und Schlachtgewicht.

Beim Landschwein zeigt sich ein absoluter positiver, beim Minipig ein deutlicher positiver Zusammenhang zwischen Schlachtgewicht und Schädellänge.

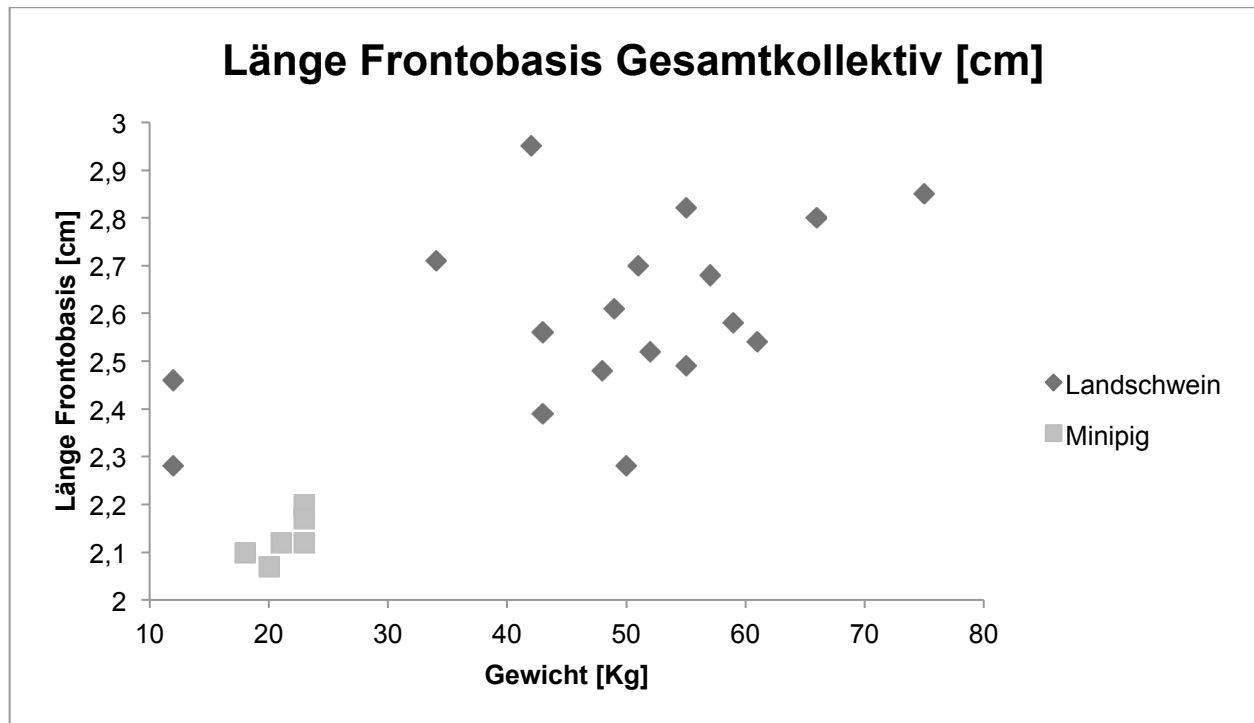


Abb. 37: Länge der Frontobasis, gemessen in der Sagittalebene vom rostralen bis zum kaudalen Ende der Frontobasis. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,47
Minipig	0,46

Tabelle 32: Korrelationskoeffizient r von Länge der Frontobasis und Schlachtgewicht.

Die Länge der Frontobasis korreliert bei beiden Gattungen mittelstark positiv mit dem Schlachtgewicht der Schweine.

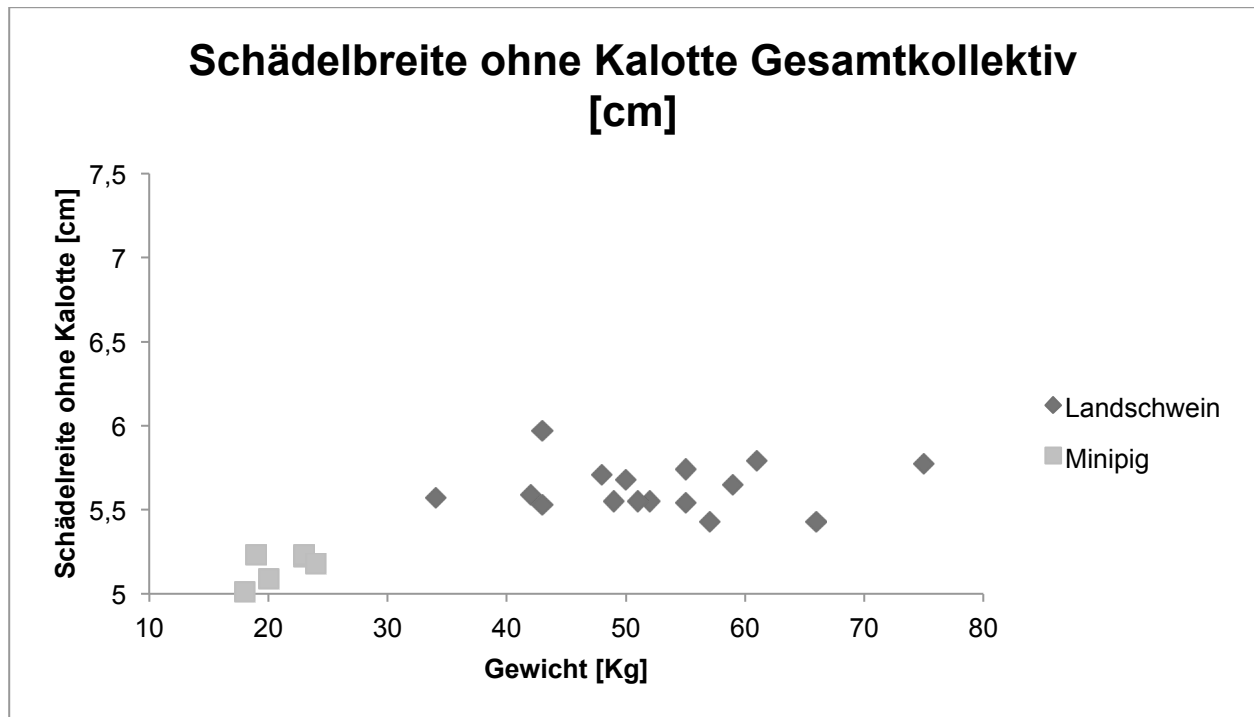


Abb. 38: Schädelbreite ohne Kalotte, in der Coronarebene in der maximalen Ausdehnung gemessen. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landshwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landshwein	0,74
Minipig	0,29

Tabelle 33: Korrelationskoeffizient r von Schädelbreite ohne Kalotte und Schlachtgewicht.

Beim Landshwein besteht ein deutlich positiver Zusammenhang zwischen Schädelbreite exklusive Kalotte und dem Schlachtgewicht, beim Minipig ein mäßiger positiver.

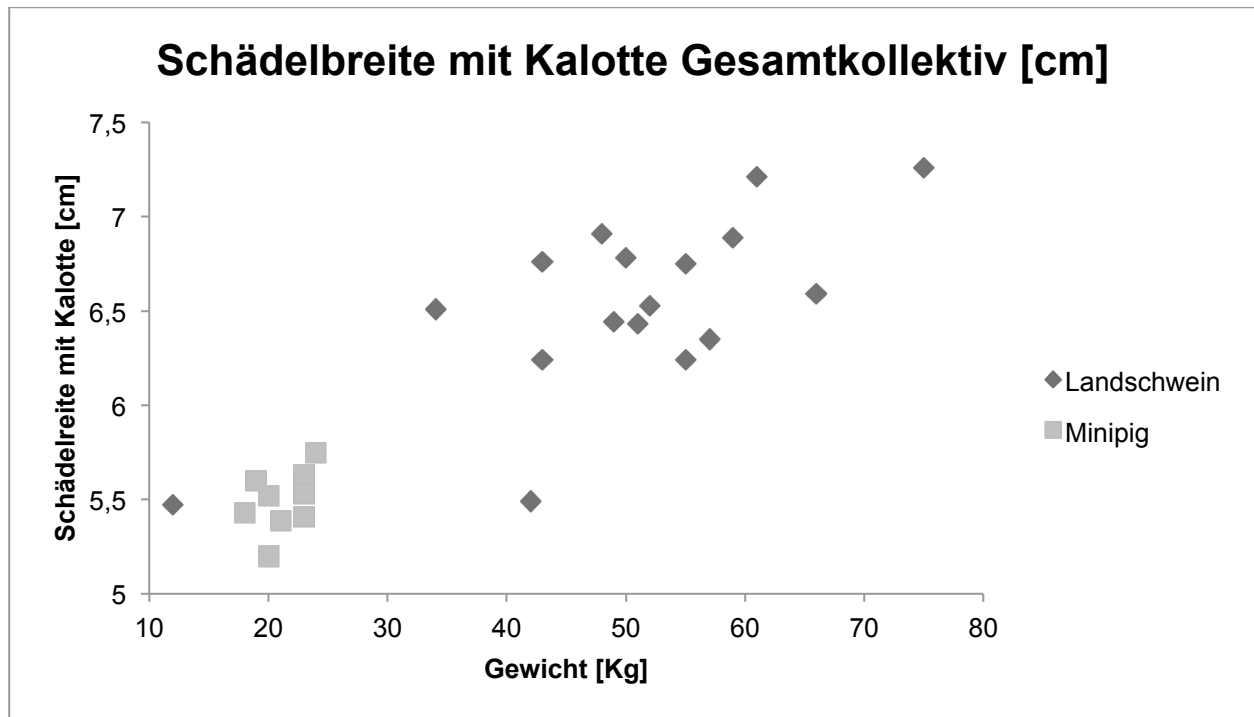


Abb. 39: Schädelbreite mit Kalotte, in der Coronarebene in der maximalen Ausdehnung gemessen. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,81
Minipig	0,41

Tabelle 34: Korrelationskoeffizient r von Schädelbreite mit Kalotte und Schlachtgewicht.

Es ist zwischen der Schädelbreite inklusive Kalotte und dem Schlachtgewicht des Landschweins eine absolute positive Korrelation zu erkennen, beim Minipig eine mittelstark positive.

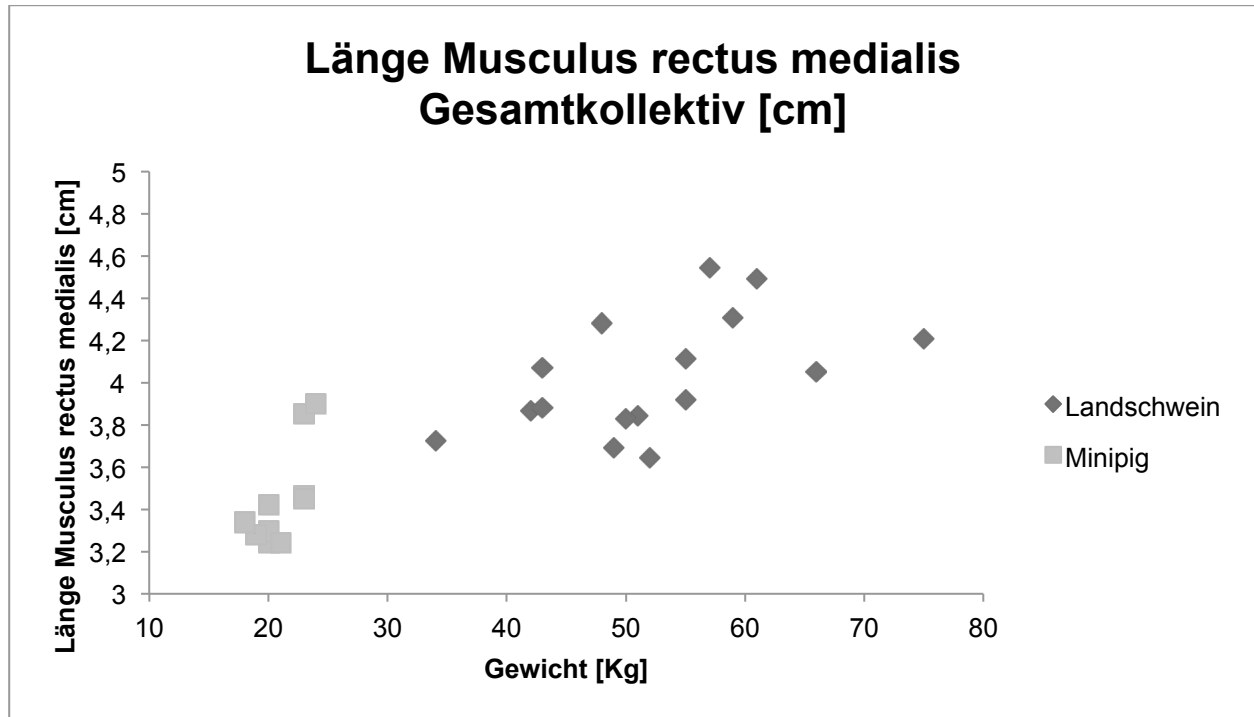


Abb. 40: Länge des Musculus rectus medialis, gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,85
Minipig	0,74

Tabelle 35: Korrelationskoeffizient r von Musculus rectus medialis und Schlachtgewicht.

Die Länge des Musculus rectus medialis hängt mit dem Schlachtgewicht des Landschweins absolut positiv, mit dem des Minipigs deutlich positiv zusammen.

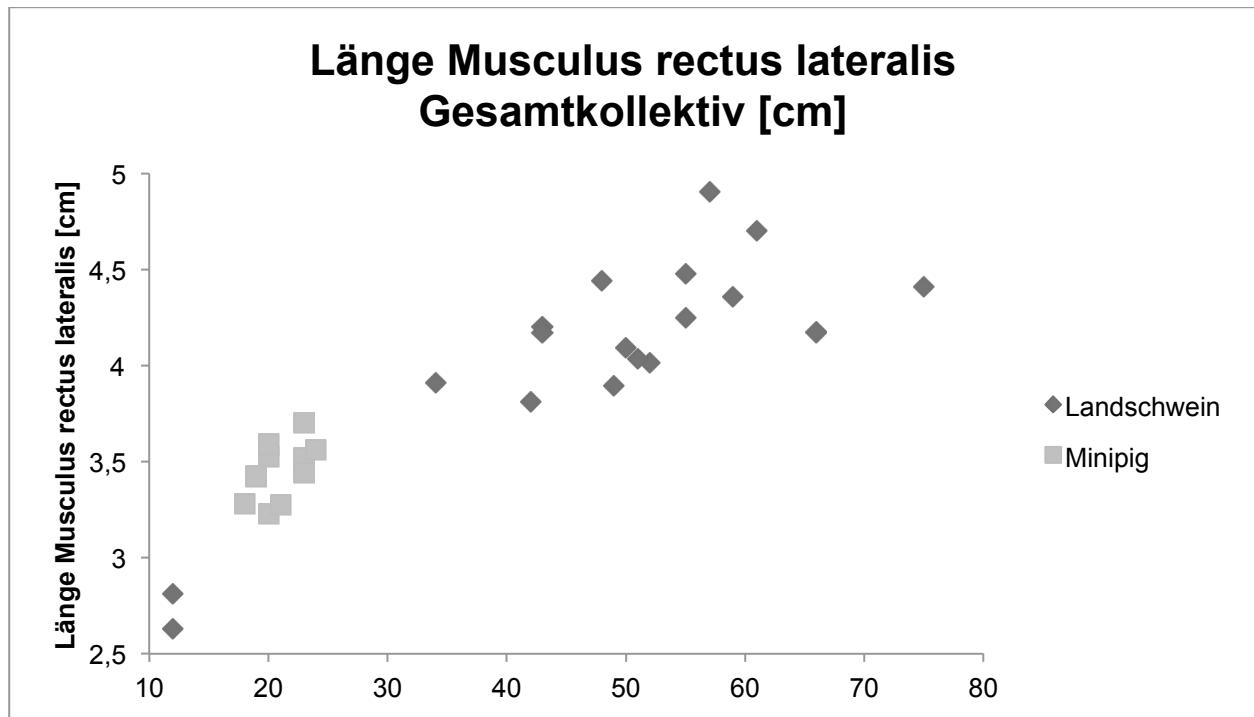


Abb. 41: Länge des Musculus rectus lateralis, gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,86
Minipig	0,54

Tabelle 36: Korrelationskoeffizient r von Länge des Musculus rectalis lateralis und Schlachtgewicht.

Es ist eine absolute positive Korrelation zwischen der Länge des Musculus rectus lateralis und dem Schlachtgewicht des Landschweins zu erkennen, eine deutliche positive mit dem des Minipigs.

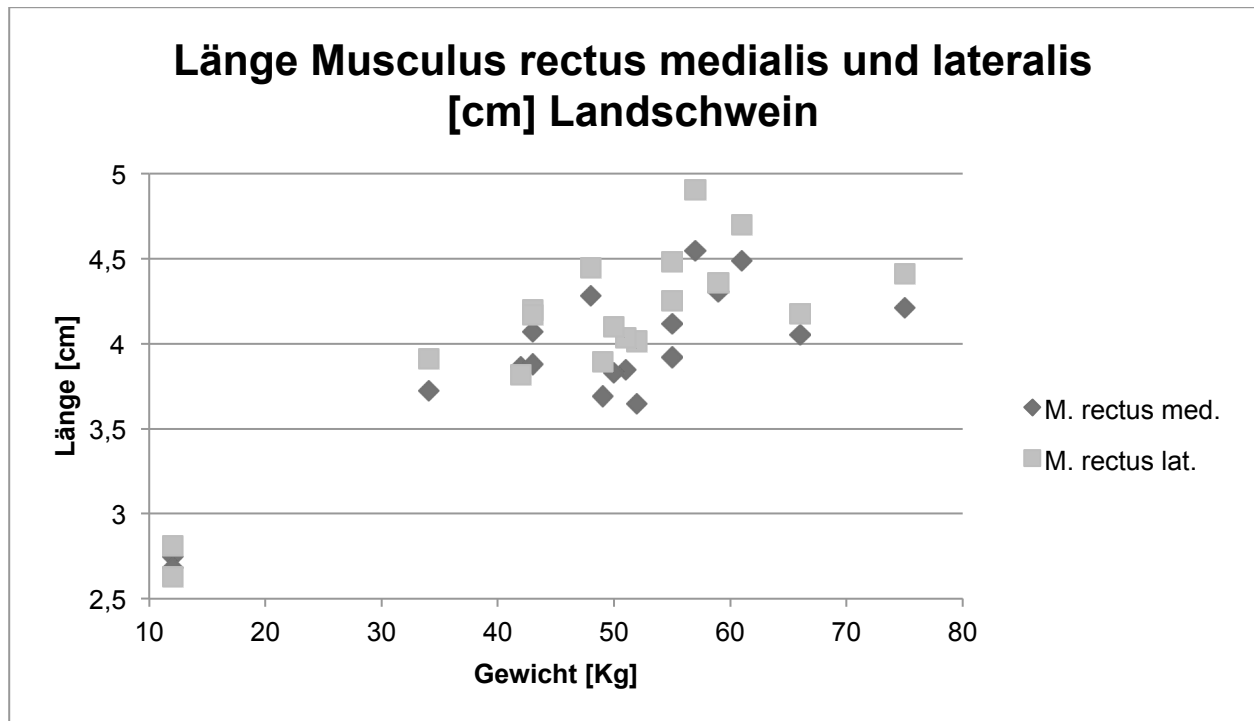


Abb. 42: Länge des Musculus rectus medialis und lateralis im Vergleich in der Gruppe Landschwein (n=20), gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,86

Tabelle 37: Korrelationskoeffizient r von Musculus rectus medialis und lateralis und Schlachtgewicht.

Die Länge der Musculi recti mediales und laterales hängt beim Landschwein absolut positiv mit dem Schlachtgewicht zusammen.

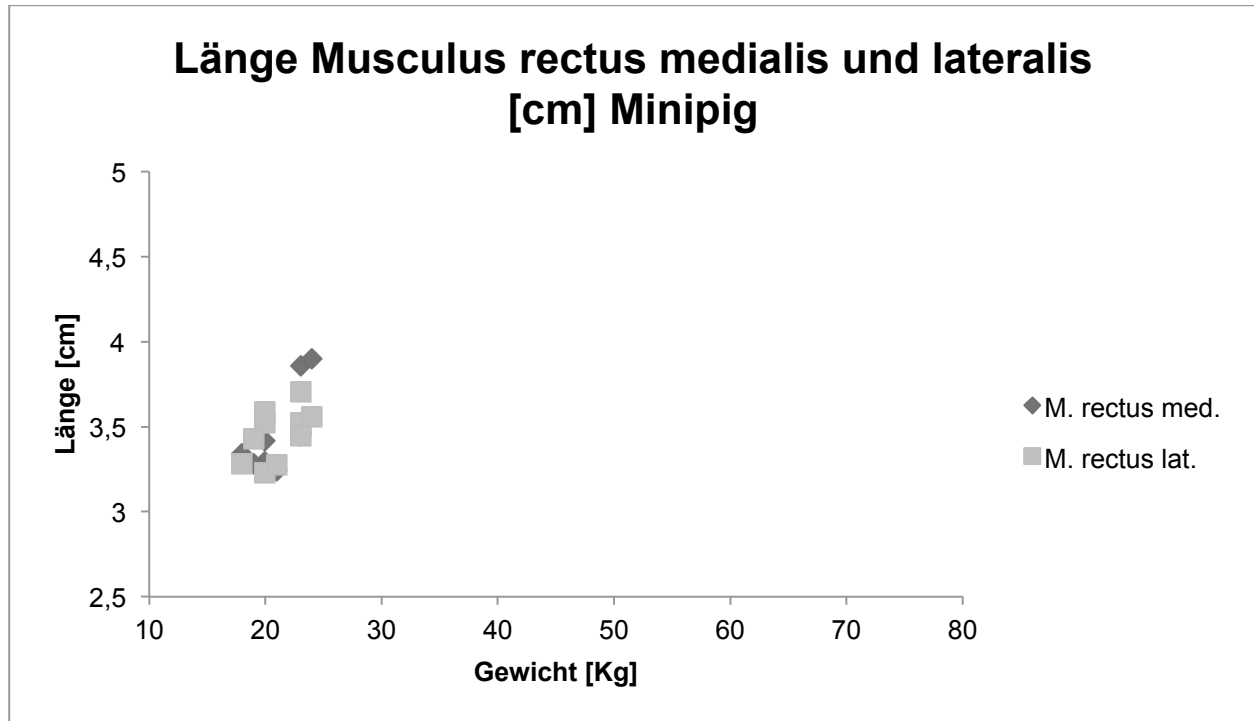


Abb. 43: Länge des Musculus rectus medialis und lateralis im Vergleich in der Gruppe Minipig (n=10), gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung im XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Minipig	0,72

Tabelle 38: Korrelationskoeffizient r von Musculus rectus medialis und lateralis und Schlachtgewicht.

Beim Minipig ist ein deutlicher positiver Zusammenhang zwischen der Länge der Musculi recti mediales und laterales und dem Schlachtgewicht zu erkennen.

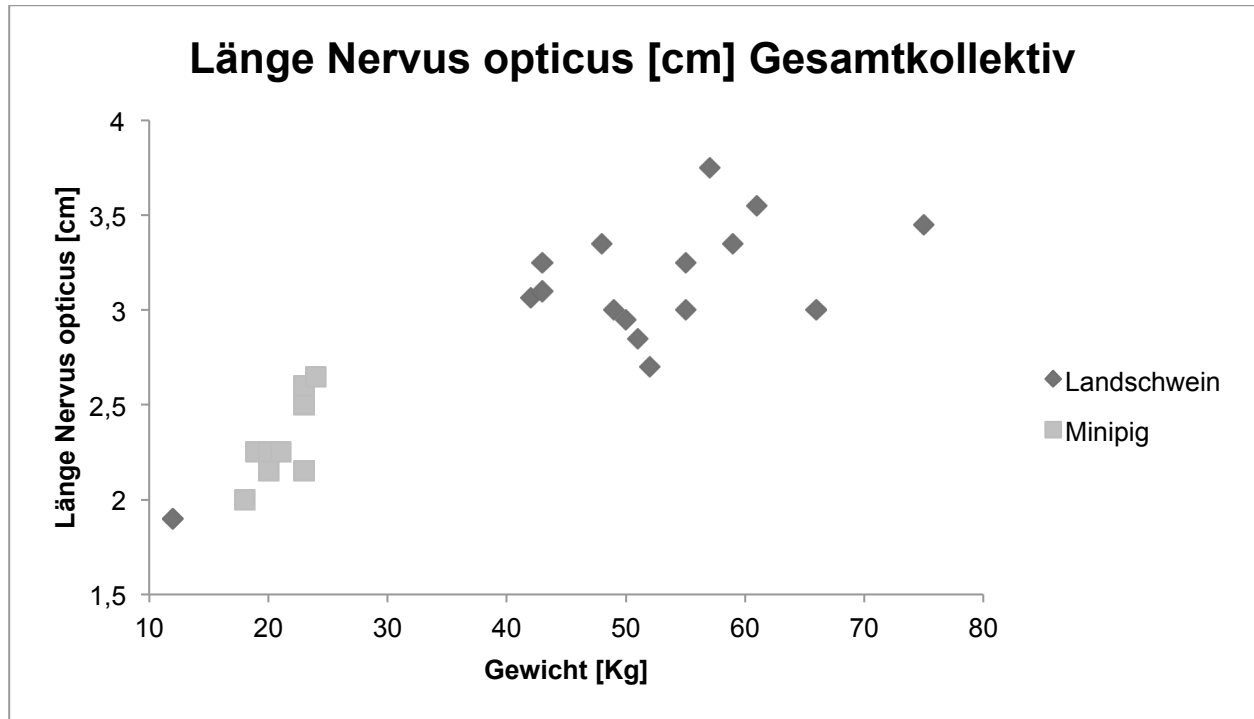


Abb. 44: Länge des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=19) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,82
Minipig	0,78

Tabelle 39: Korrelationskoeffizient r von Länge des Optikusnervs und Schlachtgewicht.

Es besteht beim Landschwein eine absolute positive Korrelation zwischen Schlachtgewicht und der Länge des Optikusnervs, beim Minipig eine deutliche.

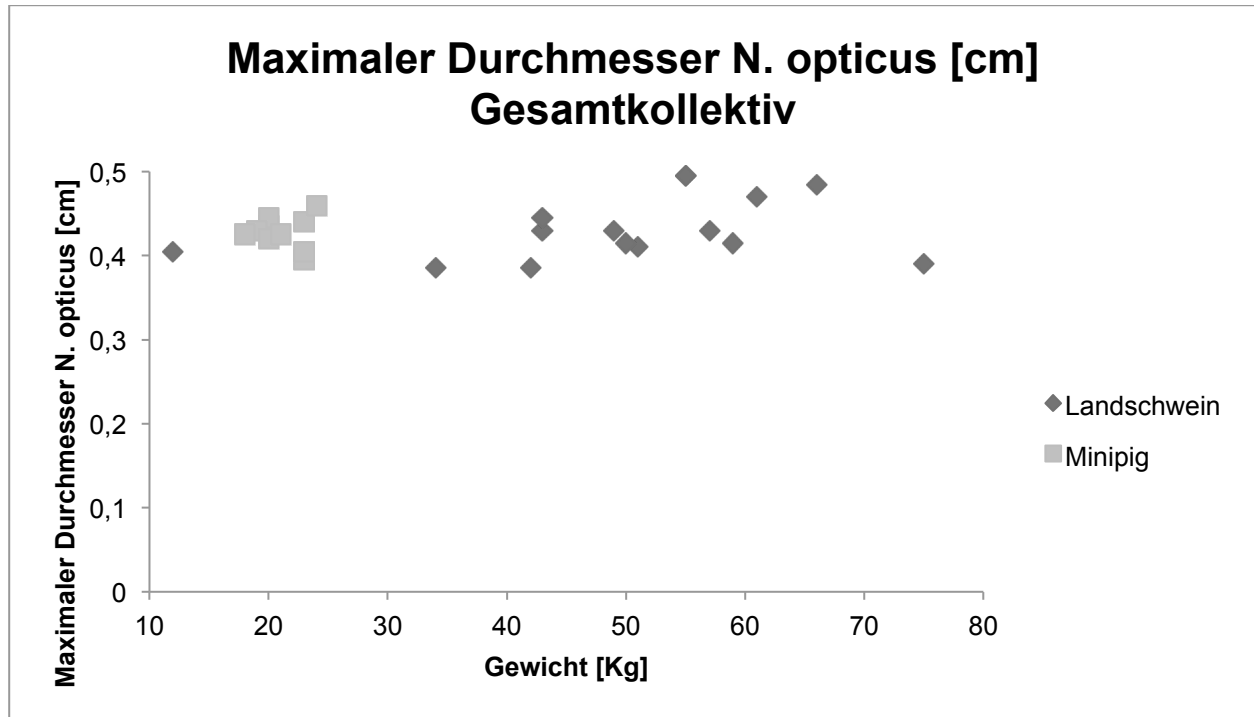


Abb. 45: Maximaler Durchmesser des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronar-ebene orthogonal zum Nervus opticus. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=17) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,35
Minipig	-0,01

Tabelle 40: Korrelationskoeffizient r von Durchmesser des N. opticus und Schlachtgewicht.

Der Durchmesser des Optikusnervs korreliert mäßig positiv mit dem Schlachtgewicht des Landschweins und schwach negativ mit dem des Minipigs.

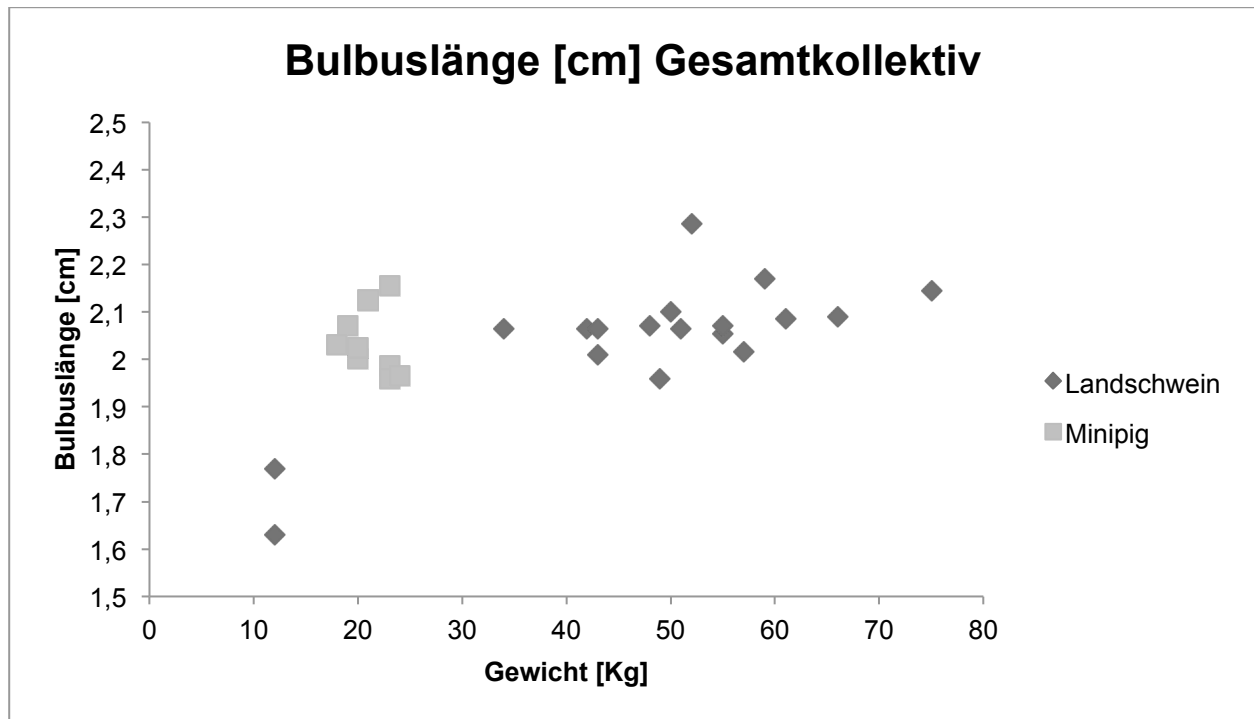


Abb. 46: Bulbuslänge, maximaler Abstand der Cornea zur dorsalen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,79
Minipig	-0,18

Tabelle 41: Korrelationskoeffizient r von Bulbuslänge und Schlachtgewicht.

Beim Landschwein zeigt sich ein deutlich positiver Zusammenhang zwischen Schlachtgewicht und Bulbuslänge, beim Minipig ein schwach negativer.

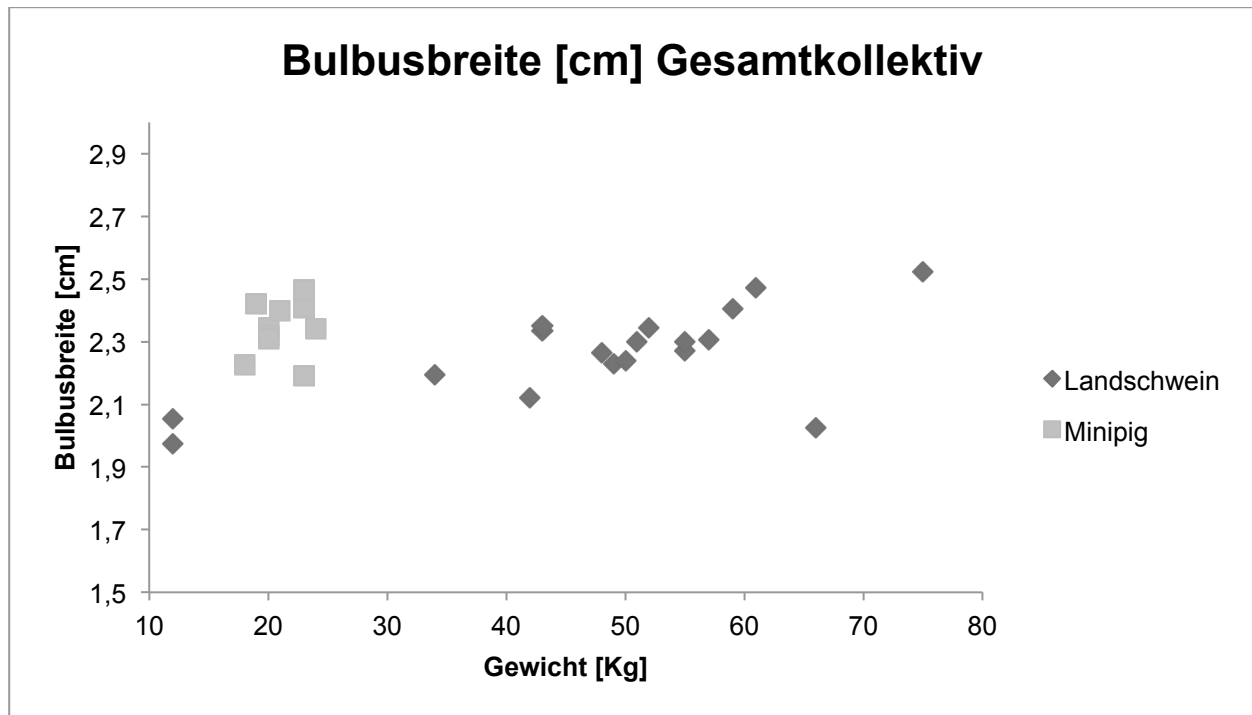


Abb. 47: Bulbusbreite, maximaler Abstand der medialen zur lateralen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,67
Minipig	0,20

Tabelle 42: Korrelationskoeffizient r von Bulbusbreite und Schlachtgewicht.

Die Bulbusbreite korreliert beim Landschwein deutlich positiv, beim Minipig schwach mit dem Schlachtgewicht.

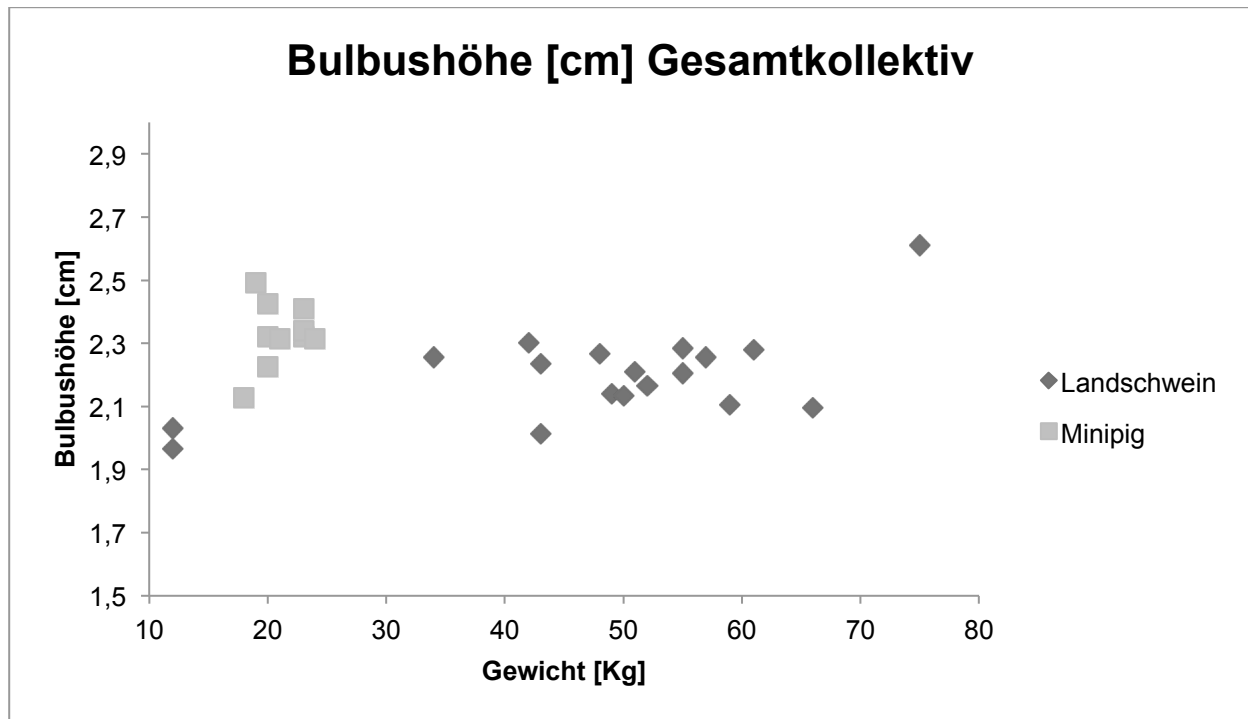


Abb. 48: Bulbushöhe, maximaler Abstand der kranialen zur kaudalen Sklerawand, gemessen in der Coronarebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,61
Minipig	0,23

Tabelle 43: Korrelationskoeffizient r von Schädelhöhe und Schlachtgewicht.

Die Bulbushöhe hängt beim Landschwein deutlich positiv, beim Minipig mäßig positiv mit dem Schlachtgewicht zusammen.

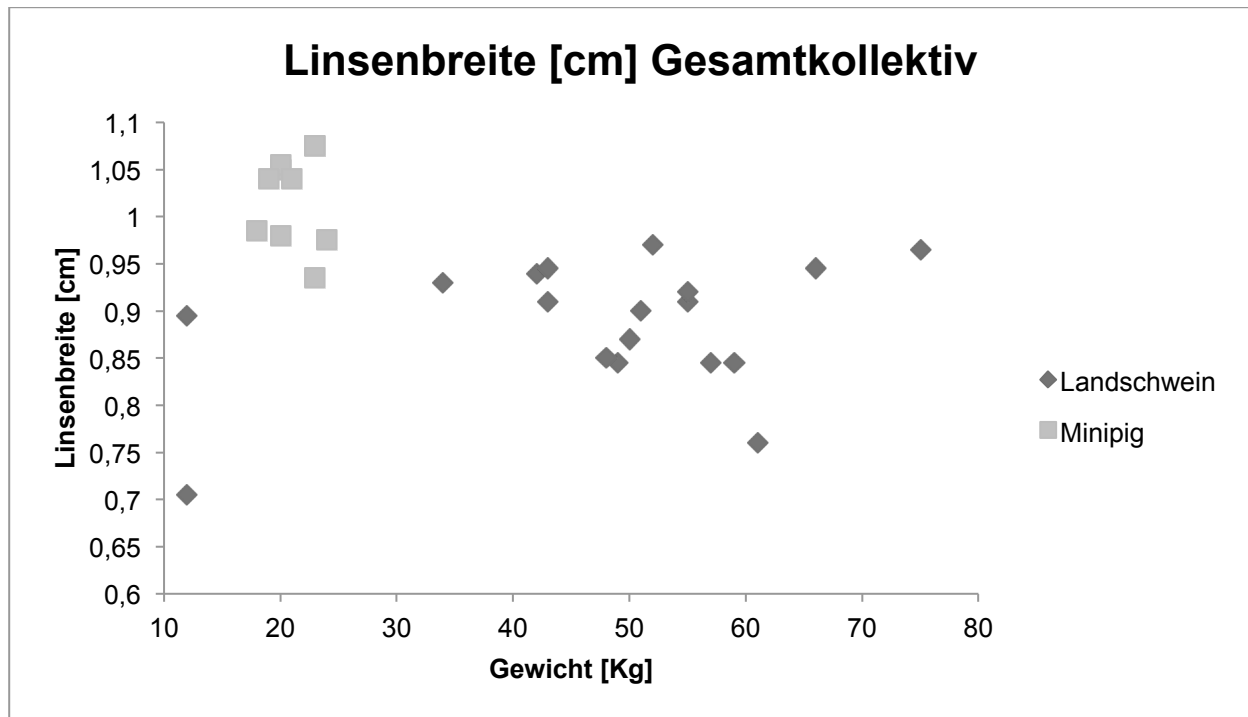


Abb. 49: Linsenbreite, maximale Ausdehnung von medial bis lateral, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,33
Minipig	-0,05

Tabelle 44: Korrelationskoeffizient r von Linsenbreite und Schlachtgewicht.

Eine mäßige positive Korrelation zwischen Linsenbreite und Schlachtgewicht besteht beim Landschwein, eine schwache negative beim Minipig.

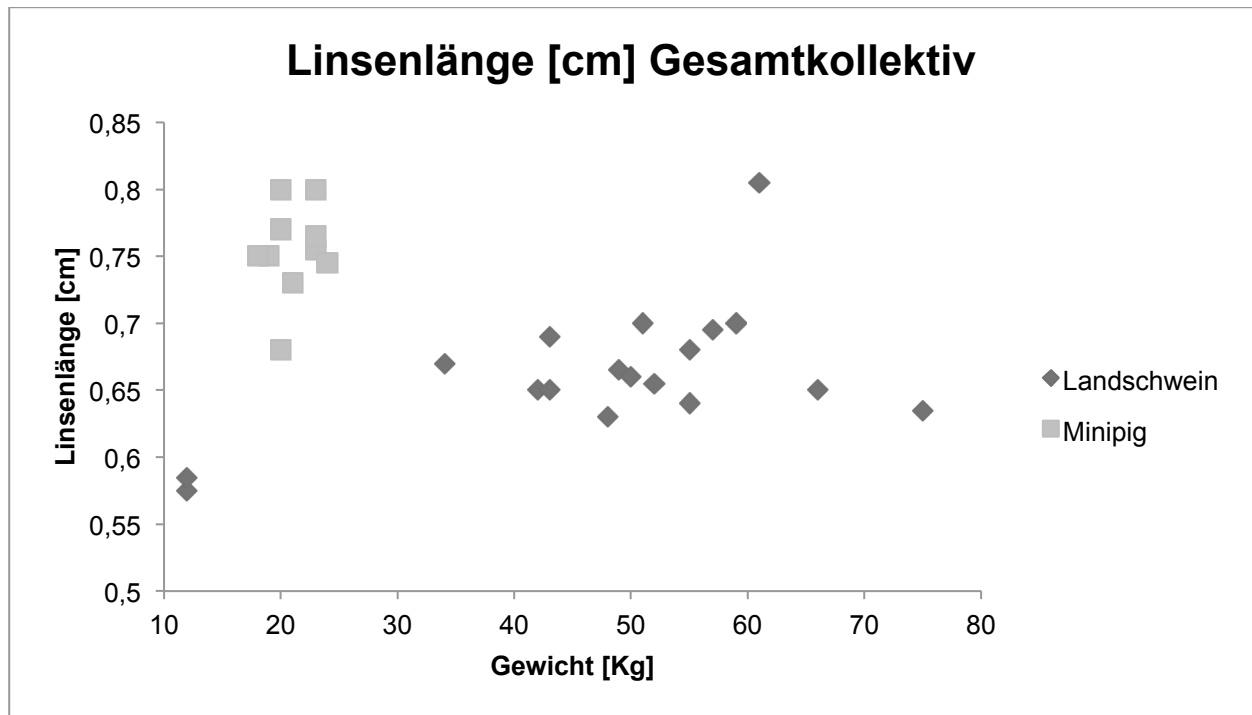


Abb. 50: Linsenlänge, maximale Ausdehnung von rostral bis kaudal, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,55
Minipig	0,19

Tabelle 45: Korrelationskoeffizient r von Linsenlänge und Schlachtgewicht.

Die Linsenlänge korreliert mit dem Schlachtgewicht deutlich positiv beim Landschwein und schwach positiv beim Minipig.

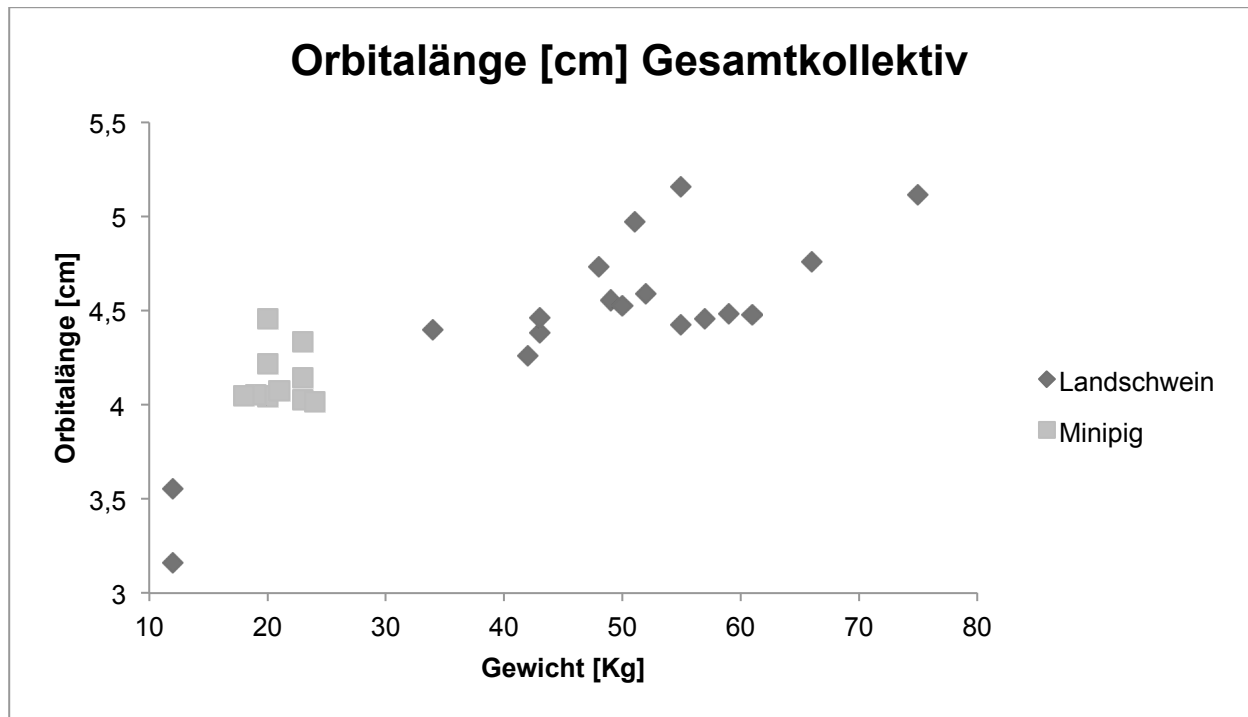


Abb. 51: Orbitalänge, gemessen in der Axialebene, von Canalis opticus bis Crista lacrimalis anterior. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,85
Minipig	-0,02

Tabelle 46: Korrelationskoeffizient r von Orbitalänge und Schlachtgewicht.

Es besteht ein absoluter positiver Zusammenhang zwischen Schlachtgewicht und Orbitalänge beim Landschwein, ein schwach negativer beim Minipig.

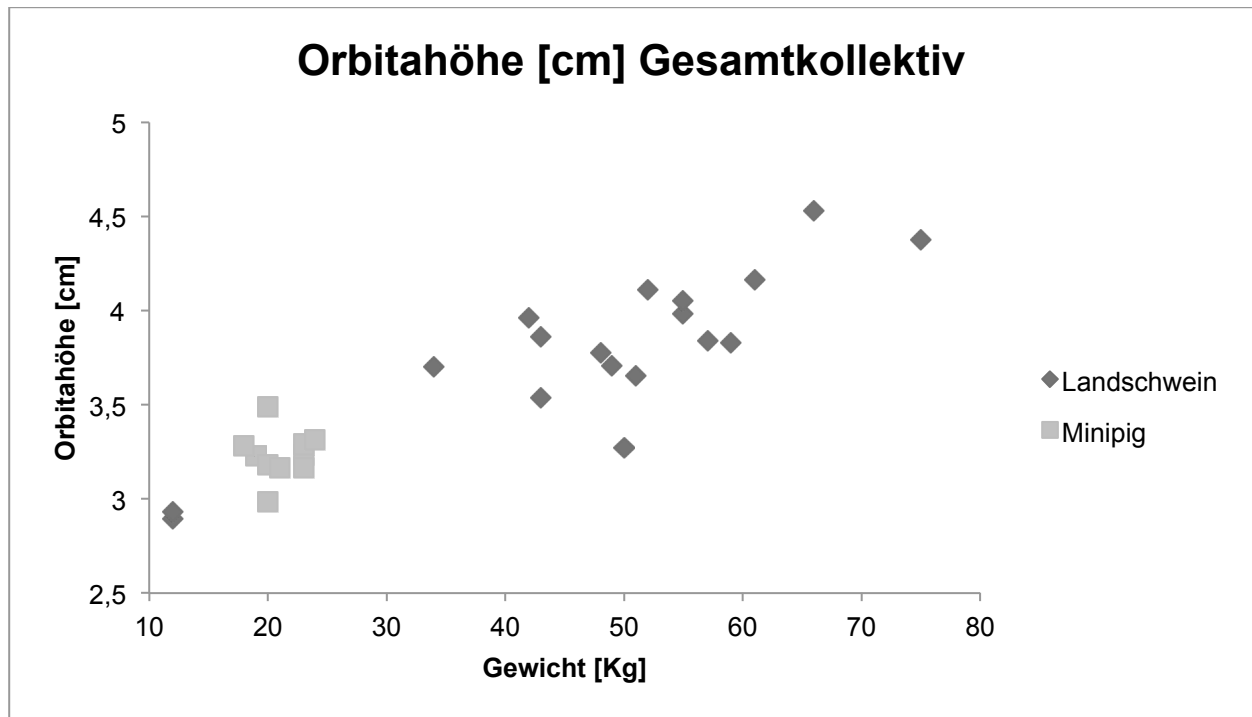


Abb. 52: Orbitahöhe, gemessen in der Coronarebene, von Os frontale bis Os zygomaticus. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,86
Minipig	0,06

Tabelle 47: Korrelationskoeffizient r von Orbitahöhe und Schlachtgewicht.

Die Orbitahöhe hängt beim Landschwein absolut positiv, beim Minipig schwach positiv mit dem Schlachtgewicht zusammen.

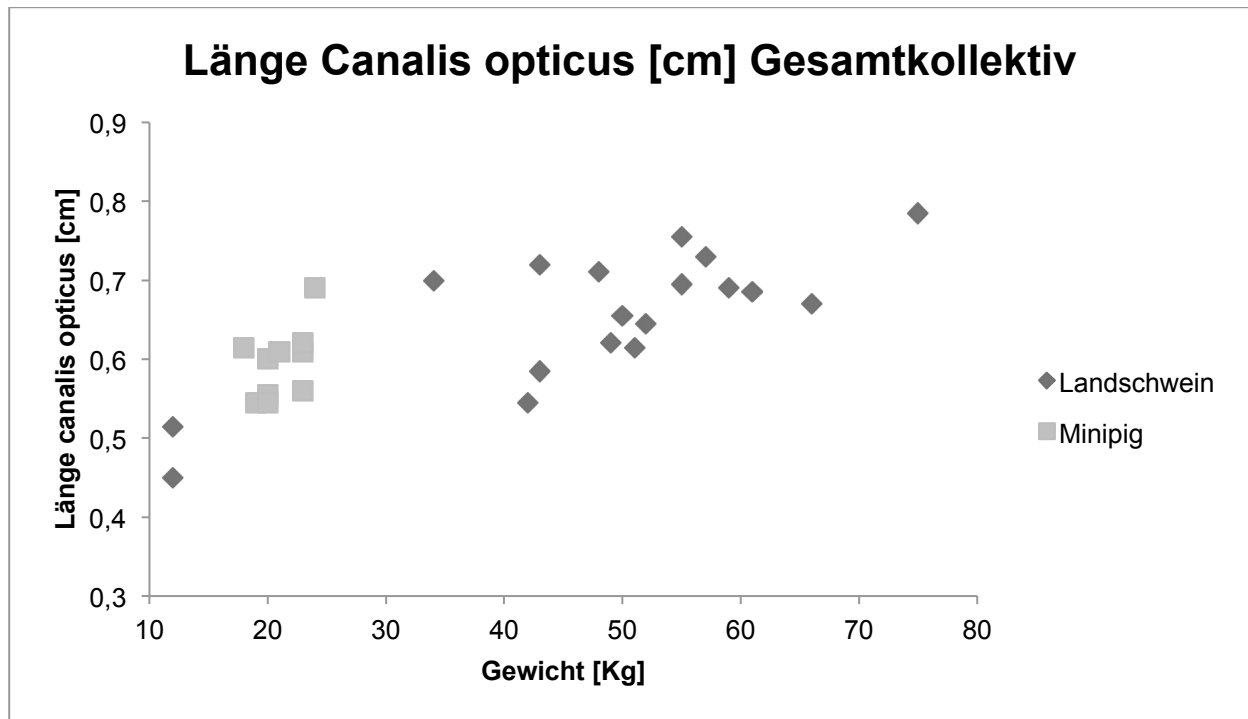


Abb. 53: Länge des Optikuskanals, gemessen in der Axialebene, von der Mitte des Chisama opticum bis Anulus tendineus communis. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,78
Minipig	0,51

Tabelle 48: Korrelationskoeffizient r von Länge des canalis opticus und Schlachtgewicht.

Es zeigt sich eine deutliche positive Korrelation von Länge des canalis opticus und Schlachtgewicht bei beiden Gattungen.

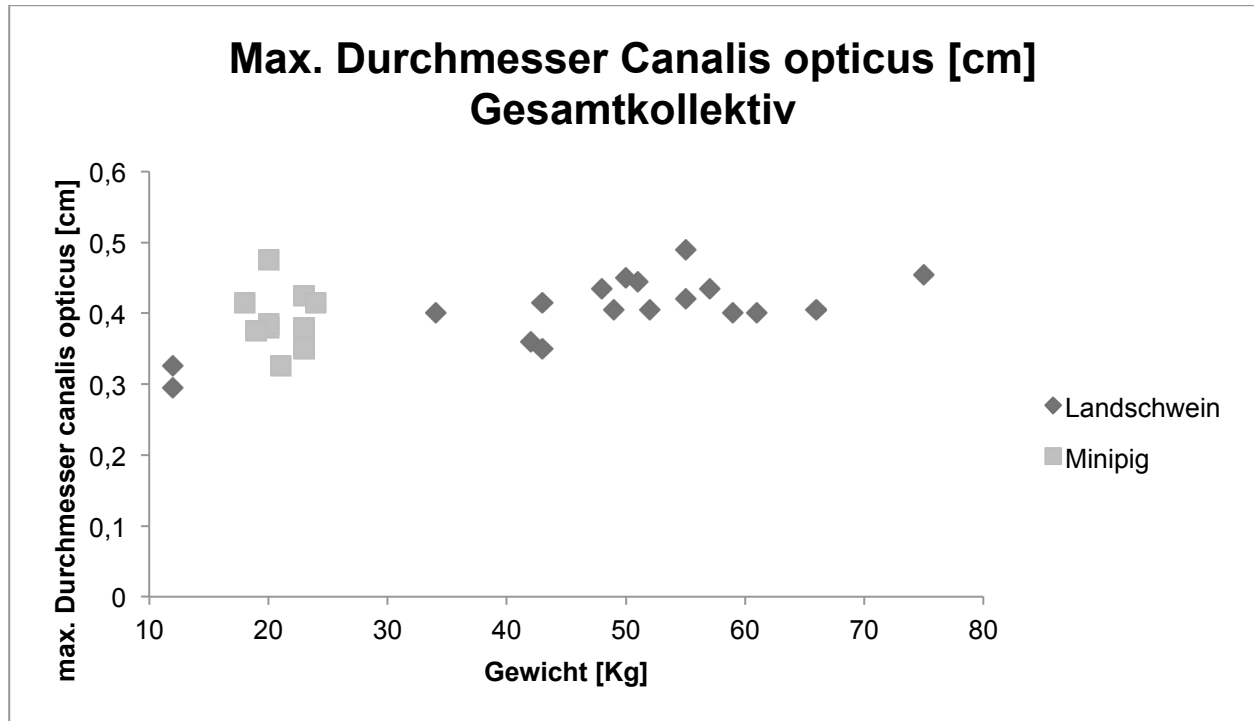


Abb. 54: Durchmesser des Optikuskanals, maximale Ausdehnung des Anulus tendineus communis, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,75
Minipig	-0,09

Tabelle 49: Korrelationskoeffizient r von Durchmesser des canalis opticus und Schlachtgewicht.

Der maximale Durchmesser des Optikuskanals und das Schlachtgewicht hängen beim Landschwein statistisch deutlich positiv, beim Minipig schwach negativ zusammen.

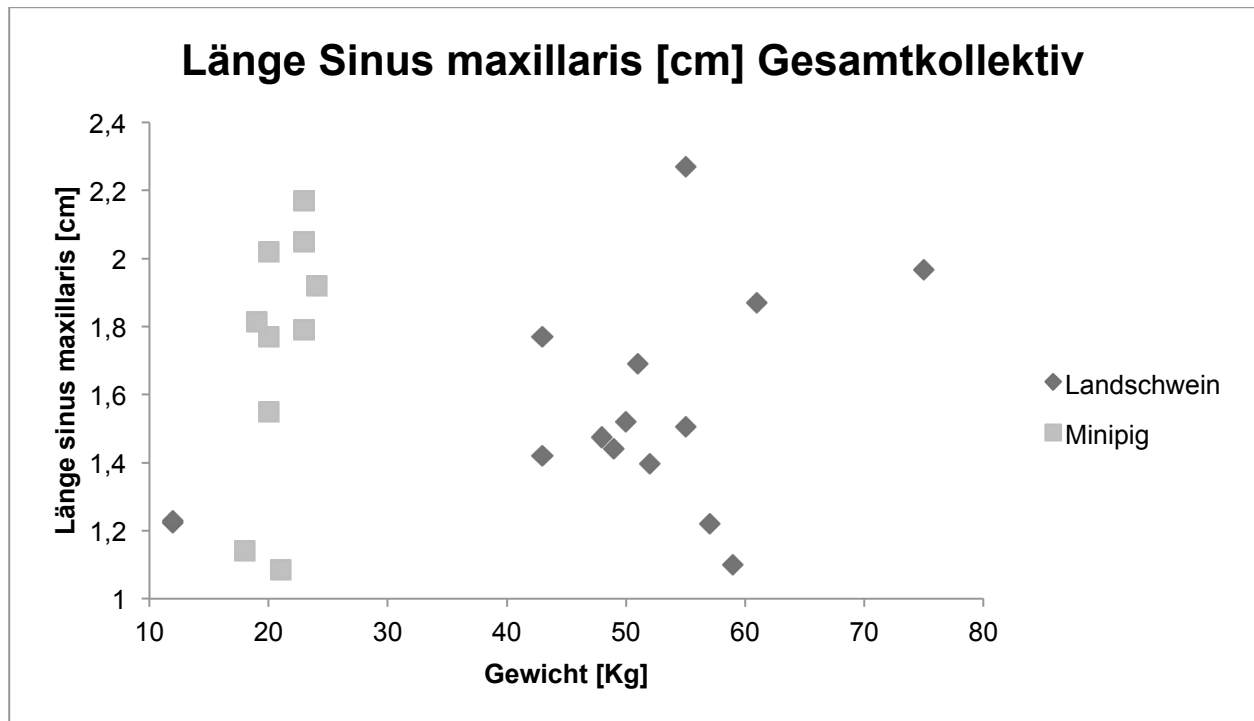


Abb. 55: Länge des Sinus maxillaris, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=17) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,46
Minipig	0,54

Tabelle 50: Korrelationskoeffizient r von Länge des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht.

Eine deutliche positive Korrelation zwischen Länge des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht ist beim Landschwein zu erkennen, eine mittelstark positive beim Minipig

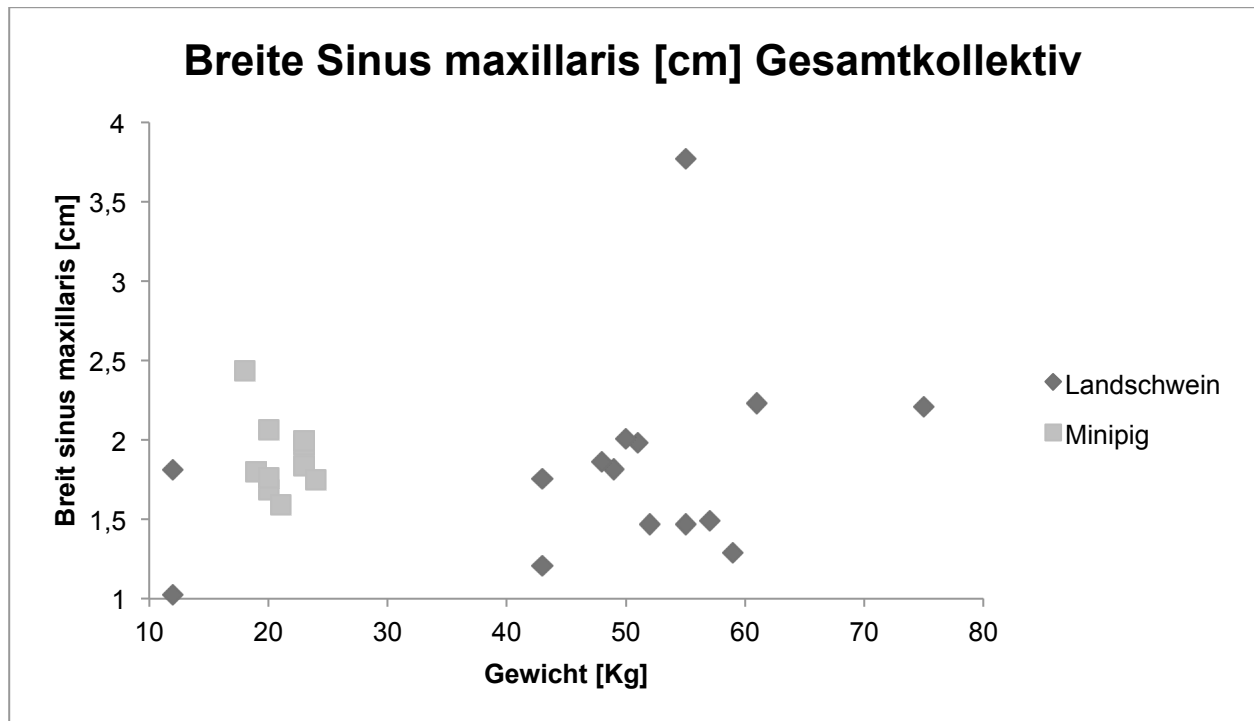


Abb. 56: Breite des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom medialen bis lateralen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=17) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,33
Minipig	-0,33

Tabelle 51: Korrelationskoeffizient r von Breite des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht.

Die Breite des Sinus maxillaris steht beim Landschwein in mäßig positivem, beim Minipig in mäßig negativem Zusammenhang mit dem Schlachtgewicht.

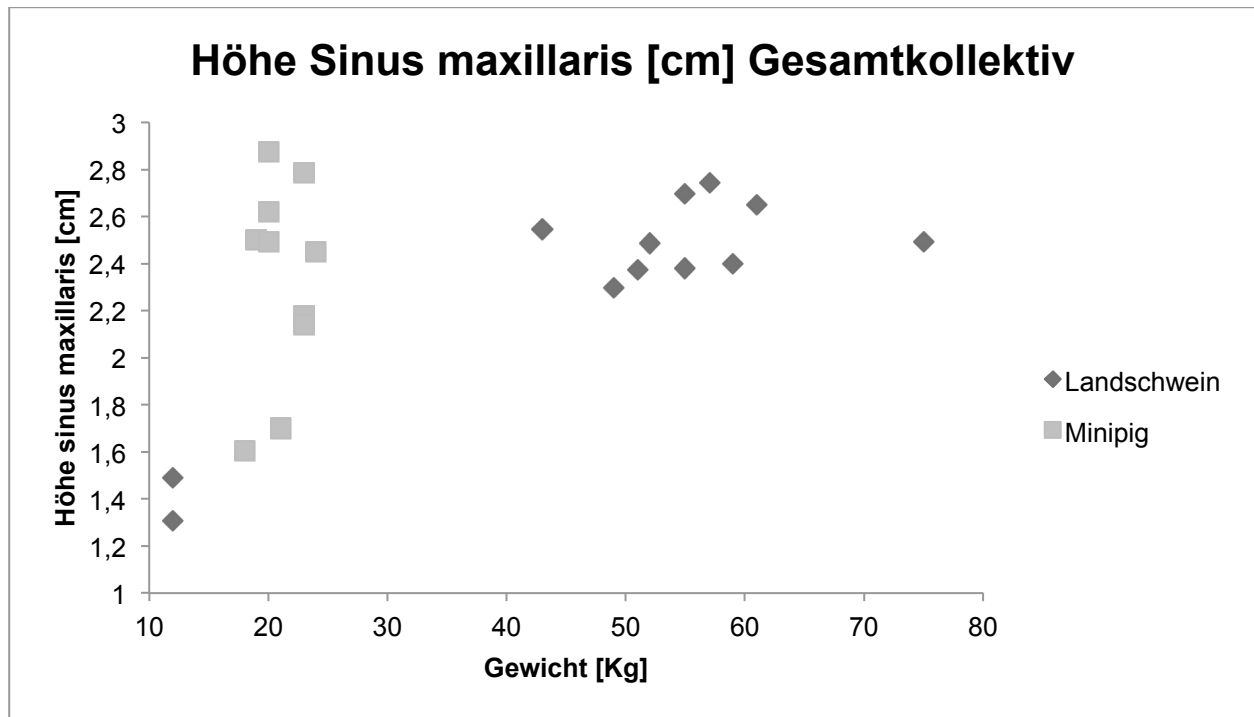


Abb. 57: Höhe des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=14) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,89
Minipig	0,18

Tabelle 52: Korrelationskoeffizient r von Höhe des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht.

Es zeigt sich beim Landschwein eine absolute positive Korrelation zwischen Höhe des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht und eine schwache positive beim Minipig.

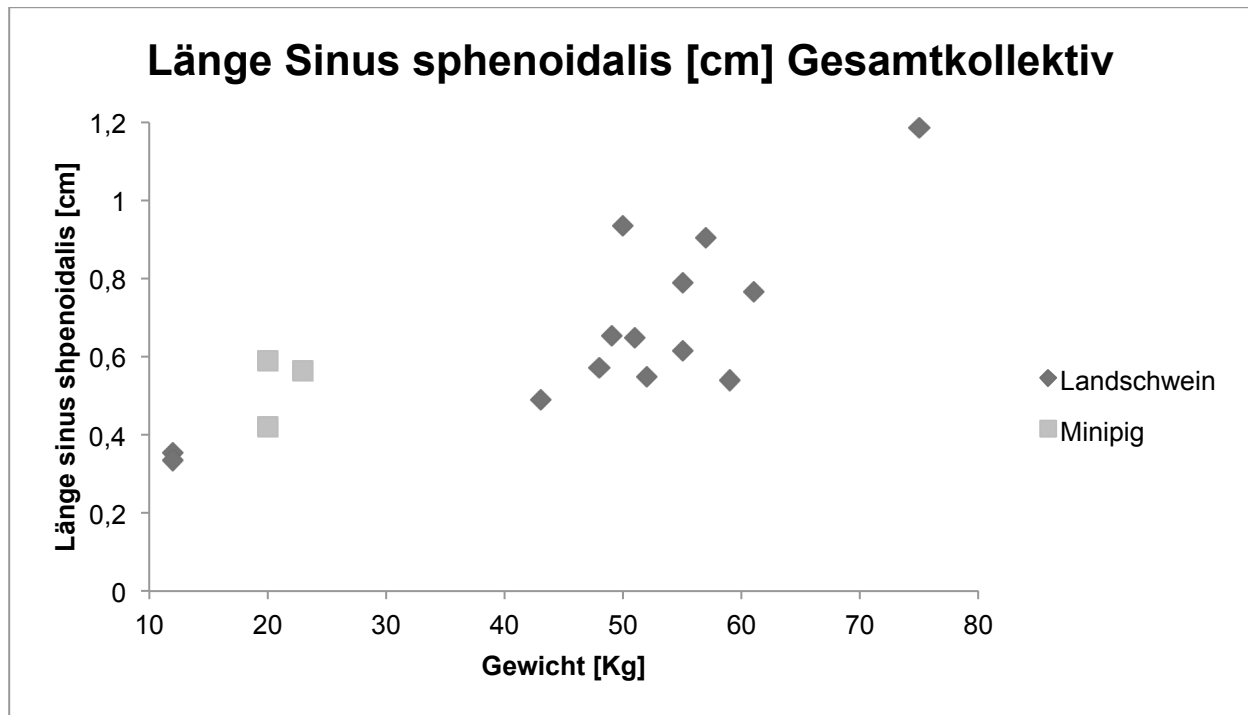


Abb. 58: Länge des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=16) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,78
Minipig	0,08

Tabelle 53: Korrelationskoeffizient r von Länge des Sinus sphenoidalis und Schlachtgewicht.

Beim Landschwein hängt die Länge des Sinus sphenoidalis deutlich positiv mit dem Schlachtgewicht zusammen, beim Minipig schwach positiv.

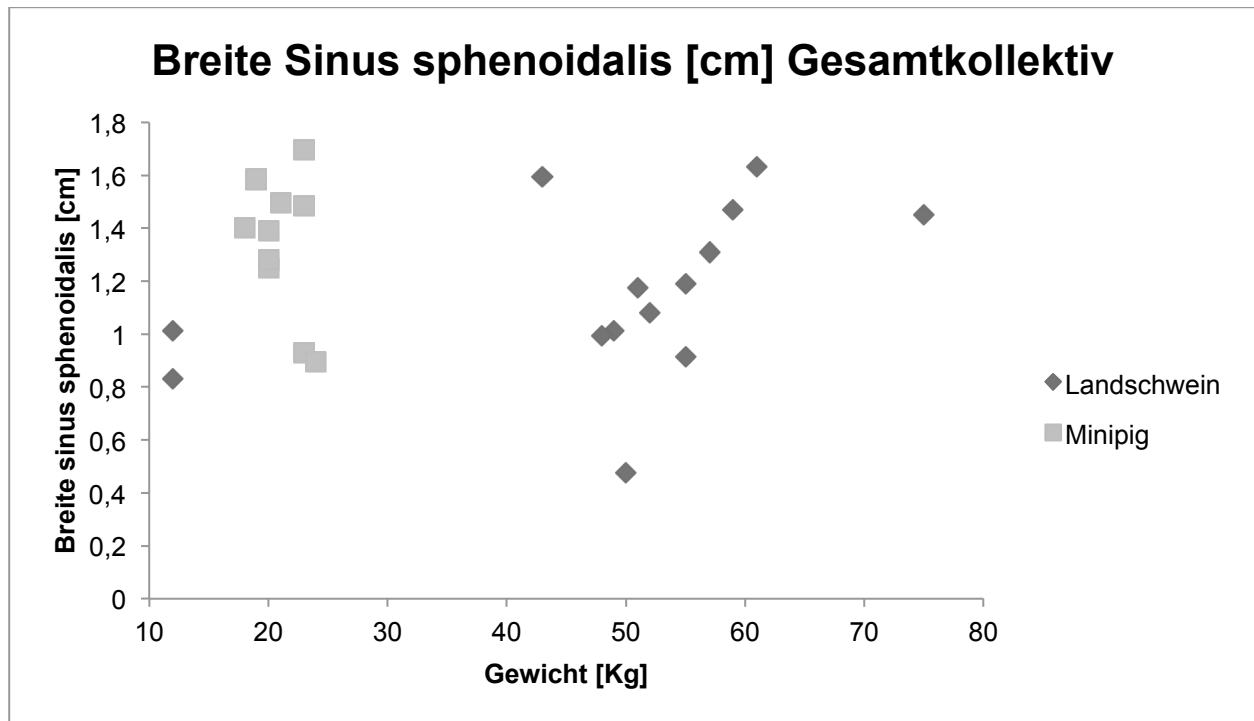


Abb. 59: Breite des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom medialen bis lateralen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=16) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,42
Minipig	-0,36

Tabelle 54: Korrelationskoeffizient r von Breite Sinus sphenoidalis und Schlachtgewicht.

Die Breite des Sinus sphenoidalis korreliert beim Landschwein mittelstark positiv, beim Minipig mittelstark negativ mit dem Schlachtgewicht.

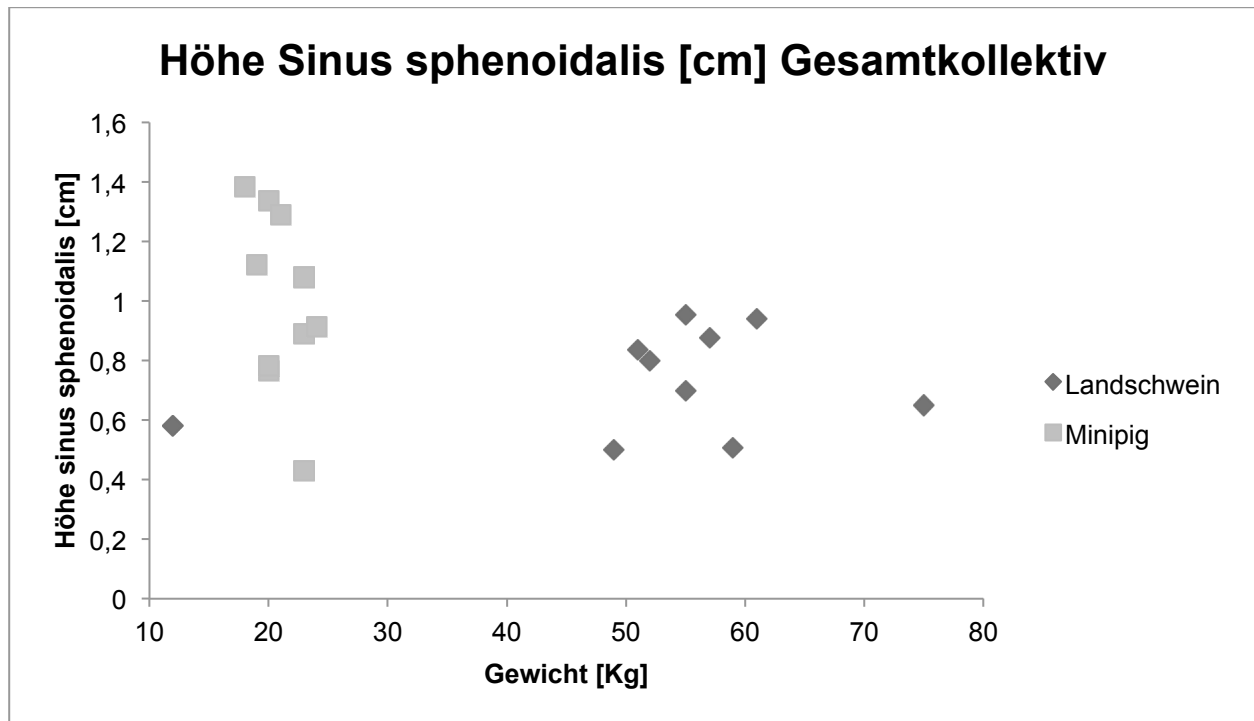


Abb. 60: Höhe des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=13) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.

	Korrelationskoeffizient r
Landschwein	0,36
Minipig	-0,50

Tabelle 55: Korrelationskoeffizient r von Höhe des Sinus sphenoidalis und Schlachtgewicht.

Es ist eine mittelstarke positive Korrelation zwischen Höhe des Sinus sphenoidalis und Schlachtgewicht beim Landschwein zu sehen, eine mittlere negative beim Minipig.

IV DISKUSSION

Das Ziel dieser Arbeit war es, die topographische Anatomie der Orbita des Schweins an einem geeigneten Kollektiv zu erfassen, auszuwerten und darzulegen, um die Daten anderen Arbeitsgruppen zur Verfügung zu stellen.

Hierfür wurden computertomographische Aufnahmen von 30 Schweineschädeln, zehn von männlichen Minipigs und 20 von weiblichen Landschweinen post mortem angefertigt. Anschließend erfolgte die Rekonstruktion und Vermessung. Besondere Berücksichtigung fanden die knöchernen Anteile der Orbita. Die Ergebnisse wurden mittels Box-and-Whiskers-Plots sowie XY-Plots dargestellt und miteinander verglichen. Hierbei wurden einige rassen- sowie gewichtsspezifische Unterschiede deutlich.

In der Orbita verlaufen Nervenbahnen, Muskeln und Blutgefäße. Außerdem befindet sich der Bulbus oculi darin, all das von knöchernen Wänden umgeben (Rhoton *et al.*, 2002). Verschiedenste Mechanismen können zur Schädigung einer oder mehrerer dieser Strukturen führen. Um diese möglichst kurativ behandeln zu können, werden ständig neue Methoden konzipiert.

Für die Entwicklung neuer Therapiemöglichkeiten eignen sich Schweine aufgrund ihrer anatomischen und physiologischen Ähnlichkeit besonders gut als Versuchstiere. In dieser Arbeit wurde ein Datensatz erstellt, der in zukünftigen Projekten eine topographische Orientierung aufgrund quantifizierbarer Daten ermöglicht.

Bisher sind in der Literatur keine verwertbaren Studien zu diesem Thema bekannt. Genaue Darstellungen und Vermessungen von Schweineorbitae existieren nur in auf spezifische Fragestellungen bezogenen Studien, es gibt keine gesammelten Daten größerer Kollektive, die auch für andere Arbeitsgruppen verwertbar sind. Insbesondere liegen keine Arbeiten vor, die einen Vergleich zwischen den anatomischen Verhältnissen des knöchernen Schädels bei Landschweinen und Minipigs, beziehungsweise zwischen unterschiedlichen Gewichtsklassen anstellen.

Es gibt eine Arbeit, die einen anatomischen Vergleich des Nasennebenhöhlensystems von Mensch und Schaf anstellt (Breyer *et al.*, 2010), jedoch bisher keine Studien, in denen das Schwein als Modellorganismus untersucht wird. Des Weiteren beschäftigt sich Schiller 1998 in ihrer Arbeit „Topographische und angewandte Anatomie des Auges und Ohres der Katze unter besonderer Berücksichtigung moderner bildgebender Verfahren (CT und MRT)“ mit einer ähnlichen Thematik, jedoch sehr allgemeinbezogen und ohne Daten größerer Kollektive zu präsentieren.

In dieser Studie sind Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Schweinerassen nachzuweisen, zum Beispiel die Länge des Nervus opticus betreffend. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass das Kollektiv der Landschweine ausnahmslos weiblich, das der Minipigs männlich war, daher konnten mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede nicht untersucht werden. Außerdem ist ein direkter Vergleich zwischen den beiden Rassen schwierig, da sich die Gewichtsklassen stark unterscheiden. Dennoch fallen Unterschiede zwischen den spezifischen Schweinerassen auf. Exemplarisch ist hier der Pneumatisierungsgrad des Sinus maxillaris beim Minipig zu nennen. Er erstreckt sich bei dieser Rasse bis hin zum Jochbogen und ist somit wesentlich ausgeprägter als beim Landschwein. Auch dies ist in der Literatur bisher nicht vorbeschrieben, kann aber durchaus Relevanz für verschiedene Verfahren erlangen, zum Beispiel bei der Planung einer Trepanation. Außerdem ist der N. opticus beim Landschwein im Verhältnis zur Schädelgröße länger als beim Minipig, wohingegen sich der maximale Durchmesser im selben Verhältnis kaum unterscheidet.

Die Kenntnis der anatomischen Verhältnisse der Orbita bei Schweinen ist für verschiedene weitere Forschungszweige wichtig. So ist sie etwa Voraussetzung für die Entwicklung neuer Methoden der Orbitawandrekonstruktion nach Trauma oder Tumorentfernung. Laufend werden hierfür immer modernere Verfahren entwickelt und andere Materialien eingesetzt (Neumann *et al.*, 2006; Jones *et al.*, 2004; Rohner *et al.*, 2002 und 2003; Avery *et al.*, 2005).

Des Weiteren werden derzeit Retina-Implantate ent- und weiterentwickelt, die eine relativ neue Therapiemöglichkeit bei degenerativen Retinaerkrankungen wie Makuladegeneration oder Retinitis pigmentosa darstellen und sich erfolgsversprechend zeigen (Stingl *et al.*, 2010; Gekeler *et al.*, 2010).

Beim Landschwein ist die Orbita im Durchschnitt sowohl länger als auch höher, die ganze Orbitahöhle ist also größer als beim Minipig. Somit bietet sich bei gleicher Bulbuslänge beim Landschwein mehr Platz, um zum Beispiel Implantate einzubringen.

Um solche und weitere neuartige Behandlungsmöglichkeiten entwickeln und an größeren Stückzahlen testen zu können, sind Durchschnittswerte von größeren Kollektiven von Landschweinen und Minipigs notwendig. Je nach spezifischer Fragestellung eignet sich hier eine der beiden Rassen besser, daher ist es sinnvoll die rassen- und gewichtsspezifischen Unterschiede gezielt aufzuzeigen.

Zwar sind Tierversuche nach wie vor umstritten, doch liefern sie wertvolle Informationen für die Entwicklung neuer Therapiemethoden und Behandlungsmöglichkeiten. Bei dieser Arbeit wurden jedoch nur Tiere verwendet, die bereits tot waren. Schweine eignen sich besonders gut als Versuchstiere, da sich sowohl topographische und funktionelle Anatomie wie auch Physiologie von Mensch und Schwein stark ähneln. Des Weiteren sind die Haltungskosten vergleichsweise gering.

Die CT war hier das geeignete Bildgebungsverfahren, da der Fokus dieser Arbeit besonders auf den knöchernen Strukturen der Orbita lag, die mit dieser Form der Bildgebung am besten zu beurteilen sind.

Die verhältnismäßig hohe Strahlenbelastung, die mit der CT verbunden ist, ist in diesem Fall irrelevant, da die Versuchstiere zum Zeitpunkt der Durchleuchtung bereits tot waren.

V ZUSAMMENFASSUNG

V.1 Wissenschaftlicher Hintergrund

In der Orbita verlaufen Nervenbahnen, Muskeln und Blutgefäße. Außerdem befindet sich der Bulbus oculi darin, all das von knöchernen Wänden umsäumt. Verschiedenste Mechanismen können zur Schädigung einer oder mehrerer dieser Strukturen führen. Um diese möglichst kurativ behandeln zu können, werden ständig neue Methoden konzipiert. Für die Entwicklung neuer Therapiemöglichkeiten eignen sich Schweine aufgrund der Ähnlichkeit ihrer Anatomie zu der des Menschen besonders gut als Versuchstiere.

V.2 Fragestellung

Die Zielsetzung dieser Arbeit war es, computertomographisch erhobene und gemessene Daten bezüglich der Orbita sowie der Sinus maxillaris und der Sinus sphenoidalis, die an einem Kollektiv von Schweinen erhoben wurden, als Basis für die Durchführung zukünftiger Projekte zur Verfügung zu stellen.

V.3 Material und Methoden

Hierfür wurden post mortem craniale Computertomographien an einem 16-zeiligen Computertomographen der Firma Siemens (Siemens Sensation 16) von 30 Schweineschädeln, hiervon 20 weibliche Landschweine und zehn männliche Minipigs angefertigt, rekonstruiert und vermessen. Die Ergebnisse wurden mittels Box-and-Whiskers-Plots sowie XY-Plots dargestellt und miteinander verglichen. Da die Schädel von bereits toten Tieren entnommen wurden, musste keines für diese Arbeit getötet werden.

V.4 Ergebnisse

Es konnten charakteristische Unterschiede bestimmter anatomischer Merkmale gezeigt werden, die jeweils mit dem Körpergewicht beziehungsweise der Schweinerasse in Bezug gesetzt werden konnten. Diese wurden bisher nicht in der Literatur vorbeschrieben. Bei der Auswahl eines geeigneten Modellorganismus sind diese Unterschiede bei spezifischen Fragestellungen relevant.

V.5 Zusammenfassung

Mit dieser Arbeit wird ein Datensatz bereitgestellt, der aus einem Kollektiv von 30 Individuen erhoben wurde. Aufgrund der durchgeführten statistischen Analyse lassen sich zukünftige Projekte planen, zu deren Verwirklichung die Verwendung von Modellorganismen notwendig ist. Es wurden zwei verschiedene Rassen und unterschiedliche Gewichtsklassen miteinander verglichen und in Box-and-Whiskers-Plots sowie XY-Plots dargestellt. So ist ein Vergleich und eine gezielte Auswahl möglich.

VI ANHANG

VI.1 Abkürzungsverzeichnis

CT	Computertomographie
CCT	Craniale Computertomographie
lat.	Lateralis
Max.	Maximal
MRT	Magnetresonanztomographie
Musc.	Musculus
med.	Medialis
N.	Nervus
rect.	Rectus

VI.2 Literaturverzeichnis

1. Chen, C. T. and Y. R. Chen (2010). "Update on orbital reconstruction." *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* **18**(4): 311-316.
2. Ye, J., et al. (2006). "Evaluation of computer-based volume measurement and porous polyethylene channel implants in reconstruction of large orbital wall fractures." *Invest Ophthalmol Vis Sci* **47**(2): 509-513.
3. Suner, S., et al. (2000). "A porcine model for instruction of lateral canthotomy." *Acad Emerg Med* **7**(7): 837-838.
4. Hollister, S. J., et al. (2000). "An image-based approach for designing and manufacturing craniofacial scaffolds." *Int J Oral Maxillofac Surg* **29**(1): 67-71.

5. Zrenner, E., et al. (2011). "Subretinal electronic chips allow blind patients to read letters and combine them to words." *Proc Biol Sci* **278**(1711): 1489-1497.
6. Neumann, A., et al. (2006). "Prototype of a silicon nitride ceramic-based miniplate osteofixation system for the midface." *Otolaryngol Head Neck Surg* **134**(6): 923-930.
7. Jones, A. C., et al. (2004). "Investigation of microstructural features in regenerating bone using micro computed tomography." *J Mater Sci Mater Med* **15**(4): 529-532.
8. Rohner, D., et al. (2002). "[Individually CAD-CAM technique designed, bioresorbable 3-dimensional polycaprolactone framework for experimental reconstruction of craniofacial defects in the pig]." *Mund Kiefer Gesichtschir* **6**(3): 162-167.
9. Rohner, D., et al. (2003). "In vivo efficacy of bone-marrow-coated polycaprolactone scaffolds for the reconstruction of orbital defects in the pig." *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* **66**(2): 574-580.
10. Avery, C., et al. (2005). "Re: "Localized inferior orbital fibrosis associated with porcine dermal collagen xenograft orbital floor implant"." *Ophthal Plast Reconstr Surg* **21**(3): 249; author reply 249-251.
11. Willems, N. M., et al. (2010). "Age-related changes in collagen properties and mineralization in cancellous and cortical bone in the porcine mandibular condyle." *Calcif Tissue Int* **86**(4): 307-312.
12. Reiser, M., F.P. Kuhn, J. Debus (2006): *Duale Reihe- Radiologie*, Stuttgart: Thieme, 2. Aufl., S. 79 – 83.
13. Laubenberger ,T., J. Laubenberger (1999): *Technik der medizinischen Radiologie*, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 7., überarb. Aufl., S. 326 – 353.
14. Pickuth, D., H. Frommhold (1998): *Klinische Radiologie – systematisch I*, Bremen, London, Boston: UNI-MED-Verlag, S. 214-216.
15. Kanski, J. (2004): *Klinische Ophthalmologie: Lehrbuch und Atlas*, München: Elsevier
16. Freyschmid, J. (2002): *Handbuch diagnostische Radiologie Kopf-Hals*, Berlin: Springer
17. Rhoton, A. L., Jr. (2002). "The orbit." *Neurosurgery* **51**(4 Suppl): S303-334.
18. Stingl, K., et al. (2010). Subretinal electronic chips can restore useful visual functions in blind retinitis pigmentosa patients. *Biomed. Tech. (Berl.)* **55**, (Suppl. 1).

19. Harscher, A., C. Braun et al. (2010): „Retinal Implants: Charge transfer stability and sensitivity compared to visual results“ Biomed Tech **55**, (Suppl. 1).
20. Wrobel, W.-G. et al. (2010): „The Value of Retinal Implants“ Biomed Tech **55**, (Suppl. 1).
21. Gekeler, F., et al. (2010). "Visualisation of active subretinal implants with external connections by high-resolution CT." Br J Ophthalmol **94**(7): 843-847.
22. Witmer L.M., et al. (2007): „The virtual pig head“ Online: http://www.oucom.ohiou.edu/virtualpig/slice_movies.htm (2014)
23. Loeffler, K. (2002): Anatomie und Physiologie der Haustiere; Stuttgart: Ulmer, 10., überarb. Aufl.
24. Siemens AG Online: <http://www.healthcare.siemens.de/computed-tomography/dual-source-ct/somatom-definition-flash/technical-specifications> (2014)
25. Kauffmann, G.W., E. Moser, R. Sauer et al. (2005): Radiologie, München: Elsevier, 3. Aufl., S. 107 – 228.
26. Besch, D., et al. (2008). "Extraocular surgery for implantation of an active subretinal visual prosthesis with external connections: feasibility and outcome in seven patients." Br J Ophthalmol **92**(10): 1361-1368.
27. Schünke, M., E. Schulte, U. Schumacher, et al. (2006): Prometheus – Lernatlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie, Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG, 1. Aufl., S.5 – 22, 130 – 134.
28. Tukey, J.W., et al. (1977): Exploratory data analysis, München: Addison-Wesley
29. Utts, J.M., (2005): Seeing Through Statistics, Pacific Grove: Duxbury Press, 3. Aufl.
30. Breyer, D. (2010): „Anatomischer Vergleich des Nasennebenhöhlensystems von Mensch und Schaf unter besonderer Berücksichtigung des Sinus maxillaris“
31. Schiller, A. (1998): „Topographische und angewandte Anatomie des Auges und Ohres der Katze unter besonderer Berücksichtigung moderner bildgebender Verfahren (CT und MRT)“
32. Gunarajah, D. R. and N. Samman (2013). "Biomaterials for repair of orbital floor blowout fractures: a systematic review." J Oral Maxillofac Surg **71**(3): 550-570.
33. Popesko, P. (2007): Atlas der topographischen Anatomie der Haustiere, Stuttgart: Enke, 6., überarb. Aufl.

34. Brown R.A., Nelson J.A. (2013). "The origin of the N-localizer for stereotactic neurosurgery". *Cureus*5 (9): e140.
35. van Eerdenburg, F. J. and J. A. Dierx (2002). "A new technique for long term, stress free, cannulation of the lateral ventricle in postpubertal, freely moving, pigs." *J Neurosci Methods* **121**(1): 13-20.
36. Lind, N.M., et al. (2007): "The use of pigs in neuroscience: modeling brain disorders." *Neurosci Biobehav Rev*, 2007. **31**(5): 728-51.
37. Mohr, C., R. Pförtner (2012): *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*, Berlin, Heidelberg: Springer, S. 543-560.
38. Moskopp, D. (2005): *Neurochirurgie – Handbuch für die Weiterbildung und interdisziplinäres Nachschlagewerk*, Stuttgart: Schattauer, S. 270

VI.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 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 Popesko (2007).	3
Abb. 2: Sagittalschnitt des Schwieneschädels: (1) Sinus frontalis, (2) Os nasale, (3) Os frontale, (4) Os parietale, (5) Foramen magnum, (6) Cavum cranii, (7) Porus acusticus internus, modifiziert nach Popesko (2007).	3
Abb. 3: Schematische Darstellung eine Retinaimplantats, modifiziert nach Besch et al. (2008)	8
Abb. 5: Präparierter Kopf mit angeklebten Fiducials (weiße Pfeile),Ansicht von oben (Landschwein)	12
Abb. 6: Beispiel einer Messung der Parameter „Länge der Schädelbasis“ und „Länge der Frontobasis“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in sagittaler Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.	17
Abb. 7: Beispiel einer Messung des Parameters „Schädelbreite mit Kalotte“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.....	17

Abb. 8: Beispiel einer Messung der Parameter „Länge des canalis opticus“ und „maximaler Durchmesser des canalis opticus“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in axialer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.	18
Abb. 9: Beispiel einer Messung des Parameters „Länge der Orbita“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in axialer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.	18
Abb. 10: Beispiel einer Messung des Parameters „Höhe der Orbita“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.....	19
Abb. 11: Beispiel einer Messung des Parameters „Breite der Linse“. Die weiße Linie bezeichnet die vermessene Struktur. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in paracoroner Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.....	19
Abb. 12: Beispiel einer Messung des Parameters „Breite des Bulbus“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.....	20
Abb. 13: Beispiel einer Messung des Parameters „Breite des Sinus sphenoidalis“. Die weißen Linien bezeichnen die vermessenen Strukturen. Gezeigt wird die CT-Aufnahme eines Schweineschädels in coronarer Rekonstruktion, Ausspielung im Knochenfenster.....	20
Abb. 14 Schädelgröße, gemessen in der Sagittalebene von der Protuberantia mentalis bis zum kaudalen Ende des Os sphenoidale. Illustration des Gesamtkollektivs (n=28) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 8) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	25
Abb. 15: Länge der Frontobasis, gemessen in der Sagittalebene vom rostralen bis zum kaudalen Ende der Frontobasis. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	26
Abb. 16: Schädelbreite ohne und mit Kalotte, in der Coronarebene in der maximalen Ausdehnung gemessen. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	27

Abb. 17: Länge des Musculus rectus medialis, gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.....	29
Abb. 18: Länge des Musculus rectus lateralis, gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.....	30
Abb. 19: Länge des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus, von der Lamina cribrosa sclerae bis zum Chiasma opticum. Illustration des Gesamtkollektivs (n=29) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=19) per Box-and-Whiskers-Plot.....	31
Abb. 20: Maximaler Durchmesser des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus. Illustration des Gesamtkollektivs (n=27) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=17) per Box-and-Whiskers-Plot.	32
Abb. 21: Bulbuslänge, maximaler Abstand der Cornea zur dorsalen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	33
Abb. 22: Bulbusbreite, maximaler Abstand der medialen zur lateralen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	34
Abb. 23: Bulbushöhe, maximaler Abstand der kranialen zur kaudalen Sklerawand, gemessen in der Coronarebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	35
Abb. 24: Bulbus länge, -breite und -höhe im Vergleich. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	36
Abb. 25: Linsenbreite, maximale Ausdehnung von medial bis lateral, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	37

Abb. 26: Linsenlänge, maximale Ausdehnung von rostral bis kaudal, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.....	38
Abb. 27: Orbitalänge, gemessen in der Axialebene, von Canalis opticus bis Crista lacrymalis anterior. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.....	39
Abb. 28: Orbitahöhe, gemessen in der Coronarebene, von Os frontale bis Os zygomaticus. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.....	40
Abb. 29: Länge des Optikuskanals, gemessen in der Axialebene, von der Mitte des Chiasma opticum bis Anulus tendineus communis. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	41
Abb. 30: Durchmesser des Optikuskanals, maximale Ausdehnung des Anulus tendineus communis, gemessen in der Axialebene. Illustration des Gesamtkollektivs (n=30) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=20) per Box-and-Whiskers-Plot.	42
Abb. 31: Länge des Sinus maxillaris, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=27) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=17) per Box-and-Whiskers-Plot.....	43
Abb. 32: Breite des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom medialen bis lateralen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=27) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=17) per Box-and-Whiskers-Plot.....	44
Abb. 33: Höhe des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=24) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=14) per Box-and-Whiskers-Plot.....	45
Abb. 34: Länge des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=26) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=16) per Box-and-Whiskers-Plot.....	46
Abb. 35: Breite des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom medialen bis lateralen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=26) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=16) per Box-and-Whiskers-Plot.....	47

Abb. 36: Höhe des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Illustration des Gesamtkollektivs (n=23) versus Darstellung getrennt nach Schweinerassen Minipig (n= 10) und Landschwein (n=13) per Box-and-Whiskers-Plot.	48
Abb. 37: Schädellänge, gemessen in der Sagittalebene von der Protuberantia mentalis bis zum kaudalen Ende des Os sphenoidalis. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 8) per XY-Plot.....	55
Abb. 38: Länge der Frontobasis, gemessen in der Sagittalebene vom rostralen bis zum kaudalen Ende der Frontobasis. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	56
Abb. 39: Schädelbreite ohne Kalotte, in der Coronarebene in der maximalen Ausdehnung gemessen. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	57
Abb. 40: Schädelbreite mit Kalotte, in der Coronarebene in der maximalen Ausdehnung gemessen. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	58
Abb. 41: Länge des Musculus rectus medialis, gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	59
Abb. 42: Länge des Musculus rectus lateralis, gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	60
Abb. 43: Länge des Musculus rectus medialis und lateralis im Vergleich in der Gruppe Landschwein (n=20), gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung per XY-Plot.	61
Abb. 44: Länge des Musculus rectus medialis und lateralis im Vergleich in der Gruppe Minipig (n=10), gemessen in der Axialebene von der Insertio musculi rectus medialis am Anulus tendineus communis bis Limbus corneae. Darstellung im XY-Plot.....	62
Abb. 45: Länge des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=19) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	63
Abb. 46: Maximaler Durchmesser des Nervus opticus, gemessen in der Paracoronarebene orthogonal zum Nervus opticus. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=17) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.....	64

Abb. 47: Bulbuslänge, maximaler Abstand der Cornea zur dorsalen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	65
Abb. 48: Bulbusbreite, maximaler Abstand der medialen zur lateralen Sklerawand, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	66
Abb. 49: Bulbushöhe, maximaler Abstand der kranialen zur kaudalen Sklerawand, gemessen in der Coronarebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	67
Abb. 50: Linsenbreite, maximale Ausdehnung von medial bis lateral, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	68
Abb. 51: Linsenlänge, maximale Ausdehnung von rostral bis kaudal, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	69
Abb. 52: Orbitalänge, gemessen in der Axialebene, von Canalis opticus bis Crista lacrymalis anterior. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	70
Abb. 53: Orbitahöhe, gemessen in der Coronarebene, von Os frontale bis Os zygomaticus. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	71
Abb. 54: Länge des Optikuskanals, gemessen in der Axialebene, von der Mitte des Chiasma opticum bis Anulus tendineus communis. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	72
Abb. 55: Durchmesser des Optikuskanals, maximale Ausdehnung des Anulus tendineus communis, gemessen in der Axialebene. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=20) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	73
Abb. 56: Länge des Sinus maxillaris, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=17) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	74
Abb. 57: Breite des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom medialen bis lateralen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=17) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	75
Abb. 58: Höhe des Sinus maxillaris, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=14) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	76
Abb. 59: Länge des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom rostralen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=16) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	77

Abb. 60: Breite des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Axialebene vom medialen bis lateralen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=16) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	78
Abb. 61: Höhe des Sinus sphenoidalis, gemessen in der Sagittalebene vom kranialen bis kaudalen Ende. Darstellung getrennt nach Schweinerassen Landschwein (n=13) und Minipig (n= 10) per XY-Plot.	79

VI.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele von Dichtewerten verschiedener Gewebe (Kauffmann et al., 2005)	5
Tabelle 2: Anatomische Landmarken, gemessene Parameter und Ebene der vermessenen Strukturen.	16
Tabelle 3: Berechnete Werte der Schädellänge in [cm].	25
Tabelle 4: Berechnete Werte der Frontobasis in [cm].	26
Tabelle 5: Berechnete Werte der Schädelbreite ohne Kalotte in [cm].	28
Tabelle 6: Berechnete Werte der Schädelbreite mit Kalotte in [cm].	28
Tabelle 7: Berechnete Werte des Musculus rectus medialis in [cm].	29
Tabelle 8: Berechnete Werte des Musculus rectus lateralis in [cm].	30
Tabelle 9: Berechnete Werte des Nervus opticus in [cm].	31
Tabelle 10: Berechnete Werte des maximalen Durchmessers des Nervus opticus in [cm].	32
Tabelle 11: Berechnete Werte der Bulbuslänge in [cm].	33
Tabelle 12: Berechnete Werte der Bulbusbreite in [cm].	34
Tabelle 13: Berechnete Werte der Bulbushöhe in [cm].	35
Tabelle 14: Berechnete Werte des Bulbus in [cm].	36
Tabelle 15: Berechnete Werte der Linsenbreite in [cm].	37
Tabelle 16: Berechnete Werte der Linsenlänge in [cm].	38
Tabelle 17: Berechnete Werte der Orbitalänge in [cm].	39

Tabelle 18: Berechnete Werte der Orbitahöhe in [cm].	40
Tabelle 19: Berechnete Werte der Länge des Optikuskanals in [cm].	41
Tabelle 20: Berechnete Werte des Durchmessers des Optikuskanals in [cm].	42
Tabelle 21: Berechnete Werte der Länge des Sinus maxillaris in [cm].	43
Tabelle 22: Berechnete Werte der Breite des Sinus maxillaris in [cm].	44
Tabelle 23: Berechnete Werte der Höhe des Sinus maxillaris in [cm].	45
Tabelle 24: Berechnete Werte der Länge des Sinus sphenoidalis in [cm].	46
Tabelle 25: Berechnete Werte der Breite des Sinus sphenoidalis in [cm].	47
Tabelle 26: Berechnete Werte der Höhe des Sinus sphenoidalis in [cm].	48
Tabelle 27: Einteilung des Korrelationsgrades bei positivem linearen Zusammenhang	49
Tabelle 28: Einteilung des Korrelationsgrades bei negativem linearen Zusammenhang.	49
Tabelle 29: Korrelationskoeffizient r in Bezug auf die gemessenen Parameter und die sich daraus ergebende Korrelation in der Gruppe der Landschweine.	51
Tabelle 30: Korrelationskoeffizient r in Bezug auf die gemessenen Parameter und die sich daraus ergebende Korrelation in der Gruppe der Minipigs.	53
Tabelle 31: Korrelationskoeffizient r von Schädellänge und Schlachtgewicht.	55
Tabelle 32: Korrelationskoeffizient r von Länge der Frontobasis und Schlachtgewicht.	56
Tabelle 33: Korrelationskoeffizient r von Schädelbreite ohne Kalotte und Schlachtgewicht.	57
Tabelle 34: Korrelationskoeffizient r von Schädelbreite mit Kalotte und Schlachtgewicht.	58
Tabelle 35: Korrelationskoeffizient r von Musculus rectus medialis und Schlachtgewicht.	59
Tabelle 36: Korrelationskoeffizient r von Länge des Musculus rectalis lateralis und Schlachtgewicht.	60
Tabelle 37: Korrelationskoeffizient r von Musculus rectus medialis und lateralis und Schlachtgewicht.	61
Tabelle 38: Korrelationskoeffizient r von Musculus rectus medialis und lateralis und Schlachtgewicht.	62
Tabelle 39: Korrelationskoeffizient r von Länge des Optikusnervs und Schlachtgewicht.	63

Tabelle 40: Korrelationskoeffizient r von Durchmesser des N. opticus und Schlachtgewicht.	64
Tabelle 41: Korrelationskoeffizient r von Bulbuslänge und Schlachtgewicht.....	65
Tabelle 42: Korrelationskoeffizient r von Bulbusbreite und Schlachtgewicht.	66
Tabelle 43: Korrelationskoeffizient r von Schädellänge und Schlachtgewicht.....	67
Tabelle 44: Korrelationskoeffizient r von Linsenbreite und Schlachtgewicht.....	68
Tabelle 45: Korrelationskoeffizient r von Linsenlänge und Schlachtgewicht.	69
Tabelle 46: Korrelationskoeffizient r von Orbitalänge und Schlachtgewicht.	70
Tabelle 47: Korrelationskoeffizient r von Orbitahöhe und Schlachtgewicht.....	71
Tabelle 48: Korrelationskoeffizient r von Länge des canalis opticus und Schlachtgewicht.	72
Tabelle 49: Korrelationskoeffizient r von Durchmesser des canalis opticus und Schlachtgewicht.	73
Tabelle 50: Korrelationskoeffizient r von Länge des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht.	74
Tabelle 51: Korrelationskoeffizient r von Breite des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht.	75
Tabelle 52: Korrelationskoeffizient r von Höhe des Sinus maxillaris und Schlachtgewicht.	76
Tabelle 53: Korrelationskoeffizient r von Länge des Sinus sphenoidalis und Schlachtgewicht.	77
Tabelle 54: Korrelationskoeffizient r von Breite Sinus sphenoidalis und Schlachtgewicht.	78
Tabelle 55: Korrelationskoeffizient r von Höhe des Sinus sphenoidalis und Schlachtgewicht.	79

VI. Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Herrn Professor Dr. Matthias Morgalla für die umfassende Betreuung als Doktorvater und an Herrn Dr. Kai Kroppe für die engagierte Mitbetreuung während der gesamten Entstehungszeit dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Martin Schenk und seinen Mitarbeitern im Institut für experimentelle Chirurgie in Tübingen, sowie dem gesamten Team der Neuroradiologie der Universitätsklinik Tübingen für die stets freundliche Kooperation bei der Datenakquisition.

Außerdem möchte ich meiner Familie, meinen Freunden und Haude für die stetige Unterstützung in verschiedenster Form danken.